

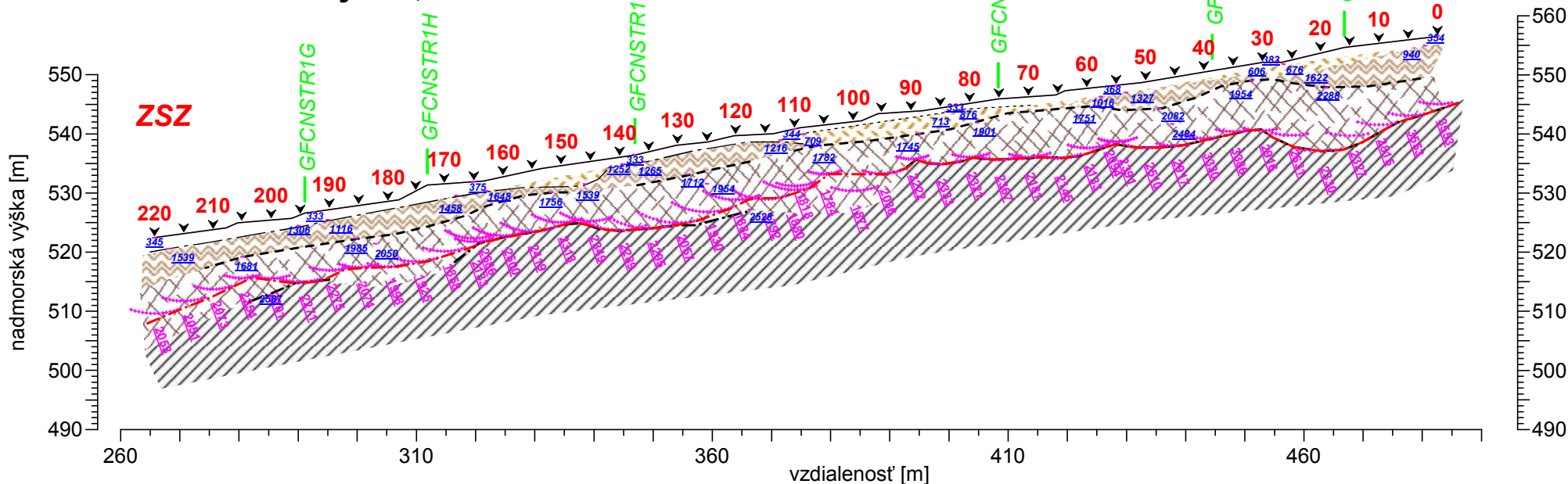
VYSVETLIVKY			
	ilovitokamenité až kamenité suty		ilovce s pieskvcami, slieňovce, zvetraná zóna
	kamenitoilovité suty		slieňovce, súvrstvie slieňovcov s vápencami, s prevahou slieňovcov
	ily s úlomkami, ílovitá sut'		súvrstvie slieňovcov s vápencami
			súvrstvie vápencov so slieňovcami, až slieňité vápence
			porušená zóna odporová diskontinuita
			umiestnenie merania VES, interpretované merné elektrické odpory [Ωm], interpretovaný priebeh rozhraní
			zamerané body, vrtý
			priebeh spodného lámajúceho rozhrania interpretovaného z inžinierskej seizmiky a hraničné rýchlosti v m/s

		GEPAS s.r.o., Žilina	
názov úlohy	Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová nová trasa, podrobný IGHP		
číslo úlohy	487 12 2016	číslo prílohy	8 / 5
vypracoval	RNDr. Štefan HULJAK		

Oblasť západného portála tunela Čebrať

Geofyzikálny profil STRN (severná tunelová rúra nová)

seizmický rez, M = 1 : 1000 / 1000

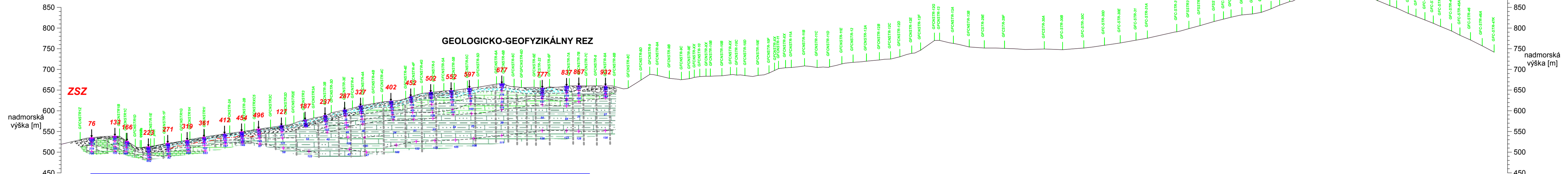
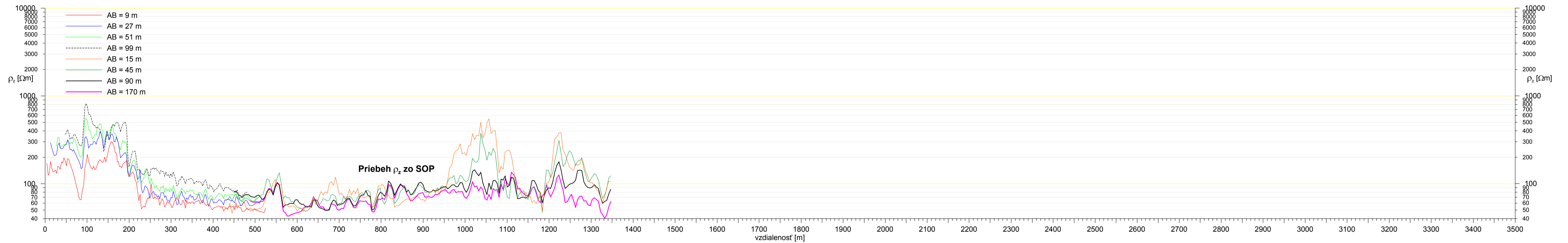


VYSVETLIVKY

	pozícia geofónu na profile		pozícia geodeticky zameraného bodu na profile
	pravdepodobne rozhranie pripovrchových zemín a sutí, získané bodovými výpočtami a vrstevná rýchlosť [m/s]		materiály chrakteru sutí
	pravdepodobne rozhranie sutí a rozvetraných podložných hornín (uľahnutých sutí), získané bodovými výpočtami a vrstevná rýchlosť [m/s]		materiály chrakteru uľahnutých zemín, zvetrané podložie
	pravdepodobne rozhranie sutí a poloskalných podložných hornín, získané bodovými výpočtami a vrstevná rýchlosť [m/s]		poloskalné podložie, porušené horniny
	spodné lámajúce rozhranie a hraničná rýchlosť [m/s]		skalné podložie
	interpretované rozhranie skalných a poloskalných hornín		

názov úlohy	Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová nová trasa, podrobný IGHP		
číslo úlohy	487 12 2016	číslo prílohy	8 / 4
vypracoval	RNDr. Jozef FLIMMEL		

GEOFYZIKÁLNY PROFIL STRN
(severná tunelová rúra nová)
M 1 : 5000 / 5000



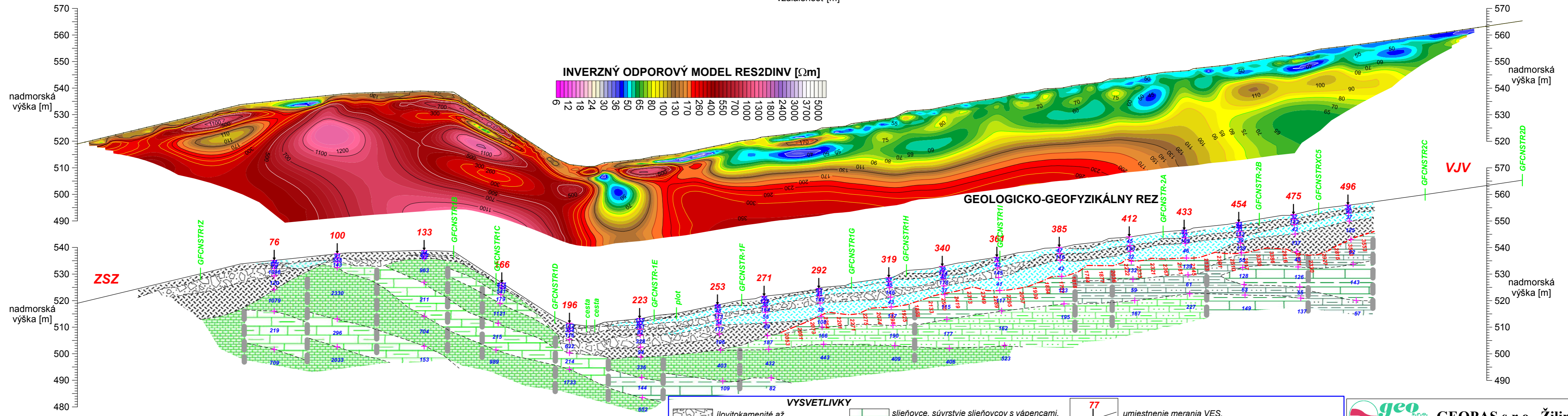
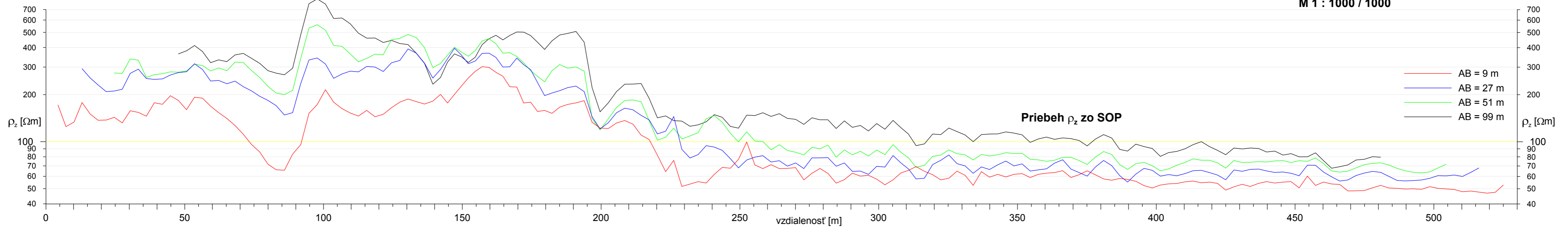
VYSVETLIVKY

	ilovitokamenité až kamenité suty		slietovce, súvrstvie slietovcov s vápencami, s prevahou slietovcov		umiestnenie merania VES, interpretované merané elektrické odpory [Ωm], interpretovaný priebeh rozhraní
	kamenitoilovitá suta		súvrstvie slietovcov s vápencami		zamerané body, vrty
	ily s úlomkami, ilovitá sut'		súvrstvie vápencov so slietovcami, až slienité vápence		porušená zóna odporová diskontinuita
	ilovce s pieskovicami, slietovce, zvetraná zóna		vápence		

GEOFYZIKÁLNY PROFIL STRN

(severná tunelová rúra nová)

M 1 : 1000 / 1000

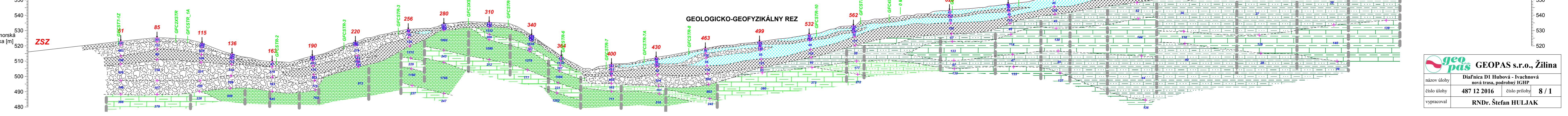
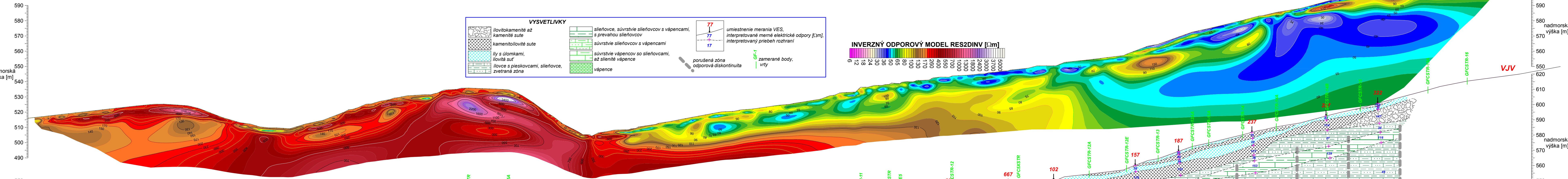
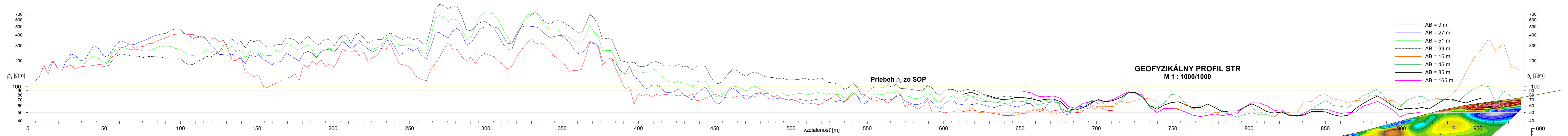


VYSVETLIVKY

	ilovitokamenité až kamenité suty		slieňovce, súvrstvie slieňovcov s vápencami, s prevahou slieňovcov		umiestnenie merania VES, interpretované merné elektrické odpory [Ωm], interpretovaný priebeh rozhraní
	kamenitoilovité suty		súvrstvie slieňovcov s vápencami		priebeh spodného lámajúceho rozhrania interpretovaného z inžinierskej seizmiky a hraničné rýchlosti v m/s
	ily s úlomkami, ilovitá suť		súvrstvie vápencov so slieňovcami, až slienité vápence		zamerané body, vrty
	ilovce s pieskovcami, slieňovce, zvetraná zóna		vápence		

geo pas GEOPAS s.r.o., Žilina

názov úlohy	Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová nová trasa, podrobný IGHP		
číslo úlohy	487 12 2016	číslo prílohy	8 / 2
vypracoval	RNDr. Štefan HULJAK		





GEOPAS s. r. o.

Bytčická 16

01001 ŽILNA

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová nová trasa

príloha č. 8

POVRCHOVÉ GEOFYZIKÁLNE MERANIA

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

August 2016

Názov úlohy : „Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa,
podrobný IGHP“
Objednávateľ geolog. prác : CAD-ECO a.s., BRATISLAVA
Zhotoviteľ geolog. prác : GEOPAS s.r.o., ŽILINA
Číslo úlohy zhotoviteľa : 487 12 2016
Zodpovedný riešiteľ : RNDr. Štefan HULJAK

OBSAH

1 ÚVOD	1
2 PRÍRODNÉ POMERY	1
3 METODIKA GEOFYZIKÁLNYCH MERANÍ	2
3.1 Metodika geoelektrických meraní	3
3.2 Metodika seizmických meraní	4
4 INTERPRETÁCIA GEOFYZIKÁLNYCH MERANÍ	4
4.1.1 Interpretácia geoelektrických meraní	4
4.1.2 Interpretácia seizmických meraní	5
4.2 Výsledky geofyzikálnych meraní a ich geologický výklad	5

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. č. 1	Situácia geofyzikálnych profilov v mierke 1 : 25 000	2
Obr. č. 2	Ukážka systému bodov, v ktorých sú získavané hodnoty zdanlivých merných elektrických odporov (Ωm) multielektródovým meraním	3

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 8 / 1	Geofyzikálny profil STR (M 1 : 1000 / 1000)
Príloha č. 8 / 2	Geofyzikálny profil STRN do 500 m (M 1 : 1000 / 1000)
Príloha č. 8 / 3	Geofyzikálny profil STRN (M 1 : 5000 / 5000)
Príloha č. 8 / 4	Seizmický rez - geofyzikálny profil STRN (M 1 : 1000 / 1000)
Príloha č. 8 / 5	Geofyzikálny profil 4 (M 1 : 1000 / 1000)

1 ÚVOD

Na základe objednávky firmy CAD-ECO a.s., BRATISLAVA (č.019/166/2016/ZA), a na základe schválenej projektovej dokumentácie, boli spoločnosťou GEOPAS s.r.o., Žilina vykonané geofyzikálne merania na úlohe „**Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, podrobný IGHP**“.

Úlohou geofyzikálnych meraní bolo, v spolupráci s priamymi prieskumnými dielami, upresniť geologickú stavbu v oblasti predpokladanej trasy diaľnice, napomôcť určiť hrúbky a charakter kvartérnych materiálov, priebeh predkvartérneho podložia, jeho litologickú charakterizáciu, a tiež určenie miest vertikálnych poruchových zón (tektonických línií). Na vyriešenie zadaných úloh boli použité geoelektrické odporové metódy - realizované v modifikácii multielektródového merania zdanlivých merných elektrických odporov ME (v literatúre sa tiež používa anglická skratka ERT – electrical resistivity tomography), a merania plytkej refrakčnej seizmiky (IS – inžinierska seizmika).

Terénne práce boli realizované v júni 2016. Spracovanie meraní bolo vykonávané priebežne, záverečná správa bola vypracovaná v auguste 2016.

Prvotná dokumentácia je archivovaná spoločnosťou GEOPAS s.r.o.

Geofyzikálne merania boli poddodávkou v rámci geologických prác realizovaných objednávateľom. Predkladaná záverečná správa z geofyzikálnych meraní bude zaradená ako samostatná príloha hlavnej záverečnej správy.

2 PRÍRODNÉ POMERY

Oblasť geofyzikálneho prieskumu sa nachádza v okrese Ružomberok, na severnom okraji obce Hrboltová, v miestach zvažovanej trasy diaľnice D1.

Situácia geofyzikálnych profilov v mierke 1 : 25 000 sa nachádza na obrázku číslo 1, a v hlavnej záverečnej správe na prílohe „Situácia prieskumných diel...“

Územie v miestach profilov má prevažne charakter pasienkov a lesných porastov, terén je kopcovitý, nachádzajú sa tu aj strmé zalesnené svahy, miestami obtiažne schodné.

Horninové prostredie v miestach profilov je tvorené rôznymi druhmi kvartérnych zemín - hlinami, ílmi, suťami, štrkopiesčitými zeminami (deluviálnymi, eluviálnymi a fluviálnymi sedimentami).

Predkvartérne podložie v miestach profilov je tvorené mezozoickými súvrstviami križňanského a chočského príkrovu. V mezozoických súvrstviach križňanského príkrovu sú zastúpené allgäuské súvrstvie (staršia jura - tmavosivé až čierne, miestami škvrnité, jemnozrné ílovité vápence a vápnité ílovce), mráznické súvrstvie (mladšia jura až staršia krieda - sliene, slieňovce, slienité bridlice, slienité vápence) párnické súvrstvie (staršia krieda - vápnité prachovce, slieňovce, tmavosivé slienité organodetritické vápence s vložkami slienitých bridlíc), porubské súvrstvie (staršia až mladšia krieda - slieňovce, ílovito-piesčité bridlice, pieskovce, piesčité vápence, ortokonglomeráty). Chočský príkrov tvoria triasové dolomity a vápence (gutsteinské dolomity a vápence, ramsauské dolomity, reflinské vápence)

Podrobné zhodnotenie prírodných pomerov je uvedené v hlavnej záverečnej správe, ktorej prílohou je správa z geofyzikálnych meraní, vzhľadom k tomu sa všeobecnými prírodnými pomermi táto správa obšírnejšie nezaoberá.

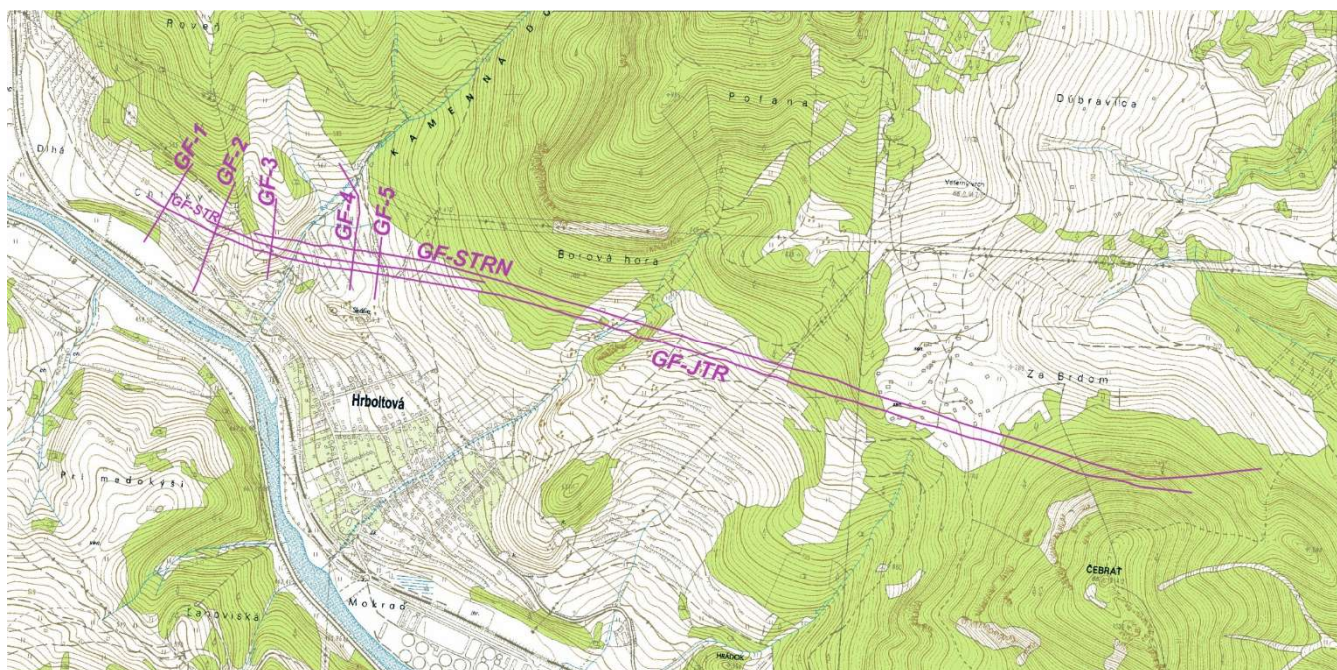
3 METODIKA GEOFYZIKÁLNYCH MERANÍ

Geofyzikálne merania v tejto etape časovo, ako i priestorovo bezprostredne pokračujú v prácach etapy orientačného prieskumu, realizovaného v mesiacoch apríl až jún 2016 (Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, orientačný IGHP). V rámci orientačného IGHP boli povrchové geofyzikálne merania realizované v miestach zvažovanej trasy diaľnice v oblasti západného predpolia tunela Čebrať, a tiež v mieste variantného riešenia jeho južnej tunelovej rúry (profily 1 až 5 a profil JTR - profily s celkovou dĺžkou 5000 m).

V rámci doplnenia v tejto etape prieskumu, boli realizované merania na dvoch variantoch severnej tunelovej rúry (GF – STR a GF – STRN), a tiež bol predĺžený profil 4 smerom na sever. Celková dĺžka doplňujúcich profilov, na ktorých boli realizované geofyzikálne merania je 2500 m. Profil STRN bol pripravený na meranie na dĺžke 3500 m (profil bol vytýčený, presekávaný a geodeticky zameraný), avšak geofyzikálne merania boli realizované len na úseku 0 - 1350 m, keďže v priebehu terénnych prác bol vydaný pokyn na ich zastavenie v štádiu rozpracovanosti.

Profily sa nachádzajú v blízkosti severného okraja obce Hrboltová, a boli lokalizované podľa pokynov geologického riešiteľa úlohy. Merania priamo nadväzujú a dopĺňajú povrchové geofyzikálne merania na úlohe v rámci predchádzajúcich etáp prieskumu. V blízkom okolí boli spoločnosťou GEOPAS s.r.o. realizované povrchové geofyzikálne merania v rámci úlohy „Inžinierskogeologický prieskum stavby diaľnice D1 Hubová - Ivachnová“ (GEOFOS s.r.o., 2006).

Situácia geofyzikálnych profilov v mierke 1 : 25 000 sa nachádza na obrázku číslo 1, a v hlavnej záverečnej správe na prílohe „Situácia prieskumných diel...“



Obr. č. 1 - Situácia geofyzikálnych profilov v mierke 1 : 25 000 (v tejto etape boli realizované profily STR, STRN a predĺženie profilu 4)

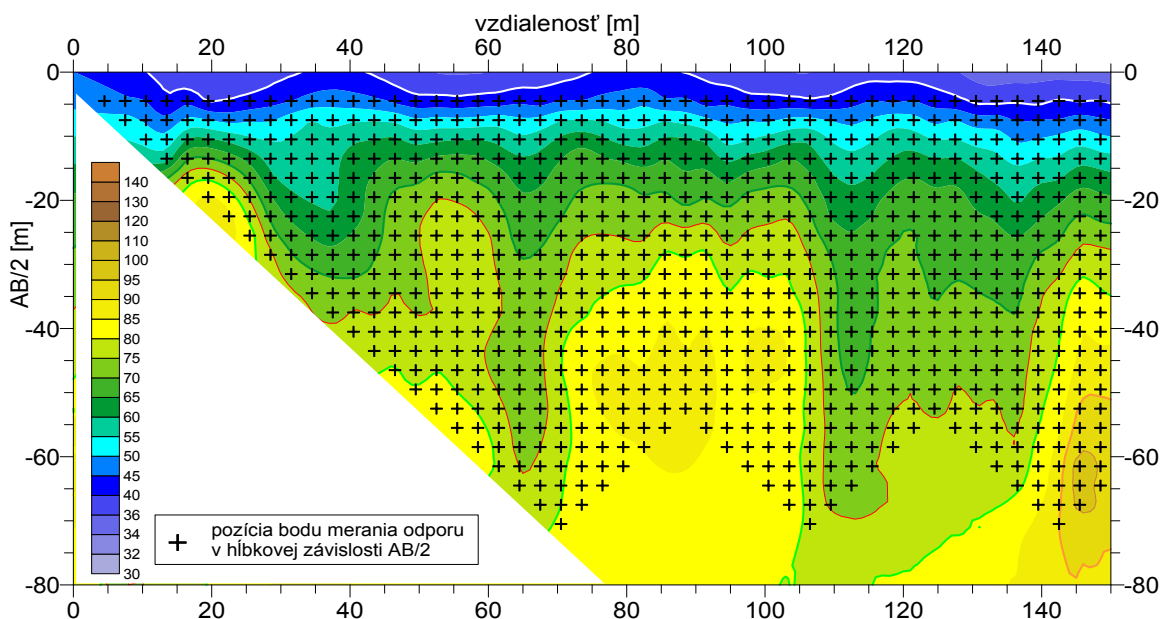
Zadaná problematika bola v súlade s projektom riešená geoelektrickými odporovými metódami - multielektródovým meraním zdanlivých merných elektrických odporov (ME) a meraním plytkej refrakčnej seizmiky – inžinierska seizmika (IS).

Geoelektrické merania boli vykonané na celej dĺžke všetkých profilov (5000 m v etape orientačného prieskumu, a 2500 m v tejto etape). Seizmické merania boli v tejto etape realizované na časti profilu STRN. Celková fakturačná dĺžka seizmického profilu je 220 m. Na profile STRN, kde boli súčasne realizované geoelektrické aj seizmické merania, boli na seizmickom aj geoelektrickom profile zachované rovnaké staničenia vzdialeností.

3.1 Metodika geoelektrických meraní

Úlohou geoelektrických odporových meraní bolo rozčleniť profily z hľadiska priebehu zdanlivého merného elektrického odporu (ρ_z) vo vertikálnom i horizontálnom smere, vyčleniť rovnomeré úseky, alebo odporovo kontrastné prostredia, resp. indikovať zmeny hrúbky a charakteru geoelektrických vrstiev, a tiež indikovať poruchové zóny. Zadaná problematika bola v teréne riešená multielektródovým meraním zdanlivých merných elektrických odporov (ME).

Multielektródový systém používa poloautomatické meranie odporov, pri stabilnom uzemnení väčšieho množstva elektród. V literatúre býva tento systém označovaný aj ako ERT (electrical resistivity tomography). Sieť takto získaných údajov je oproti klasickému meraniu SOP s dvomi rozstupmi, doplnenom meraniami VES, mnohonásobne hustejšia, čo umožňuje presnejšiu vertikálnu i horizontálnu lokalizáciu geoelektrických vrstiev, resp. odporových anomálií. Ukážka systému merania je dokumentovaná na obrázku č. 2.



Obr. č. 2 – Ukážka systému bodov, v ktorých sú získavané hodnoty zdanlivých merných elektrických odporov (Ωm) multielektródovým meraním, pri použití 48 elektród s krokom 3m.

Pravidelná vzdialenosť elektród ME bola v závislosti od požadovaného hĺbkového dosahu a podrobnosti merania volená na jednotlivých profiloch 3 alebo 5 m. Krok 3 m bol použitý

na profiloch, kde bude diaľničné teleso na povrchu, a v miestach portálov. Merací systém využíval Schlumbergerov typ usporiadania elektród. Maximálna vzdialenosť AB pre multielektródový systém bola od 141 m do 475 m (systém 48 – 96 elektród).

Na meranie ME boli použité geoelektrické aparatúry - systém ARES a ARES II/10 (výrobca GF Instruments, s.r.o., Brno), s pamäťovým médiom a filtráciou vstupných hodnôt, doplnené mnohožilovým káblovým systémom MCC5, resp. aktívnym viackanálovým multielektródovým systémom.

3.2 Metodika seizmických meraní

Úlohou seizmických meraní bolo napomôcť pri rozčlenení horninového prostredia a určiť jeho hrúbky na základe rýchlostí elastického vlnenia, s dôrazom na určenie hĺbky a priebehu skalného podložja. Merania boli uskutočnené metódou lomených vln v plytkom variante (inžinierska seizmika). Použitie seizmických metód vychádzalo z rozdielov v rýchlostiach elastického vlnenia v kvartérnych uloženinách, a v skalnom predkvartérnom podloží. Seizmické merania boli realizované na vybranej časti profilu STRN.

Pri meraniach bolo použité rozloženie geofónov (snímačov seizmického vlnenia) s dĺžkou 55 m, s pravidelnými vzdialenosťami geofónov od seba (5 m), pričom prvý geofón sa v prípade budenia energie na okraji rozloženia posúval 2 m od zdroja. Celkový čas T bol registrovaný priamo posledným geofónom. Seizmická energia bola budená na okrajoch rozloženia, v strede rozloženia, a vo vzdialenosti rovnjej polovičnej dĺžke rozloženia od jeho okrajov (tzv. „prístrely“). Na každom rozložení tak bolo získaných päť hodochron (grafov času príchodu vybudenej seizmickej vlny k jednotlivým geofónom).

Seizmické merania boli uskutočnené 12-kanálovou digitálnou seizmickou aparatúrou GEODE s príslušenstvom. Ako zdroj vlnenia boli použité údery kladiva na pevnú podložku

4 INTERPRETÁCIA GEOFYZIKÁLNYCH MERANÍ

4.1.1 Interpretácia geoelektrických meraní

Geoelektrickými odporovými meraniami boli získané hodnoty zdanlivého merného elektrického odporu ρ_z . Tieto boli ďalej spracované kvalitatívne a kvantitatívne.

Z meraní ME boli vyseparované hodnoty odporov pre vybrané usporiadania elektród a zobrazené do kriviek SOP (grafu priebehu ρ_z v závislosti na polohe bodu zápisu).

Údaje multielektródového merania (ME) boli kvantitatívne spracované komerčným interpretačným programom RES2DINV firmy Geotomo Softwarwe. Tento program prepočítava namerané zdanlivé merné elektrické odpory na merné odpory vrstiev a priraduje im hĺbkové intervaly. Podrobne sú program a princípy spracovania popísané na stránke www.geoelectrical.com. Výsledky tohto spracovania sú podané v odporových rezoch (inverzných odporových modeloch) RES2DINV.

Na vybraných miestach profilov boli získané VES, ktoré boli kvantitatívne interpretované. Táto interpretácia spočívala v porovnávaní kriviek VES s teoretickými krivkami, vypočítanými pre modelové viacvrstvé prostredia. Výsledkom interpretácie boli merné elektrické odpory a hrúbky geoelektrických vrstiev v mieste merania VES. Tieto slúžili pre porovnanie interpretácie, pre dopresnenie hĺbok rozhraní, resp. podrobnejšie rozčlenenie vrstiev.

Výsledky oboch interpretačných postupov sú spracované do formy geologicko-geofyzikálnych rezov. Vzhľadom na to, že rezy RES2DINV lepšie postihujú variácie odporov v dô-

sledku litologických zmien, ako diskrétna interpretácia v modeloch VES, bol v geologicko-geofyzikálnych rezoch priebeh rozhraní, interpretovaný z VES upresňovaný na základe odporových rezov. Následne boli vyčlenené geoelektrické vrstvy, ktorých priebeh bol upresňovaný na základe inverzného odporového modelu z ME a tvaru kriviek SOP. Pri interpretácii meraní na jednotlivých profiloch boli zohľadňované aj výsledky priamych prieskumných diel v ich blízkosti, pokiaľ boli v čas spracovania k dispozícii.

4.1.2 Interpretácia seizmických meraní

Seizmické merania boli navrhnuté na základe svojich dobrých rozlišovacích schopností v prostredí s rozdielnymi rýchlosťami elastického vlnenia. Základnou podmienkou úspešnosti aplikácie metódy lomených vln je rast rýchlostí vlnenia s hĺbkou.

Výsledkom seizmických meraní boli sumované digitálne seizmické záznamy pre každý úder kladiva. Zo záznamov boli odčítané časy prvých nasadení. Tieto hodnoty boli vynášané do grafických závislostí časov príchodu seizmických vln na vzdialenosti od zdroja vlnenia. Hodochrony, získané predchádzajúcim postupom, boli interpretované „klasicky“ metódou t_0 . Výsledkom klasickej interpretácie sú hĺbky lámajúcich rozhraní pod jednotlivými geofónmi, hraničná rýchlosť spodného lámajúceho rozhrania (V_h) a vrstevné rýchlosti nadložia. Hraničnou rýchlosťou je vyjadrená kvalita sledovaného rozhrania a je hlavným ukazovateľom pri geologicko-geofyzikálnej interpretácii. Pri praktickej interpretácii bola miesto strednej rýchlosti použitá efektívna rýchlosť do lámajúceho rozhrania, pre ktoré počítame konštantu, pričom platí vzťah $V_{ef} \geq V_{str}$.

Vo výsledných rezoch je, s ohľadom na ich mierku, pre lepšiu prehľadnosť zapracovaný interpretovaný priebeh spodného lámajúceho rozhrania (SLR), daný obalovou krivkou oblúkov hĺbok vypočítaných metódou t_0 s centrom v mieste príslušného geofónu, s uvedením hraničných rýchlostí. Hĺbky vrchnejších rozhraní a vrstevné rýchlosti nadložia boli interpretované tzv. bodovými výpočtami pre každé umiestnenie zdroja. Výpočty boli realizované metódou kritických vzdialeností a metódou tzv. "intercept times". Interpretované hĺbky boli do rezov vynášané v normále na povrch v mieste interpretovaného rozhrania.

Pre prostredia, ktoré sa nachádzajú v miestach merania, bolo možné vo všeobecnosti z literatúry a z praktických skúseností očakávať tieto rýchlostné intervaly: - rozvetraná pôdna vrstva, suchý piesok 100 - 500 m/s, hliny (kvartérne íly) slabo uľahnuté sute (250 - 800 m/s), uľahnuté sute 1000 - 1700 m/s v závislosti od uľahnutosti a obsahu vody. Rýchlosti 1300 - 2000 m/s môžu tiež zodpovedať silne porušeným predkvartérnym horninám charakteru sutí, resp. polskalným horninám. Hraničné rýchlosti nad 2200 - 2500 m/s pravdepodobne zodpovedajú slabo porušeným horninám.

4.2 Výsledky geofyzikálnych meraní a ich geologický výklad

Výsledky interpretácie povrchových geoelektrických meraní na jednotlivých profiloch sú zobrazené na prílohách 8 / 1 – 8 / 5 vo forme priebehu ρ_z zo SOP vo vrchnej časti, pod ním sa nachádza inverzný odporový model RES2DINV, a v spodnej časti je zobrazený geologicko-geofyzikálny rez, v ktorom sú vyčlenené jednotlivé geoelektrické vrstvy, ktorým bol priradený pravdepodobný geologický význam. V prípade, že boli na profile realizované merania plytkej refrakčnej seizmiky, v geologicko-geofyzikálnom reze sú zahrnuté aj základné výsledky jej spracovania vo forme priebehu spodného lámajúceho rozhrania (SLR) a hraničných rýchlostí pod týmto rozhraním.

Výsledky interpretácie meraní inžinierskej seizmiky sú zobrazené na samostatnej prílohe 8 / 4. V týchto rezoch je zakomponovaný graf interpretovaného priebehu spodného lámajúceho rozhrania, hraničné rýchlosti pozdĺž tohto rozhrania, ako aj vrstevné rýchlosti a hĺbky vrstiev, interpretovaných bodovými výpočtami nad spodným lámajúcim rozhraním.

Geofyzikálny profil STR (príloha 8 / 1)

Profil sa nachádza v miestach trasy predpokladaného variantného riešenia severného pásu diaľnice, resp. v miestach priemetu severnej tunelovej rúry na povrch.

Zdanlivé merné elektrické odpory sa na profile pohybujú v širokom rozpätí hodnôt, od 40 až do 1000 Ω m. Najnižšie hodnoty odporov sa vyskytujú v miestach s prítomnosťou pripovrchových kvartérnych ílových zemín, a slieňovcovými a ílovcovými vrstvami v podloží. Najvyššie hodnoty elektrické odpory dosahujú v miestach s výskytom kamenitých sutí a vápencov, na prvej tretine profilu.

Najväčšie hrúbky kvartérnych sutí (na báze štrky ?) sú interpretované vo vzdialenosti 50 – 190 m (20 – 37 m). Od vzdialenosti 263 m nastáva výrazné zmenšenie hrúbky sutí. Na úseku 263 - 365 sú interpretované hrúbky kvartérnych sutí v rozmedzí 2 – 5 m. Od vzdialenosti 365 m po koniec profilu hrúbka kvartéru opäť narastá (7 - 24 m), a prevažujúce zastúpenie tu majú pravdepodobne kamenitoílovité sute, a v blízkosti povrchu íly s úlomkami..

Na úseku 0 – 450 m sú vysoké zdanlivé odpory podmienené prevahou vápencov v reze profilu, v kombinácii s prítomnosťou kamenitých sutí. Od vzdialenosti 450 m sa vápencové vrstvy ponárajú do väčších hĺbok. Pokles zdanlivých odporov od vzdialenosti 450 m je daný nástupom vrstiev s prevahou slieňovcov, alebo ílovcov.

Geofyzikálny profil STRN (prílohy 8 / 2, 8 / 3 a 8 / 4)

Profil sa nachádza v miestach trasy najsevernejšie položeného predpokladaného variantného riešenia severného pásu diaľnice, resp. v miestach priemetu severnej tunelovej rúry na povrch.

Zdanlivé merné elektrické odpory sa na profile pohybujú v širokom rozpätí hodnôt, od 40 až do 900 Ω m. Najnižšie hodnoty odporov sa vyskytujú v miestach s prítomnosťou pripovrchových kvartérnych ílových zemín a slieňovcovými a ílovcovými vrstvami v podloží. Najvyššie hodnoty elektrické odpory dosahujú v miestach s výskytom kamenitých sutí a vápencov, na úseku 0 - 200 m.

Najväčšie hrúbky kvartérnych sutí sú interpretované na začiatku profilu, na úseku 185 - 250 m, a v mieste križovania s profilom 5 (v maximách okolo 17 m).

Na úseku 590 – 810 m bola hĺbka podložia interpretovaná z meraní inžinierskej seizmiky v rozmedzí 8 – 17 m (spodné lámajúce rozhranie). Hraničné rýchlosti na tomto rozhraní sú zväčša nižšie ako 2500 m/s, čo je znakom vysokej porušnosti, a pri hraničných rýchlostiach pod 2000 m/s možno očakávať poloskalné horniny.

Na úseku 0 – 230 m sú vysoké zdanlivé odpory podmienené prevahou vápencov v reze profilu, v kombinácii s prítomnosťou kamenitých sutí.

Od vzdialenosti 270 m sa vápencové vrstvy ponárajú do väčších hĺbok. Postupný pokles zdanlivých odporov smerom po vzdialenosť 620 m je daný nástupom vrstiev s prevahou slieňovcov, alebo ílovcov.

Na úseku 620 – 1340 m sa sa prejavuje nárast odporov v hornej časti inverzného modelu, a relatívne členitý priebeh kriviek SOP. V podloží kvartérnych vrstiev sú interpretované súvrstvia ílovcov, slieňovcov a slienitých vápencov, pričom ílovcové a slieňovcové vrstvy sú v pre-

vahe. Do hĺbok 22 - 65 m sÚ v predkvartérnom podloží sÚ na tomto úseku interpretované strie-
dajúce sa vrstvy slieňovcov a slienitých vápencov do hĺbky - môže sa jednať o blokové deformá-
cie.

V miestach výrazných lokálnych miním na krivkách SOP sÚ vyčlenené tektonické poru-
chy. Z hľadiska nameraných zdanlivých merných elektrických odporov sa javí ako najoslabe-
nejší úsek 470 – 780 m, a miesta výrazných lokálnych miním vo vzdialenostiach 870, 1000,
1050, 1140, 1180 a 1330 m.

Geofyzikálny profil 4 (príloha 8 / 5)

Profil 4 bol predĺžený oproti predchádzajúcej etape o 240 m smerom na sever. V prílohe
je zobrazený celý aj s interpretáciou z predchádzajúcej etapy, avšak samostatný seizmický rez
sa nachádza len v správe z predchádzajúcej etapy.

Najvyššie zdanlivé merné elektrické odpory boli zachytené na úseku 0 – 170 m. Od vzdia-
lenosti 200 m po koniec sÚ odpory relatívne vyrovnané (zväčša nepresahujú úroveň 100 Ω m).
Na úseku od 200 m sa prejavuje nárast zdanlivých odporov s nárastom dĺžky usporiadania elek-
tród, t. j. s narastajúcim hĺbkovým dosahom. Inverzný odporový model tu indikuje prítomnosť
nízkoodporových vrstiev v blízkosti povrchu, v spodných hĺbkach rezu odpory pomerne vý-
razne narastajú.

Materiály charakteru zemín sÚ interpretované do hĺbok 5 m (vzdialenosti 67 a 181 m) až
14 m na konci profilu. Tieto zeminy sÚ tvorené pravdepodobne ílmi s úlomkami a ílovitými
suťami, a na úseku 0 – 188 m tiež kamenitými suťami. Na báze týchto vrstiev sa môžu nachá-
dzať tiež rozvetrané podložné horniny.

Rozhranie medzi horninami charakteru zemín a pevnejším podložím bolo na úseku 250 -
480 m interpretované aj z meraní inžinierskej seizmiky ako priebeh spodného lámajúceho roz-
hrania v hĺbkach 8 – 13 m (V_h 2198 - 3841 m/s). Na úseku 365 – 435 m (križovanie s profilmi
STRN, STR a JTR - portálová oblasť) sa jeho hĺbka pohybuje od 8 m do 12,8 m.

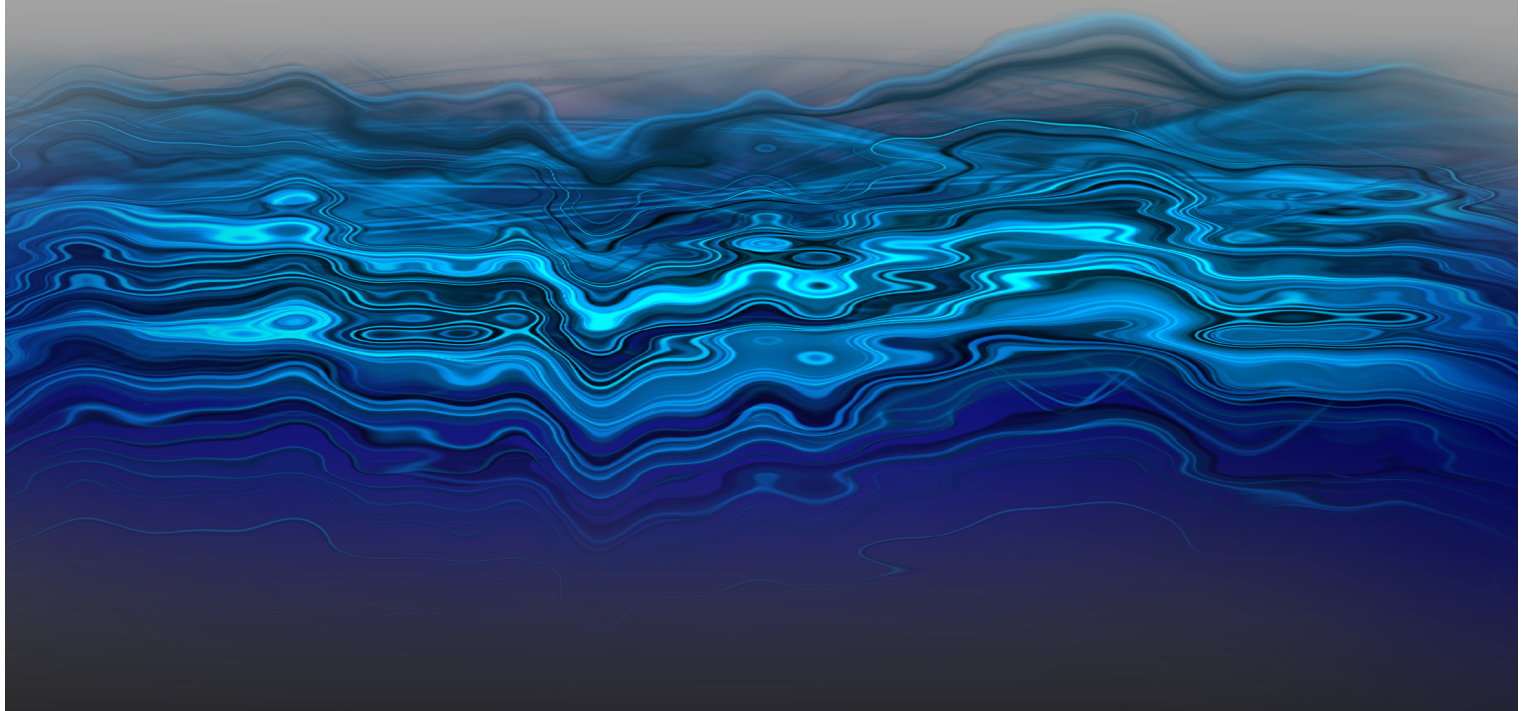
V predkvartérnom podloží sÚ interpretované súvrstvia s vysokým podielom ílovcov, prí-
padne slieňovcov slienitých vápencov, ktoré smerom do hĺbky prechádzajú do slienitých vá-
pencov.

Vypracoval: RNDr. Štefan HULJAK
konateľ GEOPAS s.r.o.

Informatívne georadarové meranie – analýza merania

*úloha: Georadarový prieskum na stavbe diaľnice D1 Hubová -
Ivachnová*

05/2017



1. Identifikačné údaje miesta merania

Lokalita: Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová

Kraj: Žilinský

Okres: Ružomberok

Obec: Hubová

Objednávateľ: CAD-ECO a.s.

Svätoplukova 28

821 08 Bratislava

IČO: 36787957

Zhotoviteľ: GPR systems s.r.o.

A. Medňanského 10428/14C

036 01 MArtin

IČO: 47 689 617

Úloha: georadarový prieskum v trase diaľnice D1

Použitú prístrojové vybavenie:

Podpovrchový sondovací systém-georadar, LOZA -N, antény 6 m
(25MHz), spracovanie nameraných údajov v programe KROT v 14.00

2. Úvod

Georadary línie LOZA sú určené pre študovanie podpovrchovej štruktúry pôdy v hĺbkach od niekoľko metrov až do stoviek metrov, v závislosti od použitého modelu, antény a parametrov média.

Prevádzka georadaru je založená na vyžarovaní ultra-širokých elektromagnetických impulzov prenikajúcich do podpovrchového média a registrácii odrazených signálov vznikajúcich na rozhraní rôznych médií a podzemných objektov.

Charakteristickou vlastnosťou tejto série je vysoký energetický potenciál umožňujúci sondovanie vysoko-vodivých pôd, ako napríklad mokré ílovité pôdy.

Pre dosiahnutie vysokého výkonu bol kompletne prepracovaný klasický dizajn georadaru s tranzistorovým vysielačom s výstupným napätím okolo 50 V a stroboskopickou transformáciou pre registráciu prijatých impulzov. Výsledkom je zosilnenie špičkového výkonu faktorom cca. 10 000, pričom stroboskopická transformácia bola nahradená priamou registráciou signálu bez transformácie na nízke frekvencie. Ako anténa (resp. jej hlavný vyžarovací prvok) je použitá odporová dipólová anténa, ktorá zabráňuje „zvoneniu“ stále prítomnému v prípade klasických „motýlikových“ antén a maskuje slabé odrazené signály oproti silne rušivému pozadiu. Kľúčovým prvkom vysielača je vysoko-tlakový vodíkový vybíjač. Vysielač pracuje v autonómnom režime, ktorý umožňuje elimináciu prepojovacích káblov a následne zabránenie silnému rušeniu prijímača vysielačom (Pozn.: dokonca aj optické vlákna použité pre synchronizáciu v najlepších svetových georadaroch vytvárajú vlnovod pre rušivý signál).

V georadaroch LOZA je synchronizácia prijímača dosiahnutá prvou prichádzajúcou vzdušnou vlnou, ktorá sa prejavuje určitou osobitosťou používania zariadenia. Napríklad, pri práci v blízkosti TV vysielača je potrebné zvýšiť prah synchronizácie pre zabránenie dodatočnému rušeniu. Autonómna schéma prevádzky umožňuje jednoduchú implementáciu režimu „vertikálneho sondovania“ (variabilná kompenzácia) pre vykreslenie časového diagramu GPR. Jedná sa o základnú metódu stanovenia hĺbky skutočnej vrstvy alebo objektu ako aj rýchlosti EM vlny, t.j. parametrov pôdneho materiálu. Odnímateľné antény je možné jednoducho vymeniť a zmeniť tak frekvenčný rozsah georadaru, čo si často vyžadujú špecifické pracovné podmienky. Aj týmto sa georadary LOZA odlišujú od iných svetových GPR modelov, ktoré majú antény pevne pripevnené k vysielaču a prijímaču pre zachovanie relatívnej pozície.

Všetky modely georadarov tejto línie: LOZA-M, LOZA-V, LOZA-N a LOZA-K majú spoločný princíp prevádzky, približne rovnaký energetický potenciál a podobnú konštrukciu. Odlíšujú sa systémami antén, frekvenčným rozsahom, frekvenciou diskretizácie, režimom zobrazenia a typom displeja (monochromatický alebo farebný). To umožňuje vyriešiť rôzne inžinierske problémy, kde je zvyčajne potrebné zvoliť kompromis medzi penetračnou hĺbkou a priestorovým rozlíšením. Niektoré parametre zariadenia (napr. časové okno registrácie alebo charakteristiky amplitúdy registrovaného signálu) môžu byť prispôsobené požiadavkám zákazníka a uložené do vstavaného mikroprocesora.

Georadary línie LOZA preukazujú svoju efektívnosť vo veľkom množstve rôznych aplikácií, ako napríklad:

- Inžinierska geologická obhliadka pri konštruovaní lineárnych alebo povrchových stavieb;
- Kontrola pôdy v procese výstavby a ťažby (základy, železnice alebo podložia diaľnic, atď.);
- Vyhľadávanie prírodných alebo umelých dutín v zemi (krasové jaskyne, tektonické zlomy) alebo v konštrukciách budov (praskliny, dutiny);
- Zisťovanie hrúbky deformácie zeme, mapovanie podložia/rozhraní sedimentov;
- Kontrola kvality mostov, stĺpov, tunelov, atď.;
- Detekcia ekologicky nebezpečných skládok materiálov;
- Nedeštruktívne mapovanie uzavretých dutín, zakopaných žľabov, hraníc pôdneho zamorenia, priesakov, atď.

3. Základné technické parametre georadaru LOZA-N

Georadar Loza-N (1-50MHz) je strednofrekvenčný impulzný elektromagnetický georadar umožňujúci vykonávať prieskum pôdy v hĺbke do 200 metrov. Georadar umožňuje skúmať geologickú štruktúru pôdy, určovať anomálne zóny zavlhčenia, sadania pôdy, krasov, výmoľov atď. Prístroj našiel široké uplatnenie pri riešení geologických úloh pre cestné stavitel'stvo, pôdoznanectve, inžinierskej geológie, archeológie a sledovanie hlbinných trás horizontálneho a šikmého vrtania.

Základné technické parametre Loza-V

Rozsah pracovnej frekvencie, MHz.....	1-50
Špičkové impulzné napätie, kV	>5,5
Registračný dosah, ns.....	256, 512, 1024,2018
Radarový potenciál, dB	120
Miera opakovania , Hz	1000
Rozsah pracovných teplôt, °C	-20 +50

4. Metóda merania

Hĺbka penetrácie závisí hlavne od elektrickej vodivosti pôdy a centrálnej frekvencie sondovacieho EM impulzu. Dielektrická permitivita pôdy ovplyvňuje rýchlosť EM propagácie (šírenia) a charakteristickú vlnovú dĺžku. Pre určenie hĺbky skutočne reflexného rozhrania je potrebné poznať rýchlosť propagácie (šírenia) v podpovrchovom médiu.

Elektromagnetické vlny sa čiastočne odrážajú na rozhraniach medzi vrstvami s odlišnou permitivitou a tým aj odlišnými propagačnými rýchlosťami. Reflexný koeficient je daný Fresnelovým vzorcom: $R = (\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}) / (\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2})$

Kde ϵ_1 je dielektrická permitivita prvej vrstvy a ϵ_2 je dielektrická permitivita druhej vrstvy.

Zemná vlhkosť a obsah minerálnych solí zhoršujú podmienky propagácie EM vlny a znižujú penetračnú hĺbku – vid'. Tab. 1.

Tab. 1. Elektrické vlastnosti pôd a minerálov pri frekvencii 100 MHz

No	Médium	ϵ (dielektrická permitivita)	Γ (útlm), dB/m	V (rýchlosť) cm/ns
1	Vzduch	1	0	0,1
2	Čerstvá (pitná)voda	81	0,18	0,03
3	Morská voda	81	330	0,1
4	Suchý piesok	2,6	0,14	0,07
5	Mokrý piesok	25	2,3	0,07
6	Suchá hlina	2,5	0,11	0,1
7	Mokrú hlina	19	7,9	0,03
8	Suchá ílovitá pôda	2,4	0,28	0,1
9	Mokrú ílovitú pôdu	15	20	0,07
10	Mokrý čadič	8	5,6	0,07
11	Granit	7	0,62	0,1
12	Ílovitá bridlica	7	45	0,03
13	Mokrý pieskovec	6	24	0,1
14	Mokrý vápenec	8	14	0,07
15	Železo	1	$1,7 \times 10^7$	0,07

Zníženie centrálnej frekvencie vysielajúcich a prijímajúcich antén zvyšuje penetračnú hĺbku, ale znižuje hĺbkové rozlíšenie v dôsledku nárastu vlnovej dĺžky. Napr. ak je vodivosť pôdy nezávislá od frekvencie, dvojnásobné zníženie frekvencie spôsobí proporcionálne zvýšenie penetrácie a zníženie rozlíšenia o faktor 2 (dva).

EM profilovanie (fixné offsetové mapovanie). Pre skúmanie vertikálnej štruktúry pôdy v danom priereze sa georadar LOZA so zafixovanými prijímacími / vysielacími anténami posúva pozdĺž profilu. Meračí krok pozdĺž profilu je potrebné zvoliť podľa požadovanej miery detailu skúmaného objektu. Pre malé objekty (potrubia, káble, atď.) je odporúčaný krok 5-10 cm, geologický prieskum (napr. pieskové ložisko) to môže byť 50-100

cm. Pre dosiahnutie vysokej kvality profilovania odporúčame pri každom meraní zastaviť a položiť antény na zem. Ďalší prevádzkový režim je vhodný na predbežný prieskum rozsiahlych území. V tomto prípade je georadar posúvaný bez prerušenia pri rýchlosti okolo 3-4 km/h (rýchlosť chôdze). Georadar je prepnutý do automatického režimu, operátor by mal zachovať konštantnú medzeru medzi (3-5 cm) anténami a povrchom zeme.

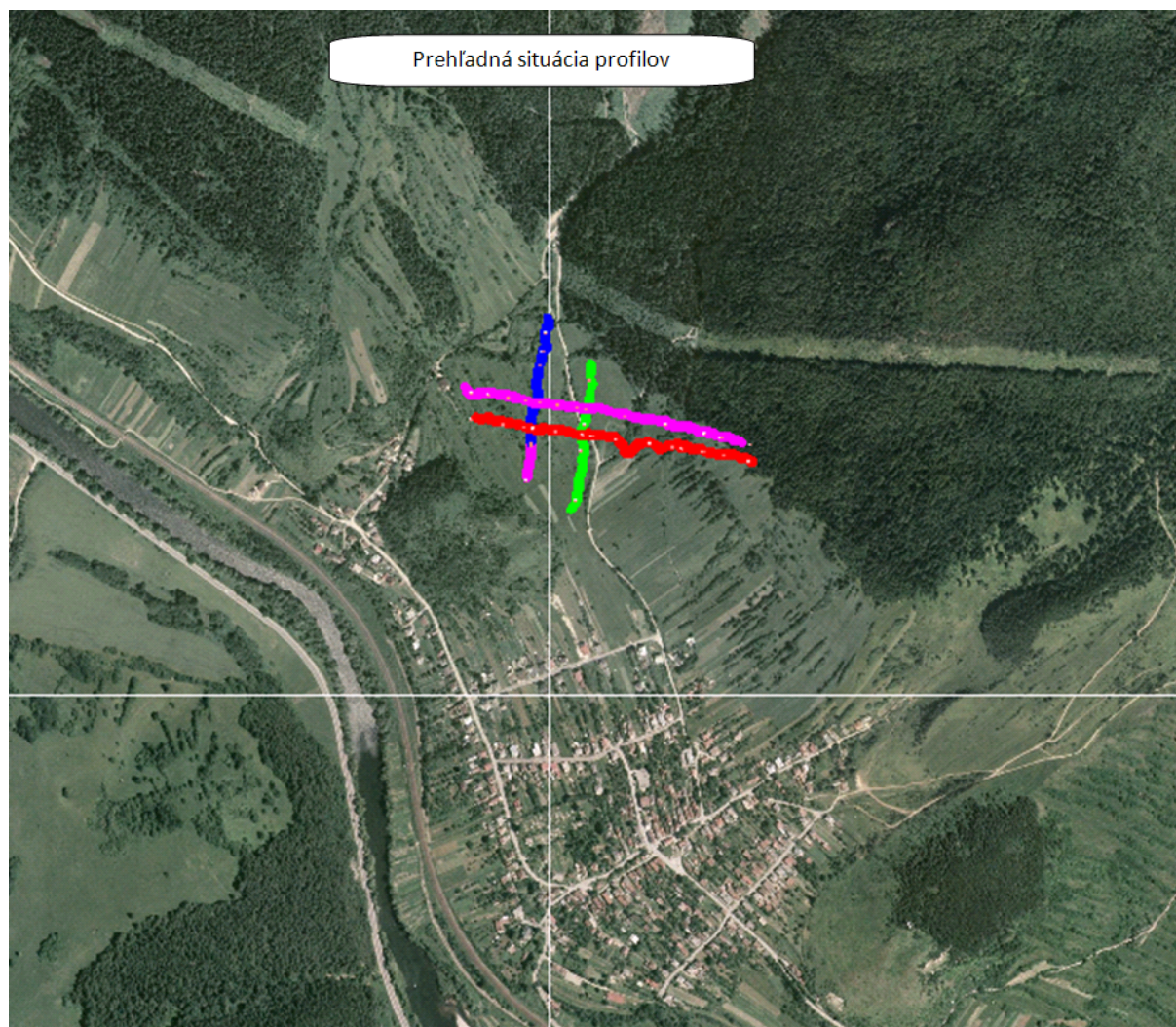
Namerané dáta sú zobrazené na LCD displeji vo forme binárneho diagramu zobrazujúceho čas návratu podpovrchových odrazov radaru – jeden stĺpec pre každý meraný bod. Na Obr.1 je uvedený príklad. Impulzné časy, odvíjajúce sa od hĺbky odrazu a rýchlosť propagácie, sa menia pozdĺž profilu zobrazujúc tak vrstvenú podpovrchovú štruktúru.



Obr.1 EM profilovanie

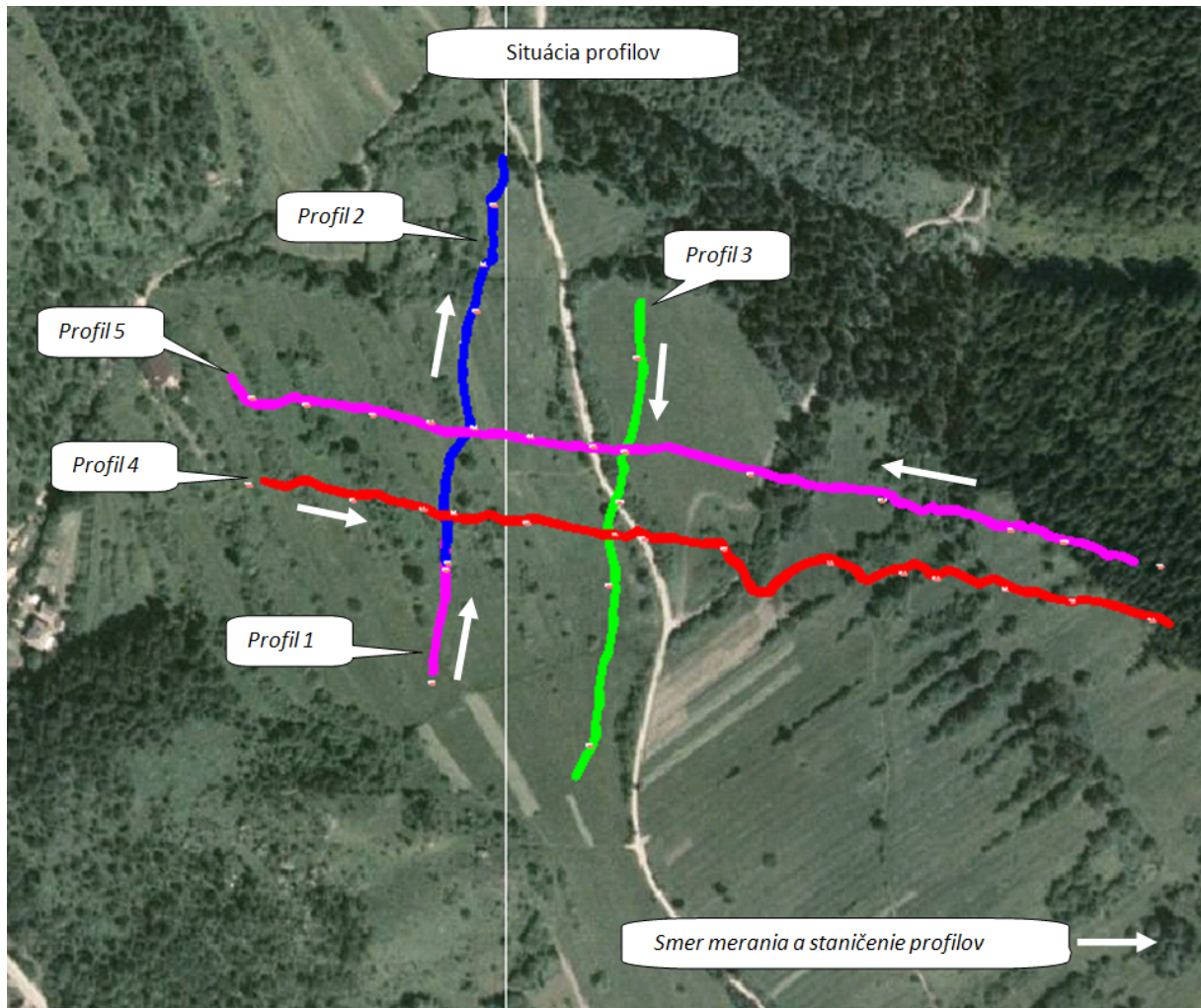
Pri skúmaní dlhých objektov (potrubia, káble) je potrebné si zapamätať, úroveň odrazeného signálu závisí na polarizácii vlny. Maximálnu úroveň možno dosiahnuť pri pozdĺžnej orientácii dipólov (pozdĺž skúmaného objektu).

5. Prehľadná situácia



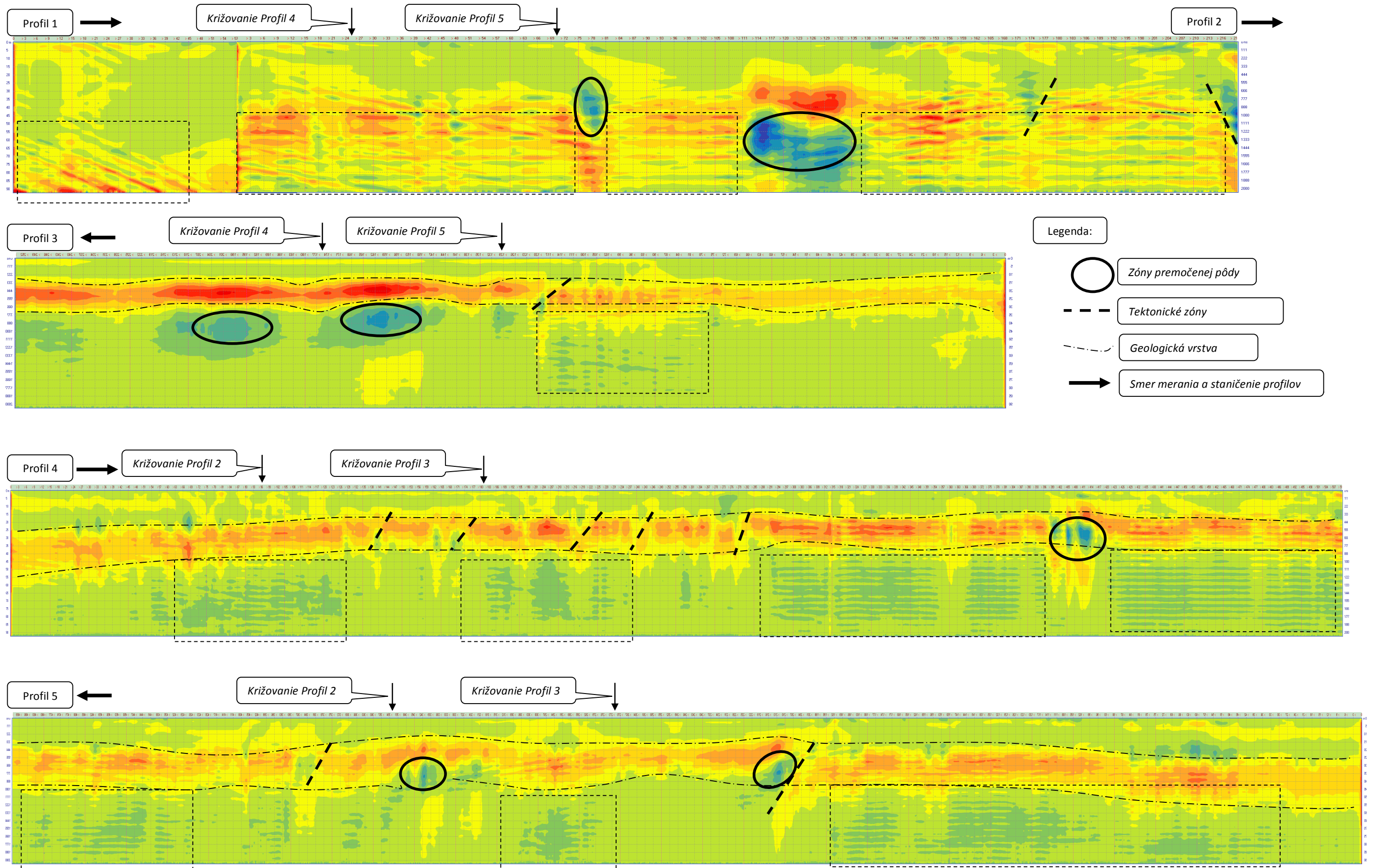
Obr. 2 Prehľadná situácia profilov

6. Situácia profilov

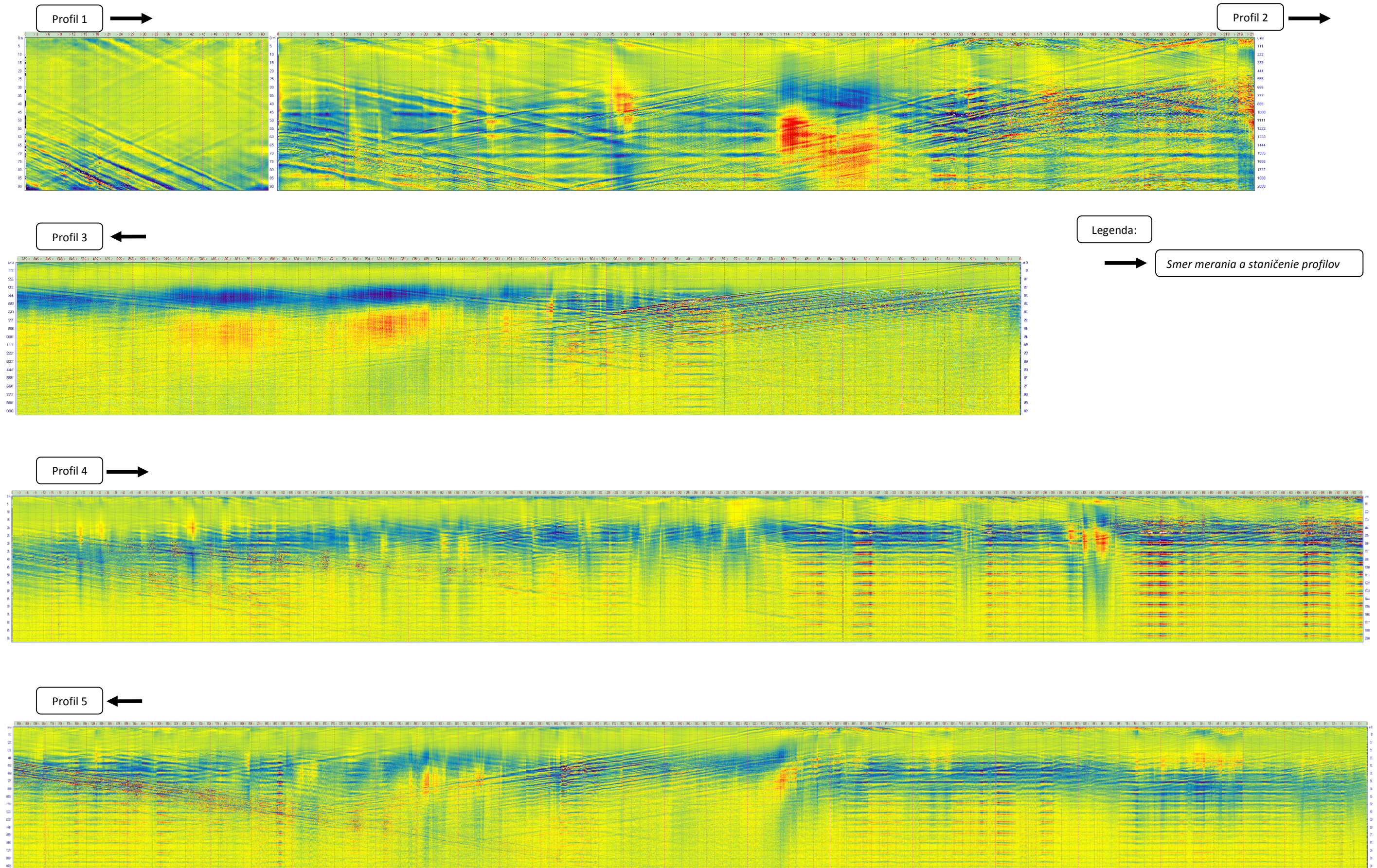


Obr. 3 Situácia profilov

1. Analýza georadarových dát



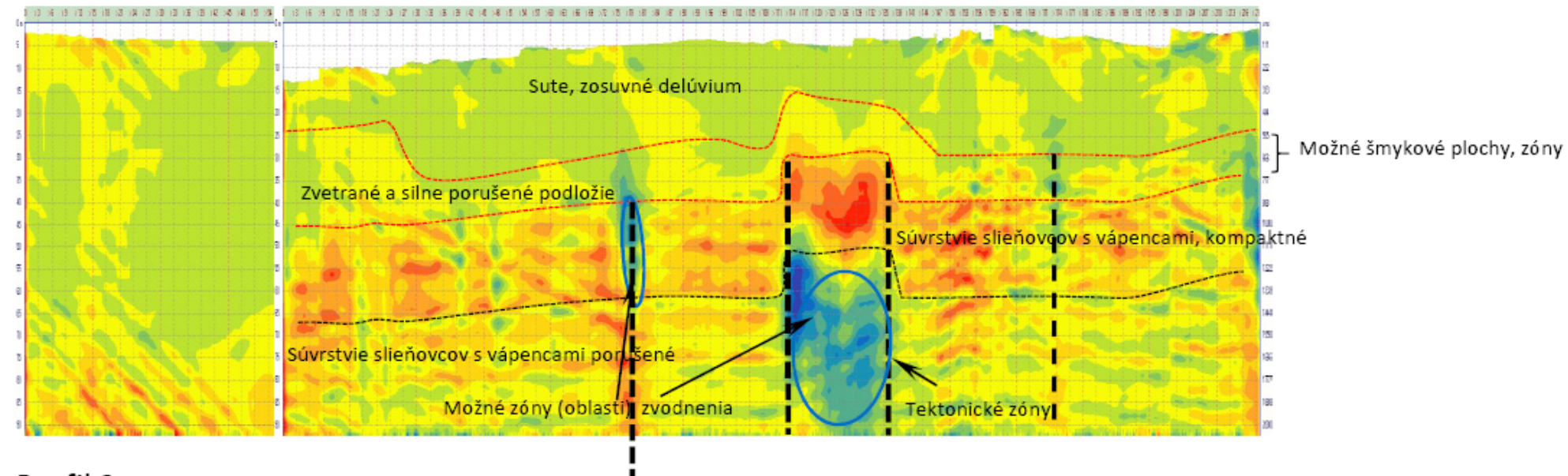
2. Namerané radarogramy



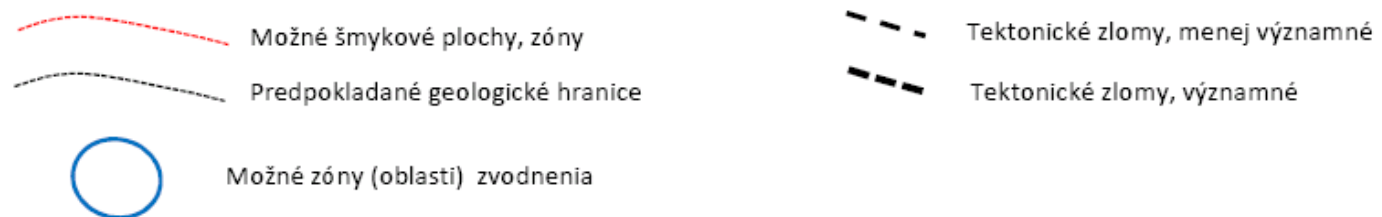
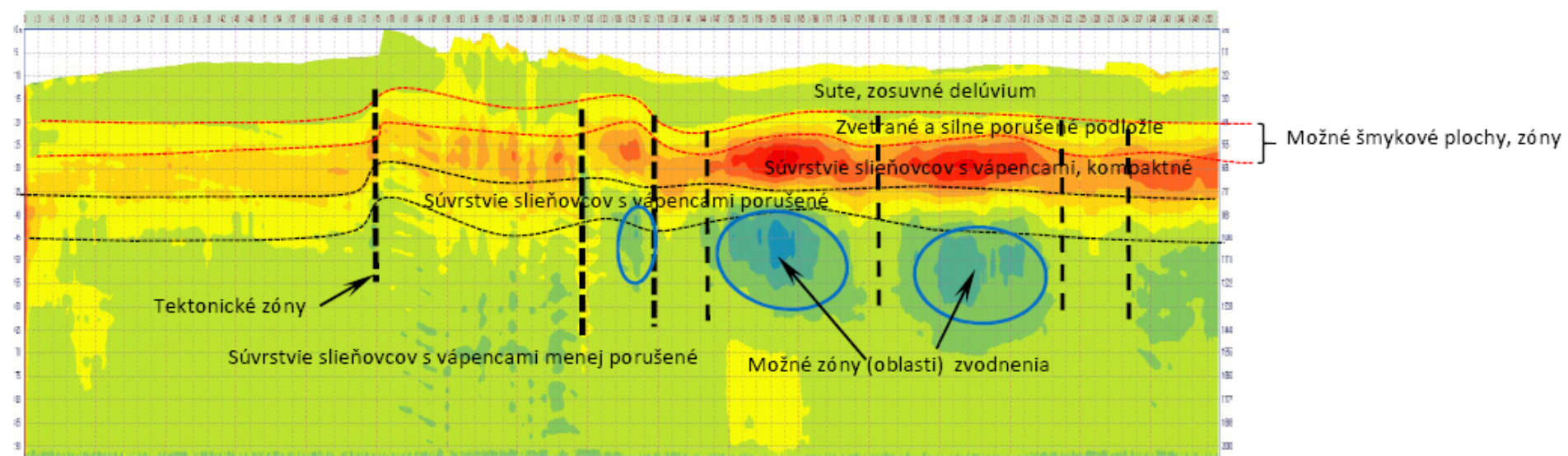
3. Geologická interpretácia georadarových meraní

Mierka 1:2000

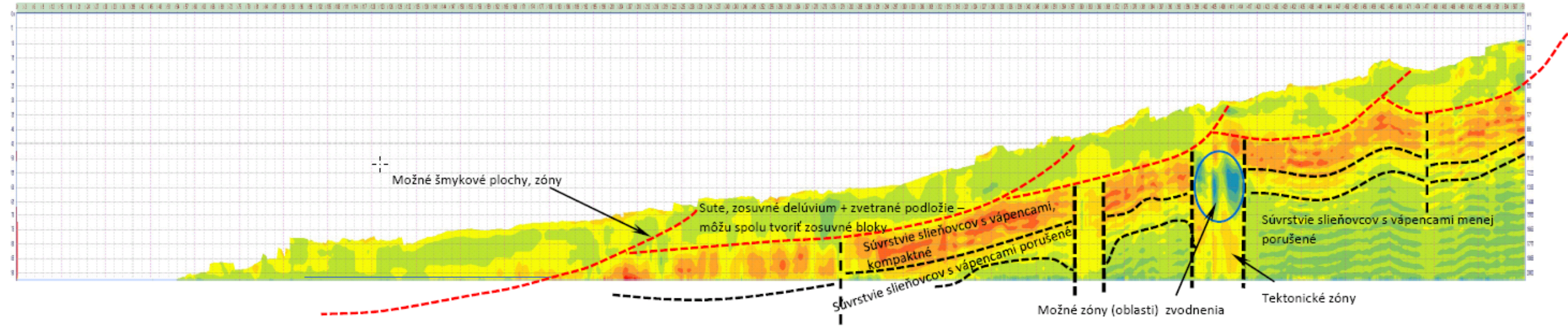
Profil 1 a 2



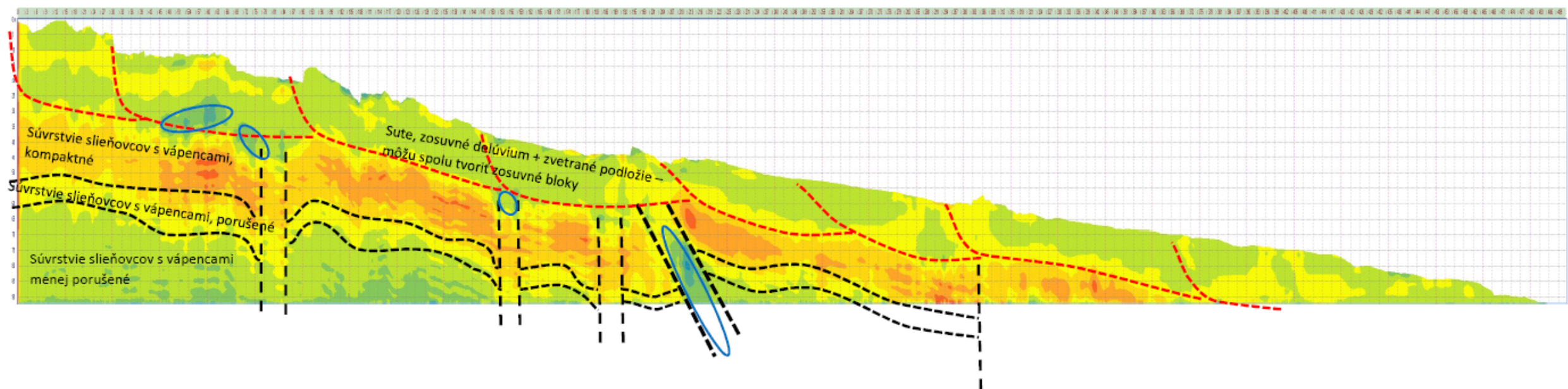
Profil 3



Profil 4



Profil 5



10. Záver

Georadar s anténami s frekvenciou 25 MHz zaregistroval spojité odrazy z maximálnej hĺbky približne 95 metrov.

Odrazy vĺn v podloží nie sú veľmi výrazné, väčšinou sú nespojité a nepravidelné. Tieto odrazy sú typické pre staršie uľahlé zosuvy. Malý kontrast hovorí o malých zmenách vo vodivosti a permitivite prostredia. Vlna má veľký útlm a rozpadáva sa o množstvo drobných objektov

Prehľad dĺžok profilov:

- Profil 1: 72,50m
- Profil 2: 219,50m
- Profil 3: 255,00m
- Profil 4: 510,50m
- Profil 5: 492,00m

Náchylnosť masívu pôdy v profiloch na vytvorenie zosuvných procesov sa prejavila v zjavných príznakoch, zistených počas georadarového prieskumu.

Profil 1 a 2:

- v 75,0-61,0 metra v hĺbke 20,0-55,0 metra a v 111,0-135,0 v hĺbke 50,0-80,0 metra boli lokalizované zóny s vysokým obsahom podzemnej vody
- v 174,0 metra a 216,0 metra boli zistené plochy zosuvu začínajúce v hĺbke 30,0 do 55,0 metra
- čiarkovanými čiarami sú vyznačené odrazy od objektov, ktoré nebolo možné odfiltrovať

Profil 3:

- v 150,0-171,0 metra v hĺbke 30,0-45,0 metra a v 195,0-207,0 v hĺbke 40,0-50,0 metra boli lokalizované zóny s vysokým obsahom podzemnej vody
- v 117,0 metra bola zistená plocha zosuvu začínajúca v hĺbke 20,0 do 30,0 metra
- čiarkovanými čiarami sú vyznačené odrazy od objektov, ktoré nebolo možné odfiltrovať
- bodkočiarkovanou čiarou je vyznačená v radarograme súvislá geologická vrstva

Profil 4:

- v 399,0-417,0 metra v hĺbke 20,0-35,0 metra bola lokalizovaná zóna s vysokým obsahom podzemnej vody
- v 141,0 , v 174,0 , v 219,0 , v 240,0 a v 279,0 metra boli zistené plochy zosuvu začínajúce v hĺbke cca 18,0 do 35,0 metra
- čiarkovanými čiarami sú vyznačené odrazy od objektov, ktoré nebolo možné odfiltrovať
- bodkočiarkovanou čiarou je vyznačená v radarograme súvislá geologická vrstva

Profil 5:

- v 210,0-216,0 metra v hĺbke 25,0-40,0 metra a v 339,0-345,0 v hĺbke 30,0-40,0 metra boli lokalizované zóny s vysokým obsahom podzemnej vody
- v 207,0 a v 381,0 metra boli zistené plochy zosuvu začínajúce v hĺbke cca 25,0 do 45,0 metra
- čiarkovanými čiarami sú vyznačené odrazy od objektov, ktoré nebolo možné odfiltrovať
- bodkočiarkovanou čiarou je vyznačená v radarograme súvislá geologická vrstva

Vypracoval:

Ing. Michal Marček

GPR systems s.r.o.
A. Medňanského 10428/14C
036 01 MArtin
IČO: 47 689 617

VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH

1. Úvod

V zmysle Projektu geologickej úlohy 166/2016/ZA (registračné číslo GEOFONDu: 18/2016) „**Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa**“ sme, v súlade s požiadavkami objednávateľa (Združenie ČEBRAŤ), vykonali geofyzikálne, presnejšie povedané karotážne merania v účelových (štruktúrnych) vrtoch situovaných v portálovej časti a v trase tunela Čebrať.

Celkovo boli karotážne merania vykonané v **sedemnástich (17 ks) účelových vrtoch s celkovou metrážou 1844 m**. V sume celkovej metráže nie je započítaných 16 m merania kavernometrie vo vrte NT-03, ktoré sa podarilo realizovať pred tým, ako sa vrt samovoľne zavalil a stal sa pre ďalšie karotážne merania nepriechodným.

Karotážne merania vykonali pracovníci firmy CAD ECO a. s. Mgr. Martin Borovský a Ing. Ladislav Stolárik, v období od 13.4.2016 do 16.5.2017, s použitím karotážnej aparatúry od spoločnosti ALT (Advanced Logic Technology) a špecializovaného hardvérového a softvérového vybavenia.

Na skúmanej lokalite bol v štruktúrnych vrtoch použitý nasledujúci komplex karotážnych geofyzikálnych metód:

- metóda odporovej karotáže (Ra);
- karotáž prirodzenej rádioaktivity (GK);
- metóda zisťovania technického stavu vrtu: kavernometria (KM), inklinometria (IM);
- meranie fyzikálnych vlastností kvapalín – termometria (TM), meranie vodivosti;
- kamerová sondáž pre stanovenie a spresnenie charakteru a štruktúr horninového masívu.

Karotážne merania vo vrtoch boli realizované po ukončení vrtných prác, pričom nestabilné polohy vrtov (prevažne kvartérne zeminy, prípadne silno zvetrané horniny vo vrchných polohách vrtov), zostávali aj počas karotážnych meraní prepažené, aby sa tak znížilo riziko zavalenia vrtu, príp. obmedzenia jeho priechodnosti.

Kompletný zoznam karotážnych meraní realizovaných vo vrtoch uvádzame v tabuľke č.1.

Tabuľka 1 Prehľad realizovaných karotážnych meraní vo vrtoch

Názov vrtu	Dátum merania	Hĺbka vrtu / karotáž	Kavernometria	Inklinometria	Termometria a konduktometria	Prirodzená rádioaktivita	Rezistivimetria	Kamerová sondáž
NT-01	13.4.2016	40 / 40 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-02	21.4.2016	40 / 40 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-03	26.4.2016	35 / 16 m	✓	✗	✗	✗	✗	✗
NT-04	2. a 5.5.2016	40,4 / 40 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-06	10. a 13.6.2016	40 / 38 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-07	6.6.2016	45,5 / 44 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-08	30.5.2016	45,5 / 44 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-09	10.5.2016	45 / 44 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-10	20. a 23.5.2016	45 / 44 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-11	21.6.2016	65 / 64 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-12	8. a 10.2.2017	125 / 124 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-13	9., 11. a 13.12.2016	145 / 145 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-14	1. a 2.12.2016	165 / 164 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-15	15. a 20.2.2017	220 / 219 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-16	4.,6.,8. a 9.3.2017	260 / 260 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-17	1. a 6.12.2016	325 / 324 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NT-30	16.5.2017	210 / 210 m	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2. Postup realizácie karotážnych meraní

Karotážne meranie sa vykonáva pomocou spúšťania geofyzikálnych sond, merajúcich sledované veličiny, do priestoru vrtu na nosno-komunikačnom lanku. Toto lanko je uložené na motorizovanom navijaku. Sondy sú spúšťané jednotlivo alebo vo vhodných kombináciách – podľa prevládajúcich geologických a technických podmienok v skúmanom vrte. Záznam údajov je kontinuálny, vo vopred stanovených krokoch (najčastejšie 5 až 10 mm), pri kamerovom zázname je tento krok zhustený na 1,0 mm. Zber údajov prebieha počas zapúšťania, resp. vyťahovania karotážnych sond v požadovaných hĺbkach alebo v celom profile vrtu, pričom výsledky sú zaznamenávané pomocou dátovej jednotky BBOX[®] a zobrazované v reálnom čase prostredníctvom softvéru Logger[®] a WellCAD[®] na špecializovanom počítači.



Ilustračný obrázok 1: Spúšťanie karotážnej sondy do vrtu

3. Charakteristika jednotlivých karotážnych sond použitých pri riešení zadanej úlohy

Sonda QL40 CAL (kavernometria KM)

Sonda je určená na meranie vnútorného priemeru steny odpaženého vrtu. Meranie indikuje poruchové zóny a anomálie, ktoré sú spojené so zmenou priemeru vrtu. Sonda pozostáva z troch nezávisle pohyblivých ramienok (hmatadiel), ktoré sa po zapustení do požadovanej hĺbky vo vrte roztvoria a dotknú sa steny vrtu. Počas vyťahovania sondy smerom nahor ramienka kĺžu po stene vrtu a kopírujú jej tvar, pričom zaznamenávajú zmeny priemeru vrtu.

Sonda QL40 GRA (prirodzená rádioaktivita GK)

Sonda je určená na meranie úhrnnej aktivity (expozičného príkonu) gama žiarenia, resp. γ -aktivity, ktorá je spôsobená prirodzenou rádioaktivitou prvkov (predovšetkým ^{238}U , ^{40}K , ^{232}Th), obsiahnutých v horninách a zeminách, ktoré boli zaznamenané v profile vrtu.

Sonda QL40 DEV (inklinometria IM)

Sonda je určená na meranie inklinometrie vo vrte. Dokáže merať sklon a trajektóriu vrtu a to buď voči magnetickému severu alebo pomocou trojice akcelerometrov s ohľadom na referenčný bod. Kombináciou týchto dvoch subsystémov je možné stanoviť uhol sklonu, pootočenia a azimut vrtu. Analyzovaním týchto veličín môžeme stanoviť presnú polohu a orientáciu vrtu v priestore a vystihnúť trajektóriu vŕtania.

Sonda QL40 FTC (termometria TM, konduktometria)

Sonda poskytuje informácie o teplote a vodivostných parametroch kvapaliny nachádzajúcej sa vo vrte. Vodivosť kvapaliny je závislá na koncentrácii rozpustených minerálov a na jej teplote a v hydrogeológii sa spolu s termometriou využíva na vysledovanie zón prítokov kvapaliny do vrtu. V rámci geofyzikálnych meraní uvádzame hodnoty konduktivity prepočítané na teplotu 25°C.

QL40 ELOG/IP (elektrokarotáž)

Sonda je určená na kombinované merania hodnôt spontánneho potenciálu (VSP), meranie hodnôt zdanlivých merných odporov ρ_z v preddefinovaných rozostupoch elektród N8, N16, N32 a N64 ("), metódy jednobodového odporu (SPR), prípadne aj na meranie indukovanej polarizácie horninového prostredia. Keďže táto sonda využíva na prenos impulzov vodivosť okolitého prostredia, je možné ju použiť iba v prípade, ak je vrt dostatočne saturovaný vodivou kvapalinou.

Sonda QL40 OBI (kamerový záznam)

Sonda je určená na optické zobrazenie a záznam steny vrtu, v suchom, ale aj zaplavenom vrte, pokiaľ je výplňová kvapalina dostatočne priehľadná. Kamerovou sondou je možné získať úplný obraz steny vrtu (360°). Za optimálnych podmienok dokážeme jeho interpretáciou identifikovať jednotlivé litologické, stratigrafické a tektonické štruktúry, spolu s ich orientáciou voči magnetickému severu, resp. voči zvolenému systému súradníc. Pre úplnú stabilizáciu a zabezpečenie správnej (koncentrickej) polohy sondy vo vrte sa používajú prídavné zariadenia, tzv. centrátory.

Karotážne príslušenstvo

Navijak je vybavený zberným bubnom, na ktorom je uložené nosno-komunikačné lanko, ktoré spája karotážnu sondu vo vrte s operačným a dátovým centrom na povrchu. Kábel je automaticky ukladajúci vo vrstvách na bubon prostredníctvom mechanického ukladáča kábla, na ktorom je umiestnený merač dĺžky odvinutého, resp. navinutého lana. Navijak je poháňaný elektromotorom s napájaním striedavým prúdom 230 V/50 Hz. Maximálna operačná dĺžka navijaku je 1000 m.

Dodávka energie pre karotážnú súpravu sa zabezpečuje podľa potreby buď trakčným akumulátorom s dostatočne výkonným invertorom DC/AC alebo pomocou autonómneho stabilizovaného zdroja energie (digitálna energocentrála).



Ilustračný obrázok 2: Príprava a realizácia karotážneho merania

4. Vysvetlenie obsahu príloh

Hodnoty vybraných nameraných veličín, zistených v priebehu merania, sú (s výnimkou vrtu NT-03) spracované pre každý štruktúrny vrt samostatne a sú prezentované v jednotlivých listoch záznamu karotážneho merania, ako prílohy s označením **7.1** až **7.16**. V jednotlivých stĺpcoch každej prílohy sú graficky znázornené namerané geofyzikálne veličiny, ktoré sú výstupom karotážnych meraní v štruktúrnych vrtoch.

Vodivosť a teplota vody je výstupom meraní zo sondy QL40FTC, ktorá zisťuje teplotu a vodivosť kvapalín nachádzajúcich sa v priestore vrtu. Pri prieniku sondy do kvapaliny vo vrte dochádza k zmene priebehu kriviek teploty a vodivosti, ktoré identifikujú hladinu podzemnej vody. V prípade, ak aj v ďalších hĺbkových úrovniach dochádza k náhlým zmenám priebehov, tieto miesta ďalej skúmame a ďalej interpretujeme (napr. ako polohy s možnými prítokmi alebo prúdením podzemnej vody v prostredí). Teplota je stanovená v stupňoch Celzia ($^{\circ}\text{C}$) a vodivosť v $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Uvádzané hodnoty vodivosti sú prepočítané na teplotu 25°C .

Meraný priemer vrtu je výstupom kavernometrickej sondáže, ktorá poskytuje kontinuálny záznam priemeru steny vrtu. Miesta náhle zmeny krivky, znázorňujúcej meraný priemer steny vrtu, (zväčšenie priemeru) možno interpretovať ako polohy, ktoré sú tektonicky porušené, pričom stena vrtu je nestabilná a dochádza k jej rozvoľňovaniu a prípadnému vypadávaniu úlomkov. Priemer vrtu je uvádzaný v milimetroch.

Azimut určuje smerovanie vrtu voči svetovým stranám, resp. voči severu. V zóne, kde je vrt prepažený, nie sú merania smeru preukazné, nakoľko magnetické senzory v inklinometrickej sonde a kamerovej sonde sú ovplyvňované zvyškovým magnetizmom ocelevej pažnice. Z rovnakého dôvodu je v ocelevej pažnici znemožnené stanovenie geografického, resp. magnetického severu. Hodnota azimutu je stanovená v stupňoch. **Náklon** určuje odchýlku vrtu od zvislice. Aj hodnota náklonu je stanovená v stupňoch.

Krivka **prírodzenej rádioaktivity** je výstupom merania gamakarotáže pomocou scintilačného detektora, merajúceho úhrnnú γ -aktivitu rádioaktívnych prvkov, predovšetkým ^{238}U , ^{40}K a ^{232}Th . Miesta zmien, resp. nárastu intenzity prírodzenej rádioaktivity môžu byť napr. interpretované ako

polohy so zvýšeným stupňom tektonického porušenia, resp. ako polohy s vyšším obsahom minerálov, v ktorých sa koncentrujú rádioaktívne prvky. Výstupnou jednotkou merania je API (American Petroleum Institute).

VSP alebo krivka spontánnej polarizácie

je krivkou prirodzeného napätia, t.j. spontánneho potenciálu, vznikajúceho zväčša na základe elektrochemickej, prípadne mechanickej aktivity v horninovom prostredí. Určujúcim faktorom pri ňom je prítomnosť podzemnej vody. Výsledky merania VSP slúžia na upresnenie litologickej štruktúry, prípadne aj na určenie priepustných zón s prúdením kvapalín v horninovom prostredí.

Krivky **rezistivimetrie** sú výsledkom kontinuálneho odporového profilovania vrtu, pričom pokles merného odporu ρ_z môže byť interpretovaný ako poloha hornín s vyššou vodivosťou, prípadne ako vodivejšia zóna, ktorá je rozvoľnená (tektonická porucha) a vyplnená materiálom s nižším merným odporom, poprípade ako zóna tvorená pórovitými horninami. Nárast hodnoty odporov horninového prostredia by mal analogicky zodpovedať polohám kompaktnejších hornín, resp. hornín s vyšším merným odporom. Merania indukovaného potenciálu boli realizované v obmedzenej miere, nakoľko pri priemernej hĺbke karotovaných vrtov (~40 m) boli geometrické požiadavky správnej konfigurácie merania splnené iba v limitovanej časti vrtov. Merania rezistivimetrie sú uvedené v jednotkách zdanlivého merného odporu ρ_z , t.j. $\Omega \cdot m$ (ohmmeter) pre merania rezistivimetrie s usporiadaním elektród N8“ až N64“ a Ω (ohm) pre merania SPR (Single Point Resistance).

Geologické štruktúry a tektonogramy reprezentujú výstup z kamerovej sondáže, ktorý obsahuje rozvinutý obraz steny vrtu (360°) spolu so zaznamenanými priebehmi diskontinuit. Záznam je počas interpretácie upravený (zosilnený a upravený za účelom lepšej viditeľnosti štruktúr) a zorientovaný podľa magnetického severu, príp. zvolenej súradnicovej sústavy. Identifikované diskontinuity sú počas interpretácie opísané parametrami ako typ, hĺbka, azimut a sklon. Interpretované diskontinuity sú nakoniec vykreslené v priesečnicovom diagrame a spracované pre interpretovaný vrt, resp. pre príslušný úsek vrtu. Azimut a sklon diskontinuit je uvádzaný v stupňoch (°) v rámci tzv. Schmidtovej siete.

Interpretácia prevládajúcich geologických pomerov pre každý vrt je spracovaná v nasledujúcej kapitole.

5. Interpretácia karotážnych meraní vo vrtoch

NT-01

Účelový inklinometrický vrt bol počas merania vo vrchných partiách (0,0 – 8,7 m) prepažený oceľovými pažnicami. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny, ďalej do hĺbky 40 m bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou bola hladina podzemnej vody dňa 13.4.2016 cca o 9:30 zaznamenaná v hĺbke 20,9 m. Pod hladinou podzemnej vody jej teplota klesla z 15,8°C na 10,9°C v úrovni cca 23,4 m a neskôr pozvoľnejšie klesala až na 7,7°C ku báze vrtu. Prepočítaná hodnota vodivosti pri 25°C bola v úrovni 21,0 m 397 $\mu S \cdot cm^{-1}$, v hĺbke 26,2 m dosiahla maximum 445,13 $\mu S \cdot cm^{-1}$, od úrovne 28,6 m dochádza k jej postupnému poklesu na úroveň zhruba 420 – 425 $\mu S \cdot cm^{-1}$, ktorá pretrváva až k báze vrtu.

Kavernometria preukázala iba lokálne zmeny priemeru steny vrtu, spôsobené prítomnosťou tektoniky v úrovniach: 8,7 – 9,2; 10,5 – 10,6; 11,8 – 12,0; 12,9 – 12,9; 22,4 – 22,7 a 27,5 – 28,1 m.

Výsledky meraní prirodzenej radiácie preukázali pomerne nízke hodnoty γ -žiarenia v rozsahu cca 20 – 35 API a s maximom 69 API v hĺbke 38,4 m.

Odporové metódy bolo možné vo vrte uplatniť až od hĺbky cca 30 m (rezistivimetria), nakoľko až do tejto hĺbky zaklesla hladina podzemnej vody (výplachu) do času vykonania merania, t.j. do 11:25 SEČ. Z výstupov elektrických odporových metód použitých vo vrte je možné interpretovať lokálne polohy zníženej rezistivity v úrovniach: 30,6; 31,0; 31,4; 31,8; 34,4; 34,8; 35,3; 36,2; 36,5; 37,4; 38,2 – 38,8 m. V hĺbke 37,7 – 39,0 m možno badať zníženu hodnotu elektrického odporu a súčasný mierny nárast γ -žiarenia (cca 60 API) čo indikuje zvýšený výskyt ílovitých minerálov v horninovom prostredí.

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v celej odpaženej časti vrtu, je možné vidieť výrazné poruchy horninového prostredia, ktoré sú vo veľkej miere sprevádzané značným zastúpením kalcitu v puklinách. V 8,7 – 21,0 m je prostredie výrazne porušené, s otvorenými systémami puklín, ďalej od hĺbky 21,0 – 40,0 m je prostredie vizuálne kompaktnjšie, s uzavretým systémom puklín.

Na základe výsledkov optickej karotáže boli štruktúrne systémy horninového masívu rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli zhotovené príslušné priesečnicové diagramy. Generálny smer sklonu vrstevnatosti je v rozsahu 46-73° a sklon vrstiev je 30-40°, s hlavnou hodnotou 59/33°. Priesečnicové diagramy (tektonogramy) tektonických porúch preukázali dva význačné systémy orientácie: 62-94/38-58° a 72-98/13-20°.

NT-02

Tento hydrogeologický vrt bol, počas merania vo vrchných partiách (0,0 – 6,0 m), vystrojený oceľovými pažnicami. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny, ďalej v úrovni 6 – 40 m bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou bola hladina podzemnej vody dňa 21.4.2016 zaznamenaná v hĺbke 18,3 m. Do hĺbky cca 25 m teplota klesla z pôvodných 13,3°C na 8,1°C, hlbšie bola priemerná teplota vody 7,8°C. Vodivosť (pri 25°C) sa do hĺbky cca 25 m zvýšila z 342 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na 422 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Smerom ku báze vrtu sa už hodnoty vodivosti, ani teploty v podstate nezmenili a z priebehu kriviek nie je možné detekovať zmeny režimu prúdenia podzemnej vody v skúmanom vrte.

Kavernometria preukázala celistvosť steny vrtu, bez prítomnosti výrazného porušenia a zmien priemeru vrtu.

Výsledky meraní prirodzenej radiácie preukázali nízke hodnoty γ -žiarenia a to zhruba do 40 API, od hĺbky 34 m až po dno vrtu bol pozorovateľný mierny nárast γ -aktivity na hodnoty v rozsahu 35 – 75 API.

Odporové metódy bolo možné vo vrte využiť zhruba od hĺbky 25 m, vzhľadom k úrovni hladiny podzemnej vody vo vrte v čase odporového profilovania vrtu. Z výstupov elektrických odporových metód, použitých vo vrte NT-02 je možné interpretovať lokálne porušenie masívu v úrovniach: 27,1; 27,5; 29,1 – 29,7; 30,9; 31,2; 31,5; 31,8; 32,1 a 32,5 m a pomerne výraznú poruchu v hĺbke 33,7 – 33,9 m, kde nastalo zníženie zdanlivých odporov z priemernej hodnoty cca 700 Ω na 300 Ω (podľa SPR). Smerom ku dnu vrtu sme interpretovali ešte lokálne poruchy v úrovniach: 34,1; 36,0; 36,3; 36,8; 37,2; 37,6 a 38,2 m. Z hľadiska priebehu hodnôt spontánneho potenciálu predpokladáme zmenu charakteru prúdenia podzemnej vody v úrovniach: 29,1 – 29,7 m; 30,8; 31,5 – 31,7 a 32,5 m.

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v celej odpaženej časti vrtu, je možné vidieť výrazné poruchy horninového prostredia, ktoré sú vo veľkej miere sprevádzané častým výskytom kalcitu v puklinách. Generálna orientácia poruchových systémov je na SV, s intervalovou hodnotou

orientácie 42-71/28-47°, orientácia tzv. hlavného vektora (ML): 63/35°. Puklinové systémy sú orientované obdobne v intervale: 30-88/26-45°, ML: 58/31°. Prevládajúca hodnota orientácie vrstevnatosti je veľmi podobná, v rozsahu 40-72/32-46°, hodnota ML: 54/38°.

NT-03

Vzhľadom k pomerom, prevládajúcim v tomto hydrogeologickom vrte sa nám, pred jeho samovoľným zavalením, podarilo realizovať iba merania kavernometrie a to do úrovne 16,3 m. Na základe získaných hodnôt sú pozorovateľné miesta s výrazným zväčšením priemeru vrtu, ktoré sú pravdepodobne zapríčinené tektonickým porušením, v polohách: 12,0 – 12,3; 12,7 – 13,0; 13,2; 13,8; 14,0; 14,2; 15,4 – 15,8 a 16,2 m.

NT-04

Svojím určením inklinometrický vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 12,0 m) prepažený oceľovými pažnicami. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny. Pod touto úrovňou až do hĺbky 40 m bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou bola hladina podzemnej vody (HPV) dňa 2.5.2016 zaznamenaná v hĺbke 4,85 m, do dňa 5.5.2016 vystúpila do úrovne 4,50 m. Priemerná teplota vody sa ustálila na 8,2°C a prepočítaná hodnota vodivosti (pri 25°C) stúpila z počiatočných 233 až na maximum 421 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ smerom ku báze vrtu, pričom od úrovne cca 17,0 m boli pozorované zmeny vodivosti minimálne. Na základe nameraných hodnôt teploty a vodivosti nemôžeme detekovať zmeny režimu podzemnej vody v rámci vrtu.

V polohe 26,7 – 36,0 m boli kavernometriou zaznamenané mierne zmeny priemeru steny vrtu, rádovo do 15 mm, ktoré sú spôsobené tektonickým porušením tejto polohy (až na charakter brekie). V tejto zóne sa nachádzalo aj najvýraznejšie zväčšenie steny vrtu a to zo 76 mm na cca 86 mm v úrovni 30 – 32 m.

Namerané hodnoty prirodzenej radiácie v rámci kvartéru sú nízke, do 65 API, v odpaženom profile vrtu boli v priemere 115 API. Lokálne sa vyskytujú poklesy úrovne γ -žiarenia, ktoré sú pravdepodobne spôsobené nižším zastúpením ílovitých minerálov (laminy pieskovca, pukliny s výplňou kalcitu): 16,7; 17,6 – 17,7; 18,0; 24,5 – 24,7; 26,8 – 27,5; 28,0; 29,6 – 30,0; 30,9 – 31,1; 32,0 – 32,2; 35,6 – 35,9; 37,7 – 37,9; 38,4 – 38,5; 39,7 – 39,9 m. Uvedené polohy s poklesom γ -žiarenia, korešpondujú s polohami kde bol zaznamenaný nárast odporov horninového prostredia. Parazitický vplyv oceľových pažníc ovplyvňoval namerané hodnoty rezistivity cca do úrovne 15 m. Výraznejšie poklesy rezistivity, ktoré interpretujeme ako tektonicky porušené miesta s vyšším obsahom ílových minerálov, boli detekované v hĺbkových úrovniach: 24,2 – 24,3; 26,7; 27,5 – 27,8; 30,0 – 30,4; 31,6 – 31,8; 32,3 – 32,5; 33,0; 34,9; 35,3 – 35,4 a 39,1 – 39,2 m.

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vypracované príslušné tektonogramy.

V hĺbke 13,0 – 28,0 m, bola (na základe orientácie zistených lamín pieskovca) určená vrstevnatosť, ktorej generálna orientácia je 29/23° (t.j. SSV smer vrstevnatosti). Po zohľadnení všetkých dostupných dát je generálny smer orientácie vrstevnatosti v rozsahu: 12-50/18-32°. Dominantný systém tektonických porúch, ktorý bol v tejto hĺbkovej úrovni zaznamenaný, mal smer sklonu na VJV v intervale: 82-123/25-40°, hodnota ML: 98/28°. Puklinové systémy v tejto úrovni majú dominantné smerovanie 8-50/21-41°, minoritne aj 225-246/26-36°.

V úrovni 28 – 32 m bolo zaznamenané výrazné porušenie horninového masívu s veľkým zastúpením tektonických porúch, ktorých generálny smer sklonu je 105-140/18-35° (sklon tektonického porušenia je na východ až juhovýchod).

Od hĺbky 32 m smerom ku dnu vrtu sa smer tektonického porušenia mení, z JV smeru na JZ, pričom generálny smer sklonu tektonického porušenia je v rozsahu 180-233/22-54°, so smernou hodnotou MV: 209/36°. Zistené hodnoty vrstevnatosti sa pohybovali v rámci dvoch hodnôt: 10/27° a 272/26°.

NT-06

Štruktúrny (inklinometrický) vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 9,0 m) prepažený ocelovou pažnicou, z dôvodu prítomnosti nestabilných kvartérnych zemín a silne zvetraných hornín. Hlbšie, t.j. v úseku 9 – 40 m, bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou bola hladina podzemnej vody dňa 13.6.2016 zaznamenaná v hĺbke 1,0 m. Po dosiahnutí hĺbky 6,7 m teplota klesla na 7,3°C a smerom do hĺbky už iba pomaly klesala na konečných 6,54°C v úrovni 37,1 m. Hodnota vodivosti (pri 25°C) sa pohybovala v rámci intervalu 480 – 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, s nevýrazným lokálnym poklesom pod hĺbkou 33,6 m, kde predpokladáme zmenu režimu prúdenia podzemnej vody.

Trojramenný kaliper zaznamenal dve výraznejšie polohy zväčšenia priemeru steny vrtu a to v hĺbke 21,8 – 22,3 m, kde bol nárast z priemernej hodnoty 76 mm na 97 mm, ďalej v úrovni 25,0 – 25,2 m (85 mm) a ešte v hĺbke 33,5 – 36,1 m, kde bol nárast na 92 mm.

Z výsledkov meraní prirodzeného γ -žiarenia a elektrických odporových metód boli v horninovom prostredí, ktoré je tvorené ílovcami a siltovcami, namerané priemerné hodnoty prirodzenej γ -radiácie 100 API a priemerné hodnoty odporov 200 – 220 Ω . V štyroch hĺbkových úrovniach (tabuľka 2.) boli zaznamenané znížené hodnoty radiácie a súčasne zvýšené hodnoty zdanlivých odporov a odporov SPR, ktoré interpretujeme ako polohy kompaktnejších slieňovcov a siltovcov so žilkami kalcitu, prípadne s prítomnosťou lamín pieskovca.

Tabuľka 2

<i>Hĺbka (m)</i>	<i>Priemerná hodnota prirodzeného γ-žiarenia (API)</i>	<i>Max. hodnota odporu SPR (Ω)</i>
18,8 – 19,9	72	550
24,8 – 25,2	90	475
26,3 – 26,9	100	415
30,6 – 31,0	98	460

Z výstupu optickej karotáže a rezistivimetrie bola identifikovaná brekciovitá zóna intenzívneho tektonického porušenia v úrovni 22,0 – 22,3 m.

Analýzou a interpretáciou optického záznamu steny vrtu boli systémy diskontinuit rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené priesečnicové diagramy, resp. tektonogramy.

V hĺbke 8,0 – 20,5 m bola, na základe lamín pieskovca, určená priemerná hodnota smeru sklonu vrstevnatosti smerom na SSV, v intervale: 5-28/27-46°, hodnota ML: 20/36°. V danej úrovni sa vyskytovalo malé množstvo tektonických porúch, s podobnou orientáciou ako mala vrstevnatosť: 4-32/25-43 (ML: 27/31°). Identifikované puklinové systémy majú zväčša obdobný smer sklonu k SSV, v intervale: 10-34/28-43°, hodnota ML: 20/30°.

V hĺbke 20,5 – 25,5 m sa zvýšila početnosť tektonických porúch, ktorých orientácia sa mierne pootočila smerom na SV: 17-82/20-52° (ML: 42/33°). Analogicky sa zmenila aj orientácia vrstevnatosti: 41-75/32-45° (ML: 51/34°).

V hĺbke 25,5 – 33,5 m klesol počet tektonických porúch, ktorých orientácia zostala zhruba zachovaná (SSV až V), došlo ku skvalitneniu horninového prostredia. V polohe badať laminy pieskovca, vďaka ktorým bolo možné určiť smer a sklon vrstevnatosti v intervale 41-71/18-28° na smernú hodnotu ML: 58/23°.

Od hĺbky 33,5 m až po dno vrtu nebolo možné vizuálne detekovať systémy diskontinuit z dôvodu intenzívneho zakalenia kvapaliny vo vrte. Pokusy o zlepšenie záznamu post-processingom neboli úspešné.

NT-07

Štruktúrny vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 18,1 m) prepažený oceľovými pažnicami. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny, ďalej do hĺbky 45 m bol vrt odpažený.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou bola hladina podzemnej vody dňa 6.6.2016 zaznamenaná v hĺbke 5,5 m. Na základe zmien krivky vodivosti v úsekoch: 41,3 – 41,5 m a 42,7 – 43,0 m predpokladáme zmenu charakteru prúdenia podzemnej vody v tektonicky postihnutých úsekoch. Zmeny v krivke spontánneho potenciálu sú však príliš malé, aby nám umožnili stanoviť charakter detekovanej zmeny.

Trojramenným kaliprom neboli zaznamenané výrazné zmeny v priemere steny vrtu. Konštantné hodnoty, pohybujúce sa v rozsahu cca 74 – 76 mm, boli prekročené v polohách: 19,6 – 19,8 (95 mm); 35,3 – 35,6 m (81 mm) a 41,0 – 41,5 m (86 mm).

Merania prirodzenej γ -aktivity vo vrte preukázali počas merania prepaženého úseku (0,8 – 18,1 m) priemernú hodnotu 63 API, v odpaženej časti vrtu to bolo 101 API. Lokálne znížená úroveň g-aktivity poukazuje na prítomnosť polôh pieskovca, prípadne na prítomnosť kalcitových výplní: 20,6 – 20,7; 23,3 – 23,4; 24,1; 26,2 – 26,3; 32,3 – 32,4; 37,6 – 37,7 a 41,8 – 41,9 m.

Z výsledkov meraní elektrických odporových metód aplikovaných vo vrte je možné pozorovať značné množstvo zmien v priebehu krivky nameraných hodnôt odporov. Zmeny boli spôsobené heterogénnymi vlastnosťami horninového prostredia, ako sú porušenosť, mineralogická skladba a iné. V tabuľke 3 je profil vrtu rozdelený na kvázihomogénne celky podľa meraných zmien odporov SPR s prihliadnutím na výsledky optickej karotáže a nameranými hodnotami prirodzenej γ -radiácie.

Tabuľka 3

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priemerná hodnota odporu SPR (Ω)</u>
18,0 – 20,2	tektonicky porušená poloha siltovcov a ílovcov	180
20,2 – 26,0	mierne porušená poloha siltovcov s laminami pieskovcov	235
26,0 – 29,4	kompaktné siltovce s laminami pieskovca	245
29,4 – 35,9	tektonicky porušené siltovce s polohami pieskovca	200
35,9 – 38,3	kompaktné siltovce	185
38,3 – 41,7	porušené siltovce úlomkovité	175
41,7 – 42,6	kompaktnejšie siltovce s pieskovicami	245
42,6 – 44,0	porušená poloha siltovcov	195
44,0 – 44,7	kompaktnejšie siltovce s pieskovicami	250

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu, boli štruktúrne systémy horninového masívu rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené priesečnicové diagramy (tektonogramy).

Po generalizácii výsledkov smerov a sklonov diskontinuit je možné profil vrtu rozdeliť na dve časti:

V úseku 18,0 – 21,8 m bola na základe lamín pieskovca určená hodnota smeru sklonu vrstevnatosti k juhovýchodu v intervale: 134-175/23-38°, ML = 162/28°. Orientácia dominantných tektonických porúch je SSV a JV.

Od hĺbky 21,8 m sa smer sklonu vrstevnatosti výrazne mení a prechádza z juhovýchodného na severovýchodný (SV) pričom intervalová hodnota smeru a sklonu vrstevnatosti je 10-79/13-23° (ML: 39/23°). Smerovanie tektonických porúch je dominantne k VSV (18-95/7-22°), zriedkavo k JV a JJZ.

NT-08

Štruktúrny (piezometrický) vrt bol počas realizácie karotážnych meraní vo vrchných partiách (0,0 – 6,0 m) prepažený ocelovou pažnicou. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny, ohrozujúce stabilitu steny vrtu. Ďalej, od úrovne 6 m až do hĺbky 45 m, bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou a konduktometriou bola hladina podzemnej vody dňa 30.5.2016 zaznamenaná v hĺbke 3,9 m. Na základe miernej zmeny krivky vodivosti (nárast), v hĺbkach 41,8 m a 42,9 m predpokladáme zmenu charakteru prúdenia podzemnej vody. Na základe krivky VSP predpokladáme slabú výmenu (najčastejšie prienik) podzemnej vody medzi horninovým prostredím a priestorom vrtu v úrovniach: 9,9 – 10,1; 12,5 – 12,6; 16,3 – 16,4; 20,1 – 20,2; 21,7 – 21,8; 33,1 – 33,2 a 34,4 – 34,6 m.

Kontinuálnym meraním priemeru steny vrtu trojramenným kaliprom boli v štyroch miestach zaznamenané jeho zväčšenia, ktoré boli spôsobené tektonickým porušením horninového masívu. Polohy sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4

<i>Hĺbka</i>	<i>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</i>
6,2 – 6,9	HQ / 123
14,0 – 14,3	HQ / 127
20,1 – 20,7	NQ / 96
23,2 – 23,5	NQ / 82

Prítomnosť ocelevej pažnice ovplyvnila elektrické merania približne do hĺbky 13,5 m. Na základe interpretácie odporov horninového prostredia sme rozdelili profil vrtu na nasledovné kvázihomogénne celky (tabuľka 5).

Tabuľka 5

<i>Hĺbka (m)</i>	<i>Opis</i>	<i>Priemerná hodnota odporu SPR (Ω)</i>
14,0 – 25,8	prevažne tektonicky porušené ílovce a siltovce (s polohami pieskovca a s puklinami vyhojenými kalcitom)	190 (220 – 300)
25,8 – 30,4	kompaktné siltovce a pieskovce, s žilkami kalcitu	380 – 400
30,4 – 43,7	tektonicky porušené ílovce a siltovce s ojedinelými polohami pieskovca	155

Lokálne zvýšené hodnoty rezistivity, s pôsobením prítomnosťou pieskovcových lamín v ílovcovo – siltovcových horninách boli detekované v úrovniach: 17,8 – 18,0; 20,0 – 20,1; 21,6 – 21,8; 23,2 – 23,4; 29,0 – 29,9 a 36,1 – 36,2 m).

Z interpretácie optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu, boli štruktúrne systémy horninového masívu rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny). pre ktoré boli zhotovené priesečnicové diagramy.

Pre úsek 14,0 – 25,8 m je generálny sklon vrstevnatosti smerom na východ až SSV, kde intervalové hodnoty azimutu sklonu vrstevnatosti sú: 12-38/15-22° a 68-108/15-28°, smerná hodnota ML: 75/17°. Tektonické poruchy sú v tomto úseku orientované v podstate všesmerne, so sklonom zväčša v rozsahu 15-40°. Pukliny sú v tomto úseku orientované zväčša na V až JV, intervalová hodnota smeru sklonu je 48-106/18-53°.

Pre úsek 25,8 – 30,4 m bola zistená intervalová hodnota vrstevnatosti 58-85/20-32°, ML má hodnotu: 70/25°. Tektonické poruchy sú zriedkavé a prevládajúci puklinový systém je uklonený k SV, s intervalovým smerom sklonu: 20-80/18-28°.

V úseku 30,4 – 43,7 m boli detekované dva prevládajúce systémy orientácie vrstevnatosti: 14-45/17-25° a 88-140/15-40°. Dominantným systémom tektonického porušenia je VJV systém s orientáciou 92-115/35-44°. Dominantné puklinové systémy sú dva, s intervalovou orientáciou: 75-90/35-42° a 108-125/33-46°.

NT-09

Štruktúrny vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 18,0 m) prepažený oceľovými pažnicami. Dôvodom boli nestabilné kvartérne zeminy a silno zvetrané horniny, ohrozujúce stabilitu steny vrtu. Ďalej, až do hĺbky 45 m, bol vrt odpažený.

Termometrickou sondážou a konduktometriou bola hladina podzemnej vody dňa 10.5.2016 zaznamenaná v hĺbke 8,9 m. Hodnota teploty vody sa po počiatkovej zmene ustálila na hodnote cca 7,4°C, Na základe zmeny krivky vodivosti (pokles), v úrovni 25,5 – 28,2 m, predpokladáme zmenu charakteru prúdenia podzemnej vody. Vzhľadom k súčasnej zmene spontánneho potenciálu predpokladáme, že v tejto úrovni dochádza k slabému prenikaniu vody z okolitého horninového masívu do priestoru vrtu.

Kavernometriou, t.j. kontinuálnym meraním priemeru steny vrtu s pomocou trojramenného kalibra, bolo na niekoľkých miestach zaznamenané výraznejšie zväčšenie priemeru vrtu, ktoré bolo spôsobené porušením horninového masívu. Polohy sú uvedené v tabuľke 6.

Tabuľka 6

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
19,6 – 20,4	NQ / 103
22,4 – 23,1	NQ / 88
33,9 – 35,0	NQ / 98
35,9 – 36,2	NQ / 91
38,3 – 38,8	NQ / 84
40,6 – 41,0	NQ / 85

Z kontinuálneho záznamu merných odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, prihladením na výsledky optickej karotáže a meraní prirodzenej radiácie je možné vyčleniť kvázihomogénne celky.

Tabuľka 7

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priemerná hodnota odporu SPR (Ω)</u>
18,0 – 24,0	tektonicky porušené siltovce	160
24,0 – 24,6	pieskovcová poloha	280
24,6 – 25,1	kompaktné siltovce	210
25,1 – 25,6	pieskovcová poloha	435
25,6 – 29,6	kompaktné siltovce s laminami pieskovcov	225
29,6 – 30,2	pieskovcová poloha	350
30,2 – 31,4	siltovce lokálne tektonicky porušené	210
31,4 – 31,8	kompaktné siltovce s laminami pieskovcov	245
31,8 – 38,8	tektonicky porušené siltovce s polohami pieskovca (33,3-33,5; 33,6-33,8; 36,2-36,7 m)	220-250 (piesk.: 290-320)
38,8 – 40,1	piesčitejšia až pieskovcová poloha	340
40,1 – 44,0	kompaktný siltovec s polohou pieskovca (42,6 – 42,7 m)	235 (piesk.: 285)

Podmienky pre realizáciu optickej karotáže vo vrte neboli vyhovujúce, z dôvodu intenzívneho zakalenia vody. Preto nebolo možné sondou nasnímať celý profil vrtu v kvalite, ktorá by nám umožnila následnú interpretáciu štruktúrnych pomerov horninového masívu. Z časti vrtu (18 – 28 m) však boli interpretáciou získané charakteristické smery a sklony štruktúrnych prvkov horninového masívu. Dominantný systém tektonických porúch mal orientáciu 203-218/52-63° (ML: 212/57°). Puklinové systémy boli identifikované tri, s intervalovými hodnotami orientácie sklonu: 350-30/27-53°, 69-103/20-43° a 84-117/46-64°. Zistený interval azimutu sklonu vrstevnatosti: 25-70/23-41° (ML: 44/30°).

NT-10

Štruktúrny vrt bol počas realizácie karotážneho merania odpažený v celej dĺžke, pričom dĺžka vrtu bola 45 m.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou, ktorá bola realizovaná dňa 20.5.2016 bola hladina podzemnej vody zaznamenaná v hĺbke 1,65 m. Neskôr, po premeraní hladiny podzemnej vody pásmom, bola úroveň HPV 2,20 m. Pri opakovanom meraní karotáže dňa 23.5.2016 klesla HPV do úrovne 2,85 m. Prvotná výška hladiny podzemnej vody bola ovplyvnená krátkym časovým obdobím, ktoré uplynulo od ukončenia vrtných prác po realizáciu sondáže. Teplota vody vo vrte sa pod HPV do hĺbky cca 11 m redukovala na 7,6°C a smerom k báze vrtu pozvoľna klesala na konečnú hodnotu 6,8°C. Výnimku tvoril úsek 12,0 – 15,4 (16,2) m, kde došlo k minimálnemu nárastu teploty o 0,1°C. Zároveň to došlo k zvýšeniu hodnoty prepočítanej vodivosti pri 25°C z 380 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na 810 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a poklesu hodnôt spontánneho potenciálu. Na tomto mieste predpokladáme prenikanie podzemnej vody z okolitého horninového masívu do vrtu. Menej výrazné zmeny hodnôt vodivosti a spontánneho potenciálu boli zaznamenané aj v úrovniach 19,9 – 21,3 m a 28,6 – 29,0 m. Tieto môžu indikovať zmenu charakteru vodného režimu v tektonicky porušenej zóne. Od úrovne 27,2 m až po bázu vrtu už hodnota VSP iba klesala, najvýraznejšie práve v úseku 27,2 – 28,2 m, čo zrejme súvisí s prenikaním podzemnej vody z masívu do priestoru vrtu v tektonicky silne porušenej zóne.

Kontinuálnym meraním priemeru steny vrtu boli zaznamenané polohy so zväčšeným priemerom, ktoré boli spôsobené vypadávaním úlomkov z porušeného horninového prostredia. Výraznejšie polohy sú uvedené v tabuľke 8.

Tabuľka 8

<u>Hĺbka</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
10,5 – 10,7	HQ / 105
11,3 – 11,5	HQ / 102
16,4 – 16,6	HQ / 102
20,4 – 21,3	NQ / 89
22,0 – 22,1	NQ / 87

22,5 – 23,1	NQ / 94
23,5 – 23,7	NQ / 89
24,8 – 25,3	NQ / 90
25,8 – 26,3	NQ / 103
28,7 – 29,1	NQ / 111
36,9 – 37,1	NQ / 91

Z výsledkov merania prirodzenej radiácie bol zaznamenaný výrazný pokles hodnoty úhrnného γ – žiarenia v hĺbkovej úrovni 5,6 – 7,0 m z priemernej hodnoty 100 API na hodnotu 28 API. V tejto polohe bol zaznamenaný zdravý hrubozrnný siltovec a vápenec, s výskytom žiliek kalcitu.

Merania rezistivimetrie umožňovali interpretovať prevládajúce geologické pomery zhruba pod úrovňou 12,0 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s prihliadnutím na výsledky interpretácie optickej karotáže a meraní prirodzenej radiácie sme rozdelili profil vrtu na tri charakteristické časti.

V úseku 10 – 13,8 m bola priemerná hodnota merných odporov prostredia (SPR) cca 245 Ω , čo zodpovedá horninovému prostrediu tvorenému prevažne pieskovicami, menej siltovcami.

V hĺbke 13,8 – 17,8 m bola priemerná hodnota odporov prostredia (SPR) v rozsahu 145 – 155 Ω čo zodpovedá porušenému horninovému prostrediu tvorenému siltovcami, prípadne až ílovcami. V polohe 15,2 – 15,6 m bolo zaznamenané výraznejšie zvýšenie priem. hodnôt odporov SPR na úroveň 225 Ω , čo interpretujeme ako prejav kompaktnějších siltovcov / pieskocov.

Od hĺbky 17,8 m až po dno vrtu boli hodnoty nameraných odporov (SPR) ustálené s priemernou hodnotou 100 – 115 Ω , čo zodpovedá tektonicky porušenému prostrediu tvorenému siltovcami, prípadne ílovcami, s lokálnymi pevnejšími polohami siltovcov (23,5 – 26,7 m) s priemerným odporom cca 120 Ω , prípadne až pieskocov s priemernými odpormi v rozsahu 130 – 160 Ω (20,4 – 20,8; 23,2 – 23,5; 26,7 – 26,9; 32,1 – 32,3; 36,5 – 36,8 a 42,0 – 42,4 m). Zvýšené koncentrácie pyritu očakávame v úrovniach 18,3 – 18,8m, 23,1 – 23,5 a 28,3 – 28,7 m.

Podmienky pre realizáciu optickej karotáže boli obmedzené vysokou opacitou prostredia, spôsobenú intenzívnym zakalením vody vo vrte. Aj napriek tejto skutočnosti, boli získané potrebné údaje na základné stanovenie sklonu a smeru sklonu vrstevnatosti a tektonického porušenia masívu.

V úseku do 13,8 m bol zistený dominantný smer sklonu puklín 212-238/53-67°, vedľajší: 267-284/53-65°. Generálny smer sklonu vrstiev je orientovaný na SSV až SV, v smere sklonu 9-56/25-37, hodnota ML = 44/30°.

V úseku 13,8 – 17,8 m bol generálny smer vrstevnatosti v intervale 70-128/20-46°, minoritne aj 20-45/17-27°, hodnota ML = 77/29°, smer sklonu puklín je VJV až JV.

V úseku 17,8 m po dno vrtu je tektonické porušenie intenzívne, prevažne V až JV smeru sklonu. Dominantným je systém 95-125/45-70°, minoritne aj 102-136/18-25° a 67-80/39-52°. Dominantné smery puklín sú 323-2/35-55° a 67-122/32-45°. Smer sklonu vrstevnatosti sa pohybuje v intervale 50-105/23-48°, s hodnotou ML: 69/36°.

NT-11

Účelový hydrogeologický vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 15,0 m) prepažený oceľovou pažnicou, z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín a silno zvetraných hornín. Hlbšie, v úseku 15,0 – 65,0 m, bol vrt odpažený.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou, ktorá bola realizovaná 21.6.2016, bola hladina podzemnej vody zistená v hĺbke 11,85 m. Teplota vody s hĺbkou klesala až do úrovne 26,3 m (7,26°C), do hĺbky 32,0 m stúpala na 7,64°C, do hĺbky 41,6 m klesla na 7,36°C, do hĺbky 44,7 m stúpala na 7,55°C a k báze vrtu v hĺbke 63,6 m klesla na konečných 7,02°C. Tieto zmeny teplôt sú nevýrazné. Na základe nameraných údajov však očakávame zmeny charakteru prúdenia podzemnej vody v úrovniach: 15,2 – 15,3; 16,5 – 16,6; 27,4 – 27,6 a 49,3 – 50,8 m.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom (hmatadlom) zaznamenali viacero zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadnutie úlomkov zo steny vrtu a zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované výraznejšie zóny porušenia sú uvedené v tabuľke 9.

Tabuľka 9

<u>Hĺbka</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
18,5 – 18,7	NQ / 84
21,0 – 22,6	NQ / 96
28,2 – 28,9	NQ / 100
30,8 – 31,1	NQ / 90
33,5 – 34,4	NQ / 85
39,3 – 40,5	NQ / 96
47,9 – 48,5	NQ / 96
49,5 – 49,8	NQ / 85
50,2 – 52,4	NQ / 95
55,1 – 57,7	NQ / 85

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom hladiny podzemnej vody a prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené do hĺbky cca 22 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, prihliadnutím na výsledky optickej karotáže a meraní prirodzenej radiácie sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 10).

Tabuľka 10

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priemerná hodnota odporu SPR (Ω)</u>
15,0 – 20,6	siltovec s laminami pieskovca	250
20,6 – 22,6	zóna tektonicky porušených siltovcov	132
22,6 – 28,1	poloha kompaktnějších siltovcov s laminami pieskovcov	166
28,1 – 29,5	zóna tektonicky porušených siltovcov	138
29,5 – 30,6	poloha kompaktnějších siltovcov	150
30,6 – 40,6	zóna tektonicky porušených siltovcov	118
40,6 – 47,5	kompaktnějšíe kalcifikované siltovce s laminami pieskovcov	175
47,5 – 63,2	tektonicky porušená zóna siltovcov (s plávajúcimi pevnejšími budinami)	119-135 (140-155)

Merania úhrnnej γ -aktivity sa pohybovali zväčša v rozsahu 90 – 115 API, minimum 11,1 API bolo zaznamenané v úseku 42,3 – 43,2 m, v zóne kompaktných kalcifikovaných siltovcov. Maximum 185,9 API bolo namerané v úrovni 62,1 m, v zóne tektonického porušenia.

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu, boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené priesečnicové diagramy.

Výrazné porušenie a prevrášnenie horninového masívu malo za následok aj rozdielne orientácie vrstiev v jednotlivých hĺbkových úrovniach. Prehľad generálnych smerov a sklonov orientácií diskontinuít pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 11.

Tabuľka 11

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstevnatosť</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
15,0 – 20,6	95-148/9-38° a 312-8/12-32°	83-138/10-65° ML: 93/19°	90-163/7-43° ML: 90/16°
20,6 – 22,6	–	67-159/7-64° ML: 113/36°	–
22,6 – 28,1	265-325/30-70° ML: 293/44°	274-310/46-65° a 118-138/43-72°	85-160/32-65°
28,1 – 29,5	–	298-330/43-67° ML: 310/59°	–
29,5 – 30,6	257-278/33-45° ML: 268/38°	247-290/17-56° ML: 251/26°	–
30,6 – 40,6	286-340/13-32° a 68-100/22-42° a 130-175/7-21°	0-125/12-50° ML: 72/23°	312-10/9-26°
40,6 – 47,5	329-23/12-32° ML: 357/20°	340-20/28-55° ML: 353/41°	252-282/38-60° a 323-24/11-56° ML: 333/29°
47,5 – 63,2	74/25°	340-22/18-53° a 73-133/28-52°	–

NT-12

Tento účelový piezometrický vrt bol počas realizácie merania vo vrchných partiách (0,0 – 41,5 m) prepažený oceľovou pažnicou, z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín a silno zvetraných hornín. Hlbšie, v úseku 41,5 – 124 m, bol vrt odpažený.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou, ktorá bola realizovaná 8.2.2017, o 11:50 bola hladina podzemnej vody zistená v hĺbke 83,10 m. V čase merania rezistivity o 16:00 HPV klesla na 83,40 m. Teplota vzduchu tesne nad HPV bola 3,2°C, po prekonaní HPV začala postupne stúpať na 5,27°C v hĺbke 102 m. Potom pomerne rýchlo poklesla na detekované minimum 4,15°C v úrovni 110 m a vzápätí začala opäť stúpať až na konečných 5,99°C pri dne vrtu. Konduktometria odhalila nárast v hĺbke 86,4 m z 1991 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na 3142 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (prep. 25°C). Ďalší mierny nárast nastal v úrovni 87,6 – 88,5 m na 3468 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Z tohto lokálneho maxima vodivosť klesala na niveau cca 2500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v úrovni 97,4 m a potom, v úseku 97,4 – 99,6 m klesla strmšie na 1995 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Od 99,6 m ďalej postupne klesala na 833 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v hĺbke 115,7 m a jemne nastúpala na 897 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v hĺbke 120,1 m. Až po dno vrtu potom zotrvala na hodnote cca 880-890 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Na základe nameraných údajov však očakávame zmeny charakteru prúdenia podzemnej vody v úrovniach: 86,4 – 86,8; 87,6 – 88,5; 97,3 – 97,8 a 98,9 – 106,1 m. Pravdepodobne ide o prenikanie podzemnej vody z okolitého masívu do priestoru vrtu v rámci tektonicky porušených zón.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadnutie úlomkov zo steny vrtu a následné zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované výrazné zóny tektonického porušenia sú uvedené v tabuľke 12.

Tabuľka 12

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
43,8 – 46,1	HQ / 193
46,9 – 50,0	HQ / 150
50,6 – 57,2	HQ / 135
57,6 – 61,8	HQ / 129
62,1 – 64,9	HQ / 117
68,6 – 68,8	HQ / 119
84,5 – 86,2	NQ / 93
91,5 – 102,1	NQ / 91
104,9 – 106,0	NQ / 88

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom hladiny podzemnej vody a prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené do hĺbky cca 84 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej radiácie sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 13).

Tabuľka 13

Hĺbka (m)	Opis	Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)
- 44,1	tektonicky porušené ílovcy a siltovce	- / 70
44,1 – 45,8	zóna silne tektonicky porušených ílovcov a siltovcov (brekcia)	- / 82
45,8 – 47,0	poloha kompaktnějších ílovcov a siltovcov	- / 91
47,0 – 68,1	zóna silne tektonicky porušených ílovcov a siltovcov (brekcia)	- / 69
68,1 – 80,8	poloha kompaktnějších ílovcov so siltovcami, lokálne sú tektonicky porušené	- / 75
80,8 – 83,9	zóna intenzívne tektonicky porušených ílovcov a siltovcov	50 / 112
83,9 – 91,4	kompaktnějšíe ílovcy a siltovce, lokálne tektonicky porušené	63 / 90
91,4 – 106,1	zóna intenzívne porušených ílovcov a siltovcov, so zachovalejšími polohami	60 / 108
106,1 – 119,3	poloha piesčitých vápencov prípadne pieskovcov, lokálne tektonicky porušených	315 / 41
119,3 – 123,6	kompaktné siltovce (ílovcy)	104 / 87

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy. Markantné zníženie priehľadnosti prostredia v úseku 93,0 – 123,6 m nám znemožnilo získať v tejto časti vrtu relevantné štruktúrne údaje.

Prehľad generálnych smerov a sklonov orientácií diskontinuít pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 14.

Tabuľka 14

Hĺbka (m)	Vrstvy	Tekt. poruchy	Pukliny
41,6 – 44,1	-	-	319-55/66-85°
44,1 – 45,8	-	-	112-120/68-86°
45,8 – 47,0	109/54°	173/69°	44-120/68-78°
47,0 – 68,1	-	342-4/47-65° a 80-98/58-82°	77-97/58-82°
68,1 – 80,8	76-85/39-41°	-	53-98/28-63° ML: 74/55°
80,8 – 83,9	-	-	272-283/80-88° a 320-322/74-77°
83,9 – 91,4	5-22/47-68°	-	110/57°

NT-13

Účelový hydrogeologický vrt bol počas realizácie merania postupne prepažovaný oceľovou pažnicou v úrovniach do: 16,4 m; 47,9 m a 96,2 m, z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných hornín. V odpažených častiach vrtu boli, v dňoch: 9.12., 11.12. a 13.12.2016, realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou, ktorá bola realizovaná 9.12.2016, bola hladina podzemnej vody zistená v hĺbke 4,00 m. Pri nasledujúcom meraní dňa 11.12.2016 HPV klesla na 20,00 m. Po prekonaní HPV sa vodivosť pomerne dlho udržiavala na úrovni cca 480 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, s lokálnym maximom 504 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v hĺbke 87,2 m. Pod touto úrovňou opäť klesla na predchádzajúce

niveau. Hlbšie, v úseku 93,7 – 115,1 m dochádza k postupnému nárastu vodivosti, zo $480 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na $1429 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. v úrovniach 115,1 – 115,6 m a 116,4 – 117,6 m dochádza k výrazným nárastom vodivosti na $2650 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, resp. až na $4723 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Predpokladáme, že tieto zmeny súvisia so zmenou režimu prúdenia podzemnej vody v daných úsekoch vrtu, vplyvom výmeny podzemnej vody medzi vrtom a okolitým horninovým prostredím v tektonicky porušených zónach. Namerané maximum $4820 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ bolo detekované v hĺbke 119,3 m. Pod touto úrovňou, t.j. v úseku 120,0 – 141,0 m dochádza k pozvoľnému poklesu vodivosti z úrovne $4800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na úroveň cca $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Teplota z počiatočných $5,29^\circ\text{C}$ v 20,0 m narastá na celkové maximum $9,85^\circ\text{C}$ v hĺbke 87,5 m. Do hĺbky 96,0 m potom teplota postupne klesne na $8,7^\circ\text{C}$. V zóne 96,0 – 102,0 m sa udržiava na úrovni cca $8,2^\circ\text{C}$, potom v hĺbkach 111,0 m a 122,0 m narastie na lokálne maximá $8,43^\circ\text{C}$, resp. $8,71^\circ\text{C}$. Tieto súvisia so zónami tektonického porušenia vo vrte. Potom, smerom k báze vrtu, teplota klesne na konečných $7,9^\circ\text{C}$ v 144,5 m.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným hmatadlom identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadnutie úlomkov zo steny vrtu a zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované výrazné zóny tektonického porušenia sú uvedené v tabuľke 15.

Tabuľka 15

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
49,4 – 53,7	HQ / 122
54,7 – 57,6	HQ / 119
59,1 – 60,2	HQ / 115
61,3 – 61,6	HQ / 117
105,4 – 106,4	NQ / 91
110,7 – 111,2	NQ / 86

Merania rezistivimetrie boli v čase meraní, vplyvom hladiny podzemnej vody a prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené po úrovne 17; 48 a 96 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 16).

Tabuľka 16

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
16,5 – 56,6	siltovce (s polohami piesčitých vápencov), silne tektonicky porušené, až charakteru brekcií	125-150 (170-195) / 70-80 ()
56,6 – 80,2	ílovce (s polohami pieskovcov až piesčitých vápencov), lokálne tektonicky porušené	114 / 102
80,2 – 119,4	ílovce, menej často siltovce, celistvé, iba lokálne tektonicky porušené, s ojedinelými polohami pieskovcov	92 / 98
119,4 – 121,2	intenzívne tektonicky porušená zóna ílovcov až brekcií	56 / 72
121,2 – 144,5	solídne kompaktné siltovce, iba ojedinele porušené	98 / 77

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuit pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 17.

Tabuľka 17

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
16,5 – 56,6	220-282/6-30°; ML: 241/19°	133-195/12-30°; 86-100/55-68°;	260-60/5-45°; ML: 40/14°

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
56,6 – 80,2	125-208/6-24°; ML: 187/8°	ML: 168/9° 58-252/8-43°; ML: 189/15°	272-312/14-31° a 100-138/14-25°
80,2 – 119,4	143-229/9-35°; 312-338/26-42° a 355-43/17-32°	255-282/33-58°	250-353/13-65° a 168-190/35-55°; ML: 286/17°
119,4 – 121,2	192-235/33-48°; ML: 229/32°	195-232/37-85°; ML: 229/50°	84/68° a 264/65°
121,2 – 144,5	68-110/25-44°; 173-225/17-38°; ML: 104/18°	340-45/10-46°	238-266/42-58°; 53-66/63-77°; 85-98/46-63°; 125-138/60-75° a 162-175/17-46°; ML: 265/16°

NT-14

Účelový piezometrický vrt bol počas realizácie merania postupne prepažený oceľovou pažnicou v úrovniach do 37 m; 54 m a 141 m, z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných hornín. V odpažených častiach vrtu boli v dňoch: 1.12., a 2.12.2016, realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou bola HPV zaznamenaná v hĺbke 33,20 m. Po prekonaní HPV teplota postupne narastala z hodnoty 1,08°C na hodnotu 8,38°C c hĺbke 127,5 m. Pod touto hĺbkou klesala na úroveň 7,88°C v hĺbke 141 m (koniec vtedy odvráteného úseku). Po pokračovaní merania na druhý deň teplota vo vrte pod úrovňou 141 m stúpala z počiatkových 9,18°C na max. 9,23°C v hĺbke 149,8 m, následne klesala až na konečných 8,57°C na báze vrtu. Predpokladáme, že zvýšenie teploty v zóne 141 m na druhý deň bolo spôsobené prerušením vrtných prác a zmeny teploty v rámci vrtu sú minimálne. Hodnota vodivosti (pri 25°C) po prekonaní HPV sa ustálila na hodnote cca 530 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pričom po dosiahnutí hĺbky 58 m začala strmšie rásť až na maximum 661 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v hĺbke 60,6 m. Do hĺbky 61,7 m sa vodivosť držala na úrovni 625 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ potom do 63,4 m klesla na 550 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Potom až po dno vrtu sa udržiavala v úrovni 540 – 550 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Pri opakovaných meraniach pod úrovňou 141 m sa hodnoty vodivosti rýchlo ustálili na týchto hodnotách. Predpokladáme, že zmeny vodivosti v úsekoch 58,0-60,7 m; 61,6-61,8 a 62,1-62,4 m indikujú nie príliš výrazné zmeny charakteru prúdenia vody v rámci vrtu.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadnutie úlomkov zo steny vrtu a zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované výrazné zóny tektonického porušenia sú uvedené v tabuľke 18.

Tabuľka 18

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
57,3 – 58,1	HQ / 115
59,4 – 59,7	HQ / 108
60,6 – 60,9	HQ / 114
61,6 – 65,2	HQ / 138
66,8 – 67,0	HQ / 119
67,4 – 69,0	HQ / 119
78,6 – 78,8	HQ / 119
84,3 – 84,5	HQ / 110
86,2 – 86,4	HQ / 116
90,0 – 90,7	HQ / 110
95,9 – 96,2	HQ / 109
125,4 – 127,9	HQ / 110
144,5 – 145,0	NQ / 98

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom hladiny podzemnej vody a prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené zhruba do úrovní 54 a 141 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 19). Odporové kontrasty medzi jednotlivými typmi však neboli výrazné.

Tabuľka 19

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
54,0 – 58,3	kompaktnejší ílovec až siltovec s puklinami	125 / 93
58,3 – 72,3	tektonicky silne porušený siltovec	133 / 97
72,3 – 84,0	kompaktný siltovec až piesčitý siltovec, s častými žilkami kalcitu	158 / 77
84,0 – 90,8	tektonicky silne porušený siltovec až piesčitý siltovec	136 / 89
90,8 – 110,8	kompaktný siltovec, s lokálnymi puklinami	135 / 91
110,8 – 112,9	poloha piesčitého vápenca (?)	545 / 40
112,9 – 125,4	kompaktný siltovec, iba lokálne tektonicky porušený	131 / 95
125,4 – 129,5	tektonicky silne porušená zóna piesčitých vápencov, až charakteru brekcie	167 / 83
129,5 – 132,2	puklinami postihnutý siltovec, vyšší podiel ílu	146 / 137
132,2 – 140,7	kompaktnejšia poloha silne piesčitého siltovca až pieskovca	180 / 117
140,7 – 141,7	siltovec intenzívne tektonicky porušený	166 / 100
141,7 – 144,5	kompaktnejší siltovec až pieskovec	220 / 102
144,5 – 148,8	tektonicky porušený siltovec až pieskovec	145 / 115
148,8 – 150,0	kompaktný siltovec	150 / 122
150,0 – 150,6	piesčitý vápenec	500 / 53
150,6 – 163,8	kompaktný siltovec, lokálne tektonicky porušený	142 / 110

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu, boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuit pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 20.

Tabuľka 20

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
54,0 – 58,3	–	–	235-293/28-68°; ML:258/35°
58,3 – 72,3	30-45/20-28°	327-35/27-82°; 170-202/32-52°; 232-282/28-65°	340-20/30-52°; 203-220/30-39°; 245-298/21-46°
72,3 – 84,0	170-185/18-22°; 350-40/9-33°	227-278/18-35°; 69-105/32-45°	93-172/9-45°
84,0 – 90,8	134/19°	18-50/44-62°; 74-108/40-69°	37-102/23-56°
90,8 – 110,8	330-12/10-26°; 70-100/17-25°	17/60°	320-20/38-75°; 100-132/20-30°
110,8 – 112,9	54-114/6-13°; ML: 87/10°	–	200-237/50-82°; ML: 217/70°
112,9 – 125,4	340-60/5-43°; ML: 14/18°	200-295/7-33°	245-295/20-35°; 85-125/15-32°
125,4 – 129,5	272-320/30-47°; ML: 314/34°	283-310/42-37°	282-347/35-70°; ML: 309/49°
129,5 – 132,2	–	–	117-140/33-77°; ML: 123/81°
132,2 – 140,7	199-272/2-14°; ML: 295/2°	68-141/38-60°; ML: 105/43°	72-142/22-70°; ML: 100/24°

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
140,7 – 141,7	114/47°	276/29°	90-155/13-38°
141,7 – 144,5	82-122/12-32°; ML: 108/18°	90-128/16-57°	82-153/5-21°
144,5 – 148,8	28-55/28-46°; ML: 46/34°	17-32/33-53°	348-19/34-66°
148,8 – 150,0	65-78/27-34°; ML: 71/30°	–	352-25/33-48°
150,0 – 150,6	6-24/40-43°	–	356-51/38-52°
150,6 – 163,8	358-32/19-38°; ML: 9/27°	316-3/50-52°	108-205/6-32°; 7-30/21-42°

NT-15

Účelový hydrogeologický vrt bol počas realizácie merania postupne prepažený oceľovou pažnicou do hĺbky cca 32 m (PQ); 48 m (HQ) a 155 m (NQ), z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných hornín. V postupne dohotovených a odpažených častiach vrtu boli v dňoch 15.2. a 20.2.2017 realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou bola dňa 15.2.2017 HPV zaznamenaná v hĺbke 125,60 m, do dňa 20.2.2017 zaklesla do úrovne 187,00 m. Vodivosť po prekonaní HPV v úrovni 125,60 m postupne klesala s hĺbkou až na úroveň $1024 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (pri 25°C) v hĺbke 169,5 m. Výraznejšie zmeny vodivosti boli detekované v úrovniach: 136,0 – 136,3 a 140,8 – 141,8 m, tie zodpovedajú rozpukaným zónam. Teplota po prekonaní HPV najskôr dosiahla lokálne maximum $7,29^\circ\text{C}$ v úrovni 148,20 m a potom sa ustálila na úrovni cca $7,26^\circ\text{C}$ do konca meraného úseku. Merania zo dňa 20.2.2017 ukazujú výraznejšiu zmenu vodivosti v úrovni 188,5 – 188,8 m, v úrovni tektonicky porušenej zóny. Nasleduje lokálne maximum $875 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v hĺbke 190,0 m a potom postupný pokles na $582 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pri báze vrtu. Teplota po prekonaní HPV dosiahla lokálne maximum $8,0^\circ\text{C}$ v hĺbke 214,7 m.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným hmatadlom identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadnutie úlomkov zo steny vrtu a zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované výrazné zóny tektonického porušenia sú uvedené v tabuľke 21.

Tabuľka 21

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
64,9 – 65,9	HQ / 111
66,9 – 67,8	HQ / 122
70,1 – 70,3	HQ / 116
71,3 – 71,7	HQ / 122
73,2 – 75,4	HQ / 123
77,7 – 78,4	HQ / 114
82,1 – 83,5	HQ / 115
87,2 – 87,5	HQ / 112
95,5 – 95,9	HQ / 127
131,0 – 131,6	HQ / 129
175,5 – 175,9	NQ / 90
192,6 – 196,2	NQ / 121
199,3 – 199,8	NQ / 92
212,0 – 212,2	NQ / 85

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom hladiny podzemnej vody a prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené zhruba do úrovne 187 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 22).

Tabuľka 22

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
67,0 – 69,2	siltovce so žilami kalcitu, popukané	- / 73
69,2 – 70,1	tektonicky porušené siltovce	- / 78
70,1 – 71,2	kompaktný siltovec	- / 76
71,2 – 75,4	tektonicky porušený siltovec	- / 78
75,4 – 77,6	kompaktnejšia poloha siltovca s puklinami	- / 65
77,6 – 83,4	tektonicky porušený až zbridičnatý siltovec charakteru brekcie	- / 79
83,4 – 95,1	kompaktné siltovce, lokálne tektonicky porušené (86,1-86,6; 87,2-87,5; 89,6-90,0; 93,9-94,2 m)	- / 76
95,1 – 98,1	tektonicky porušený siltovec až brekcia	- / 90
98,1 – 104,3	kompaktnejší siltovec, lokálne porušený (101,6-101,9 m)	- / 73
104,3 – 107,2	tektonicky porušené siltovce, brekcia	- / 59
107,2 – 113,1	siltovce kalcifikované, kompaktné, s puklinami	- / 82
113,1 – 114,5	tektonicky porušená zóna	- / 92
114,5 – 117,9	kompaktný siltovec s puklinami	- / 77
117,9 – 118,5	tektonicky porušená hornina, brekcia	- / 57
118,5 – 121,4	kompaktnejší siltovec s puklinami	- / 63
121,4 – 125,7	tektonicky porušené siltovce	- / 65
125,7 – 130,9	kompaktný siltovec s puklinami	- / 86
130,9 – 132,2	tektonicky porušený siltovec, brekciatický	- / 82
132,2 – 146,5	Kompaktný siltovec s kalcitom a puklinami	- / 80
146,5 – 155,1	tektonicky porušená poloha siltovca s kalcitom	- / 75
155,1 – 165,3	kompaktný siltovec s puklinami a lokálnymi tektonickými poruchami	- / 82
165,3 – 167,7	tektonicky porušená zóna, pravdepodobne vápence	- / 44
167,7 – 170,7	kompaktné vápence	- / 33
170,7 – 172,4	tektonicky porušená zóna vo vápencoch	1470 / 55
172,4 – 173,7	vápence kompaktné, s puklinami	2035 / 55
173,7 – 176,5	tektonicky porušené vápence až charakteru brekcií	1533 / 55
176,5 – 179,7	vápence kompaktnejšie, s puklinami	2097 / 41
179,7 – 182,7	tektonicky porušené vápence, lokálne so zachovalejšími blokmi (180,9-181,2 a 181,7-182,1 m)	1520 / 53
182,7 – 192,8	vápence zväčša kompaktné, zonálne tektonicky porušené (182,9-183,5; 188,4-189,1 m)	502 / 42
192,8 – 199,0	tektonicky silne porušená zóna (brekcie)	337 / 38
199,0 – 219,0	vápence, zonálne tektonicky porušené v úsekoch: 199,8-200,2; 202,2-202,5; 204,2-205,0; 206,4-206,9; 207,7-208,0; 211,8-213,1; 213,7-215,2 a 217,2-218,8 m	470 / 40

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu, boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstvnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuit pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 23.

Tabuľka 23

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
67,0 – 69,2	227-229/11-13°	210-296/18-30°	302-342/28-36°
69,2 – 70,1	170-180/14-16°	165-266/22-26°	237-311/28-56°
70,1 – 71,2	336/19°	165/26°	12-65/21-44°
71,2 – 75,4	32-48/22-31°	310-320/35-42°	52-100/36-53°
75,4 – 77,6	292-325/32-37°	121-127/5-26°	0/14-23°
77,6 – 83,4	–	12-32/38°; 60-73/51-61°	97-111/39-62°
83,4 – 95,1	292-345/8-22°	335-42/8-45°	270-312/15-45°; 135-185/25-58°

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
95,1 – 98,1	49/37°	358-18/18-25 ; 148-152/28-33°	32-50/18-26°
98,1 – 104,3	45-108/15-24°; ML: 60/19°	91-98/17-22°	58-200/15-30°
104,3 – 107,2	–	225-240/25-63°	147-232/16-30°; 282-297/41-57°
107,2 – 113,1	71-77/25-29°	–	198-245/15-59°
113,1 – 114,5	259-292/20-23°	240-250/17-71°	199-335/28-36°
114,5 – 117,9	255-292/15-38°; ML: 264/22°	–	258-308/25-63°
117,9 – 118,5	–	108/75°	108/67°
118,5 – 121,4	335-0/41-55°	–	265-325/40-77°; 111-138/42-50°
121,4 – 125,7	302-330/25-30°; ML: 325/30°	282-306/43-49°	120-158/8-21°; 258-272/39-61°; 335-353/48-57°
125,7 – 130,9	258-315/20-32°; ML: 306/22°	–	287-310/17-25°; 80-92/17-22°
130,9 – 132,2	–	–	147/31°; 327/41°
132,2 – 146,5	282-352/18-33°; ML: 316/23°	–	235-262/18-32°; 269-305/43-63°
146,5 – 155,1	302-338/37-49°	225-250/35-59°; 288-302/48-52°	303-329/17-26°
155,1 – 165,3	263-316/15-40°; ML: 312/23°	272-318/32-47°	245-323/7-46°
165,3 – 167,7	312-351/30-48°	238-244/22-38°	274-314/35-52°
167,7 – 170,7	293-304/50-56°	–	308-347/35-48°
170,7 – 172,4	–	294-317/37-57°	265-318/33-61°
172,4 – 173,7	–	5/48°	292-4/25-43°; 310-320/68-78°
173,7 – 176,5	320/26°	233-288/41-59°	270-331/18-78°
176,5 – 179,7	309/31°	–	282-295/25-43°; 349-23/32-56°
179,7 – 182,7	–	–	248-305/12-19°; 273-293/28-52°; 319-342/49-67°
182,7 – 192,8	293-22/16-37°	263-273/58-62°; 288-318/20-43°	342-19/16-43°
192,8 – 199,0	–	293-326/42-79°	282-0/18-32°; 290-310/41-60°
199,0 – 219,0	260-277/13-36°; 334-39/26-35°	10/64°	21-109/13-42°; 267-289/22-45°

NT-16

Účelový šikmý piezometrický vrt (so sklonom 26-35°) bol počas realizácie karotážnych meraní prepažený oceľovou pažnicou do hĺbky cca 10 m (SQ); 114 m (PQ) a 200 m (HQ), z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných, či porušených predkvartérnych hornín. V postupne dohotovených a odpažených častiach vrtu boli v dňoch: 4.3., 6.3., 8.3. a 9.3.2017 realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou bola dňa 4.3.2017 HPV zaznamenaná v hĺbke 8,30 m. Teplota po prekonaní HPV postupne klesla na 4,1°C v úrovni 20,8 m. Hlbšie, v tektonicky porušenej zóne (21,0 – 25,0 m), začala mierne stúpať a pokračovala na lokálne maximum 5,15°C v hĺbke 97,2 m. Ku dnu meraného úseku v úrovni 113,6 m klesla na 5,02°C. Výraznejšia zmena teploty nastala v úseku 78,2 – 80,0 m (zóna tektonického porušenia). Počas merania v ďalšom úseku (113,8 – 197,0 m) boli zmeny teplôt smerom do hĺbky nevýrazné, z hodnoty 7,14°C došlo k postupnému nárastu na 7,86°C v úseku 159,6 – 164,0 m (zóna tektonicky porušených siltovcov), potom nasledoval pokles na 7,03°C v 197,0 m. Merania v poslednom úseku (197,0 – 258,9 m) ukázali

nevýrazný nárast hodnoty teploty z 7,80°C (198,0 m) na lokálne maximum 8,05°C (226,7 – 229,1 m a 234,0 – 238,0 m) na konečných 7,60°C v 258,9 m. Hodnoty vodivosti prepočítanej na teplotu 25°C sa zväčša pohybovali v rozsahu 460 – 480 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, bez výrazných zmien priebehu krivky hodnôt. Maximálne hodnoty vodivosti ($>500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) boli zistené v úsekoch: 28,1 – 48,1 m (kompaktné siltovce, s lokálnym porušením) a 105,1 – 112,9 m (siltovce s vápencami).

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom – navzdory problémom, ktoré sú inherentné pri použití trojramenného kalipra v šikmom vrte – identifikovali niekoľko výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadávanie úlomkov zo steny vrtu a následne aj zväčšenie jeho priemeru. Takto vymapované zóny intenzívneho porušenia hornín sú uvedené v tabuľke 24.

Tabuľka 24

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
10,0 – 26,3	PQ / 170
37,3 – 39,0	PQ / 135
52,5 – 61,9	PQ / 142
68,0 – 72,0	PQ / 144
135,1 – 136,8	HQ / 108
147,0 – 147,8	HQ / 107
162,1 – 163,6	HQ / 107
170,4 – 172,0	HQ / 110
177,4 – 178,0	HQ / 104

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené zhruba v úsekoch: 9,0 – 16,0; 112,5 – 114,5 a 197,5 – 199,5 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 25).

Tabuľka 25

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
19,2 – 22,0	tektonicky porušené siltovce	190 / 91
22,0 – 24,0	kompaktnejšie siltovce až pieskovce s puklinami	272 / 103
24,0 – 26,3	tektonicky porušené siltovce	195 / 90
26,3 – 37,9	kompaktnejšie siltovce s puklinami, lokálne až pieskovec (29,9 – 30,4 m)	243 / 80
37,9 – 38,2	zóna tektonicky porušených siltovcov	201 / 85
38,2 – 52,8	kompaktnejšie siltovce až pieskovce, puklinami postihnuté v úsekoch: 40,9 – 41,2; 42,9 – 43,1; 44,7 – 46,7; 51,2 – 51,9 m	238 / 86
52,8 – 61,5	zóna tektonicky porušených siltovcov, s polohou pieskovca (54,3 – 55,3 m)	200 – 210 / 80; pieskovec: 305
61,5 – 68,0	puklinami postihnuté siltovce	237 / 75
68,0 – 84,7	zóna tektonicky porušených siltovcov, minoritne porušených pieskovcov (78,4 – 79,7 m), intenzívne porušenie v úsekoch: 69,0 – 71,2; 77,7 – 78,4 a 84,0 – 84,6 m	225-235 / 68; pieskovec: 280
84,7 – 112,5	súvrstvie s prevahou vápencov a pieskovcov nad siltovcami, s lokálnym tektonickým porušením v úsekoch: 88,0 – 88,2; 92,1 – 92,8; 97,4 – 97,8; 102,2 – 102,5 a 103,4 – 103,6.	275 / 43
112,5 – 161,6	súvrstvie vápencov, prípadne pieskovcov so siltovcami, tektonicky porušené v úsekoch: 118,8 – 119,6; 132,5 – 133,5; 136,0 – 136,5; 141,5 – 141,7; 147,3 – 147,5; 151,2 – 151,5;	315 / 44
161,6 – 168,6	silne tektonicky porušená zóna v slienitých vápencoch až siltovcoch	345 / 46

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
168,6 – 170,4	poloha vápenca s puklinami	404 / 52
170,4 – 171,8	zóna tektonického porušenia vo vápencoch	353 / 43
171,8 – 174,4	poloha kompaktniejšieho vápenca	430 / 43
174,4 – 185,5	zóna tektonického porušenia vo vápencoch	360 / 45
185,5 – 194,2	kompaktnejšie vápence s puklinami, tektonicky porušené v úsekoch: 192,0 – 192,3 a 193,5 – 193,8 m	438 / 43
194,2 – 199,5	zóna tektonického porušenia vo vápencoch	295 / 46
199,5 – 202,3	poloha kompaktniejšieho vápenca s puklinami	589 / 41
202,3 – 210,6	slieňovce až slienité vápence, lokálne tektonicky porušené v úsekoch: 203,1 – 204,5; 206,3 – 206,6; 207,2 – 207,5; 209,6 – 209,9 m	484 / 42
210,6 – 212,8	kompaktný vápenec slienitý	538 / 34
212,8 – 215,0	zbridličený vápenec (zóna tektonického porušenia)	421 / 44
215,0 – 219,0	kompaktný vápenec	575 / 46
219,0 – 222,0	slieňovce až slienité vápence, lokálne porušené (220,2 – 220,3 a 221,6 – 221,7 m)	382 / 49
222,0 – 229,0	kompaktné vápence slienité, lokálne tektonicky porušené v úseku 228,1 – 229,0 m	513 / 47
229,0 – 259,8	kompaktné vápence, prípadne vápence slienité, iba lokálne tektonicky porušené v úsekoch: 248,0 – 248,1; 249,1 – 249,3; 251,6 – 251,7; 253,9 – 254,0	547 / 42

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpaženej časti vrtu boli štruktúrne systémy rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy. Vzhľadom k nepriehľadnosti optického prostredia pod úrovňou 203 m sa nám, navzdory nášmu úsiliu, nepodarilo presnejšie identifikovať a kvantifikovať štruktúrne prvky pod touto hĺbkou.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuít pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 26.

Tabuľka 26

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
< 19,2	–	70/60°	95-118/34-52°
19,2 – 22,0	150/58°	82-101/56-70°	6-48/15-48°; 167-185/9-46°
22,0 – 24,0	86/49°	125-132/51-62°	65-80/35-47°
24,0 – 26,3	–	113-160/49-63°	73/71°; 150/43°; 298/34°
26,3 – 37,9	81-95/28-46°; 125-129/59-61°	98-109/44-50°	80-112/36-62°; 115-138/51-65°
37,9 – 38,2	–	98-108/45-50°	–
38,2 – 52,8	60-162/24-52°; ML: 105/30°	76/65°; 277/40°	42-85/27-60°; 207- 245/18-50°; ML: 81/28°
52,8 – 61,5	88-162/28-38°; ML: 125/29°	59-97/50-69°; ML: 79/55°	75-129/21-46°; ML: 90/26°
61,5 – 68,0	59-81/34-60°; ML: 72/45°	–	40-80/26-72°; ML: 64/52°
68,0 – 84,7	59-120/37-48°; ML: 91/41°	71-95/38-55°; 269-278/62-77°; ML: 79/50°	62-71/44-61°; 88-150/23-48°; ML: 101/40°
84,7 – 112,5	17-80/9-33°; ML: 60/19°	56/19°; 179/60°	355-63/12-35°; 78-123/21-72°; 265-281/21-29°; ML: 86/26°
112,5 – 161,6	0-82/17-61°; ML: 44/35°	74-115/33-72°; ML: 83/48°	12-98/13-55°; ML: 73/33°
161,6 – 168,6	52-83/39-65°; ML: 65/54°	51-82/54-69°; ML: 66/59°	53-96/45-52°; 81-86/66-79°;

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
			ML: 82/51°
168,6 – 170,4	82/52°	90/66°	42-81/41-76°; 63/42°
170,4 – 171,8	–	68-121/21-66°; ML: 91/53°	28-110/11-76°; ML: 68/41°
171,8 – 174,4	83-101/35-45°	84/55°	28-74/43-62°; 108-122/40-50°; ML: 69/47°
174,4 – 185,5	111-225/8-27°; 181-215/35-47°; ML: 136/19°	282-301/46-59°; 145-169/31-38°	45-83/51-60°; 62-122/10-55°; ML: 83/29°
185,5 – 194,2	215-277/30-59°; ML: 257/41°	282-300/46-59°; 77-115/53-57°	85-149/38-73°; ML: 115/43°
194,2 – 199,5	158-177/44-45°	–	21-48/17-18°; 148-178/33-54°
199,5 – 202,3	60/50°; 126/32°	–	2-21/32-53°; 107-126/34-36°
202,3 – 210,6	–	–	350-17/13-45°; 49-38/49-60°

NT-17

Účelový šikmý piezometrický vrt (so sklonom 27-53°, priemerným 39°) bol počas realizácie karotážnych meraní prepažený ocelovou pažnicou do hĺbky cca 7 m (SQ) a 157 m (PQ), z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných, či porušených predkvartérnych hornín. V postupne dohotovených a odpažených častiach vrtu boli v dňoch: 1.12. a 6.12.2016 realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou dňa 6.12.2016 bola HPV zaznamenaná v hĺbke 26,60 m. Teplota po prekonaní HPV postupne plynule rástla až na maximálnu zaznamenanú hodnotu 7,86°C v úrovni 305,20 m a potom, smerom k báze vrtu, klesla na konečných 7,50°C v 325,10 m. Hodnoty vodivosti prepočítanej na teplotu 25°C sa zväčša pohybovali zhruba v rozsahu 480 – 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, bez výrazných zmien priebehu krivky hodnôt. Maximálna hodnota vodivosti (591 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) boli nameraná okamžite po prekonaní HPV (26,90 m), potom postupne klesala na hodnotu 486 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v úrovni 112,20 m. Pod úrovňou cca 126 m začína mierny nárast na hodnotu 533 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ v úrovni 167,5 – 168,0 m (otvorená tektonická porucha). Toto lokálne maximum sa ešte udržalo až do hĺbky cca 176 m (tektonicky porušená zóna). Potom, zhruba od hĺbky 200 m až úroveň 323,8 m sa hodnoty prepočítanej vodivosti pohybovali v rozsahu cca 490 – 505 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Posledný výrazný pokles vodivosti bol zaznamenaný pod úrovňou 323,90 m smerom k báze vrtu, keď namerané hodnoty klesli zo 496 na 427 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, čo by mohlo indikovať zmenu charakteru prúdenia podzemnej vody pri báze vrtu.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom (hmatadlom), navzdory aplikačným ťažkostiam pri použití trojramenného kalipra v šikmom vrte, identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadávanie úlomkov zo steny vrtu a následne aj zväčšenie jeho meraného priemeru. Použiteľné výsledky sa podarilo získať v úseku vrtu 149,2 – 319,8 m. Takto vymapované zóny intenzívnejšieho porušenia horniny, sú uvedené v tabuľke 27.

Tabuľka 27

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
159,6 – 160,1	HQ / 108
165,3 – 166,9	HQ / 109
168,0 – 168,2	HQ / 106
173,4 – 179,7	HQ / 122
181,6 – 183,1	HQ / 111
199,6 – 201,7	HQ / 106
202,0 – 206,9	HQ / 116

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
209,2 – 212,2	HQ / 115
213,5 – 215,2	HQ / 125
222,6 – 223,6	HQ / 113
230,8 – 231,8	HQ / 106
235,5 – 236,0	HQ / 107
237,5 – 240,0	HQ / 113
245,0 – 248,8	HQ / 108
271,7 – 272,5	HQ / 118

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom prítomnosti ocelových pažníc vo vrte, ovplyvnené v úrovni 0 – 26 m, hlbšie potom v 157 – 164 m. V procese snímania dochádzalo k občasným výpadkom meraných veličín v úseku 118 – 131 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 28).

Tabuľka 28

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
26,0 – 36,0	ílovce, tektonicky porušené	44 / 57
36,0 – 67,0	slieňovce, zrejme v prevahe nad ílovcami, lokálne tektonicky porušené v: 54,0 – 54,5; 55,2 – 55,5; 56,0 – 56,3; 61,0 – 61,2 m	190 / 65
67,0 – 114,0	kompaktné ílovce	134 / 66
114,0 – 125,2	slieňovce, menej ílovce, zrejme tektonicky postihnuté a zbridlčnené, s hojným výskytom kalcitu (veľký rozptyl meraných odporov)	160 / 65
125,2 – 142,3	kompaktné slieňovce	151 / 63
142,3 – 147,2	tektonicky porušené slieňovce, prípadne ílovce,	147 / 69
147,2 – 151,2	kompaktné slieňovce, prípadne ílovce	171 / 58
151,2 – 154,7	tektonicky porušené siltovce, prípadne ílovce, s kalcitom	145 / 61
154,7 – 173,0	kompaktné siltovce až slienité vápence	206 / 70
173,0 – 180,0	tektonicky porušené, zbridlčnené siltovce až slienité vápence	189 / 80
180,0 – 201,2	slienité vápence, pomerne kompaktné, lokálne porušené v: 182,1 – 182,6; 184,2; 191,5; 192,3; 193,0; 194,9 – 195,2; 195,9 – 196,0; 197,9 – 200,5 m	285 / 46
201,2 – 207,0	tektonicky porušené slienité vápence a siltovce	214 / 57
207,0 – 209,5	kompaktnejšie slienité vápence a siltovce	245 / 54
209,5 – 235,0	slienité vápence kompaktné, s polohami slieňovcov v: 222,9 – 224,1; 224,7 – 226,0; 226,7 – 227,4; 230,1 – 231,8 a 233,6 – 234,0 m	288 / 45
235,0 – 240,6	slienité vápence tektonicky porušené, až charakteru brekcie	259 / 38
240,6 – 245,1	slienité vápence kompaktné	304 / 44
245,1 – 247,5	tektonicky porušenie siltovce a slienité vápence, charakteru brekcií	227 / 51
247,5 – 251,6	slienité vápence a slieňovce, tektonicky porušené v úsekoch: 248,3 – 248,8; 249,2 – 249,7; 250,5 – 250,7; 251,3 – 251,5 m	273 / 54

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpažených častiach vrtu, boli použiteľné informácie získané v úseku 158,0 – 243,0 m. Zvyšok kamerového záznamu bol, z dôvodu vysokej opacity prostredia, žiaľ nepoužiteľný – navzdory všetkému nášmu úsiliu o jeho vylepšenie. Štruktúrne systémy boli rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuí pre vyčlenené kvázihomogénne bloky (iba pre bloky s použiteľným kamerovým záznamom) je prezentovaný v tabuľke 29.

Tabuľka 29

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
154,7 – 173,0	117-141/45-58°; 168-180/42-53°; ML: 137/47°	52-103/37-59°; ML: 89/46°	72-132/34-73°; 220-259/40-54°; 292-302/33-37°; ML: 99/43°
173,0 – 180,0	130-138/56-74°	74-170/48-72°; ML: 132/63°	93-143/56-70°; ML: 117/61°
180,0 – 201,2	92-155/33-56°; ML: 130/41°	–	88-156/21-77°; 276-332/34-82°; ML: 122/66°
201,2 – 207,0	119-136/35-40°	107-145/59-75°	94-148/34-72°; 306-313/53-68°; ML: 137/59°
207,0 – 209,5	84-134/36-45°	–	248-262/43-57°; 91-107/36-39°; 132-155/54-69°; ML: 134/46°
209,5 – 235,0	113-175/44-67°; ML: 138/53°	141-165/74-77°	108-155/38-67°; ML: 132/60°
235,0 – 240,6	–	–	153-185/56-60°; ML: 165/60°
240,6 – 245,1	–	–	35/49°; 93-107/41-55°; ML: 89/46°

NT-30

Účelový hydrogeologický vrt bol počas realizácie karotážnych meraní postupne prepažený oceľovou pažnicou do hĺbok cca 38 m a 171 m, z dôvodu výskytu nestabilných kvartérnych zemín, a aj silno zvetraných, či porušených predkvartérnych hornín. V postupne dohotovených a odpažených častiach vrtu boli dňa 16.5.2017 realizované karotážne merania.

Termometrickou a konduktometrickou sondážou bola, dňa 16.5.2017, HPV zaznamenaná v hĺbke 131,25 m. Po prekonaní HPV teplota podzemnej vody stúpala z počiatočnej hodnoty 6,27°C v podstate až po bázu vrtu (210 m) kde dosiahla namerané maximum 7,55°C. Rast sa spomalil v úrovni cca 180 m a po dosiahnutí 7,4°C. Až do úrovne 192 m bol nárast veľmi pomalý (7,46°C), potom plynulý, až na namerané maximum. V rámci vrtu však neboli meraním teploty zaznamenané výrazné zmeny režimu podzemnej vody v rámci vrtu. Konduktivita (pri 25°C) po prekonaní HPV dosiahla hodnotu 580 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a až do hĺbky 175 m zotrvala na zhruba rovnakej úrovni. Potom, medzi úrovňami 175 m a 194 m nastal strmší pokles vodivosti na úroveň cca 490 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a smerom ku dnu vrtu už potom vodivosť klesala iba pomaly na konečnú hodnotu 486 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zmenu v hĺbke cca 175 m podmienila pravdepodobne prítomná tektonika, ktorá zmenila režim podzemnej vody.

Kontinuálne merania priemeru steny trojramenným kaliprom boli vykonané zhruba v úseku 45 – 210 m. Merania identifikovali viacero výrazných zón tektonického porušenia, ktoré spôsobili vypadávanie úlomkov zo steny vrtu a následne zväčšenie jeho meraného priemeru. Takto vymapované zóny intenzívnejšieho porušenia horniny, sú uvedené v tabuľke 30.

Tabuľka 30

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
44,0 – 45,6	HQ / 112
48,2 – 48,6	HQ / 103
53,1 – 54,1	HQ / 103

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Priemer vrtu / Skutočný priemer vrtu (mm)</u>
60,9 – 66,0	HQ / 101
72,6 – 109,4	HQ / 103
113,6 – 118,0	HQ / 105
130,0 – 131,0	HQ / 110
152,3 – 153,2	HQ / 112
174,5 – 177,1	NQ / 98

Merania rezistivimetrie boli, vplyvom prítomnosti oceľových pažníc vo vrte, ovplyvnené do úrovne cca 171 m. Z kontinuálneho merania odporov horninového prostredia pozdĺž steny vrtu, s použitím interpretovaných výsledkov optickej karotáže a meraní prirodzenej (úhrnnej) γ -aktivity sme rozdelili profil vrtu do nasledujúcich kvázihomogénnych celkov (tabuľka 31). Do úrovne 170 m je horninový masív rozdelený na základe vizuálneho vyhodnotenia a γ -karotáže, nakoľko geoelektrické merania boli realizované až pod úrovňou 170 m.

Tabuľka 31

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
37,6 – 47,6	ílovce, lokálne siltovce, zbridičnené a tektonicky porušené v úsekoch: 39,0 – 42,0 a 42,5 – 46,4 m	– / 108
47,6 – 54,0	siltovce a ílovce, s polohami slienitých vápencov, tektonicky porušené až charakteru brekcie v úseku 53,2 – 54,0 m	– / 87
54,0 – 60,4	prevažne slienité vápence s kalcitovými žilkami, príp. slieňovce, zbridičnenie v úsekoch 54,4 – 56,0 a 57,9 – 59,3 m	– / 50
60,4 – 62,6	tektonicky porušená a zbridičnená poloha, zrejme v slienitých vápencoch	– / 60
62,6 – 85,3	prevažne slienité vápence, menej často siltovce až ílovce, ktoré sú v úsekoch: 65,1 – 65,3; 66,1 – 67,8; 68,7 – 69,2; 70,9 – 71,3; 73,8 – 75,2; 80,9 – 81,4 a 84,6 – 85,3 m. Poloha je pomerne kompaktná, zbridičnené zóny: 74,1 – 74,6; 76,1 – 76,7 a 78,4 – 80,0 m	– / 52
85,3 – 86,8	slienité vápence, tektonicky porušené, až charakteru brekcií	– / 43
86,8 – 89,2	kompaktné slienité vápence, s občasnými žilkami kalcitu	– / 42
89,2 – 95,6	slienité vápence kalcifikované, s prechodmi do siltovcov až ílovcov (90,1 – 91,2 a 93,2 – 94,0 m)	– / 48
95,6 – 99,6	tektonicky porušené slienité vápence, zbridičnené, až charakteru brekcií	– / 44
99,6 – 113,2	kompaktné prevažne slienité vápence, lokálne siltovce až ílovce, s výraznými kalcifikovanými puklinami v úsekoch: 102,1 – 104,6 a 107,2 – 109,4 m. Polohy s prevahou siltovcov / ílovcov predpokladáme v úsekoch: 101,8 – 102,2; 104,9 – 105,3; 106,4 – 106,7; 108,2 – 110,5 a 111,2 – 111,6 m	– / 39
113,2 – 119,1	zóna intenzívne tektonicky porušených slienitých vápencov s ílovcami (114,0 – 114,3 a 118,2 – 118,9 m), až charakteru brekcií, s hojným výskytom kalcitovej výplne	– / 46
119,1 – 154,8	pomerne kompaktné slienité vápence, lokálne s prítomnosťou siltovcov / ílovcov (121,4 – 121,8; 130,2 – 130,9; 151,8 – 152,2 m). Tektonické porušenie identifikované v úsekoch: 130,8 – 131,3; 133,3 – 133,6; 143,7 – 147,8; 150,4 – 150,8; 152,4 – 153,6 m.	– / 39
154,8 – 158,9	tektonicky postihnutá zóna v slienitých vápencoch, až charakteru brekcií v úsekoch: 154,8 – 155,4 a 158,5 – 158,8 m. Hojné sú kalcifikované pukliny.	– / 42
158,9 – 173,6	kompaktné slienité vápence, lokálne so siltovcami / ílovcami (161,4 – 161,6; 162,6 – 162,8; 166,5 – 166,7;	499 / 44

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Opis</u>	<u>Priem. hodnoty SPR (Ω) / γ (API)</u>
	172,9 – 173,0 m) so zachovanými znakmi vrstevnatosti. Lokálne pukliny (166,5 a 167,0 m)	
173,6 – 177,4	zóna tektonicky porušených vápencov	457 / 49
177,4 – 211,4	kompaktné vápence, lokálne s puklinami v úsekoch: 180,6 – 181,2; 182,8 – 183,1; 185,1 – 185,3; 189,5 – 189,6; 190,1 – 190,2; 197,8 – 198,0; 198,7 – 198,8; 199,5 – 199,6; 200,2 – 200,3; 201,9 – 202,0; 203,7 – 203,8; 205,1 – 205,3; 206,7 – 206,8 a 208,8 – 208,9 m. Na základe fyzikálnych prejavov je to najkvalitnejší úsek vrtu.	680 / 49

Z výstupu optickej karotáže, ktorá bola realizovaná v odpažených častiach vrtu, boli použiteľné informácie získané v úseku 38 – 211 m. Štruktúrne systémy boli rozdelené do troch skupín (vrstevnatosť, tektonické poruchy a pukliny), pre ktoré boli vykreslené príslušné priesečnicové diagramy.

Prehľad dominantných smerov a sklonov orientácií diskontinuít pre vyčlenené kvázihomogénne bloky je prezentovaný v tabuľke 32.

Tabuľka 32

<u>Hĺbka (m)</u>	<u>Vrstvy</u>	<u>Tekt. poruchy</u>	<u>Pukliny</u>
37,6 – 47,6	240-244/7-8°	270/30°	153-205/29-38°; 258-278/13-22°; 338-15/20-36°
47,6 – 54,0	–	1/19°; 201/31°	121-208/22-36°; ML: 184/21°
54,0 – 60,4	350-7/12-20°; 304-329/45-46°	–	217-312/25-44°; ML: 255/26°
60,4 – 62,6	–	–	72-86/30-73°
62,6 – 85,3	306-43/12-37°; ML: 6/20°	–	73-95/20-70°; 226-290/10-26°
85,3 – 86,8	–	–	70-95/43-70°; ML: 80/55°
86,8 – 89,2	–	–	72-105/43-69°; ML: 91/54°
89,2 – 95,6	–	–	10/46°; 174/52°
95,6 – 99,6	–	–	249-269/26-38°; 94- 174/40-52°
99,6 – 113,2	–	–	82/28°; 232-259/58-71°
113,2 – 119,1	–	–	105-168/24-47°; ML: 129/37°
119,1 – 154,8	218-285/9-26°; ML: 251/17°	–	54-126/36-62°; 267-318/29-54°
154,8 – 158,9	237-303/13-54°; ML: 286/23°	–	222/54°
158,9 – 173,6	316-53/14-29°; ML: 17/17°	–	109-119/38-72°
173,6 – 177,4	–	120-126/72-81°	125-195/32-74°; ML: 159/71°
177,4 – 211,4	281-5/7-33°; ML: 325/17°	–	277-315/31-58°; 58-85/56-63°; 0-19/12-21°; 98-133/29-34°; 169-226/21-32°; ML: 50/7°

Zoznam použitej literatúry:

- MAREŠ, S. a kol.: Úvod do užitej geofyziky, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1990;
- GAJDOŠ, V.: Elektromagnetické vlastnosti hornín, UK Bratislava, Prírodovedecká fakulta, KAEG, 2013, manuscript (PDF);
- JANOTKA, V.: Geofyzikálne merania vo vrtoch (karotáž), UK Bratislava, Prírodovedecká fakulta, KAEG, 2010, manuscript (PDF);
- TELFORD, W.M. et al.: Applied Geophysics, Bertrams 1990.

V Žiline 23. 6. 2017

RNDr. Štefan Holeša
Ing. Ladislav Stolárik**Obsah**

1. Úvod-----	1
2. Postup realizácie karotážnych meraní -----	3
3. Charakteristika jednotlivých karotážnych sond použitých pri riešení zadanej úlohy -----	3
4. Vysvetlenie obsahu príloh-----	5
5. Interpretácia karotážnych meraní vo vrtoch -----	6
Zoznam použitej literatúry: -----	31
Obsah-----	31
Zoznam príloh -----	31

Zoznam príloh

Príloha 7.1	Karotážne merania vo vrte NT-01;
Príloha 7.2	Karotážne merania vo vrte NT-02;
Príloha 7.3	Karotážne merania vo vrte NT-04;
Príloha 7.4	Karotážne merania vo vrte NT-06;
Príloha 7.5	Karotážne merania vo vrte NT-07;
Príloha 7.6	Karotážne merania vo vrte NT-08;
Príloha 7.7	Karotážne merania vo vrte NT-09;
Príloha 7.8	Karotážne merania vo vrte NT-10;
Príloha 7.9	Karotážne merania vo vrte NT-11;
Príloha 7.10	Karotážne merania vo vrte NT-12;
Príloha 7.11	Karotážne merania vo vrte NT-13;
Príloha 7.12	Karotážne merania vo vrte NT-14;
Príloha 7.13	Karotážne merania vo vrte NT-15;
Príloha 7.14	Karotážne merania vo vrte NT-16;
Príloha 7.15	Karotážne merania vo vrte NT-17;
Príloha 7.16	Karotážne merania vo vrte NT-30.

Súradnice vrtu:

X: 1187599,40 m
 Y: 407306,42 m
 Z: 576,77 m

Názov vrtu:

NT-11

Hĺbka vrtu: 65,0 m

Meranie realizoval: Ing. L. Stolárik, Mgr. M. Borovský

Vyhodnotil: RNDr. Š. Holeša, Ing. L. Stolárik

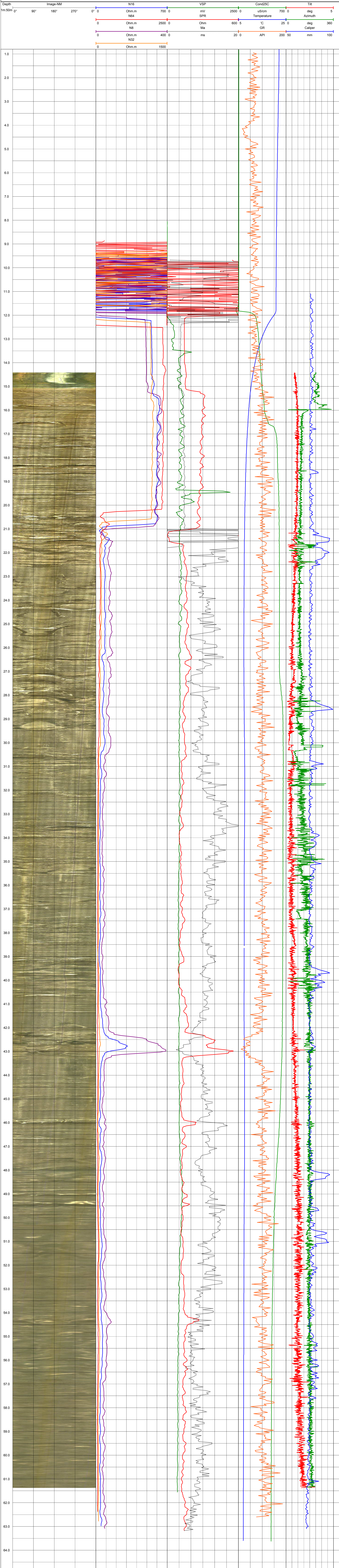
Spracoval: Ing. L. Stolárik, RNDr. Š. Holeša

Číslo prílohy: 7.9

CADECO a.s

Svätoplukova 28

821 08 Bratislava





Názov geologickej úlohy:

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa

podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum – časť A

Súradnice vrtu:

X: 1187595,90 m
Y: 407369,82 m
Z: 557,62 m

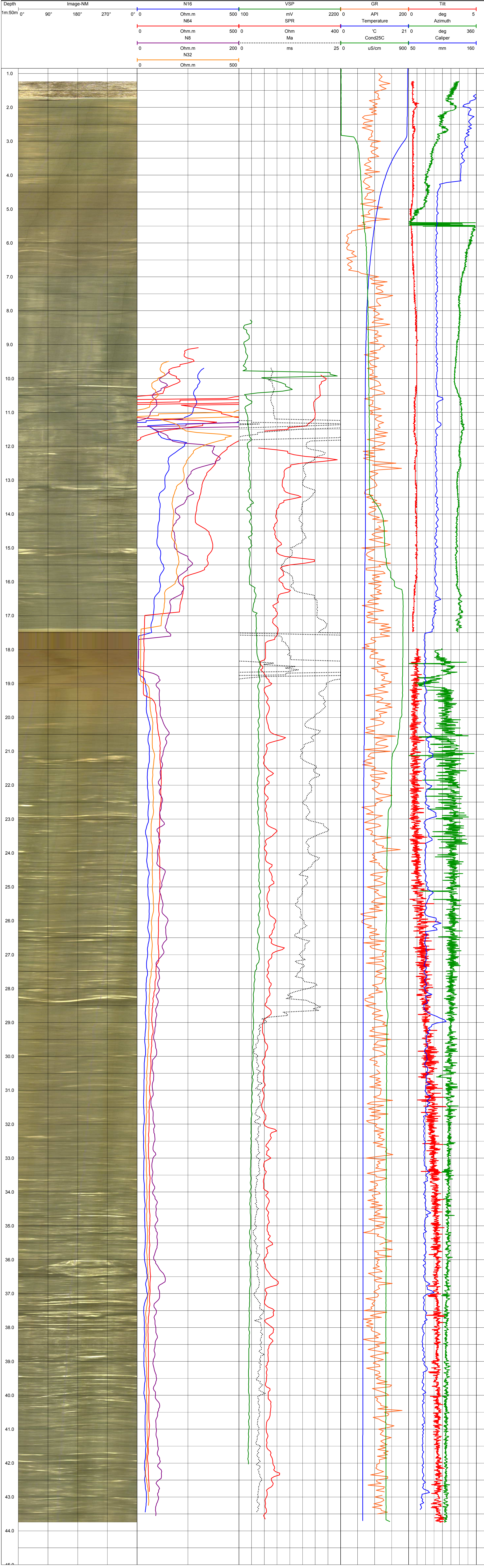
Názov vrtu:

NT-10

Hĺbka vrtu: 45,0 m

Meranie realizoval: Ing. L. Stolárik, Mgr. M. Borovský
Vyhodnotil: RNDr. Š. Holeša, Ing. L. Stolárik
Spracoval: Ing. L. Stolárik, RNDr. Š. Holeša
Číslo prílohy: 7.8

CAD-ECO a.s
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava



Súradnice vrtu:

X: 1187524,00 m
 Y: 407509,10 m
 Z: 544,14 m

Názov vrtu:

NT-09

Hĺbka vrtu: 45,0 m

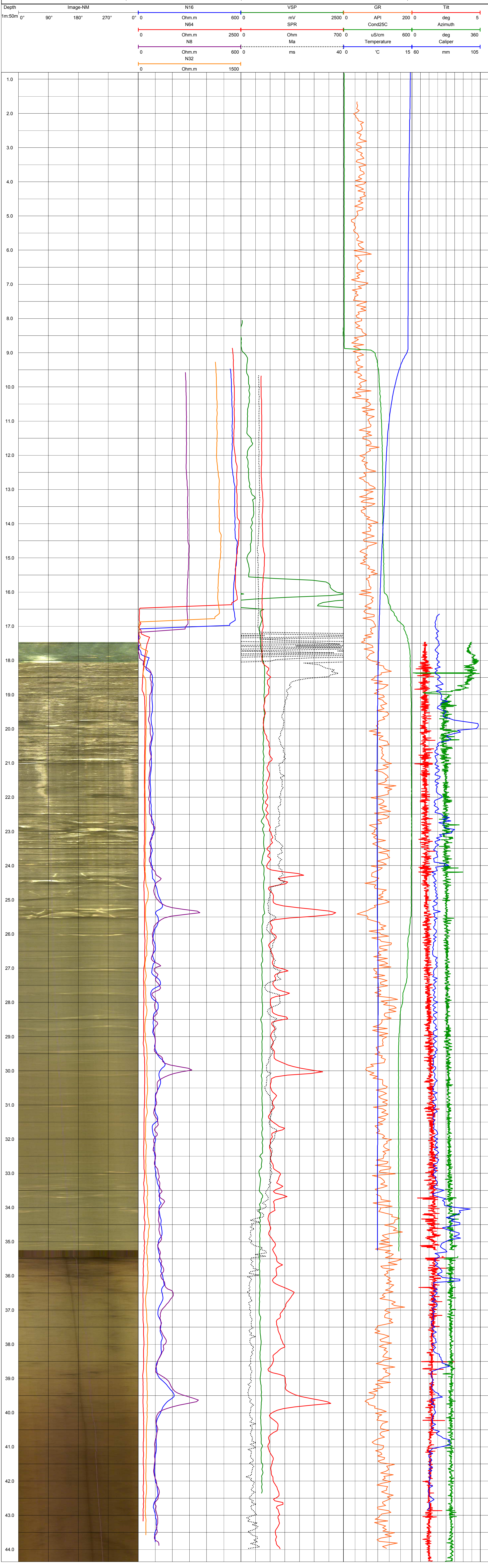
Meranie realizoval: Ing. L. Stolárik, Mgr. M. Borovský

Vyhodnotil: RNDr. Š. Holeša, Ing. L. Stolárik

Spracoval: Ing. L. Stolárik, RNDr. Š. Holeša

Číslo prílohy: 7.7

CAD-ECO a.s
 Svätoplukova 28
 821 08 Bratislava





Názov geologickej úlohy:

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa

podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum – časť A

Súradnice vrtu:

X: 1187579,16 m
Y: 407440,22 m
Z: 547,72 m

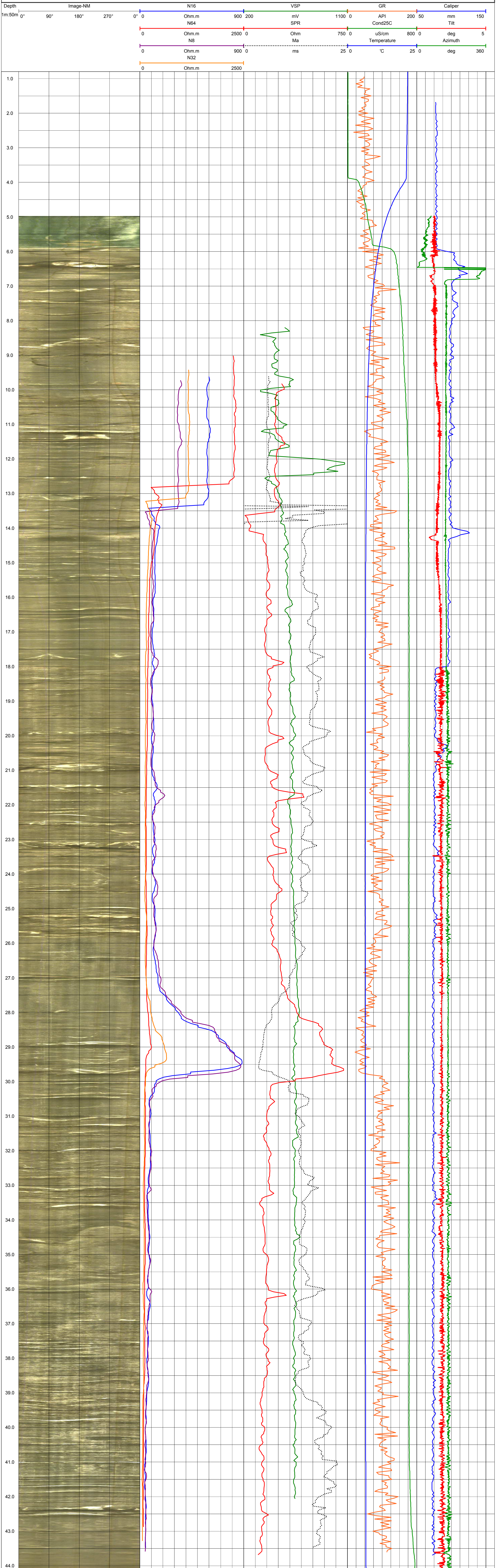
Názov vrtu:

NT-08

Hĺbka vrtu: 45,5 m

Meranie realizoval: Ing. L. Stolárik, Mgr. M. Borovský
Vyhodnotil: RNDr. Š. Holeša, Ing. L. Stolárik
Spracoval: Ing. L. Stolárik, RNDr. Š. Holeša
Číslo prílohy: 7.6

CAD-ECO a.s
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava





Názov geologickej úlohy:

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa

podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum – časť A

Súradnice vrtu:

X: 1187601,19 m
Y: 407490,36 m
Z: 540,92 m

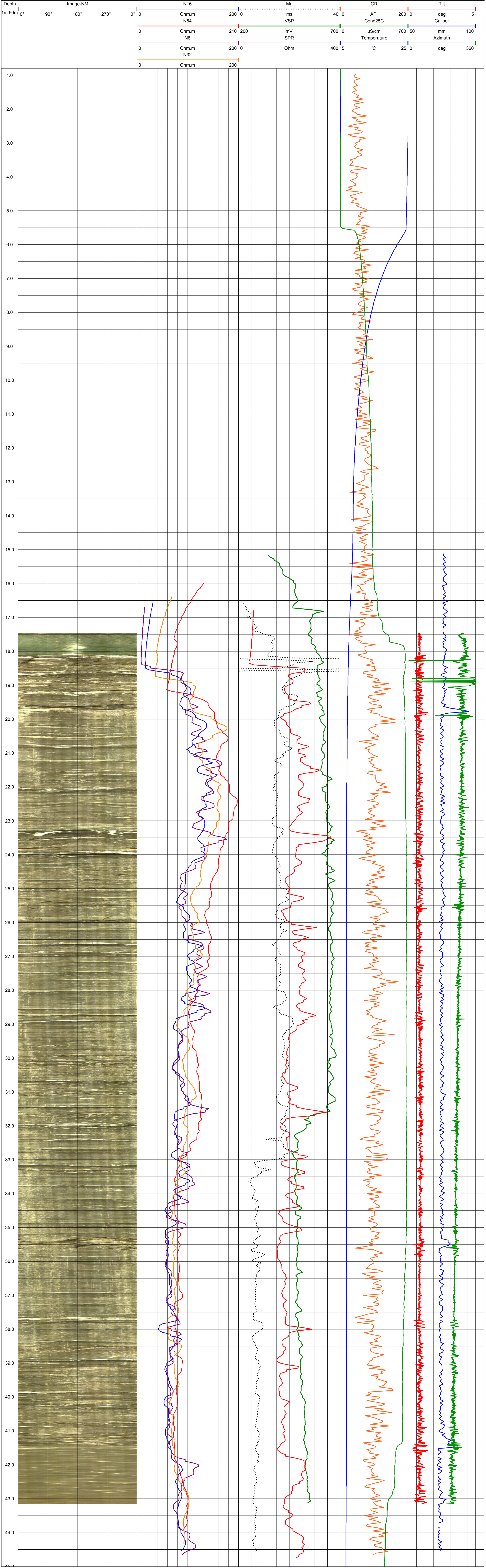
Názov vrtu:

NT-07

Hĺbka vrtu: 45,5 m

Meranie realizoval: Ing. L. Stolárik, Mgr. M. Borovský
Vyhodnotil: RNDr. Š. Holeša, Ing. L. Stolárik
Spracoval: Ing. L. Stolárik, RNDr. Š. Holeša
Číslo prílohy: 7.5

CAD-ECO a.s
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava





CAD-ECO a.s., Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava
projekčná činnosť | inžinierska činnosť | stavebný dozor | životné prostredie
inžinierska geológia | hydrogeológia | geotechnika | geofyzika | ložisková geológia

Geologické oprávnenie na vykonávanie geologických prác
vydané MŽP SR pod poradovým číslom 2069, dňa 07.09.2015,
číslo spisu: 6321/2015-7.3

PREDBEŽNÁ ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov geologickej úlohy:	Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum - časť A
Číslo geologickej úlohy:	166/2016/ZA
Reg. číslo GEOFOND:	18/2016
Etapa prieskumu:	podrobný
Okres:	Ružomberok (508)
Objednávateľ:	ZDRUŽENIE ČEBRAŤ Furmanská 6 841 03 Bratislava zastúpené spoločnosťou OHL ŽS, a.s. Burešova 938/17 602 00 Brno Česká republika
Zhotoviteľ:	CAD-ECO a.s. Svätoplukova 28 821 08 Bratislava
Zodpovedný riešiteľ:	Mgr. Martin Borovský
Spoluriešitelia úlohy:	Ing. Július Bohyník Ing. Martin Sinak Ing. Ladislav Stolárik Mgr. Marian Coplák RNDr. Štefan Holeša RNDr. Marian Kuvik Martin Šimek Štefan Konkolovský
Dátum vyhotovenia:	31.5.2017
Exemplár číslo:	0
Za objednávateľa schválil:	Ing. Rozália Gergelyová predseda predstavenstva

OBSAH

1	Všeobecná časť.....	1
1.1	Hospodársko – administratívne údaje	1
1.2	Identifikačné údaje	1
1.3	Stručná charakteristika prírodných pomerov	2
1.3.1	Geomorfologické pomery	2
1.3.2	Seizmicita územia	3
1.3.3	Klimatické pomery.....	3
1.3.4	Geologické pomery	4
1.3.5	Inžinierskogeologické pomery	7
1.3.6	Geodynamické javy.....	8
1.4	Hydrogeologická charakteristika.....	9
1.5	Geologická preskúmanosť územia	10
1.6	Ložiská nerastných surovín	11
1.7	Legislatívna ochrana územia.....	12
1.8	Metodika prác	12
1.8.1	Jadrové vrty	13
1.8.2	Poľné skúšky	16
1.8.3	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky zemín.....	20
1.8.4	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky hornín	20
1.8.5	Geofyzikálne povrchové merania	21
1.8.6	Karotážne merania.....	22
1.8.7	Práce geologickej služby	23
2	PODROBNÁ ČASŤ	26
2.1	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika zemín a hornín	26
2.1.1	Kvartér	26
2.1.2	Mezozoikum.....	30
2.2	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia	37
2.2.1	Úsek 1,000 – 1,550	37
2.2.2	Úsek 1,550 – 1,750 most 203	39
2.2.3	Úsek 1,750 – 1,850 zárez	41
2.2.4	Úsek 1,850 – 2,000 most 204	42
2.2.5	Portálový zárez v km 2,000 –2,067	43
2.2.6	Razený tunel Čebrať v km 2,067–5,663	47
2.3	Hydrogeologické pomery územia	71
2.3.1	Úsek diaľnice v km 0,000 – 2,400	71

2.3.2	Oblasť západného portálu tunela Čebrať	73
2.3.3	Úsek diaľnice novej trasy tunela Čebrať	73
2.3.4	Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje	80
2.4	Kategorizácia a využiteľnosť zemín a hornín	88
2.4.1	Kategorizácia zemín a hornín	88
2.4.2	Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín	88
2.5	Zoznam súradníc prieskumných diel	90
3	Záver	93
	Sumarizácia výsledkov a odporúčaní	93
3.1	Trasa variantu V1 vedená na povrchu	93
3.2	Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V1	94
3.3	Trasa variantu V1 vedená tunelom Čebrať	96
3.3.1	Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať	98
3.3.2	Vplyv razenie tunela Čebrať na horninové prostredie	99
3.4	Návrh prác ďalšej etapy prieskumu	101
	Zoznam použitej literatúry	102
	Zoznam použitých noriem	104

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava).....	5
Obrázok 2 Realizácia šikmého štruktúrneho vrtu NT-17 v zimných podmienkach	16
Obrázok 3 Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.....	22
Obrázok 4 Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín – tektonická brekcia	31
Obrázok 5 Rozpukané navetrané ílovce s lamínami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti.....	32
Obrázok 6 Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s lamínami siltovca.....	33
Obrázok 7 Tektonicky porušené, zbridičnatené a detailne zvrásnené slienité vápence s preplástkami zbridičnatených vápnitých ílovcov.....	36
Obrázok 8 Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápnitých ílovcov.....	36
Obrázok 9 Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.....	40
Obrázok 10 Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.....	42
Obrázok 11 Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka	44
Obrázok 12 Pohľad na čelbu tunela v prostredí slienitých vápencov s preplástkami ílovcov	66
Obrázok 13 Oblasť tunela Čebrať širšia bilančne hodnotená oblasť.....	74
Obrázok 14 Priestorový pohľad na hlavné charakteristické tektonické poruchy (pohľad zo severu).....	76
Obrázok 15 Namodelované hydroizohypsy piezometrickej výšky hladiny podzemnej vody	76
Obrázok 16 Schématický geologický rez severnou tunelovou rúrou s grafickým vyjadrením prognózy prítokov do tunelových rúr,.....	78
Obrázok 17 Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok (VÝKRES RIEŠENIA VEREJNÉHO TECHNICKÉHO VYBAVENIA - VODNÉ HOSPODÁRSTVO).....	81
Obrázok 18 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy.....	84
Obrázok 19 Graf nasýtenia vody vodárenských a miestnych vodných zdrojov	84

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Geomorfologické členenie (celá trasa D1 Hubová - Ivachnová).....	2
Tabuľka 2 Klimatické charakteristiky podľa Quitta	3
Tabuľka 3 Priemerné mesačné zrážkové úhrny a priemerné teploty (1951 – 1980)	4
Tabuľka 4 Ložiská nevyhradených nerastov.....	12
Tabuľka 5 Ložiská vyhradených nerastov s chráneným ložiskovým územím.....	12
Tabuľka 6 Ložiská s určeným dobývacím priestorom	12
Tabuľka 7 Prehľad realizovaných vrtných prác – vrty vrtané nasucho	13
Tabuľka 8 Prehľad realizovaných vrtných prác – vrty WL s dvojitou jadrovkou.....	15
Tabuľka 9 Prehľad presiometrických skúšok vo vrtoch.....	17
Tabuľka 10 Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch	18
Tabuľka 11 Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie	18
Tabuľka 12 Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok.....	19
Tabuľka 13 Prehľad realizovaných vsakovacích skúšok.....	20
Tabuľka 14 Prehľad odberu vzoriek hornín a realizácie laboratórných prác mechaniky hornín.....	20
Tabuľka 15 Prehľad geotechnických parametrov kvartérnych zemín.....	29
Tabuľka 16 Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského	

príkrovu (mráznické súvrstvie, porubské súvrstvie, osnické súvrstvie a pod.).....	35
Tabuľka 17 Prehľad charakteristík inžinierskogeologických typov pre úsek A	58
Tabuľka 18 Prehľad charakteristík inžinierskogeologických typov pre úsek B	67
Tabuľka 19 Prehľad vyčlenených úsekov tunela Čebrať.....	68
Tabuľka 20 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000.....	71
Tabuľka 21 Prehľad laboratórne stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností zemín na betónové konštrukcie podľa STN EN 206-1:2015 a oceľ uloženú v pôde (v horninách) podľa STN 03 8372 (tab. 2 hodnotiacej normy)	73
Tabuľka 22 Prognóza trvalých prítokov do tunelových rúr podľa vyčlenených charakteristických úsekov tunela	78
Tabuľka 23 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000.....	79
Tabuľka 24 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000.....	79
Tabuľka 25 Ročné výdatnosti prameňov 1-10 vodného zdroja Staré Lazy za roky 2007 – 2016	84
Tabuľka 26 Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti.....	89
Tabuľka 27 Zoznam súradníc prieskumných diel.....	90
Tabuľka 28 Prehľad hodnotenia kvality horninového prostredia pre účely výstavby tunela.....	95

Zoznam príloh**PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000****PRÍLOHA 2 MAPY DOKUMENTÁCIE M 1 : 4000**

Príloha 2.1 Situácia prieskumných diel

Príloha 2.2 Mapa dokumentácie

PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA

Príloha 3.1 Geologická dokumentácia prieskumných diel

Príloha 3.2 Fotodokumentácia vrtoch

Príloha 3.3 Zoznam dokumentačných bodov

Príloha 3.4 Dokumentácia prameňov a vodných zdrojov

PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY

Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,137

Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,407

Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 1,600

Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 1,780

Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,068

Príloha 4.6 Schematický inžinierskogeologický rez 6 – 6` v km 2,154

Príloha 4.7 Schematický inžinierskogeologický rez 7 – 7` v km 0,673

Príloha 4.8 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS – PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 0,000 – 1,150 STR

Príloha 4.9 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PJ – PJ` osou južnej vetvy diaľnice D1 v km 0,000 – 1,150 JTR

Príloha 4.10 Schematický inžinierskogeologický rez STR – STR` trasou severnej tunelovej rúry v km 2,000 – 6,700

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

Príloha 5.1 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina, Katedra geotechniky, Žilinská univerzita, Žilina)

Príloha 5.2 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky hornín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina, CAD-ECO a.s., Bratislava, Ústav geotechniky SAV, Košice)

Príloha 5.3 Výsledky RTG analýz hornín, petrografické a stratigrafické vyhodnotenie hornín (Geologický ústav SAV, Banská Bystrica)

Príloha 5.4 Výsledky laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)

Príloha 5.5 Výsledky izotopových analýz podzemných vôd (ŠGÚDŠ, Bratislava)

PRÍLOHA 6 POLNÉ SKÚŠKY

Príloha 6.1 Výsledky presiometrických skúšok vo vrtoch

Príloha 6.2 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch

Príloha 6.3 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie

Príloha 6.4 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch

Príloha 6.5 Výsledky hydrometrovacích meraní povrchových tokov

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko

Žilina)

PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ

- Príloha 6.1 Výsledky geoelektrických meraní SOP a VES
- Príloha 6.2 Výsledky meraní inžinierskej seizmiky
- Príloha 6.3 Výsledky meraní georadarom

PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 10 HYDROCHEMICKÉ ZHODNOTENIE (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 11 VÝSLEDKY REŽIMOVÝCH POZOROVANÍ, BILANCIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 12 TECHNICKÁ SPRÁVA

- Príloha 12.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtov (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)
- Príloha 12.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtov (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 13 MERAČSKÁ SPRÁVA (GEOSMART s.r.o., Žilina)

1 VŠEOBECNÁ ČASŤ

1.1 Hospodársko – administratívne údaje

Predkladaná záverečná správa geologickej úlohy

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa podrobný inžinierskogeologický prieskum - časť A

je vypracovaná na základe Zmluvy č. W221113/36787957/00/DOD00103911, pričom práce boli zahájené na základe listu č. 12164/AA.01/16-7247/2016 – Pokyn objednávateľa spoločnosti OHL ŽS a.s Bratislava ako zástupcu Združenia Čebrať zo dňa 11.11.2016. Geologická úloha bola u zhotoviteľa prác, spoločnosti CAD-ECO a.s. Bratislava, zaregistrovaná pod číslom 166/2016/ZA. Na odbore informatiky GEOFONDu bola úloha zaregistrovaná pod číslom 18/2016. Vzhľadom na požiadavku Objávateľa realizovať v budúcnosti aj ďalší prieskum formou banského prieskumného diela ako podrobný inžinierskogeologický prieskum, označujeme aktuálnu etapu podrobného prieskumu ako časť A.

Úloha bola riešená v etape podrobného prieskumu, pričom priamo nadväzovala na predchádzajúci orientačný inžinierskogeologický prieskum, ktorý bol zameraný len na portálovú oblasť tunela Čebrať (na základe požiadavky NDS a.s., kedy bol komplexný prieskum pre novú trasu diaľnice pomerne nevhodne rozdelený na dve časti). V tejto predkladanej záverečnej správe do hodnotenia zahŕňame i práce, ktoré boli realizované v orientačnej etape prieskumu. Hodnotenie geologických, inžiniersko-geologických, hydrogeologických a geotechnických pomerov bude teda komplexné pre celú trasu diaľnice v hodnotenom úseku 1,0 – 6,9 km.

1.2 Identifikačné údaje

Stavba

Názov stavby: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa
Kraj: Žilinský
Okres a kód okresu: Ružomberok (508)
Katastrálne územia: Hrboltová, Likavka
Druh stavby: Novostavba

Objednávateľ

Názov: **ZDRUŽENIE ČEBRAŤ**
Adresa: Furmanská 6
841 03 Bratislava
IČO: 35 881 879
IČ DPH: SK2021815191
Bankové spojenie: VÚB Banka, č.ú.: 3223112556/0200

Zhotoviteľ

Názov: **CAD-ECO a.s.**
Adresa: Svätoplukova 28
821 08 Bratislava
IČO: 36 006 980
IČ DPH: SK2020451257
Bankové spojenie: ČSOB, a.s. Žilina, č.ú.: 184268633/7500

1.3 Stručná charakteristika prírodných pomerov

Záujmové územie predstavuje okolie novej trasy diaľnice D1 v úseku Hubová – Likavka (približne km 1,0 – 6,9). Územie sa nachádza v Žilinskom samosprávnom kraji, v okrese Ružomberok (508) v katastrálnom území obcí Hrboltová (IČZÚJ 510998, IČÚTJ 819221) a Likavka (IČZÚJ 510599, IČÚTJ 832171).

Nová trasa začína v km 1,0 rozostavanej diaľnice D1 Hubová - Ivachnová (pôvodná trasa) medzi obcami Hubová a Hrboltová, pričom následne sa odkláňa od pôvodného koridoru diaľnice smerom na sever. Približne v km 2,1 novej trasy vstupuje diaľnica do tunela Čebrať. Tunelom prechádza popod južné svahu kóty Radičiná (1127,2 m n.m.) a severné svahy vrchu Čebrať (1054,2 m n.m.) a od jeho východného portálu vstupuje do údolia Likavky severne od obce Likavka. Poloha východného portálu tunela Čebrať sa nemení. Trasa ďalej pokračuje v pôvodnom koridore diaľnice D1 Hubová - Ivachnová až po koniec úseku.

1.3.1 Geomorfologické pomery

Z geomorfologického hľadiska širšie okolie trasy diaľnice D1 leží v subprovincii Vnútrotných Západných Karpát, oblasti fatransko-tatranskej a patrí do celkov Veľká Fatra (podcelok Šípska Fatra) a Podtatranská kotlina (podcelok Liptovská kotlina, časti Chočské podhorie, Liptovské nivy a Galovianske háje).

Hornatinový reliéf v úseku Hubová – Likavka odráža geologickú stavbu a vývoj územia. Charakteristické sú hlboko zarezané antecedentné doliny so strmými (sklon viac ako 15°, v bralnatých častiach i nad 30°), mierne členitými svahmi. Typickým prvkom je rozbrázdnenie svahov vysokých vrchov početnými rázsochami a dolinami. Najvýraznejšími vrcholmi v tejto časti trasy sú Borček (713,6 m n.m.), Radičiná (1127,2 m n. m.) a Čebrať (1054,2 m n.m.). Miernejšie sklony svahov sú charakteristické len pre širšie časti údolia Váhu v oblasti Hubovej a Hrboltovej.

Tabuľka 1 Geomorfologické členenie (celá trasa D1 Hubová - Ivachnová)

	1	2	3	4	5
Sústava	Alpsko-himalájska				
Podsústava	Karpaty				
Provincia	Západné Karpaty				
Subprovincia	Vnútrotné Západné Karpaty				
Oblasť	Fatransko-tatranská oblasť				
Celok	Veľká Fatra	Podtatranská kotlina			Chočské vrchy
Podcelok	Šípska Fatra	Liptovská kotlina			Choč
Časť	-	Chočské podhorie	Liptovské nivy	Lubelská pahorkatina	-

Hlavným činiteľom, ktorý ovplyvňoval vývoj územia v nedávnej geologickej minulosti, bol tok rieky Váh v súčinnosti s tektonickými procesmi - výzdvihom okolitých pohorí a poklesávaním výplne kotliny, resp. so spätnými násunmi horninových krýh. Smer toku Váhu je najvýznamnejšie ovplyvnený tektonickým porušením a geologickou stavbou okolitých horstiev, kde rieka sledovala najoslabenejšie časti masívu. Riečna činnosť - najmä bočná a hĺbková erózia a akumulácia - spôsobovala vznik epigenetických meandrov (najmä v neogéne a kvartéri). Výsledkom tejto činnosti je údolie s hlboko zarezaným vodným tokom s pomerne strmými svahmi. Podrezávaním svahov eróznou činnosťou rieky a následným prerozdelením napätosti masívov dochádza k vzniku svahových pohybov vo forme plošných zosunov i blokových deformácií. Pri vyústeniach bočných prítokov Váhu do hlavnej doliny vznikli prolúviálne kužele rozličného rozsahu.

1.3.2 Seizmicita územia

Z hľadiska **seizmicity** v zmysle STN EN 1998-1-1 (Seizmické zaťaženia stavebných konštrukcií) záujmové územie leží v oblasti seizmickej intenzity 6° MSK-64 a nachádza sa v zdrojovej oblasti seizmického rizika č.4 so základným seizmickým zrýchlením $a_r = 0,3 \text{ m.s}^{-2}$, pričom hodnota referenčného špičkového zrýchlenia $a_{gR} = 0,63 \text{ m.s}^{-2}$. Geologické podložie je možné zaradiť prevažne do kategórie A.

1.3.3 Klimatické pomery

Klimatické pomery územia sú podmienené pomerne vysokou nadmorskou výškou okolitých pohorí v úseku diaľnice Hubová – Likavka a uzatvoreným charakterom údolia Váhu a priľahlých dolín. V zmysle starších klasifikácií podľa Quitta (1971) je skúmaná oblasť zatriedená do klimatických oblastí **MT1** a priľahlé svahy do oblasti **CH5**. Klimatická oblasť **CH5** je charakterizovaná veľmi krátkym až krátkym letom, mierne chladným a vlhkým, dlhým prechodným obdobím s chladnou jarou a mierne chladnou jeseňou. Zima je veľmi dlhá a chladná, mierne vlhká, s dlhým obdobím trvania snehovej pokrývky. Klimatická oblasť **MT1** je charakterizovaná krátkym letom, mierne chladným a vlhkým. Prechodné obdobie je veľmi dlhé, s mierne chladnou jarou a miernou jeseňou. Zima je dlhá, chladná, suchá až mierne suchá, s dlhým obdobím trvania snehovej pokrývky. Prehľad klimatických charakteristík je spracovaný v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Klimatické charakteristiky podľa Quitta

Klimatické charakteristiky / Klimatická oblasť	MT1	CH5
Počet letných dní ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$)	20 - 30	10 - 30
Počet dní s priemernou teplotou 10°C a viac	120 - 140	100 - 120
Počet mrazových dní ($T_{\max} \leq 0,1^\circ\text{C}$)	160 - 180	140 - 160
Počet ľadových dní ($T_{\min} \leq 0,1^\circ\text{C}$)	40 - 50	60 - 70
Priemerná teplota v januári [$^\circ\text{C}$]	-5 - -6	-5 - -6
Priemerná teplota v júli [$^\circ\text{C}$]	15 - 16	14 - 15
Priemerná teplota v apríli [$^\circ\text{C}$]	5 - 6	2 - 4
Priemerná teplota v októbri [$^\circ\text{C}$]	6 - 7	5 - 6
Priemerný počet dní so zrážkami $\geq 1\text{mm}$	120 - 130	120 - 140
Zrážkový úhrn vo vegetačnom období	500 - 600	500 - 600
Zrážkový úhrn v zimnom období [mm]	300 - 350	350 - 400
Počet dní so snehovou pokrývkou	100 - 120	120 - 140
Počet zamračených dní	120 - 150	140 - 150
Počet jasných dní	40 - 50	30 - 40

V súlade s ON 73 6196 „Ochrana cestných komunikácií pred účinkami premrzania podložia“ je možné z týchto klimatických parametrov približne stanoviť hĺbku premrzania podkladu pomocou vzťahu: $h_{pr} = \sqrt{2 \cdot \alpha_0 \cdot T_m}$, kde mrazový súčiniteľ $\alpha_0 = 57$ a počet mrazových dní v roku $T_{min} = 140 - 180$. Z uvedeného je hĺbka premrzania podkladu pre jednotlivé klimatické oblasti stanovená nasledovne:

- pre oblasť MT1, $T_m = 180$, $\alpha_0 = 57$ $h_{pr} = \sqrt{2 \cdot \alpha_0 \cdot T_m} = 143 \text{ cm}$
- pre oblasť CH5, $T_m = 160$, $\alpha_0 = 57$ $h_{pr} = \sqrt{2 \cdot \alpha_0 \cdot T_m} = 135 \text{ cm}$

Priemerné mesačné zrážkové úhrny za obdobie rokov 1951 až 1980 merané v Ľubochni a Ružomberku aj s priemernými teplotami vzduchu sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Priemerné mesačné zrážkové úhrny a priemerné teploty (1951 – 1980)

Priemerný úhrn zrážok (mm)	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Rok	IV.-IX.	X.-III.
Ľubochňa	56	52	50	60	75	113	115	98	70	66	69	67	891	531	360
Ružomberok	39	38	35	46	61	99	94	76	59	52	51	46	696	434	262
Priem. mes. tepl. vzduchu (°C)	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Rok	IV.-IX.	X.-III.
Ružomberok	-3,9	-2,1	1,9	7,3	12,1	15,5	16,8	16,1	12,4	7,9	3,1	-1,5	7,1	13,4	0,9

1.3.4 Geologické pomery

Geologická stavba územia v trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová a v novej trase tunela Čebrať je komplikovaná a dosiaľ nie celkom spoľahlivo objasnená. Z geologického hľadiska budujú územie v širšom okolí novej trasy diaľnice horniny mezozoika, paleogénu a kvartéru. V úseku Hubová – Likavka patria podložné horniny do mezozoického komplexu krížňanského a chočského príkrovu jadrového pohoria Veľká Fatra (Šípska Fatra), len ojedinele sa vyskytujú zvyšky paleogénnych hornín. Výrez s geologickej mapy je na obrázku 1, pričom upozorňujeme, že mapa je generalizovaná a v detailoch nepresná a neaktuálna.

Najmä v údolných častiach územia sú vyvinuté kvartérne sedimenty rôznej genézy, charakteru a hrúbky. Povrch územia je pokrytý temer súvislou vrstvou kvartérnych zemín, pričom dominujú zeminy deluviálnej, fluviálnej a proluviálnej genézy, lokálne sa vyskytujú aj antropogénne sedimenty a sedimenty organogénne. Veľká časť územia je postihnutá svahovými deformáciami. V zmysle **regionálneho členenia** (Mahel' et al., 1967) je širšie územie budované horninami geotektonickej jednotky Centrálné západné Karpaty. Trasa diaľnice zasahuje rozličnou mierou do nižšie opísaných geologických celkov, budujúcich územie.

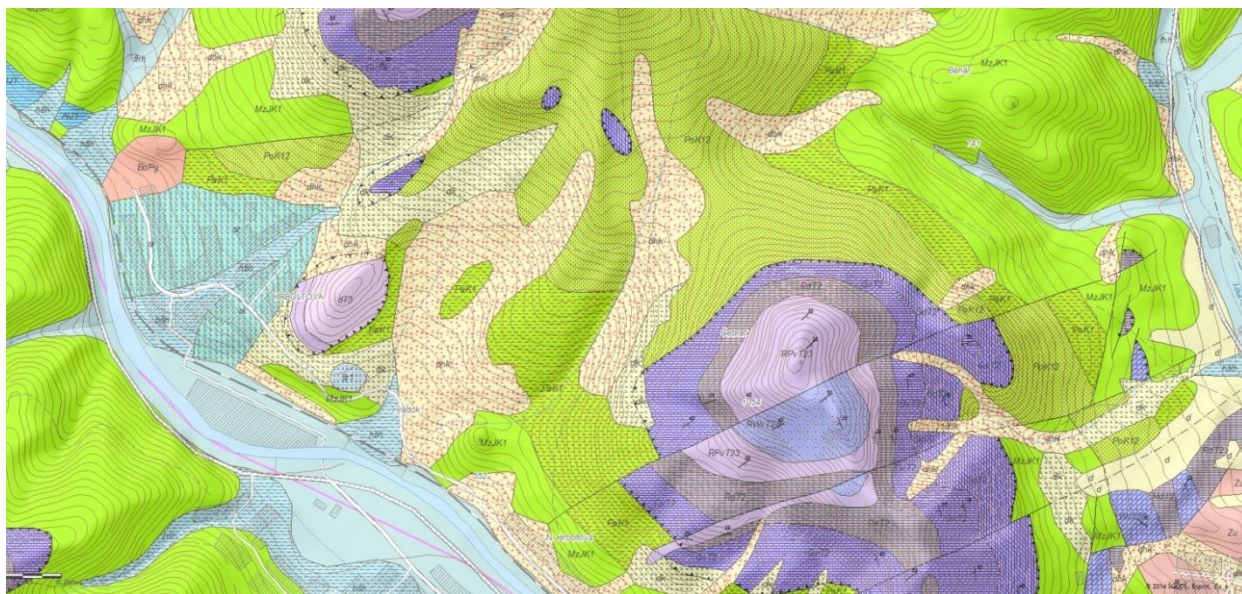
1.3.4.1 Veľká Fatra

Veľká Fatra je výrazný horský masív severo-južného smeru s charakteristickou hrást'ovou štruktúrou. Jeho najsevernejšia časť je oddelená antecedentným údolím Váhu. Horský masív je z východu ohraničený revúckymi zlomami, zo západu zlomami na okraji Turčianskej kotliny. Veľkú Fatru v jej severnej časti budujú prevažne mezozoické horniny tatrika, veporika a hronika. Napriek tomu, že skúmaná trasa diaľnice sa nachádza severne od toku Váhu, túto oblasť priradíme tiež k Veľkej Fatre.

Veporikum – krížňanský príkrov

Mezozoické horniny krížňanského príkrovu majú v západnej časti územia najväčšie rozšírenie. Z nich sú zastúpené hlavne horniny jury a kriedy.

Jura je zastúpená algäuským súvrstvom, ktoré vystupuje na pravej strane doliny Váh medzi Hubovou a Hrboltovou. Algäuské súvrstvie je tvorené sivými škvrnitými slieňovými vápencami, slieňovcami a vložkami bridlic, s výraznou lavicovitou až doskovitou vrstevnatosťou. Úložné pomery hornín algäuského súvrstvia sú orientované v smere SZ-JV so sklonom 30° k SV. Tento komplex sa podľa dosiaľ známych informácií trasy dotýka len okrajovo na začiatku riešeného úseku.



Obrázok 1 Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava)

Horniny kriedy majú prevládajúce zastúpenie. Vystupujú v úseku od Hubovej až po Likavku. Úložné pomery vrstiev križňanského príkrovu sú takmer v celom priestore podobné. Smer vrstiev je hlavne V-Z, menej SZ-JV so sklonmi 10 - 30° k severu resp. SV. Medzi súvrstvia križňanského príkrovu, ktoré sa vyskytujú v skúmanom území, patria:

- **porubské súvrstvie** (alb - cenoman) – ide o flyšové súvrstvie ílovitých bridlíc, piesčitých vápencov a jemnozrnných pieskovcov.
- **vlkolínske brekcie** (barém - alb) – chaoticky zvrstvené vápencovo-slieňovcové brekcie.
- **slienité bridlice** (barém - alb) – súvrstvie tmavosivých slienitých bridlíc a piesčitých a organodetritických vápencov.
- **mráznické súvrstvie** (valangin - spodný barém) – ide o súvrstvie sivých slienitých vápencov, slieňovcov a slienitých bridlíc, miestami s polohami organodetritických vápencov. Vápence sú prevažne lavicovité, tektonizované až zbridičnatené, s nerovnými plochami vrstevnatosti. Bridlice tvoria polohy do hrúbky 2 m. Časté sú železité povlaky na plochách.
- **osnické súvrstvie** (titón – spodný valangin) – sivé slienité vápence s lastúrnatým lomom, doskovité až lavicovité, s vložkami slienitých bridlíc do 5 cm. V teréne sú ťažko vyčleniteľné.
- **jaseninské súvrstvie** (kimeridž – titón) je vyvinuté v oblastiach s výskytom rádiolaritov. Súvrstvie je budované sivými, zelenými, červenými a fialovými slabo slienitými tenkolavicovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je silno zbridičnatené. Obsahuje vložky slienitých bridlíc. V spodnej časti sa vyskytujú polohy červených hľuznatých vápencov.
- **rádioláriové vápence** (vrchný kelovej – oxford) predstavujú jedno z najvýraznejších súvrství križňanského príkrovu. Je budované pestrými (fialové, zelené, červené, sivé) rádioláriovými vápencami s hľuzami a polohami rádiolaritov. Sú lavicovité až doskovité so zvlínenými plochami vrstevnatosti a preplástkami ílovitých bridlíc.
- **kremitý fleckenmergel** (álen) – ide o tenké šošovky celistvých kremitých škvrnitých vápencov, ktoré sú výrazne lavicovité. Obsahujú hľuzy čiernych rohovcov, lokálne vrstvy organodetritických krinoidových vápencov;
- **allgäuské vrstvy** (lotaring) predstavujú komplex tmavosivých slienitých škvrnitých vápencov a slienitých bridlíc. Vápence sú doskovité až lavicovité, charakteristické

výskytom orientovaných čiernych škvŕn a pyritových globuliek. Hrúbka komplexu dosahuje 100 m.

Súvrstvia krížňanského príkrovu môžu byť pretínané mladšími ultrabázickými vulkanitmi vo forme maloplošných komínov.

Hronikum – chočský príkrov

Mezozoické horniny (stredný, vrchný trias) chočského príkrovu (hronika) tvoria v západnej časti územia výrazné morfológické elevácie, s charakteristickým bralným reliéfom, uložených na horninách krížňanského príkrovu. Typickým príkladom je masív Čebrate. Menšie denudačné tektonické trosky a bloky hornín tohto príkrovu sú v priestore Hrboltovej a Likavky. Horniny hronika sú zastúpené prevažne gutensteinskými vápencami, ramsauskými dolomitmi, reiflinskými a raminskými vápencami. Vzhľadom na pomerne zakrytý terén v skúmanej oblasti nie je možné podľa doterajších informácií jednoznačne určiť priebeh bázy chočského príkrovu. Úložné pomery hornín chočského príkrovu sú v smere SV-JZ so sklonmi 20 - 50° k JZ, pričom pod Čebraťou báza príkrovu má mierne antiklinálny priebeh. Medzi horninové komplexu chočského príkrovu v širšej oblasti patria:

- **hlavné dolomity** (karn – norik) – sú najvrchnejším členom chočského príkrovu v tejto oblasti. Sú prevažne svetlosivé, lavicovité s hrúbkou lavíc 20 – 200 cm. Sú zväčša celistvé, menej sa vyskytujú kryštalické a pórovité variety. V komplexe sa nachádzajú polohy dachsteinských vápencov. Celková hrúbka súvrstvia dosahuje maximálne 200 m;
- **wettersteinské vápence a dolomity** (fasan) – predstavujú svetlosivé celistvé a organodetrítické dolomity, prevažne hrubolavicovité, so stromatolitovými polohami. Hrúbka súvrstvia dosahuje 300 m. V miestach, kde sú vyvinuté stromatolitové polohy sú pravidelne lavicovité, s hrúbkou vrstiev 10 – 20 cm. Väčšinou sú celistvé, silno pórovité s dutinkami po riasach;
- **raminské vápence** (ilýr – kordevol) – predstavujú prechodný typ medzi wettersteinskými a reiflinskými vápencami.
- **gaderské vápence** (pelsón – ilýr) sú tmavosivé, celistvé alebo svetlosivé krinoidové vápence. Sú lavicovité až hrubolavicovité alebo masívne, s charakteristickým hnedým odtieňom, v spodnej časti súvrstvia prevládajú slienitejšie typy. Hrúbka komplexu je cca 100 m;
- **reiflinské vápence** (pelsón – kordevol) – predstavujú tmavosivé až sivé vrstevnaté, niekedy organodetrítické vápence s hojnými hľuzami a vrstvami rohovcov. Sporadicky sa vyskytujú vložky sivých a olivovozelených i béžových tufitov hrúbky do 20 – 30 cm, niekedy i viac. Vrchnú časť súvrstvia tvoria niekedy niekoľko metrov hrubé vrstvy tmavosivých vápnitých a flovitých bridlíc s lavicami tmavých, ílovitých vápencov s vrstvičkami silicítov. Vápence a dolomity sú veľmi pevné, zvyčajne zdravé až navetrané, v okolí výrazných puklín a tektonických porúch zvetrané. Sú systematicky rozpukané, s otvorenými puklinami. Hydrogeologicky predstavujú kolektor podzemnej vody s výraznou puklinovou a krasovou priepustnosťou;
- **ramsauské dolomity** (vrchný anis) – sú tmavosivej farby so žltkastou patinou, vrstevnaté, s hrúbkou vrstiev 10 – 15 cm. Sú často brekciovité. Sú celistvé, so zrnitým dolomitickým rozpadom. Vyskytujú sa v nich vložky tmavosivých bridlíc. Obsahujú zrná pyritu. Hydrogeologicky predstavujú kolektor podzemnej vody s výraznou puklinovou a krasovou priepustnosťou. Hrúbka súvrstvia dosahuje 200 – 300 m;
- **gutensteinské vápence** (anis) – predstavujú tmavosivé až čierne hrubolavicovité vápence, často červíkovité, miestami laminované, s vložkami dolomitov, s bielymi kalcitovými žilami. Ojedinele sa vyskytujú organodetrítické vápence. Hrúbka súvrstvia

dosahuje 150 m. Hojne sa vyskytujú polohy brekcií;

- **gutensteinské dolomity** (spodný anis) – predstavujú tmavosivé až tmavohnedé a čierne, silne bituminózne dolomity, často vystupujúce vo forme šošoviek, miestami laminované, s vložkami dolomitov, s bielymi kalcitovými žilami. Sú tenko doskovité až tenkolavicovité. Hrúbka súvrstvia dosahuje 20 m. Hojne sa vyskytujú polohy brekcií;

1.3.4.2 Pokryv územia

Kvartérne sedimenty na území oboch vyššie uvedených celkov – Liptovskej kotliny i Veľkej Fatry – zahrňujú rad genetických typov, vyznačujúcich sa variabilným litologickým zložením, pestrú faciálnou skladbou i rôznym vekom od najstaršieho pleistocénu až do holocénu. V sledovanom území sú vyvinuté sedimenty:

- **Fluviálne a terasové sedimenty** - sedimenty dnevej akumulácie nív sú súvisle vyvinuté v dolinách Váhu a Likavky. Majú charakter štrkov s prímiesou jemnozrnnej zeminy, štrkov hlinitých, príp. štrkov ílovitých. Medzi Hubovou a Hrboltovou boli zistené sedimenty strednej a vrchnej terasy, ktoré sú tvorené väčšinou piesčitými a ílovitými štrkami.
- **Proluviálne sedimenty**, do tejto skupiny zaraďujeme hlavne sedimenty náplavových kužeľov, ktoré sú situované pri vyústení svahových dolín do doliny Váh, kde často pokrývajú terasové sedimenty. Niektoré z nich sú pomerne rozľahlé (Hrboltová, Lisková). Sú tvorené hlinito-ílovitými až štrkovitými sedimentami s rôznym podielom úlomkov hornín.
- **Deluviálne a polygenetické sedimenty**, do skupiny deluviálnych sedimentov začleňujeme pestrú paletu prevažne svahových, soliflukčných a gravitačných sedimentov s rozličným stupňom premiestnenia. Deluviálne sedimenty majú charakter hlinitých, ílovitých až kamenito-ílovitých sutí, ktoré sú najmä na úpäti svahov, skalných zrázov a na vyrovnanějších štruktúrnych plošinách tvorených najmä paleogénnymi horninami. Na strmšie sklonených svahoch v západnej časti územia prevládajú na horninách krížňanského príkrovu ílovito-kamenité sute. Na vápencoch a dolomitoch chočského príkrovu sa svahy zostrmujú a často prechádzajú do bralného reliéfu. Odrazom toho je výskyt kamenitých a balvanitých sutí na svahoch Čebrate, Kečiek a Radičinej. Zároveň možno pozorovať laterálne aj vertikálne prechody do iných genetických typov zemín, najmä proluviálnych a fluviálnych komplexov, pričom takéto prechody možno klasifikovať ako polygenetické sedimenty.
- **Antropogénny komplex** – skládky odpadov a navážky telies jestvujúcich ciest a železnice, hrádzí vodných tokov a nádrží.

1.3.5 Inžinierskogeologické pomery

V zmysle regionálnej inžinierskogeologickej klasifikácie (Matula, 1965) je územie zatriedené do inžinierskogeologického regiónu **Jadrových pohorí** – oblasti vysokých jadrových pohorí (3 - Veľká Fatra a 5 - Chočské pohorie) a regiónu **Neogénnych tektonických vkleslín** - oblasť vnútrohorských kotlín (56 - Liptovská kotlina).

V území možno vyčleniť nasledovné litologické formácie:

- **formácia vápencovo-dolomitická** je na skúmanom území dominantná. Charakteristickými horninami sú vápence a dolomity, rádiolarity, slieňovce, bridlice, menej klastické horniny. Vytvárajú rajóny vápencových hornín (Sv), rajón dolomitických hornín (Sd);
- **pestrá pieskovcovo-slieňovcovo-vápencová formácia** je na skúmanom území dominantná. Charakteristickými horninami sú vápence a dolomity, rádiolarity, slieňovce, bridlice, menej klastické horniny. Vytvárajú rajóny vápencových hornín (Sv), rajón

dolomitických hornín (Sd) a rajón ílovcovo-vápencových hornín (Ss);

- **flyšová formácia** je zastúpená v oblasti Liptovskej kotliny. Najčastejšie sa vyskytujúcimi horninami tejto formácie v tejto oblasti sú ílovce, vápnité ílovce, siltovce a pieskovce (prípadne lokálne až mikrozlepence). Horniny tejto formácie vytvárajú rajón flyšoidných hornín (Sf) a rajón ílovcovo-prachovcových hornín (Si);
- **formácia kvartérnych pokryvných útvarov** je reprezentovaná v širšom okolí niekoľkými komplexami:
 - **rajón údolných riečnych náplavov - Fn** predstavujú hlinité a štrkovité zeminy výplne údolnej nivy Váhu resp. nivy riečky Revúca a iných prítokov Váhu. Ide prevažne o štrkové akumulácie korytových facií, ktoré sú prekryté sedimentami holocénnych náplavov - ílov, piesčitých ílov alebo piesku. Najvýznamnejšie akumulácie sú v údolnej nive Váhu a jeho významných prítokov. Hrúbka štrkového komplexu dosahuje 5 - 10 m, miestami až do 12 m, pričom zeminy sú prevažne stredne uľahnuté;
 - **rajón riečnych terás - Ft** tvoria fluviálne sedimenty zachovaných terasových stupňov rieky Váh. Ide prevažne o štrkovité a ílované zeminy terasových stupňov, zvyčajne uľahnuté, silne zvetrané. Hrúbka komplexu dosahuje 3 - 12 m;
 - **rajón náplavov horských tokov - Fh** predstavuje výplň dna horských údolí. Výplne horských prítokov sú menej vytriedené, hruboštrkovité až balvanité s premenlivou hrúbkou.
 - **rajón mŕtvych ramien - Fs** - ide prevažne o hlinité a piesčité bahňaté sedimenty s vysokým obsahom organických látok, slabo uľahnuté, môže sa vyskytnúť v oblasti Turčianskej kotliny na okraji aluviálnej nivy;
 - **rajón deluviálnych sedimentov - D** - svahové jemnozrnné zeminy, kamenito-hlinité sutiny hlinito-kamenité sutiny, balvanité a kamenité suty Deluviálne sedimenty prekrývajú predkvartérne komplexy hornín na miernejších svahoch, v oblasti depresí, mimo oblastí s rozvinutými zosuvnými delúviami. V oblasti strmších svahov sú prevažne charakteru ílovaných sútí a ílovaných kamenitých sútí, menej ílov. Ich hrúbka dosahuje 1 - 5 m, iba miestami sú akumulácie delúvií viac ako 10 m;
 - **rajón zosuvných delúvií - Dz** - prevažne aktívne a stabilizované prúdové a plošné zosuvy. Sú podobné ako deluviálne sedimenty vyvinuté na svahoch, kde však pôsobením viacerých faktorov došlo k rozvoju svahových pohybov. Ako zosuvné delúviá sú vyvinuté aj bloky podložných skalných a poloskalných hornín s charakterom plazenia a zosúvania sa po podložných horninách flyšoidného charakteru,
 - **rajón proluviálnych sedimentov - P** ide o málo vytriedené hlinité a štrkovité zeminy, často s obsahom organických látok, ktoré reprezentujú akumulácie deluviálnych, fluviálnych sedimentov horských tokov v úzkych údoliach a pri vyústení horských údolí. Ich hrúbka môže lokálne presahovať aj 10 m (Hrboltová, Lisková, Hubová);
 - **rajón antropogénnych navážok - An** - stavebné navážky, násypy ciest a železnice, hrádze. Ide prevažne o štrkovité zeminy s rozličným zastúpením jemnozrnej frakcie;
 - **rajón navážok odpadov - Ao** - prevažne divoké skládky a pod.

1.3.6 Geodynamické javy

Najcharakteristickejšími geodynamickými javmi, ktoré sa vyskytujú v širšom okolí projektovanej trasy diaľnice, sú:

Zvetrávanie možno rozdeliť na plošné a hĺbkové. Plošnému zvetrávaniu je vystavené prakticky celé územie trasy. Jeho dosah je obmedzený, kvartérny pokryvný komplex čiastočne

chráni hlbšie uložené podložné horninové masívy. Plošnému zvetrávaniu menej odolávajú hlavne plastické členy súvrství, teda ílovce, slieňovce a siltovce. Hĺbkové zvetrávanie je viazané najmä na tektonicky porušené horninové masívy s vysokým stupňom rozvoľnenia a na oblasti s výraznejšou cirkuláciou podzemnej vody. V súčasnosti sa zvetrávanie prejavuje najmä na obnažených východoch hornín kľížňanského príkrovu s dominantným zastúpením bridlíc a ílovcov resp. siltovcov.

Krasovatenie je v skúmanom území široko rozvinuté najmä pre významný podiel karbonátových hornín, podieľajúcich sa na geologickej stavbe územia. Na území je známych niekoľko jaskýň v rozličnom stupni vývoja a s rozličnou sintrovou výzdobou. Prevažný podiel prejavov krasovatenia je však viazaný najmä na horninové komplexy hronika, tj. na trosky chočského príkrovu. V karbonatických horninách veporika (križňanského príkrovu) v skúmanej oblasti nebolo krasovatenie vo významnejšej miere zaznamenané.

Erózia je viazaná najmä na okolie vodných tokov a oblasť svahov. Brehy vodných tokov sú vystavené bočnej i hĺbkovej erózii. Hĺbková (výmoľová) erózia sa výrazne prejavuje najmä na strmších svahoch a v kombinácii so svahovými pohybmi, veľmi častý je výskyt výmoľovej erózie na nespevnených lesných resp. poľných cestách a na plochách, ktoré boli postihnuté holorubnou ťažbou dreva. Veterná erózia (korázia) je v súčasnosti prítomná najmä na odhumusovaných plochách na stavenisku diaľnice D1 a na prístupových cestách k stavenisku.

Svahové pohyby sú v hodnotenom území široko rozvinuté. Vzhľadom na flyšový charakter niektorých súvrství križňanského príkrovu vznikajú tu podmienky pre vznik plošných a prúdových zosuvov i blokových deformácií. Naopak, väčšina strmých skalných svahov budovaných horninami chočského príkrovu je postihnutá blokovými deformáciami, skalnými zrúteniami, opadávaním úlomkov a podobne. V dolnej časti svahov v oblasti Hrboltovej boli svahovými pohybmi aktivizované i sedimenty proluviálnej či fluvialnej genézy (eróznou činnosťou potokov), pričom v súčasnosti ich už možno radiť do zosuvného delúvia. V blokovom poli v oblasti Čebrate sa v zúžených erozívnych úvalinách medzi mohutnými vápencovými blokmi až kryhami vyskytujú tiež relikty kamenitých a suťových prúdov - múr.

Akumulácia sedimentov je viazaná na pomalé vodné toky a úpätia svahov. V danej oblasti je to najmä akumulácia štrkovitých a bahnitých sedimentov na dne vodných tokov a pri vyústeniach bočných doliniek do hlavného údolia vodného toku. Na úpätiach skalných stien a hrebienkov dochádza k akumulácii suťového materiálu a vzniku dejekčných kuželov a suťovísk.

Zemetrasenia v poslednej dobe neboli zaznamenané, vzhľadom na tektonickú predispozíciu širokej oblasti na rozhraní vnútorných a vonkajších Karpát však predpokladáme určitú možnosť ich vzniku.

Neotektonické pohyby predstavujú doznievanie poslednej fázy alpínskeho vrásnenia. Ide hlavne o vertikálnu diferenciáciu kotliná priľahlých pohorí. Pohoria majú tendenciu relatívne rásť voči priľahlým kotlinám. Pohyby sa dejú najmä po už jestvujúcich zlomových štruktúrach a majú prevažne vertikálnych charakter. Zlomy sa výrazne podieľajú na rozvoľnení v odlučných oblastiach prízlomových gravitačných blokov, v ktorých došlo k oslabeniu väzieb v horninách. Sčasti tu došlo aj k vytvoreniu nespojitých deformácii a uplatnila sa na nich erózia a vývoj svahových pohybov, takže sú v reliéfe veľmi výrazné.

1.4 Hydrogeologická charakteristika

Hydrogeologické pomery v trase diaľnice D1 v úseku Hubová - Likavka sú odrazom prevládajúcej puklinovej a puklinovo-krasovej priepustnosti podložných, hlavne mezozoických hornín. Z hydrogeologického hľadiska je územie v trase projektovanej diaľnice možné rozdeliť

do troch oblastí:

- územie budované horninami mezozoika
- územie budované sedimentami kvartéru

V území budovanom **karbonatickými horninami** býva hladina podzemnej vody vďaka veľkej priepustnosti zaklesnutá hlboko pod terén a hlavnými kolektormi sa stávajú horizonty viazané na kvartérne sedimenty. Dôležitými cestami prúdenia podzemných vôd v tejto oblasti sú tektonické zlomové línie, pozdĺž ktorých môže podzemná voda vystupovať na povrch. Charakteristickým znakom pre tento typ prúdenia podzemnej vody je vznik travertínových a penovcových kôp v miestach výverov.

Z **kvartérnych sedimentov** sú vyššou medzizrnovou priepustnosťou charakterizované fluviálne a terasové štrky a proluviálne štrkovité sedimenty. Ich hydrogeologická funkcia je závislá najmä od hrúbky, ako aj stupňa zahĺbenia a situovania kolektoru v teréne. Dominantné zastúpenie majú v úseku Lisková – Ivachnová, kde trasa prechádza aluviálnou nivou.

Trasa diaľnice sa nachádza v nasledujúcich hydrogeologických rajónoch:

- | | |
|-------|---|
| M-019 | Mezozoikum západnej časti Chočských vrchov; |
| M-020 | Mezozoikum severnej časti Veľkej Fatry. |

1.5 Geologická preskúmanosť územia

Medzi najstaršie geologické práce z tohto územia patria tie, ktoré boli vykonané v rámci základného geologického mapovania a výskumu geologickej stavby Československa. Tu možno spomenúť geologickú štúdiu okolia Ružomberka A. Matějku (1925), ktorý v nej zhodnotil aj príkrovovú tektonickú stavbu a v r. 1927 vypracoval prvú geologickú mapu okolia Ružomberka v M = 1:40 000. V roku 1964 Maheľ a kol. spracoval Základnú geologickú mapu v M=1:200 000, list Banská Bystrica. Časť územia v oblasti Tunela Čebrať a Likavky je znázornené v Geologickej mape južnej a východnej Oravy v mierke 1:50 000 (Gross et al., 1994). Oblasť Liptovskej kotliny mapoval Gross a kol. (1980). Časť územia v okolí Hubovej je spracovaná aj v Geologickej mape Veľkej Fatry v M=1: 50 000 (Polák et al., 1997).

Z hľadiska inžinierskej geológie bolo širšie územie trasy skúmané najmä z dôvodu hojného výskytu svahových deformácií. Početný výskyt zosuvov bol zaznamenaný najmä počas registrácie zosuvných území v Liptovskej kotline a spracovaný bol v Mape svahových porúch západného ukončenia Liptovskej kotliny M=1:10 000 (Malgot et al., 1985). Územie trasy diaľnice D1 je aj súčasťou Inžinierskogeologickej mapy Ružomberok v mierke 1:10 000 (Páleník et al., 1988). Množstvo prieskumných diel bolo realizovaných v okolí toku Váhu pre účely jeho energetického využitia a regulácie. Z týchto prieskumov spomenieme úlohu Horný Váh III. - Úsek Bešeňová - Krpeľany, orientačný inžinierskogeologický prieskum (Matejček et al., 1988 a 1992). Celé skúmané územie bolo spracované v Atlase inžinierskogeologických máp v mierke 1:200 000 (Matula et al., 1985). Okrem uvedených prác sa v širšom okolí projektovanej trasy diaľnice v analogických pomeroch realizovalo niekoľko prieskumov najmä pre účely investičnej výstavby (vodovod, kanalizácia, občianska vybavenosť) a pre sanáciu zosuvov.

Pre prípravu **výstavby diaľnice D1** v trase Martin – Liptovský Mikuláš bolo zrealizovaných niekoľko etáp prieskumných prác a publikovaných niekoľko štúdií a posudkov. Z najdôležitejších je potrebné spomenúť:

- Čajka, O.: Diaľnica D-1 Ivachnová - Liptovský Mikuláš, objekt: štúdiá preložky štátnej cesty I/18, inžinierskogeologický prieskum. Dopravoprojekt n.p., Bratislava, 1970. GEOFOND 24241;

- Lehocký, M. – Kraus, A.: Inžiniersko-geologické pomery v trase Diaľnica D-1 Trenčín - Poprad. B/ Podrobná časť - úsek II. Žilina - Ružomberok, geologická štúdia. IGHP n.p., Žilina, 1969. GEOFOND 22445/B;
- Máťuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 1996. GEOFOND 80482;
- Máťuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, doplnenie orientačného inžinierskogeologického prieskumu. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 2001. GEOFOND 80482;
- Fussgänger, E., et. al.: D1 Hubová - Ivachnová, podrobný inžinierskogeologický prieskum Stavební geologie – Geotechnika, a.s., Bratislava, 2006;
- Fussgänger, E., et. al.: D1 Hubová - Ivachnová, doplnkový inžinierskogeologický prieskum Stavební geologie – Geotechnika, a.s., Bratislava, 2007;
- Šamaj, M. – Coplák, M. – Copláková, J. – Gažúr, J.: Hubová - Ivachnová - diaľnica D1, doplnkový inžinierskogeologický prieskum. GEOFOS s.r.o., Žilina, 2010. GEOFOND 90661
- Šamaj, M. – Coplák, M. – Copláková, J. – Gažúr, J.: Hubová - Ivachnová - diaľnica D1 (úsek 3), doplnkový inžinierskogeologický prieskum - II. etapa. GEOFOS s.r.o., Žilina, 2010. GEOFOND 90666
- Šamaj, M.: Highway D1 Hubová - Ivachnová, geotechnical monitoring. (Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, geotechnický monitoring.). GEOFOS s.r.o., Žilina, 2012. GEOFOND 91900
- Rentka, R.: Geologické pomery v trasách diaľničných tunelov v SR. Inžinierskogeologická štúdia. INGEO a.s., Žilina, 1995;
- Vrábek P, et.al.: Diaľnica D1 Poluvsie – Ivachnová, inžinierskogeologická štúdia, IGHP n.p., Žilina, 1984.

Predkladaná záverečná správa nadväzuje na prieskumné práce, ktoré boli realizované v rámci dobudovania monitorovacej siete geotechnického monitoringu diaľnice a najmä na orientačný inžinierskogeologický prieskum pre oblasť západného portálu tunela Čebrať v novej pozícii (Borovský, 2016). S prihľadnutím k dohodám s **Objednávatelom a Investorom**, **predkladaná záverečná správa zahŕňa v sebe kompletne výsledky z orientačnej etapy prieskumu, a to vrátane sumarizácie merných jednotiek pre účely fakturácie. Pre účely projekcie odporúčame využívať predkladanú záverečnú správu.**

Je potrebné pripomenúť, že predkladaná záverečná správa v plnej miere zohľadňuje všetky uvedené predchádzajúce prieskumné práce a zásadným spôsobom ich dopĺňa.

1.6 Ložiská nerastných surovín

V širšom území sa nachádzajú žiadne ložiská nerastných surovín, ktoré je možné využiť (okrem zdrojov priamo z výstavby diaľnice) ako zdroj potrebných surovín na výstavbu diaľnice. Trasa diaľnice priamo nezasahuje žiadne ložisko. Význačné ložiská v širokom okolí koridoru diaľnice D1 sú prehľadne uvedené v nasledujúcich tabuľkách. V tabuľke 4 sú ložiská nevyhradených nerastov, v tabuľke 5 ložiská vyhradených nerastov s ložiskovým územím a v tabuľke 6 ložiská vyhradených nerastov s určeným dobývacím priestorom.

Tabuľka 4 Ložiská nevyhradených nerastov

Identifik. číslo	Názov ložiska	Organizácia	Surovina	kataster	kraj
4272	Kraľovany I	-	stavebný kameň	Kraľovany	Žilinský
4035	Kraľovany III	ŠGÚDŠ Bratislava	stavebný kameň	Kraľovany	Žilinský
4658	Ružomberok III	PK Doprastav a.s. Žilina	stavebný kameň	Ružomberok	Žilinský
4195	Biela Púť - Ludrová	Poľnohospodárske družstvo Ludrová	stavebný kameň	Ludrová	Žilinský

Tabuľka 5 Ložiská vyhradených nerastov s chráneným ložiskovým územím

Identifik. číslo	Názov ložiska	Organizácia	Surovina	kataster	kraj
275	Kraľovany	neuvažuje sa o ťažbe	vápenec ostatný	Kraľovany	Žilinský
565	Ružomberok	Wienerberger slovenské tehelne s.r.o., Zlaté Moravce	tehliarske suroviny	Ružomberok	Žilinský

Tabuľka 6 Ložiská s určeným dobývacím priestorom

Ident. číslo	Názov ložiska	Organizácia	Surovina	kataster	kraj
376	Kraľovany II	Sopúch Vladimír C a V, Oravská Poruba	dolomit	Kraľovany	Žilinský
481	Kraľovany II	Sopúch Vladimír C a V, Oravská Poruba	dolomit	Kraľovany	Žilinský
479	Bystrička	SKELET s.r.o., Dolný Kubín	granodiorit	Kraľovany	Žilinský
485	Ružomberok III	PK Doprastav a.s., Žilina	stavebný kameň	Ružomberok	Žilinský
565	Ružomberok	Wienerberger slovenské tehelne s.r.o., Zlaté Moravce	tehliarske suroviny	Ružomberok	Žilinský
102	Ludrová	TRAVERTIN, s.r.o., Ludrová	dekoračný kameň	Ružomberok	Žilinský
484	Ružomberok	AGRODRUŽSTVO BELAN, Ružomberok	stavebný kameň	Ružomberok	Žilinský
187	Ružomberok II - Lom pod Skalami	BAŇA Ružomberok, s.r.o., Ružomberok	stavebný kameň	Ružomberok	Žilinský

1.7 Legislatívna ochrana územia

V oblasti koridoru diaľnice a v jeho širšom okolí sú vyhlásené nasledovné legislatívne chránené územia:

- **Národný park Veľká Fatra**, vyhlásený v roku 2002. Rozloha územia v III. stupni ochrany prírody je 40 371 ha, rozloha územia v II. stupni ochrany prírody (ochranné pásmo) je 26 133 ha;
- **Národná prírodná rezervácia Choč** (Úprava Ministerstva kultúry SSR č. 6499/1982-32 z 30.9.1982);

Z ostatných veľkoplošných území s legislatívnou ochranou sa koridoru diaľnice dotýkajú :

- Krajinný priestor Choč,
- Krajinný priestor Likavka – hradný vrch,
- oblasť patrí zároveň do vodohospodárskej chránenej oblasti Veľká Fatra.

1.8 Metodika prác

Po poskytnutí základných podkladov od generálneho projektanta stavby, po fyzickej rekognoscácii predmetného úseku diaľnice, po prehodnotení prístupnosti terénu pre techniku

bola navrhnutá metodika prieskumných prác. Navrhovanú metodiku prieskumných prác možno stručne zosumarizovať nasledovane:

- využitie všetkých dostupných archívnych materiálov o geologickej stavbe širšieho okolia trasy;
- realizácia povrchových geofyzikálnych meraní;
- realizácia vrtných technických prác;
- počas technických prác realizovať odbery vzoriek zemín, hornín a podzemnej vody;
- laboratórne práce mechaniky zemín a hornín;
- laboratórne práce hydrogeochémie vôd;
- terénne geotechnické skúšky;
- zabudovanie monitorovacích zariadení na sledovanie hladiny resp. tlaku podzemnej vody a na sledovanie stability svahov;
- práce geologickej služby s využitím výsledkov archívnych geologických prieskumov v záujmovom území.

1.8.1 Jadrové vrty

Vrtné práce pre oblasť novej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová pozostávali z realizácie štruktúrnych jadrových vrtovej vrtných dvojitoj jadrovkou za pomoci vodného výplachu a z vrtovej vrtných nasucho jednoduchou jadrovkou. Realizované technické prieskumné práce zahŕňali celkom 39 ks jadrových vrtovej.

Z celkového počtu bolo 20 ks vrtovej realizovaných technológiou nasucho (TK – tvrdokovová korunka), pričom 2 ks vrtovej (40 m) boli zabudované ako inklinometrické pozorovacie vrty a 5 ks (78 m) boli zabudované ako hydrogeologické pozorovacie vrty. Jeden kus HG vrtovej (10 m) označený SH bol realizovaný pre mestskú časť Hrboltová ako kompenzácia škôd v mieste futbalového ihriska. Ostatné vrty boli realizované ako inžinierskogeologické s využitím pre presiometrické skúšky (220 m). Spolu bolo realizovaných 348 m vrtovej TK na sucho. Prehľad TK vrtovej vrtných nasucho je spracovaný v tabuľke 7. Jadrové vrty nasucho boli zrealizované v období 13.4.2016 – 10.5.2017 pod vedením vrtmajstrov p. Petrenku, p. Burdeja a p. Kopasa súpravou UGB–50M na podvozku Praga 66 (Ing. Jozef Hajčík, Geologicko–prieskumné práce, Brvnište). Dva vrty označené ako NT-28 a NT-29 dĺžky 15 m boli dobudované pre účely overenia možnosti vsakovania horninovej vody z tunela Čebrať ako doplnková požiadavka projektanta tunelovej časti stavby.

Tabuľka 7 Prehľad realizovaných vrtných prác – vrty vrtné nasucho

Názov vrtovej	Hĺbka (m)		Staničenie (km)	Typ vrtovej, poznámka
	plánovaná	skutočná		
NT-18	25,0	25,0		HG
NT-19	25,0	25,0		inklinometrický
NT-28	0,0	15,0		HG - doplnený
NT-29	0,0	11,0		HG - doplnený
M-203-01	20,0	18,0		presiometrický
M-203-02	20,0	17,0		presiometrický
M-203-03	20,0	0,0		zmena technológie vrtnia
M-203-04	20,0	21,0		presiometrický
M-203-05	20,0	19,0		presiometrický
M-203-06	20,0	20,0		presiometrický
M-204-01	20,0	0,0		nerealizovaný
M-204-02	20,0	0,0		nerealizovaný

Názov vrtu	Hĺbka (m)		Staničenie (km)	Typ vrtu, poznámka
	plánovaná	skutočná		
M-204-03	20,0	17,0		presiometrický
M-204-04	20,0	14,0		presiometrický
M-204-05	20,0	20,0		presiometrický
M-204-06	20,0	22,0		presiometrický
M-204-07	20,0	20,0		presiometrický
M-204-08	20,0	17,0		presiometrický
230-01	20,0	0,0		Zmena technológie vrtania
230-02	15,0	12,0		HG
231-01	15,0	15,0		presiometrický
231-02	15,0	15,0		HG
231-03	15,0	15,0		inklinometrický
SH	0,0	10,0		Realizovaný ako požiadavka mestskej časti
Spolu	410,0	348,0		
	HG	88,0		
	INKLINO	40,0		
	PRESIO	220,0		

Ďalších 19 ks vrtov z celkového počtu všetkých vrtov bolo realizovaných technológiou s dvojitou jadrovkou za pomoci vodného výplachu v skalných a poloskalných horninách, vo zvetranom podloží a v kvartérnom komplexe vrtaním nasucho. Jeden vrt NT-30 bol doplnený v zmysle záverov Kontrolného dňa (19.4.2017). Z tohoto počtu 6 ks vrtov (715 m) bolo zabudovaných ako hydrogeologické pozorovacie objekty (HG), 6 ks vrtov (231,4 m) bolo zabudovaných ako inklinometrické monitorovacie vrty a v 7 ks vrtov (1010,5 m) boli inštalované uzatvorené piezometre na meranie tlaku podzemnej vody. Dva vrty boli realizované ako šikmé (585 m). Prehľad navrhovaných a realizovaných vrtov s dvojitou jadrovkou uvádza nasledovná tabuľka **Chyba! Neznámý argument prepínače..** Okrem vrtov uvedených v tabuľkách boli v Projekte geologickej úlohy navrhované i dva horizontálne štruktúrne vrty v sumárnej dĺžke 200 m. Vzhľadom na veľkú hrúbku delúvia a porušenosť podložných hornín v mieste západného portálu tunela Čebrať sme upustili od realizácie týchto vrtov. Vrty boli realizované v dňoch 9.4.2016 – 10.03.2017 technológiou WireLine, s vodným výplachom a dvojitou resp. trojitou jadrovkou. Vrtne práce realizovali pracovníci firmy GEOVRTY–DRILLROCK s.r.o. Hodruša–Hámre pod vedením vrtmajstrov p. Gregora, p. Striešku, p. Štefanku a p. Kučáka a pracovníci spoločnosti GEOBOM s.r.o. Košice pod vedením vrtmajstra p. Šumského. Použité boli vrtne súpravy HanJin D&B 100, Fraste MITO 40a Hanjin P7000SD na pásových podvozkoch.

Pred zahájením vrtných prác boli vyriešené legislatívne strety, najmä so zástupcami ŠOP TANAP, Lesného spoločenstva Likavka, Štátnymi lesmi SR a Urbárskym spoločenstvom Hrboltová. Zároveň boli prostredníctvom miestnej poslankyne za mestskú časť Hrboltová komunikované požiadavky mesta Ružomberok.

Všetky prieskumné diela boli v teréne situované na základe požiadaviek projektanta po zohľadnení prístupnosti terénu pre vrtnú techniku, požiadaviek majiteľov a správcov pozemkov a polohy inžinierskych sietí. Do úvahy pri situovaní bola braná i predpokladaná geologická stavba tak, aby prieskumnými dielami boli zachytené všetky očakávané litologické, inžinierskogeologické, geotechnické resp. hydrogeologické komplexy, ktoré sa na riešenom území môžu vyskytovať.

Štruktúrne vrty boli vrtané dvojitou (trojitou) jadrovnicou systémom WireLine s vodným výplachom. Metóda WireLine (resp. dvojitá jadrovka) bola zvolená pre dosiahnutie maximálneho výnosu kvalitného jadra a minimalizáciu vplyvu vrtania na stenu vrtu. Vrtne jadro

bolo následne využité pre laboratórne skúšky resp. bude uložené na archiváciu. Táto metóda vŕtania umožňovala i čiastočné overenie štruktúry horninového masívu, výplne a orientácie diskontinuit, odber vzoriek puklinovej výplne a podobne. Požadovaný minimálny priemer vŕtania bol NQ (47,75 mm / 75,44 mm). Kvalitná stena vrtovej výplne bola využitá i na presiometrické a najmä dilatometrické skúšky vo vybraných štruktúrnych vrtoch. Vo vrtoch bola realizovaná karotáž podľa požiadaviek objednávateľa prieskumných prác.

Jadrové vrty boli komplexne dokumentované vrátane fotodokumentácie, boli odobraté vzorky zemín, hornín a podzemnej vody. Realizovaná bola karotáž a vo vybraných vrtoch boli realizované geotechnické a hydrodynamické skúšky. Po geologickej dokumentácii a fotodokumentácii vrtného jadra zrealizovaných vrtovej výplne, odobratí vzoriek zemín a hornín, bolo vrtné jadro vyskartované. Vybrané úseky vrtného jadra boli uložené na archiváciu hmotnej geologickej dokumentácie. Hmotná geologická dokumentácia (vrtné jadro v bedničkách) z vybraných úsekov prieskumných vrtovej výplne bolo dočasne uložené na archiváciu v priestoroch východného portálu tunela Čebrať a neskôr protokolárne odovzdané do skladu NDS a.s. v priestoroch SSÚD Liptovský Mikuláš (prevzal ing. Tomčík, 31.7.2014).

Tabuľka 8 Prehľad realizovaných vrtných prác – vrty WL s dvojitou jadrovkou

Názov vrtu	Hĺbka (m)		Staničenie (km)	Typ vrtu, poznámka
	plánovaná	skutočná		
NT-01	40,0	40,0		Inklinometrický
NT-02	40,0	40,0		HG
NT-03	35,0	35,0		HG
NT-04	40,0	40,4		inklinometrický
NT-05	20,0	0,0		nerealizovaný
NT-06	40,0	40,0		inklinometrický
NT-07	45,0	45,0		Inklino + piezometrický
NT-08	45,0	45,5		piezometrický
NT-09	45,0	45,0		Inklino + piezometrický
NT-10	45,0	45,0		
NT-11	65,0	65,0		HG
NT-12	125,0	125,0		piezometrický
NT-13	140,0	145,0		HG
NT-14	180,0	165,0		piezometrický
NT-15	220,0	220,0		HG
NT-16	260,0	260,0		Šikmý vrt - piezometrický
NT-17	345,0	325,0		Šikmý vrt - piezometrický
M-203-03	0,0	25,0		Presiometrický - zmena technológie vŕtania
230-01	0,0	21,0		Inklinometrický - zmena technológie vŕtania
NT-30	0,0	210,0		HG – doplnený vrt
Spolu	1730,0	1936,9		
	HG	715,0		
	INKLINO	231,4		
	PIEZO	1010,5		

Nezabudované vrty boli spätne zahádzané vyvŕtaným materiálom (zatampované). Ostatné vrty boli vystrojené ako pozorovacie objekty pre sledovanie voľnej hladiny podzemnej vody (HG vrty), prípadne sledovanie tlaku podzemnej vody (piezometrické vrty) alebo na sledovanie svahových pohybov (inklinometrické vrty). Terén bol čiastočne upravený do pôvodného stavu. K vrtoch v trase tunela a vrtoch v miestach mostných objektov bolo potrebné vybudovať nové prístupové cesty.

Cieľom realizácie vrtných prác bolo detailné overenie geologických a hydrogeologických

pomerov a odber vzoriek zemín, hornín a podzemnej vody. Vo vrtoch boli realizované presiometrické a dilatometrické skúšky pre overenie pevnostno–deformačných parametrov hornín a zemín.

Je potrebné poznamenať, že podmienky pre realizáciu najmä štruktúrnych vrtov boli sťažené klimatickými podmienkami, kde postup prác sťažovalo mrazové obdobie na prelome rokov 2016 a 2017. Od 23.12.2016 do 6.2.2017 boli vrtné práce prerušené z dôvodu nemožnosti zabezpečiť prísun technologickej vody pre vŕtanie.



Obrázok 2 Realizácia šikmého štruktúrneho vrtu NT-17 v zimných podmienkach

1.8.2 Poľné skúšky

Vzhľadom na požiadavku získať komplexný prehľad o geotechnických parametroch zemín a hornín, ktoré sa vyskytujú v oblasti tunelového portálu, bolo navrhnuté realizovať poľné skúšky. Z použitých metód boli navrhnuté sondy dynamickej penetrácie, presiometrické skúšky vo vrtoch a dilatometrické skúšky vo vrtoch. Vzhľadom na rozdelenie prieskumných prác investorom NDS a.s. a objednaním len časti prác, nebudú penetračné skúšky detailne vyhodnotené a publikované v tejto etape prieskumu, aj keď ich výsledky budú zohľadnené. Okrem geotechnických skúšok boli vo vybraných vrtoch realizované i vodnotlakové skúšky pre overenie priepustnosti horninového masívu resp. vsakovacie skúšky.

1.8.2.1 Presiometrické skúšky

Presiometrické skúšky boli navrhnuté pre overenie deformačno–pevnostných parametrov hornín a kvartérnych zemín v mieste plánovaného portálového objektu a úvodných metrov tunelov ako aj v miestach navrhovaných pilierov mostov 203 a 204. V zmysle projektu geologickej úlohy bolo navrhnuté realizovať 105 ks presiometrických skúšok. V skutočnosti bolo realizovaných 95 skúšok. Prehľad počtu realizovaných skúšok je spracovaný v tabuľke 9 a detailné vyhodnotenie je spracované v samostatnej prílohe 6.1.

Tabuľka 9 Prehľad presiometrických skúšok vo vrtoch

Vrt	hĺbka vrtu (m)	Počet skúšok		Dátum realizácie	Poznámky
		navrhovaný	realizovaný		
NT-02	40,0	5	5	21.4.2016	
NT-04	40,4	8	10	29.4. - 5.5.2016	
NT-06	40,0	8	7	13.6.2016	
NT-07	45,0	8	8	6.6.2016	
NT-09	45,0	8	6	10.5.2016	
NT-10	45,0	8	2	26.5.2016	
M-231-01	15,0	0	4	12.4.2016	
M-203-01	18,0	5	5	13.4.2016	
M-203-02	17,0	5	5	14.4.2016	
M-203-03	20,0	5	0	-	skúšky sa nere realizovali
M-203-04	21,0	5	4	13.4.2016	
M-203-05	19,0	5	5	13.4.2016	
M-203-06	20,0	5	5	21.4.2016	
M-204-03	17,0	5	5	14.4.2016	
M-204-04	14,0	5	4	14.4.2016	
M-204-05	20,0	5	5	15.4.2016	
M-204-06	22,0	5	6	15.4.2016	
M-204-07	20,0	5	4	22.4.2016	
M-204-08	17,0	5	5	22.4.2016	
Spolu		105	95		

Presiometrické vrty boli realizované vrtaním nasucho v zóne kvartérnych zemín a zvetraného podložia, v kompaktnom skalnom podloží bola použitá technológia vrtania dvojitou jadrovnicou (WireLine) s vodným výplachom. Pre realizáciu skúšok boli vytvorené návrty dĺžky 1,0 – 20,0 m v rôznych hĺbkach jednotlivých vrtoch. Presiometrické skúšky vykonala terénna skupina spoločnosti CAD–ECO a.s. pod vedením Martina Šimeka. Výsledky skúšok sú v plnej miere zohľadnené v sumárnom hodnotení geotechnických parametrov zemín a hornín.

1.8.2.2 Dilatometrické skúšky

Dilatometrické skúšky boli navrhnuté pre overenie deformačných parametrov hornín v okolí tunelovej rúry plánovaného nového tunela Čebrať resp. v jeho novej portálovej oblasti. Realizácia dilatometrických skúšok je jedným z najvhodnejších a najpreukaznejších spôsobov na zistenie deformačných parametrov horninového masívu in-situ v prípade, že v masíve sa neplánuje v rámci prieskumných prác realizovať prieskumná štôľňa. Ide v podstate o modifikovanú presiometrickú skúšku (v zmysle STN EN ISO 22476-5).

V zmysle projektu geologickej úlohy bolo navrhnuté realizovať spolu 100 ks dilatometrických skúšok (40 ks vo vrtoch do 100 m a 60 ks vo vrtoch nad 100 m). V skutočnosti bolo realizovaných 47 skúšok v 6 ks vrtoch do 100 m (NT-04 až NT-10) a 63 skúšok v 6 ks vrtoch hlbších ako 100 m (NT-12 až NT-16). Vyšší počet realizovaných skúšok bol vynútený vysokou heterogenitou horninového prostredia, čo si vyžadovalo väčší štatistický súbor výsledkov pre správne charakterizovanie geotechnických parametrov hornín. Prehľad počtov realizovaných skúšok a rozsah hĺbok je spracovaný v tabuľke 10. Prehľad výsledkov skúšok a detailné vyhodnotenie je spracované v samostatnej prílohe 6.2.

Vrty, v ktorých boli navrhnuté dilatometrické skúšky, boli realizované vrtaním technológiou WireLine s vodným výplachom. Dĺžka návrtu priemeru NQ (76 mm) bola v rozsahu 15 – 60 m. Skúšky boli prednostne realizované v oblasti budúcej tunelovej rúry (pod niveletou počvy tunela, v úrovni tunelovej rúry a v oblasti nad kalotou tunela). Iba v prípade, že

sa nepodarilo zachovať priechodnosť vrtu po vyťahnutí vrtného náradia boli skúšky realizované v úseku, ktorý bol pre dilatometrickú sondu priechodný. Dilatometrické skúšky vykonala terénna skupina spoločnosti CAD–ECO a.s. pod vedením Mgr. Martina Borovského. Skúšky boli realizované pomocou dilatometrického prístroja PROBEX 2 od firmy ROCTEST–TELEMAC.

Výsledky dilatometrických skúšok predstavujú základné vstupné geotechnické parametre horninového masívu pre projektovanie nového tunela Čebrať. Sú zahrnuté do celkovej geotechnickej charakteristiky jednotlivých horninových typov v kapitole 2.1.

Tabuľka 10 Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch

Vrt	Skúšaný úsek (m)	Počet skúšok		Dátum realizácie skúšok	Poznámky
		navrhovaný	realizovaný		
NT-04	21,7 – 39,7	5	10	5.5.2016	
NT-06	17,4 – 34,9	5	7	15.6.2016	
NT-07	26,5 – 38,5	5	5	6.6.2016	
NT-08	19,5 – 38,5	5	7	1.6.2016	
NT-09	19,0 – 38,5	10	10	10.5.2016	
NT-10	23,5 – 43,1	10	8	23.5.2016	
NT-11	-	10	0		Skúšky sa nerealizovali
NT-12	98,0 – 123,0	10	13	8. – 9.2.2017	
NT-13	124,5 – 144,5	10	6	13. – 14.12.2016	
NT-14	148,0 – 164,5	10	8	2. – 3.12.2016	
NT-15	195,0 – 218,5	10	11	19. – 20.2.2017	
NT-16	228,0 – 259,0	10	15	9. – 10.3.2017	
NT-17	-	10	0		Skúšky sa nerealizovali
NT-30	178,5 – 209,5	0	10	16. – 17.5.2017	Doplnený vrt
Spolu		100	110		

1.8.2.3 Dynamické penetračné skúšky

Sondy dynamickej penetrácie boli realizované s prihliadnutím na požiadavky projektanta a špecifiká skúmanej oblasti. Boli využité ako náhrada prieskumných vrtov v málo prístupných miestach, resp. na zahustenie informácie o geologickej stavbe medzi priamymi prieskumnými dielami (vrtmi). Zároveň sondy umožnili aj overenie uľahnutosti štrkovitých zemín v miestach plánovaných násypov a mostných objektov v trase diaľnice mimo tunela a tiež v západnej portálovej oblasti tunela Čebrať.

Tabuľka 11 Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie

Označenie	Dosiahnutá hĺbka (m)	Dátum realizácie	Poznámka
DPS-JTR -01	8,0	26.5.2016	
DPS-JTR-02	7,6	26.5.2016	
DPS-STR-01	8,0	30.5.2016	
DPS-STR-02	7,4	26.5.2016	
DPS-STRN-01	9,0	31.5.2016	
DPS-STRN-02	6,0	31.5.2016	
DPS-STRN-03	7,0	31.5.2016	
DPS-STRN-04	7,0	30.5.2016	
DPS-203-01	6,0	9.6.2016	
DPS-203-02	6,5	9.6.2016	
DPS-203-03	7,0	9.6.2016	
DPS-204-01	2,6	9.6.2016	
DPS-204-02	8,0	9.6.2016	
DPS-204-03	4,9	30.5.2016	
DPS-230-01	6,5	1.2.2017	Doplnená

Označenie	Dosiahnutá hĺbka (m)	Dátum realizácie	Poznámka
DPS-230-02	10,0	1.2.2017	Doplnená
DPS-230-03	8,3	1.2.2017	Doplnená
DPS-231-01	15,0	1.2.2017	Doplnená
DPS-231-02	2,8	2.2.2017	Doplnená
DPS-231-02A	4,5	2.2.2017	Opakovaná
spolu	143,1		

Navrhnutých bolo realizovať 15 ks penetračných sond celkovej dĺžky 130 m. V skutočnosti bolo realizovaných 20 ks sond dynamickej penetrácie celkovej dĺžky 143,1 m. Dynamické penetračné skúšky realizovala terénna skupina spoločnosti CAD–ECO a.s., Bratislava pod vedením Mgr. Martina Borovského a Ing. Ladislava Stolárika. Práce boli vykonané v dňoch 26.5.2016 až 2.2.2017. Prehľad realizovaných skúšok je spracovaný v tabuľke 11. Prehľad nameraných priebehov dynamických penetračných skúšok a ich vyhodnotenie sú spracované v samostatnej prílohe 6.3. Výsledky dynamických penetračných skúšok sú v plnej miere zohľadnené pri hodnotení geotechnických parametrov zemín a hornín a pri návrhu zakladania jednotlivých stavebných konštrukcií.

1.8.2.4 Vodné tlakové skúšky a vsakovacie skúšky (hydrodynamické skúšky)

V zmysle schváleného Projektu geologickej úlohy (orientačný a podrobný prieskum) bolo navrhnuté vo vybratých prieskumných vrtoch realizovať hydrodynamické vodné tlakové skúšky. Účelom skúšok malo byť orientačné overenie hydraulických parametrov horninového prostredia najmä s ohľadom na určenie drenážneho účinku tunela na horninový masív. Spolu bolo navrhnutých realizovať 8 ks vodných tlakových skúšok. Realizácia a vyhodnotenie skúšok mala byť v zmysle platnej STN EN ISO 22282-1 až 22282-6, ktoré nadobudli účinnosť od júna 2013 a podľa ktorých je odporúčané na testovanie priepustnosti použiť v nasýtenej i nenasýtenej zóne v skalnom horninovom masíve použiť vodné tlakové skúšky.

Na realizáciu vodných tlakových skúšok bola použitá zostava obturátorov WirelineSystemPacker spoločnosti BIMBAR priemeru HQ (96 mm) a NQ (76 mm). Vo vrtoch bol použitý jednoduchý aj dvojité obturátor. Dvojité obturátor bol použitý pre testovanie skúšobného úseku s dĺžkou 2 m, jednoduchý obturátor bol použitý v skúšobnej etáži po dno vrtu. Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok je uvedený v tabuľke 12.

Vodné tlakové skúšky boli realizované v troch vzostupných a troch zostupných tlakových stupňoch. V hlbokých vrtoch v nenasýtenej zóne bol tlak odvodený z hydrostatického tlaku vyvolaného nálevom vody do vrtu. V tomto prípade boli realizované iba vzostupné stupne skúšky. Meranie tlaku a prietoku bolo vykonané regulačnou a meracou zostavou GEOPRO s.a. (Belgicko), pozostávajúcou z :

- prietokomeru s maximálnym prietokom 110 l/min, s digitálnym čítaním a nulovaním,
- manometrom priemeru 63 mm, s glycerínovou výplňou triedy 1.6, rozsahu 0 – 25 bar,
- dvoch regulačných ventilov a jedného uzatváracieho ventilu.

Tabuľka 12 Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok

Vrt	Dátum realizácie skúšky	Skúšobný úsek	Zloženie obturátora
NT-04	03.06.2016	21,0 – 26,0 m	jednoduchý obturátor
NT-04	05.06.2016	35,5 - 40,5 m	jednoduchý obturátor
NT-06	10.06.2016	33,0 – 40,0 m	jednoduchý obturátor
NT-07	06.06.2016	39,0 – 45,0 m	jednoduchý obturátor
NT-09	09.05.2016	39,0 – 45,0 m	jednoduchý obturátor
NT-10	20.05.2016	12,5 -18,0 m	jednoduchý obturátor

NT-10	23.05.2016	39,0 – 45,0 m	jednoduchý obturátor
NT-12	06.02.2017	72,1 – 77,3 m	jednoduchý obturátor
NT-13	14.12.2016	139,5 – 145,0 m	jednoduchý obturátor
NT-15	14.02. 2017	165,0 – 170,0 m	jednoduchý obturátor
NT-30			

O výsledkoch vodnotlakových skúšok a ich vyhodnotení bola vyhotovená pre každú skúšobnú etáž skúšobná správa.

Pre overenie možnosti vsakovania horninovej vody z tunela Čebrať, boli v dvoch doplnkových hydrogeologických vrtoch NT-27 a NT-28 realizované vsakovacie skúšky. Prehľad realizovaných skúšok je uvedený v tabuľke 13. **Detailné spracovanie priebehu a výsledkov hydrodynamických skúšok je v prílohe 6.4.**

Tabuľka 13 Prehľad realizovaných vsakovacích skúšok

Vrt	Hĺbka vrtu [m]	Dátum skúšky	Hĺbka osadenia čerpadla [m]
NT-27	15,0	02.04.2014 – 03.04.2014	34,30
NT-28	15,0	04.04.2014 – 05.04.2014	16,10

1.8.3 Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky zemín

Počas realizácie vrtných prác boli odoberané charakteristické vzorky zemín pre laboratórne stanovenie ich fyzikálno–opisných parametrov. V zmysle Projektov geologickej úlohy (pre orientačný aj podrobný prieskum) bolo navrhnuté odobrať spolu 30 ks neporušených vzoriek a 65 ks porušených vzoriek a z toho 15 ks vzoriek technologických. **V skutočnosti bolo odobraných 9 ks neporušených vzoriek a 12 ks porušených vzoriek zemín (z toho 1 ks technologických a 11 ks porušených).** Vzorky zemín boli dopravené a spracované v akreditovanom laboratóriu mechaniky zemín INGEO–ENVILAB s.r.o. Žilina. Získané parametre slúžia pre geotechnickú klasifikáciu zemín, posúdenie ich vhodnosti, namŕzavosti a vodného režimu. Výsledky laboratórných skúšok mechaniky zemín sú uvedené v prílohe 5.1.

1.8.4 Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky hornín

Počas realizácie vrtných prác boli odoberané charakteristické vzorky hornín pre laboratórne stanovenie ich fyzikálno–opisných a pevnostno–deformačných parametrov. Navrhnutých bolo odobrať 20 ks vzoriek na Point Load Test (PLT), 10 ks vzoriek na stanovenie pevnosti v prostom tlaku, 10 ks vzoriek na stanovenie fyzikálnych vlastností hornín a 10 ks na stanovenie deformačných parametrov. Prehľad odberov vzoriek hornín je uvedený v nasledujúcej tabuľke 14. Skúšky bodovej pevnosti (Point Load Test) boli vykonávané na prístroji EL77–0115 a prístroji PIL-7 spoločnosti CAD–ECO a.s., stredisko Žilina. Odobratých bolo spolu 24 ks vzoriek. Vykonaných bolo 42 skúšok bodovej pevnosti, pričom niektoré vzorky boli testované v axiálnom i radiálnom smere vrtného jadra). Stanovenie fyzikálnych a pevnostno–deformačných vlastností hornín bolo vykonané v laboratóriu INGEO–ENVILAB s.r.o. Žilina. Výsledky všetkých realizovaných laboratórných skúšok mechaniky hornín sú uvedené v samostatnej prílohe 5.2.

Tabuľka 14 Prehľad odberu vzoriek hornín a realizácie laboratórných prác mechaniky hornín

Typ vzorky	Počet vzoriek		Počet realizovaných skúšok
	návrh	skutočnosť	
Point Load Test	20	24	42

Pevnosť v prostom tlaku	10	9	9
Fyzikálne vlastnosti hornín	10	9	9
Deformačné parametre hornín	10	8	8
Stanovenie mrazuvzdornosti	0	0	0
Stanovenie abrazivity	0	0	0
Mineralogická analýza RTG (celohominová + separovaná)	10	0	0
Petrografická a stratigrafická analýza (výbrus + výplav)	10	0	0
Spolu		50	

1.8.5 Geofyzikálne povrchové merania

V zmysle Projektu geologickej úlohy bolo naplánované realizovať 9000 m povrchových geoelektrických meraní (multikábel, SOP+VES) a 440 m povrchových meraní inžinierskej seizmiky (IS). V prevej etape prieskumu (orientačný prieskum pre oblasť západného portálu) boli realizované merania na 5 ks priečnych profiloch GF-1 až GF-5 a jednom pozdĺžnom profile GF-JTR. Spolu bolo realizovaných 5008 m geoelektrických meraní. V druhej etape (podrobný IGHP pre trasu tunela) boli realizované merania na profiloch GF-6 (doplnkový profil podľa požiadaviek projektanta trasy diaľnice), GF-STR a GF-STRN. Profil GF-STRN bol vedený osou posunutej severnej tunelovej rúry (variant V2), profil GF-STR bol vedený osou severnej tunelovej rúry v pôvodnej trase (variant V1) až po ich vzájomný stret.

Cieľom geofyzikálnych meraní bolo) spresnenie informácií o inžinierskogeologických, hydrogeologických a geotechnických pomeroch skúmaného územia ako aj overenie tektonickej stavby v oblasti portálu tunela Čebrať.

Geofyzikálne terénne merania boli, vo forme subdodávky spoločnosti GEOPAS s.r.o. Žilina, realizované v období mesiacov apríl až jún 2016. Prvotná geologická dokumentácia je archivovaná spoločnosťou GEOPAS s.r.o. Žilina.

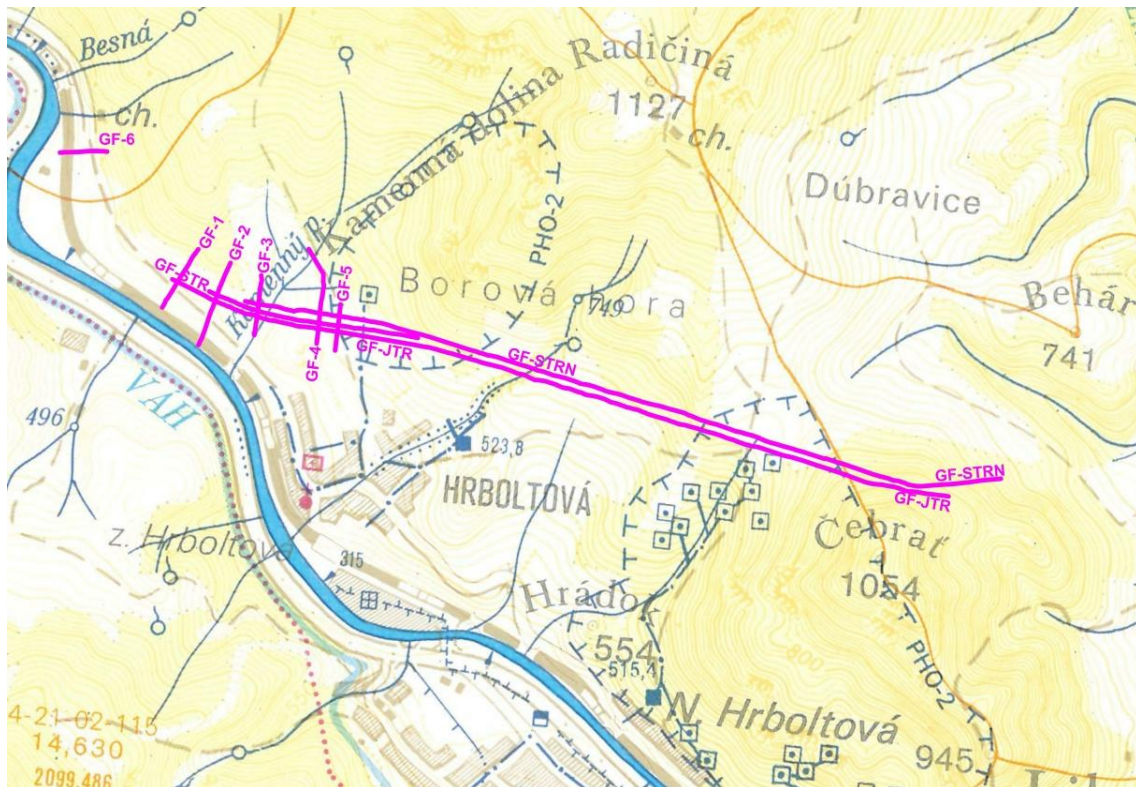
Na vyriešenie základných úloh boli použité metódy ME a VES. Podstata multielektródových geoelektrických meraní (tzv. ME) spočíva v poloautomatickom meraní zdanlivých merných elektrických odporov (ρ_z) pomocou veľkého množstva stabilne uzemnených elektród. V literatúre sa tento spôsob niekedy označuje ako elektrická odporová tomografia, resp. ERT (Electrical Resistivity Tomography). Je potrebné uviesť, že metóda ME navyše prináša benefit v podobe zvýšenej hustoty meracích bodov, ktorá umožňuje detailnejšiu lokalizáciu geoelektrických vrstiev, resp. odporových anomálií. Tieto geoelektrické merania umožnili rozčleniť geologické prostredie z hľadiska priebehu zdanlivých merných elektrických odporov (ρ_z) vo vertikálnom a horizontálnom smere, vyčleniť rovnírodé úseky, odporovo kontrastné prostredia a indikovať zmeny hrúbky a charakteru geoelektrických vrstiev. Z hľadiska geológie bolo teda úlohou tohto geofyzikálneho merania určenie príslušnej hrúbky a charakteru kvartérnych materiálov, priebeh predkvartérneho podložja, jeho litologickú charakterizáciu a tiež určenie miest vertikálnych poruchových zón (tektonických línii).

V závislosti na požadovanom hĺbkovom dosahu meraní ME bola zvolená pravidelná vzdialenosť elektród systému ME a to 3 alebo 5 m. Maximálna vzdialenosť sýtnych elektród AB sa pre systém 48 – 96 elektród pohybovala v rozsahu 9 – 170 m. Pri meraniach ME bola použitá aparátúra ARES českej spoločnosti GF Instruments, s.r.o., Brno, ktorá využívala káblový systém MCC5.

Merania inžinierskej seizmiky (IS) predstavujú plytký variant seizmického merania metódou lomených, resp. čelných elastických vln. Tieto merania umožnili vo vybraných rezoch rozčleniť geologické prostredie z hľadiska rýchlostí šírenia čelných seizmických vln a takto detekovať zóny znížených rýchlostí (ktoré indikujú prítomnosť materiálov kvartérneho pokryvu,

resp. degradovaných predkvartérnych hornín), prípadne aj úroveň hladiny podzemnej vody (samozrejme, iba pokiaľ táto hladina predstavuje dostatočne kontrastné refrakčné rozhranie).

Merania IS boli vykonané s použitím 24 kanálovej aparatúry Terraloc Mark 6 spoločnosti Abem. Počas merania boli použité 115 m dlhé seizmické profily s 24 geofónmi, medzi ktorými bola pravidelná vzdialenosť 5 m. Energia pre seizmické meranie bola generovaná údermi kladiva na pevnú podložku, pričom body budenia ležali na okrajoch rozloženia geofónov, v strede ich rozloženia, ako aj vo vzdialenosti rovnej 1/2 dĺžky rozloženia od okrajov rozloženia geofónov (tzv. „prístrely“).



Obrázok 3 Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.

Interpretované výsledky geofyzikálnych meraní boli použité predovšetkým za účelom rozčlenenia horninového masívu v portálovej oblasti modifikovaného tunela Čebrať na kvázihomogénne bloky z hľadiska inžinierskej geológie a geotechniky a na identifikáciu tektonicky porušených zón a vyčlenenie priebehu predkvartérneho podložja vo vybraných oblastiach.

Podrobnosti o použitých geofyzikálnych meraniach, ich realizácii a postupe interpretácie, zakončené výsledkami meraní geoelektrických metód a inžinierskej seizmiky sú podrobne spracované v samostatnej prílohe 8 „Výsledky geofyzikálnych povrchových meraní“, ktoré spracovali zodpovední riešitelia tejto časti geologickej úlohy – RNDr. Štefan Huljak a RNDr. Jozef Flimmel (GEOPAS s.r.o., Žilina).

1.8.6 Karotážne merania

V zmysle Projektu geologickej úlohy boli karotážne merania navrhnuté v štruktúrnych vrtoch v trase modifikovaného tunela Čebrať. Navrhovanými karotážnymi metódami boli kavernometria, meranie prirodzeného γ -žiarenia, odporová karotáž, inklinometria, termometria a merania konduktivity a spontánneho potenciálu. Sumárne bolo navrhnutých karotovať 360 m

vtov. Pri meraniach bola použitá karotážna súprava firmy ALT, so súpravou karotážných sond QL40 (QuickLine 40 mm) CAL, DEV, ElogIP, GRA, OBI, FTC, elektrickým vrátkom 4MXC a digitálnym prevodníkom / záznamníkom BBox Mini.

Počas karotážných meraní boli spravidla najskôr zisťované geometrické parametre vrtu, jeho stav, priechodnosť a prípadné zmeny geometrie. Zistenie týchto parametrov bolo nevyhnutné pre správne nasadenie ďalších karotážných metód, resp. pre overenie možnosti realizácie dilatometrickej či presiometrickej a vodnotlakovej skúšky. Na základe týchto prvotných zistení bol operatívne stanovený rozsah a spôsob použitia ostatných prieskumných metód vo vrtoch, tak aby ich nasadenie bolo bezpečné a účelné.

Výsledky karotážných meraní sú prehľadne spracované v samostatnej prílohe 7. Získané výsledky boli plne zohľadnené v hodnotení geologických pomerov v predmetnom území.

1.8.7 Práce geologickej služby

Súčasťou geologických prác bolo vypracovanie Projektu geologickej úlohy, riadenie terénnych prác, zabezpečenie vstupov na dotknuté pozemky, vytýčenie podzemných káblových a potrubných vedení, geologická dokumentácia jadrových vrtov vrátane fotodokumentácie, stanovenie základných charakteristík zemín, stanovenie základných parametrov podzemných vôd, výber a odber vzoriek zemín a podzemnej vody a vypracovanie záverečnej správy. Ďalej to bolo vykonávanie a vyhodnotenie všetkých terénnych geotechnických skúšok, vyhodnotenie výsledkov laboratórnych rozborov, terénne pochôdzky a mapovanie. Súčasťou prác geologickej služby bolo spracovanie textových a grafických príloh záverečnej správy, ako aj samotnej záverečnej správy. V rámci mapovacích prác bolo realizované podrobné geologické mapovanie s cieľom spresniť doterajšie poznatky o geologickej stavbe dotknutej oblasti. Údaje získané počas dokumentácie sú prehľadne spracované v prílohách 3.1 a 3.2. Po vyhodnotení všetkých údajov, získaných z technických prieskumných prác, poľných a laboratórnych skúšok, bolo možné zostrojiť pozdĺžne a priečne schematické inžinierskogeologické rezy v trase tunelových rúr aj portálovej steny. Záverečná správa obsahuje nasledujúce prílohy:

PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000

PRÍLOHA 2 MAPY DOKUMENTÁCIE M 1 : 4000

Príloha 2.1 Situácia prieskumných diel

Príloha 2.2 Mapa dokumentácie

PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA

Príloha 3.1 Geologická dokumentácia prieskumných diel

Príloha 3.2 Fotodokumentácia vrtov

Príloha 3.3 Zoznam dokumentačných bodov

Príloha 3.4 Dokumentácia prameňov a vodných zdrojov

PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY

Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,137

Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,407

Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 1,600

Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 1,780

Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,068

- Príloha 4.6 Schematický inžinierskogeologický rez 6 – 6` v km 2,154
Príloha 4.7 Schematický inžinierskogeologický rez 7 – 7` v km 0,673
Príloha 4.8 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS – PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 0,000 – 1,150 STR
Príloha 4.9 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PJ – PJ` osou južnej vetvy diaľnice D1 v km 0,000 – 1,150 JTR
Príloha 4.10 Schematický inžinierskogeologický rez STR – STR` trasou severnej tunelovej rúry v km 2,000 – 6,700

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

- Príloha 5.1 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina, Katedra geotechniky, Žilinská univerzita, Žilina)
Príloha 5.2 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky hornín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina, CAD-ECO a.s., Bratislava, Ústav geotechniky SAV, Košice)
Príloha 5.3 Výsledky RTG analýz hornín, petrografické a stratigrafické vyhodnotenie hornín (Geologický ústav SAV, Banská Bystrica)
Príloha 5.4 Výsledky laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)
Príloha 5.5 Výsledky izotopových analýz podzemných vôd (ŠGÚDŠ, Bratislava)

PRÍLOHA 6 POĽNÉ SKÚŠKY

- Príloha 6.1 Výsledky presiometrických skúšok vo vrtoch
Príloha 6.2 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch
Príloha 6.3 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie
Príloha 6.4 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch
Príloha 6.5 Výsledky hydrometrovacích meraní povrchových tokov

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ**

- Príloha 6.1 Výsledky geoelektrických meraní SOP a VES
Príloha 6.2 Výsledky meraní inžinierskej seizmiky
Príloha 6.3 Výsledky meraní georadarom

PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 10 HYDROCHEMICKÉ ZHODNOTENIE (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 11 VÝSLEDKY REŽIMOVÝCH POZOROVANÍ, BILANCIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 12 TECHNICKÁ SPRÁVA**

- Príloha 12.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtoch (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)
Príloha 12.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtoch (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 13 MERAČSKÁ SPRÁVA (GEOSMART s.r.o., Žilina)

2 PODROBNÁ ČASŤ

2.1 Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika zemín a hornín

V nasledujúcich podkapitolách podrobne charakterizujeme inžinierskogeologické a geotechnické parametre hornín a zemín, ktoré sa vyskytujú v skúmanom území.

2.1.1 Kvartér

Kvartérne zeminy sú v hodnotenom území zastúpené niekoľkými významnými genetickými typmi. Najrozšírenejšími sú deluviálne sedimenty, fluviálne a terasové sedimenty, proluviálne a antropogénne sedimenty. Vzhľadom na fakt, že najmä proluviálne a deluviálne zeminy v skúmanom území majú veľmi podobné geotechnické vlastnosti, budeme ich hodnotiť spoločne ako jeden celok. Deluviálne sedimenty pokrývajú prakticky celé územie v plánovanej trase diaľnice D1 s výnimkou lokálnych východzov podložných hornín. S ohľadom na realizované merania inklinometrie v oblasti portálu tunela Čebrať v rámci GTM diaľnice a tiež vzhľadom k starším geologickým prácam, v ktorých je delúvium v tejto časti územia klasifikované ako zosuvné, budeme sa tohto členenia pridržať i pri hodnotení v tejto správe.

Na celom skúmanom území je podložie tvorené prevažne karbonatickými a flyšovými mezozoickými horninami, kde sa vytvára prevažne pozvoľný (len lokálne ostrý) prechod z delúvia do elúvia a zvetraného podložia, pričom elúvium je prevažne charakteru ílovito-kamenitej suty. V zosuvných oblastiach je do zosuvného delúvia zahrnutá i časť podložia – najmä elúvium a silne zvetraná časť masívu, resp. aj časť nezvetraných podložných hornín vo forme blokov. Pohyb blokov momentálne vzhľadom na krátky časový úsek nie je možné hodnotiť.

A) Deluviálne a deluviálno-proluviálne suty kamenito-ílovité a íly, zosuvné delúvium tvoria prevažne íly štrkovité (F2/CG), íly a silty piesčité (F4/CS a F3/MS) resp. ako aj íly a silty so strednou až vysokou plasticitou (F6/CI, F8/CH, resp. F5/MI, F7/MH), premenlivej konzistencie prevažne pevnej, avšak aj s polohami veľmi pevnej až tvrdej konzistencie ($I_c = 1,01 - 1,48$), strednej až veľmi vysokej plasticity ($w_L = 30 - 80 \%$, $I_p = 12 - 44 \%$), s obsahom ílovitej frakcie ($c = 3,3 - 52,1 \%$), prachovitej frakcie ($m = 27,8 - 50,7 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 8,7 - 43,9 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 0,1 - 36,4 \%$). V zmysle STN 72 1001 ich možno celkovo charakterizovať triedou F2 a F4 so symbolom označenia CG a CS s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 18,5 - 22,5 \text{ kN.m}^{-3}$	$21,3 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 18,3 - 29,9^\circ$	$23,7^\circ$
	$c_{\text{ef}} = 0 - 14 \text{ kPa}$	6 kPa
	$\varphi_{\text{rez}} = 13,4 - 26,1^\circ$	$19,2^\circ$
	$c_{\text{rez}} = 0 - 5 \text{ kPa}$	2 kPa
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = 7,2 - 31,50 \text{ MPa}$	$17,46 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (160 - 275) \text{ kPa}$	250 kPa

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso pozemných komunikácií uvedené zeminy sú **namrzavé až nebezpečne namrzavé** v závislosti

od obsahu ílovitej a prachovitej frakcie, pričom jej vplyvom sa ich pevnosť podstatne znižuje. Podľa kritérií vhodnosti pre **podložiekomunikácií** tieto zeminy (F2/CG a F4/CS resp. F3/MS) sú **podmienečne vhodné** a pre **budovanie násypu** v zmysle uvedenej normy tieto zeminy možno hodnotiť ako **vhodné až nevhodné**. Podstatne odlišne sú hodnotené íly s veľmi vysokou plasticitou (F8/CH), ktoré sú tak pre podložie komunikácií, ako aj pre budovanie násypu **nevhodné**.

Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia, pričom obsah štrkovej frakcie podstatne vplýva aj na ich únosnosť a priepustnosť. Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 2,03 \cdot 10^{-9} - 4,00 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, v priemere $k_f = 4,49 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ predstavuje pre tieto jemnozrnné zeminy triedu priepustnosti **VI** – podľa Jetela, čo znamená, že horninové prostredie je **slabo priepustné**.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

B) Deluviálne sute kamenité, balvanité a ílovito–kamenité, zosuvné delúvium tvoria štrkovité zeminy s rozličným podielom ílovitej resp. siltovitej prímеси (G5/GC, G4/GM až G3/G–F, s lokálnym zastúpením G2/GP). V kvartérnom komplexe tvoria viac alebo menej súvislé šošovky a polohy, pričom tvoria privilegované cesty pre prúdenie podzemnej vody. Úlomky tvoria prevažne pevné karbonatické horniny (vápence a dolomity, ojedinele zlepenca a pieskovce), zvrstvené z vyšších partii svahov. Výplňový íl je nízkej až strednej plasticity ($w_L = 23 - 37 \%$, $I_p = 9 - 20$). Zemina je s malým obsahom ílovitej frakcie ($c = 3,2 - 7,6 \%$), prachovitej frakcie ($m = 14,2 - 30,5 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 18,8 - 31,3 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 36,7 - 61,1 \%$) s variabilným zastúpením úlomkov karbonátov (vápence a dolomity) s veľkosťou do 8 cm. V zmysle STN 72 1001 možno tieto prevládajúce štrkovité zeminy charakterizovať triedou ako G5 so symbolom označenia GC s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 20,5 - 22,8 \text{ kN.m}^{-3}$	21,8 kN.m ⁻³
– parametre efekt. šmyk. Pevnosti:	$\varphi_{ef} = 25,5 - 32^\circ$ $c_{ef} = 0 - 10 \text{ kPa}^*$	30° 5 kPa*
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 48,32 - 585,63 \text{ MPa}$	221,18 MPa
– únosnosť (b = d = 1,0 m):	$R_{dt} = (200 - 400) \text{ kPa}$	(300) kPa

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso pozemných komunikácií, uvedené nesúdržné zeminy (G5/GC) sú **namrzavé**. Podľa kritérií vhodnosti **pre podložiekomunikácií** v zmysle uvedenej normy sú tieto zeminy **podmienečne vhodné**. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia. Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 4,00 \cdot 10^{-04} - 6,92 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ v priemere $k_f = 4,48 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ predstavuje pre tieto ílovito-kamenité sute triedu priepustnosti **V** – podľa Jetela, čo znamená že horninové prostredie je **dost' slabo priepustné**.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

C) Fluviálne terasové štrky tvoria štrkovité zeminy s rozličným podielom ílovitej resp. siltovitej prímеси (G5/GC, G4/GM až G3/G–F, s lokálnym zastúpením G2/GP). V kvartérnom komplexe tvoria viac alebo menej súvislé šošovky a polohy, pričom tvoria privilegované cesty pre prúdenie podzemnej vody. Úlomky tvoria prevažne pevné karbonatické horniny (vápence a

dolomity, ojedinele zlepenca a pieskovce), zvlčené z vyšších partií svahov. Výplňový íl je nízkej až strednej plasticity ($w_L = 23 - 37 \%$, $I_p = 9 - 20$). Zemina je s malým obsahom ílovitej frakcie ($c = 3,2 - 7,6 \%$), prachovitej frakcie ($m = 14,2 - 30,5 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 18,8 - 31,3 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 36,7 - 61,1 \%$) s variabilným zastúpením úlomkov karbonátov (vápence a dolomity) s veľkosťou do 8 cm. V zmysle STN 72 1001 možno tieto prevládajúce štrkovité zeminy charakterizovať triedou ako G5 so symbolom označenia GC s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 20,5 - 22,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$21,8 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. Pevnosti:	$\varphi_{ef} = 25,5 - 32^\circ$ $c_{ef} = 0 - 10 \text{ kPa}^*$	30° 5 kPa^*
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 48,32 - 585,63 \text{ MPa}$	$221,18 \text{ MPa}$
– únosnosť ($b = d = 1,0 \text{ m}$):	$R_{dt} = (200 - 400) \text{ kPa}$	$(300) \text{ kPa}$

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso pozemných komunikácií, uvedené nesúdržné zeminy (G5/GC) **sú namrzavé**. Podľa kritérií vhodnosti **pre podložie komunikácií** v zmysle uvedenej normy sú tieto zeminy **podmienečne vhodné**. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia. Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 4,00 \cdot 10^{-04} - 6,92 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ v priemere $k_f = 4,48 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ predstavuje pre tieto ílovito-kamenité sute triedu priepustnosti **V** – podľa Jetela, čo znamená že horninové prostredie je **dost' slabo priepustné**.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

D) Fluviálne až polygenetické íly a piesky terasového pokryvu tvoria štrkovité zeminy s rozličným podielom ílovitej resp. siltovitej prímеси (G5/GC, G4/GM až G3/G–F, s lokálnym zastúpením G2/GP). V kvartérnom komplexe tvoria viac alebo menej súvislé šošovky a polohy, pričom tvoria privilegované cesty pre prúdenie podzemnej vody. Úlomky tvoria prevažne pevné karbonatické horniny (vápence a dolomity, ojedinele zlepenca a pieskovce), zvlčené z vyšších partií svahov. Výplňový íl je nízkej až strednej plasticity ($w_L = 23 - 37 \%$, $I_p = 9 - 20$). Zemina je s malým obsahom ílovitej frakcie ($c = 3,2 - 7,6 \%$), prachovitej frakcie ($m = 14,2 - 30,5 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 18,8 - 31,3 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 36,7 - 61,1 \%$) s variabilným zastúpením úlomkov karbonátov (vápence a dolomity) s veľkosťou do 8 cm. V zmysle STN 72 1001 možno tieto prevládajúce štrkovité zeminy charakterizovať triedou ako G5 so symbolom označenia GC s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 20,5 - 22,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$21,8 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. Pevnosti:	$\varphi_{ef} = 25,5 - 32^\circ$ $c_{ef} = 0 - 10 \text{ kPa}^*$	30° 5 kPa^*
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 48,32 - 585,63 \text{ MPa}$	$221,18 \text{ MPa}$
– únosnosť ($b = d = 1,0 \text{ m}$):	$R_{dt} = (200 - 400) \text{ kPa}$	$(300) \text{ kPa}$

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso pozemných komunikácií, uvedené nesúdržné zeminy (G5/GC) **sú namrzavé**. Podľa kritérií

vhodnosti **pre podložie komunikácií** v zmysle uvedenej normy sú tieto zeminy **podmienečne vhodné**. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia. Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 4,00 \cdot 10^{-4} - 6,92 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v priemere $k_f = 4,48 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ predstavuje pre tieto ílovito-kamenité suty triedu priepustnosti **V** – podľa Jetela, čo znamená že horninové prostredie je **dost' slabo priepustné**.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

Tabuľka 15 Prehľad geotechnických parametrov kvartérnych zemín

CHARAKTERISTIKA	Symbol [Rozmer]	DELUVIÁLNO-PROLUVIÁLNE SEDIMENTY (Zosuvné delúvium)				
		Deluviálne a polygenetické suty a íly		Deluviálne suty balvanité, kamenité a ílovito-kamenité		
		Najčastejší rozsah	Odpor. hodnota	Rozsah	Odpor. hodnota	
Prirodzená vlhkosť	w_n [%]	8,00 – 30,60	14,70	6,50 – 14,50	10,60	
Prirodzená objemová hmotnosť	ρ_n [g.cm ⁻³]	1,85 – 2,25	2,13	2,05 – 2,28	2,18	
Suchá objemová hmotnosť	ρ_d [g.cm ⁻³]	1,45 – 2,02	1,86	1,91 – 2,00	1,95	
Hustota	ρ_s [g.cm ⁻³]	2,64 – 2,75	2,71	2,74 – 2,75	2,75	
Pórovitosť	n [%]	24,80 – 46,40	31,80	29,70 – 30,40	30,1	
Stupeň nasýtenia	S_r [%]	59,40 – 95,70	85,20	42,10 – 91,10	66,60	
Obsah organických látok	l_{om} [%]	3,0	3,0	-	-	
Medza tekutosti	w_L [%]	30 - 80	41	23 - 37	29	
Číslo plasticity	I_p [%]	12 - 44	21	9 - 20	14	
Číslo konzistencie LMZ	I_c	1,01 – 1,48	1,29	-	-	
Obsah zrn	$\phi < 0,002 \text{ mm}$	c [%]	3,3 – 52,1	17,3	3,2 – 7,6	5,0
	$0,002 < \phi < 0,06 \text{ mm}$	m [%]	27,8 – 50,7	37,6	44,2 – 30,5	20,2
	$0,06 < \phi < 2 \text{ mm}$	s [%]	8,7 – 43,9	18,4	18,8 – 31,3	26,6
	$\phi > 2 \text{ mm}$	g [%]	0,1 – 36,4	26,7	36,7 – 61,1	48,2
Pevnosť v prostom tlaku	σ [kPa]	153 – 186	170	-	-	
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti z LMZ	φ_{ef} [°]	18,3 – 29,9	23,7	25,5 – 32,0	30	
	c_{ef} [kPa]	0 – 14	6	0 – 10	5	
Parametre reziduálnej šmykovej pevnosti	φ_r [°]	13,4 – 26,1	19,2	-	-	
	c_r [kPa]	0 - 5	2	-	-	
Parametre zhutnenia Proctor Standard	w_{opt} [%]	11,70 – 14,10	12,90	9,9	9,9	
	$\rho_{d \text{ max}}$ [g.cm ⁻³]	1,85 – 1,95	1,91	2,03	2,03	
Pomerná únosnosť	CBR [%]	2,0 – 5,0	3,6	3,0	3,0	
Modul pretvárnosti z PS	E_{def} [MPa]	7,20 – 31,50	17,46	48,32 – 585,63	221,18	
Modul pretvárnosti z LMZ	E_{def} [MPa]	-	-	-	-	
Poissonovo číslo	ν	(0,35 – 0,42)	(0,35)	(0,30 – 0,35)	(0,30)	
Koeficient filtrácie	k_f [m.s ⁻¹]	$4,00 \cdot 10^{-6}$ až $2,03 \cdot 10^{-9}$	$4,49 \cdot 10^{-7}$	$6,92 \cdot 10^{-6}$ až $4,00 \cdot 10^{-4}$	$4,48 \cdot 10^{-5}$	
Únosnosť	R_{dt} [kPa]	(160 – 275)	(250)	(200 – 400)	(300)	
Zatriedenie podľa STN	STN 72 1001	CG,CS,CH,CV	CG,CS	CG,GC,GM	GC	
		F2,F4,F8	F2,F4	F2,G5,G4	G5	
	STN 73 6133	2–6–14–15	2–6	2-26–25	26	
	STN 73 3050	3–4	3–4	4–5	4–5	

Poznámky : hodnoty uvádzané v zátvorkách sú hodnoty odvodené z STN a z odbornej literatúry; únosnosť je uvádzaná orientačne ako tabuľková výpočtová únosnosť R_{dt} podľa STN 73 1001 (platná do roku 2010) pre súdržné zeminy pri $b \leq 3 \text{ m}$, $d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$

pre nesúdržné zeminy pri $b = d = 1 \text{ m}$; * PS – presiometrické skúšky podľa STN 72 1004

2.1.2 Mezozoikum

V podloží kvartérnych sedimentov sa v skúmanom území vyskytujú mezozoické súvrstvia. Podľa stratigrafickej analýzy a na základe mapovacích prác možno mezozoické súvrstvia v okolí trasy diaľnice D1 zadeliť do dvoch tektonických jednotiek: veporika – zastúpeného horninami krížňanského príkrovu, a hronika – zastúpeného horninami chočského príkrovu. Je potrebné uviesť, že do zmenej trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová horniny chočského príkrovu priamo nezasahujú, v značnej miere však ovplyvňujú hydrogeologické pomery a stabilitné pomery širšieho územia okolo plánovanej trasy.

V krížňanskom príkrove boli zachytené vrtnými a mapovacími prácami horniny niekoľkých súvrství. Porubské súvrstvie tvoria dominantné ílovce s preplástkami pieskovcov a siltovcov. V skúmanom území sme podľa stratigrafickej analýzy identifikovali dve významne zastúpené súvrstvia – mráznické a porubské. Mráznické súvrstvie je charakterizované zastúpením tmavosivých ílovcov a slienitých bridlíc s polohami slienitých škvrnitých svetlosivých vápencov. V jeho nadloží sa nachádza porubské súvrstvie, ktoré je charakteristické dominantným zastúpením ílovcov s preplástkami siltovcov a pieskovcov, má flyšový charakter. Presné rozhranie medzi oboma súvrstviami vzhľadom na etapu prieskumu nebolo možné v teréne ani v profiloch vyčleniť.

Charakter podložných mezozoických hornín bol overený vrtnými i mapovacími prácami, presiometrickými a dilatometrickými skúškami vo vrtoch a samozrejme i laboratórnymi rozbormi.

Polohy ílovcov sú väčšinou hrubolavicovité až masívne, prípadne doskovité, najmä v porubskom súvrství obsahujú rytmickú lamináciu siltovcov alebo až lamíny a dosky pieskovcov. Ílovce majú nízku až strednú pevnosť. Polohy siltovcové až pieskovcové majú strednú až vysokú pevnosť. Siltovce a ílovce je v teréne ťažko od seba makroskopicky odlišiť. Horniny sú extrémne citlivé na zmeny obsahu vlhkosti, majú tendenciu rýchlo sa rozsúšať a rozpuškávať pozdĺž plôch laminácie a vrstevnatosti. Vytvárajú doskovité bloky.

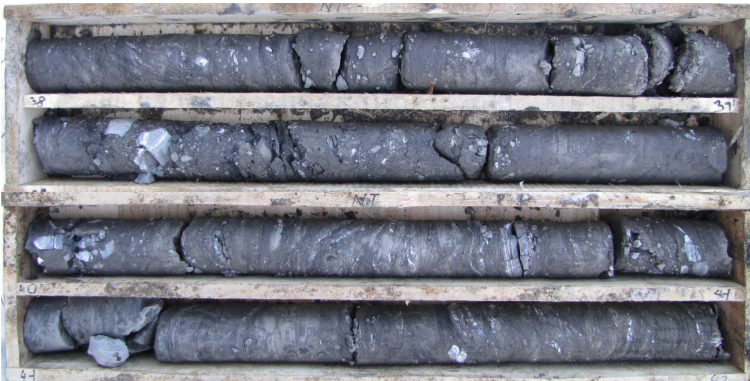
Vzhľadom na pomerne malú pevnosť hornín krížňanského príkrovu a dominantné zastúpenie pomerne plastických ílovcov je tento komplex silne tektonicky porušený. V zlomových zónach a v čiastkových násunových plochách sú horniny degradované na tektonické brekcie, často význačných hrúbok. Brekcie majú charakter súdržných ílovitých zemín, šupinkovitých ílov s obsahom zbridičnatých a budinovaných pevnejších restov hornín (pieskovcov a vápencov ale aj ílovcov samotných). Sú extrémne náchylné na rozbredanie pri styku s vodou. Charakteristickým javom v komplexe hornín krížňanského príkrovu je medzivrstevná tektonika a využitie primárnych plôch nespojitosti (laminácia a vrstevnatosť) ako klzných plochy pri presunoch nadložných príkrovov ako aj pri neskoršej tektonickej aktivite v tejto oblasti (spätne násuny a prešmyky, zlomová tektonika). Pozorované bolo i detailné prevrásnenie.

Hĺbka intenzívnejšie zvetraných hornín (zvetrané až silno zvetrané) zasahuje do 4,0 - 18,0 m, slabo zvetrané až navetrané ílovce sa vyskytujú od hĺbky 4,0 m a viac. V zmysle STN 73 1001 dosahujú tieto horniny pevnosť R3 – R4, v prípade vyššieho podielu siltovcov a pieskovcov až R2, v poruchových a silne zvetraných zónach len R5 – R6. V tektonicky porušených zónach nadobúdajú horniny až charakter úlomkovitej zeminy. Prehľad parametrov hornín krížňanského príkrovu je spracovaný v tabuľke 16.

Vápencové členy súvrství krížňanského príkrovu sú prevažne doskovité až lavicovité, s pozvoľnými vzájomnými prechodmi do slieňovcov až vápnitých ílovcov. Predstavujú najpevnejšie členy celého súvrstvia, ktoré budú zastihnuté v novej trase diaľnice. Častokrát

polohy ílovcov sú v prostredí vápencov "vyvalcované" do tenkých zbridličnatých vrstvičiek s lesklými zvlínenými plochami odlučnosti. V oblasti tektonických zlomových porúch sú vápencové horniny detailne zvrásnené, úlomkovité a nadobúdajú miestami charakter štrkovitej zeminy. Na rozdiel od vápencovo-dolomitového komplexu hornín chočského príkrovu, vápence krížňanského príkrovu v trase tunela Čebrať nie sú zvetrané ani skrasovatené, ich celková priepustnosť je značne obmedzené vďaka prepláštikom ílovcov.

A) Silno tektonicky porušené až rozložené ílovce až siltovce majú charakter súdržných zemín - sutí a ílov s úlomkami budinovaných hornín, resp. súdržných málo spevnených brekcií. Ílovce sú prevažne zošupinatené, miestami detailne zvrásnené a majú charakter lístočkovitých ílov s vyhladenými lesklými plochami. Sú extrémne citlivé na rozbredanie. Vzhľadom na svoju porušenosť a citlivosť na vodu tieto horniny podmieňujú vznik



Obrázok 4 Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín – tektonická brekcia

zosuvov a blokových deformácií na južných svahoch v oblasti východných až južných svahov kóty Radičiná (1127,2 m n.m.), tj. v oblasti pôvodnej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-04 (DS-003 až DS-007), NT-06 (DS-041), NT-07 (DS-036 a DS-037), NT-08 (DS-029, DS-031, DS-034 a DS-035),

NT-09 (DS-011, DS-018, DS-20) a NT-10 (DS-021, DS-023 až DS-026 a DS-028), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{def} = 3,95 - 369,79$ MPa, v priemere $E_{def} = 129,00$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené vo vrte NT-04 (PS-70 a PS-71), NT-09 (PS-88 a PS-90) a NT-10 (PS-94), pričom rozsah modulu pretvárnosti bol $E_{def} = 20,18 - 356,26$ MPa, v priemere $E_{def} = 222,31$ MPa. Vyššie hodnoty modulov zistené presiometrickými skúškami možno pripísať faktu, že nebolo možné otestovať tie najporušenejšie úseky horninového masívu nakoľko sa vyskytovali v hlbších polohách ako je dosah presiometrickej aparatúry.

V zmysle STN 73 1001 možno zaradiť tieto horniny do triedy R6 – R5 alebo ich možno považovať už za zeminy tried F2/CG, F4/CS a G5/GC a celkovo charakterizovať nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 21,4 - 24,4 \text{ kN.m}^{-3}$	22,7 kN.m^{-3}
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 23 - 32^\circ$	28°
	$c_{ef} = \tau_0 = 0 - 100 \text{ kPa}$	40 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 2,40 - 11,03 \text{ MPa}$	8,62 MPa
– pevnosť v prostom tlaku LMH a LMZ:	$\sigma_c = 0,094 - 9,86 \text{ MPa}$	4,59 MPa
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 20,18 - 356,26 \text{ MPa}$	222,30 MPa
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 3,95 - 369,79 \text{ MPa}$	129,00 MPa
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 m):	$R_{dt} = (150 - 400 \text{ kPa})$	(250 kPa)

B) Zvetrané alebo čiastočne porušené ílovce až siltovce majú charakter poloskálných hornín s pomerne hustým rozpukaním pozdĺž primárnych plôch nespojitosti (laminácie a vrstevnatosti), pričom často sú postihnuté medzivrstevnou tektonikou, kde primárna vrstevnatosť je využitá na šmykové tektonické pohyby. V takom prípade sú vrstevné plochy lesklé, vyhladené, zvlhčené. Zóny tektonizovaných ílovcov sa zvyčajne nachádzajú v bezprostrednom okolí výrazných tektonických porúch brekciovitého charakteru. Zvyčajne majú mierne zmenenú farbu s výraznejším odtieňom hnedej (v zóne zvetrávania). Miestami je výrazná rytmická laminácia siltovcov. Sú citlivé na zmeny vlhkosti a rýchlo sa rozsúšajú.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-04 (DS-001, DS-002, DS-008, DS-009 a DS-010), NT-06 (DS-045 a DS-046), NT-07 (DS-039), NT-08 (DS-030), NT-09 (DS-012, DS-013, DS-017 a DS-019) a NT-10 (DS-027), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{def} = 335,49 - 1851,11$ MPa, v priemere $E_{def} = 707,28$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené vo vrte NT-04 (PS-63, PS-66 až PS-69 a PS-72), NT-06 (PS-73 až PS-79), NT-07 (PS-81 až PS-83 a PS-85 až PS-87), NT-09 (PS-89 až PS-93) a NT-10 (PS-95), pričom rozsah modulu pretvárnosti bol $E_{def} = 442,30 - 1091,44$ MPa, v priemere $E_{def} = 783,77$ MPa. Horniny možno v zmysle STN 73 1001 zaradiť do triedy pevnosti R4 – R2 a celkovo charakterizovať nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:



Obrázok 5 Rozpukané navetrané ílovce s lamínami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 27,0 - 27,4 \text{ kN.m}^{-3}$	$27,2 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 34 - 44^\circ$	40°
	$c_{ef} = \tau_0 = 250 - 500 \text{ kPa}$	400 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 3,41 - 34,62 \text{ MPa}$	$14,71 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 10,54 - 30,57 \text{ MPa}$	$16,04 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 442,30 - 1091,44 \text{ MPa}$	$783,77 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 335,49 - 1851,11 \text{ MPa}$	$707,28 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{dt} = 500 - 2000 \text{ kPa}$	1250 kPa

C) Navetrané a zdravé ílovce až siltovce sú zvyčajne masívne, tmavosivej farby. Ílovce v porubskom súvrství sú dominantným litologickým typom. Polohy siltovcov a pieskovcov majú gradačné a konvolútne zvrstvenie a zreteľnú rytmickú sedimentáciu, charakteristickú pre flyšové súvrstvia.

Deformačné parametre navetraných a zdravých ílovcov boli overené dilatometrickými

skúškami vo vrtoch NT-06 (DS-042), NT-09 (DS-014 a DS-015) a NT-10 (DS-022). Hodnoty modulov pretvárnosti pre zdravé ílovce až siltovce boli v rozsahu $E_{def} = 2200,91 - 2581,23$ MPa, v priemere $E_{def} = 2335,09$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené



Obrázok 6 Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s lamínami siltovca

vo vrte NT-04 (PS-63, PS-66 až PS-69 a PS-72), NT-06 (PS-73 až PS-79), NT-09 (PS-89 a PS-91 až PS-93) a NT-10 (PS-95) pričom rozsah modulu pretvárnosti bol $E_{def} = 442,30 - 1091,44$ MPa, v priemere $E_{def} = 783,77$ MPa.

Horniny sú citlivé na zmeny vlhkosti a napätosti a po odvrtaní sa veľmi rýchlo rozpadávajú pozdĺž plôch primárnej nespojitosti – laminácie a vrstevnatosti. Majú

charakter poloskálných až skalných hornín a v zmysle STN 73 1001 ich možno zaradiť do triedy pevnosti R3 – R2.

Celkovo možno komplex s dominanciou **zdravých ílovcov** charakterizovať nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov:

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 26,6 - 26,9 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,8 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 42 - 46^\circ$	44°
	$\tau_0 = 500 - 1000 \text{ kPa}$	700 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 13,22 - 69,97 \text{ MPa}$	$32,56 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 31,09 - 89,09 \text{ MPa}$	$63,49 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 442,30 - 1091,44 \text{ MPa}$	$783,77 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS****:	$E_{def} = 2200,91 - 2581,23 \text{ MPa}$	$2335,10 \text{ MPa}$
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 m):	$R_{dt} = (800 - 4000 \text{ kPa})$	(2000 kPa)

D) Kompaktné zdravé siltovce až pieskovce sú hrubolavicovité až doskovité a vyskytujú sa v horninovom prostredí lokálne. Pre úplnosť dopĺňame geotechnické parametre pre tento typ hornín. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok realizovaných vo vrtoch NT-06 (DS-043, DS-044 a DS-047), NT-07 (DS-38, DS-40), NT-08 (DS-32 a DS-33) a NT-09 (DS-16) boli stanovené pre zdravé siltovce až pieskovce v rozsahu $E_{def} = 2107,04 - 12836,42$ MPa, v priemere $E_{def} = 4941,86$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené vo vrtoch NT-04 (PS-64 a PS-65) a NT-07 (PS-80 a PS-84), pričom rozsah modulu pretvárnosti bol $E_{def} = 1543,28 - 2019,40$ MPa, v priemere $E_{def} = 1832,12$ MPa.

– objemová tiaž:	$\gamma = 25,2 - 27,6 \text{ kN.m}^{-3}$	$27,4 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 44 - 50^\circ$	47°
	$\tau_0 = 500 - 800 \text{ kPa}$	600 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 69,97 - 108,57 \text{ MPa}$	$91,18 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 88,30 - 130,16 \text{ MPa}$	$109,90 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 1543,28 - 2019,40 \text{ MPa}$	$1832,12 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS****:	$E_{def} = 2107,04 - 12836,42 \text{ MPa}$	$4941,86 \text{ MPa}$
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 m):	$R_{dt} = (800 - 4000 \text{ kPa})$	(2200 kPa)

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

Tabuľka 16 Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského príkrovu (mráznické súvrstvie, porubské súvrstvie, osnické súvrstvie a pod.)

CHARAKTERISTIKA	Symbol [Rozmer]	MEZOZOIKUM – križňanský príkrov											
		Tektonicky silno porušené až rozložené ílovcy a siltovce, tektonické brekie (A)		Porušené rozpukané, stredne zvetrané až zdravé ílovcy a siltovce (B)		Kompaktné zdravé ílovcy až siltovce (C)		Kompaktné zdravé siltovce až pieskovce (D)		Tektonicky porušené slieňovce a vápence (E)		Kompaktné zdravé slieňovce a vápence (F)	
		Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.
Prirodzená vlhkosť	w_n [%]	4,8 – 15,80	10,80	0,59 – 1,54	1,06	0,18 – 0,32	0,25	(0,32 – 2,40)	1,09				
Prirodzená objemová hmotnosť	ρ_n [g.cm ⁻³]	2,14 – 2,44	2,27	2,70 – 2,74	2,72	2,73	2,73	(2,52 – 2,76)	2,74				
Suchá objemová hmotnosť	ρ_d [g.cm ⁻³]	1,85 – 2,33	2,05	2,56 – 2,66	2,61	2,68 – 2,69	2,69	(2,48 – 2,74)	2,69				
Hustota	ρ_s [g.cm ⁻³]	2,67 – 2,76	2,71	-	-	-	-	(2,72 – 2,79)	2,75				
Pórovitosť	n [%]	12,80 – 32,30	23,40	2,81 – 5,40	4,02	1,28 – 1,72	1,50	(1,07 – 7,35)	4,69				
Stupeň nasýtenia	S_r [%]	75,6 – 94,90	87,10	54,34 – 81,39	66,94	37,70 – 49,76	43,73	-	-				
Nasiakavosť	N [%]	-	-	0,81 – 2,56	1,87	0,26 – 0,73	0,50	(0,23 – 4,55)	1,52				
Medza tekutosti	w_L [%]	26 - 38	33										
Číslo plasticity	I_p [%]	12 - 17	15										
Číslo konzistencie	I_c	1,31 – 1,94	1,62										
Relatívna hutnosť (uľahnutosť)	I_D	(0,70)	(0,70)										
Obsah zŕn	$\phi < 0,002\text{mm}$	c [%]	4,0 – 24,1	9,5									
	$0,002 < \phi < 0,06\text{mm}$	m [%]	15,7 – 54,7	32,1									
	$0,06 < \phi < 2\text{mm}$	s [%]	12,8 – 33,8	23,6									
	$\phi > 2\text{mm}$	g [%]	8,5 – 56,6	35,4									
Pevnosť v prostom tlaku z PLT	σ [MPa]	2,40 – 11,03	8,62	3,41 – 34,62	14,71	13,22 – 69,97	32,56	69,97 – 108,57	91,18				
Pevnosť v prost. tlaku z LMH a LMZ	σ [MPa]	0,094 – 9,89	4,59	10,54 – 30,57	16,04	31,09 – 89,09	63,49	88,30 – 130,16	109,90				
Parametre totálnej šmykovej pevnosti	φ_u [°]	11,2	11,2			-	-						
	c_u [kPa]	84	84	-	-	-	-						
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti	φ_{ef} [°]	23 – 32	28	(34 – 44)	(40)	(42 – 46)	(44)	(44 – 50)	(47)				
	$c_{ef} = \tau_0$ [kPa]	0 – 100	40	(250 – 500)	(400)	(500 – 1 000)	(700)	(500 – 800)	(600)				
Modul pretvárnosti z LMH	E_{def} [MPa]	-	-	-	-	4260	4260	-	-				
Modul pretvárnosti z PS* in situ	E_{def} [MPa]	20,18 – 356,26	222,30	442,30 – 10,91,44	783,77	442,30 – 1091,44	783,77	1543,28 – 2019,40	1832,12				
Modul pretvárnosti zo DS** in situ	E_{def} [MPa]	3,95 – 369,79	129,00	335,49 – 1851,11	707,28	2200,91 – 2581,23	2335,10	2107,04 – 12836,42	4941,89				
Poissonovo číslo	ν	(0,30 – 0,35)	(0,30)	(0,20 – 0,30)	(0,25)	(0,20 – 0,25)	(0,23)	(0,18 – 0,23)	(0,20)				
Koeficient filtrácie	k_f [m.s ⁻¹]	$8,54 \cdot 10^{-9}$ až $3,35 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť					
Únosnosť	R_{dt} [kPa]	(150 – 400)	(250)	(500 – 2 000)	(1 250)	(800 – 4 000)	(2 000)	(800 – 4200)	(2200)				
Zatriedenie podľa STN	STN 73 1001												
	STN 72 1002												
	STN 73 3050												

Poznámky: Hodnoty uvádzané v zátvorkách sú hodnoty odvodené z STN, z odbornej literatúry a z výsledkov predchádzajúcich prieskumných prác, únosnosť je uvádzaná orientačne ako tabuľková výpočtová únosnosť R_{dt} podľa STN 73 1001 pre súdržné zeminy pri $b \leq 3$ m, $d = 0,8-1,5$ m a pre nesúdržné zeminy pri $b = d = 1$ m, u hornín podľa hustoty diskontinuit; PS* – presiometrické skúšky in situ (horninový masív) podľa STN 72 1004, DS** - dilatometrická skúška in-situ (horninový masív), LMZ – laboratórne skúšky mechaniky zemín, LMH – laboratórne skúšky mechaniky hornín.

E) Tektonicky porušené slienité vápence sú hrubolavicovité až doskovité, pričom vytvárajú pozvoľné prechody do slienitých ílovcov alebo obsahujú tenké "vyvalcované" preplástky zbridičnatých ílovcov. Vyskytujú sa najmä v strednej a východnej časti tunela. V zónach porušenia nadobúdajú charakter úlomkovitej horniny resp. lokálne až kamenitej suty s určitým ale nie výrazným obsahom ílovej zložky. Geotechnické parametre hornín boli testované terénnymi i laboratórnymi skúškami. Hodnoty modulov pretvárnosti dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-15 (DS-075, DS-077 až DS-085) boli stanovené pre porušené súvrstvie vápencov a ílovcov v rozsahu $E_{def} = 2107,04 - 12836,42$ MPa,



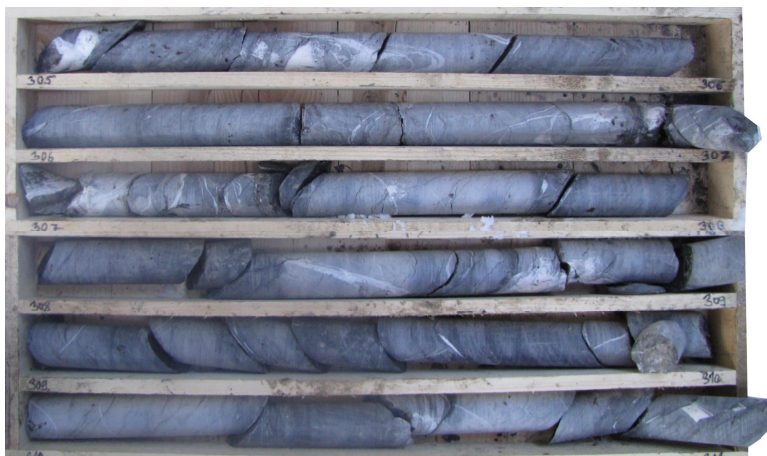
Obrázok 7 Tektonicky porušené, zbridičnaté a detailne zvrásnené slienité vápence s preplástkami zbridičnatých vápničných ílovcov

v priemere $E_{def} = 4941,86$ MPa. Na základe laboratórných aj terénných skúšok odporúčame používať nasledovné geotechnické parametre:

- objemová tiaž: $\gamma = 25,2 - 27,6 \text{ kN.m}^{-3}$ 27,4 kN.m^{-3}
- parametre efekt. šmyk. pevnosti: $\varphi_{ef} = 44 - 50^\circ$ 47°
 $\tau_0 = 500 - 800 \text{ kPa}$ 600 kPa
- pevnosť v prostom tlaku PLT: $\sigma_c = 69,97 - 108,57 \text{ MPa}$ 91,18 MPa
- pevnosť v prostom tlaku LMH: $\sigma_c = 88,30 - 130,16 \text{ MPa}$ 109,90 MPa
- modul pretvárnosti z PS*: $E_{def} = 1543,28 - 2019,40 \text{ MPa}$ 1832,12 MPa
- modul pretvárnosti z DS****: $E_{def} = 2107,04 - 12836,42 \text{ MPa}$ 4941,86 MPa
- únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 m): $R_{dt} = (800 - 4000 \text{ kPa})$ (2200 kPa)

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú prehľadne spracované v tabuľke 15.

F) Kompaktné zdravé slienité vápence sú hrubolavicovité až doskovité, vytvárajú pozvoľné vzájomné prechody do vápničných ílovcov až slieňovcov, iba lokálne sú tektonizované prevažne medzivrstevnou tektonikou. Tak tiež na vrstevných plochách sa často vyskytujú tenké vyvalcované vrstvičky ílovca. Vápence patria do dvoch súvrství – mráznického a osnického. Geotechnické parametre boli stanovené na základe laboratórných i terénných skúšok. Hodnoty modulov pretvárnosti dilatometrických skúšok, ktoré boli realizované vo vrtoch NT-16 (DS-86, DS-100), NT-15 (DS-76), boli stanovené v rozsahu $E_{def} = 2107,04 - 12836,42$ MPa, v priemere $E_{def} = 4941,86$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené



Obrázok 8 Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápničných ílovcov

MPa, v priemere $E_{def} = 4941,86$ MPa. Presiometrickými skúškami boli tieto parametre overené

vo vrtoch NT-04 (PS-64 a PS-65) a NT-07 (PS-80 a PS-84), pričom rozsah modulu pretvárnosti bol $E_{def} = 1543,28 - 2019,40$ MPa, v priemere $E_{def} = 1832,12$ MPa.

– objemová tiaž:	$\gamma = 25,2 - 27,6$ kN.m ⁻³	27,4 kN.m ⁻³
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 44 - 50^\circ$	47°
	$\tau_0 = 500 - 800$ kPa	600 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 69,97 - 108,57$ MPa	91,18 MPa
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 88,30 - 130,16$ MPa	109,90 MPa
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{def} = 1543,28 - 2019,40$ MPa	1832,12 MPa
– modul pretvárnosti z DS****:	$E_{def} = 2107,04 - 12836,42$ MPa	4941,86MPa
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 m):	$R_{dt} = (800 - 4000$ kPa)	(2200 kPa)

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov sú spracované v tabuľke 15.

2.2 Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia

V nasledujúcich podkapitolách charakterizujeme jednotlivé úseky diaľnice D1 podľa charakteristických stavebných objektov.

2.2.1 Úsek 1,000 – 1,550

Diaľnica je vedená na úrovni terénu alebo na miernom násype po zvyšku vážskeho terasového stupňa na južných až juhozápadných svahoch kóty Borček (713,6 m n.m.). Oblasť bola preskúmaná v minulosti množstvom prieskumných diel – J-22 až J-50 (Fussgänger, 2006), S3/114/2, S3/230/2, S3/231/1, S3/231/2, S3/231/3 (Šamaj, 2010), S-6 a V-8 (Mihál - Mátuš, 2001). Počas aktuálnej etapy prieskumu sme realizovali prieskumné vrty 230-01, 230-02, 231-01 až 231-03 a sondy dynamickej penetrácie DPS-230-01 až DPS-230-03 a DPS-231-01 až DOPS-231-02A. Prieskumné vrty okrem vrtu 231-01 boli zabudované ako monitorovacie objekty na sledovanie stability svahov resp. úrovne hladiny podzemnej vody.

Územie je pokryté nerovnomerne hrubou vrstvou deluviálnych sedimentov, prevažne charakteru ílov až ílovitých sutí (F6/CI, F8/CH, F2/CG), ktoré sa striedajú s polohami s vyšším podielom kamenitej a štrkovej frakcie, tj. sutí ílovito-kamenitých až kamenitých resp. balvanitých (G5/GC, G4/GM, G21/GP). Hrúbka deluviálnych sedimentov varíruje od 4 m až po maximálne 35 m (tesne pred mostom 203), pričom v hlbších úrovniach delúvium prechádza až do polygenetického proluviálno-deluviálneho sedimentu rovnakého charakteru ako delúvium resp. sa strieda s fluviálnymi sedimentami zvyšku vážskej terasy. Terasové sedimenty predstavuje jednak pokryv pôvodnej terasy charakteru ílov piesčitých až strednoplastických (F4/CS, F6/CI) až pieskov ílovitých (/S5/SC), miestami i s organickou prímiesou, pod ktorým sa nepravidelne nachádzajú vrstvy terasových štrkov (G3/G-F, G5/GC, S3/S-F). Hrúbka zachovaného ílovitého pokryvu terasy dosahuje max. 5 m, hrúbka štrkovej akumulácie v najhrubšom mieste dosahuje až 11 m. Samozrejme, vzhľadom na geologický vývoj územia sa jednotlivé vrstvy deluviálnych a fluviálnych terasových sedimentov vzájomne vertikálne aj laterálne striedajú a tvoria vzájomné prechody, pričom často nie je možné odlíšiť jednotlivé genetické typy zemín. V celom kvartérnom komplexe sa sporadicky objavujú i osamelé balvany až bloky zosunuté z vyšších partií svahu, pričom väčšinou ide o zdravé vápence a dolomity (R1 – R2), lokálne pieskovce až zlepené bazálneho paleogénu.

Deluviálny pokryv sa smerom do svahu (na sever) stenčuje, miestami až úplne vykliňuje a na povrch územia sa dostávajú podložné mezozoické horniny. Podobne smerom na juh od

trasy diaľnice, kde sa nachádza morfológicky výrazný okraj terasového stupňa, sa spod kvartérnych sedimentov vynárajú vo svahu terasového stupňa aj podložné horniny. Podložie v celom úseku je tvorené najmä karbonátmi krížňanského príkrovu, tj. najmä škvrnitými slienitými vápencami (R1 - R3), ktoré sa striedajú s vápnitými ílovcami, bridlicami až siltovcami (R2 – R4). Ich presné litologické hranice nebolo možné vrtným prieskumom presne stanoviť. Miestami sú horniny tektonicky porušené a nadobúdajú charakter kamenitej suty s rozličným obsahom ílu (G2/GP, G5/GC). Najvýraznejší je skalný peň v km cca 1,050 – 1,200, ktorý sa na povrchu terénu prejavuje vznikom lokálneho hrebienka. Trasa diaľnice bude tento hrebienok prekonávať odrezom (viď priečny geologický rez 1 – 1` príloha 4.1). Od tohoto kilometra podložie smerom na východ stupňovito zaklesáva.

Hladina podzemnej vody v hodnotenom úseku je prevažne viazaná na priepustnejšie vrstvy v rámci kvartérneho pokryvu a to predovšetkým v čase zrážok. Počas zrážok vsiaknutá voda steká v smere svahu a sýti jednotlivé vrstvy kvartérnych sedimentov, najmä a kontakte kvartéru s podložími a v komplexe zachovaných terasových štrkov a kamenitých sutí. Počas bezzrážkového obdobia hladina zaklesáva až do predkvartérnych mezozoických komplexov, kde predpokladáme otvorenie puklín a teda vysokú priepustnosť.

Celkovo územie nevykazuje známky nestability, vzhľadom na drenážny účinok terasových štrkov i predkvartérneho podložia nedochádza k dlhodobému nasýteniu zemín podzemnou vodou a k vzniku zosuvov. Na strmších svahoch sa prejavuje len zliezanie sutí, súvisiace s klimatickými cyklami, ktoré má však len plytký dosah.

Doplniť geotechnické charakteristiky

Na základe vyhodnotenia archívnych i aktuálnych sond dynamickej penetrácie sú deluviálne suty prevažne kypré až uľahnuté ($I_D = 0,28 - 0,86$), v priemere sa javia ako stredne uľahnuté ($I_D = 0,46$). Pre detailnejšie rozčlenenie viď príloha 7.1 Odvodený modul deformácie v komplexe štrkov dosahuje $E_{def} = 32,20 - 377,70$ MPa (rozsah zodpovedá triedam G1- G5), v priemere $E_{def} = 119,70$ MPa (G2 - G3). Výplňový jemnozrnný materiál resp. preplástky jemnozrnných zemín v komplexe štrkov majú číslo konzistencie v rozsahu ($I_C = 0,44 - 1,21$), v priemere $I_C = 0,89$.

Presiometrickými a dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-03, NT-04, NT-06 a NT-09 boli overené deformačné parametre podložných hornín v rozličnom stupni porušenia. Zatiaľ čo presiometrické skúšky v tektonicky porušených brekciovitých ílovcach preukázali rozsah modulu pretvárnosti $E_{def} = 20,18 - 356,26$ MPa, v priemere 222,31 MPa, kompaktné málo porušené ílovce dosahovali modul pretvárnosti rozsahu $E_{def} = 442,30 - 1 091,44$ MPa, v priemere $E_{def} = 783,77$ MPa. Horniny s vyšším zastúpením siltovca majú modul pretvárnosti rozsahu $E_{def} = 1 543,28 - 2 019,40$ MPa, v priemere $E_{def} = 1 832,12$ MPa. Podobné rozsahy dosahovali horniny i pri dilatometrických skúškach.

Z uvedených výsledkov prieskumných prác v tomto úseku vyplývajú nasledujúce odporúčania:

- trasa diaľnice bude budovaná na miernom násype resp. v odrezoch. Pri budovaní zemného telesa je potrebné zemnú pláň zbaviť povrchovej vrstvy, vytvoriť systém zazubenia a plochu jednotlivých stupňov zhutniť. Po týchto opatreniach je možné vrstviť teleso násypu. Stabilitu podložia v kritickom úseku v km 1,400 (na okraji terasového stupňa) je potrebné sledovať zabudovaným inklinometrickým vrtom 231-02.
- V odrezoch je potrebné sledovať stabilitu svahu vopred zabudovaným inklinometrickým vrtom (230-01) a úroveň hladiny podzemnej vody v zabudovanom vrte 231-03. Svahy

odrezov je potrebné realizovať v takom sklone, aby nedošlo k aktivizácii svahových pohybov. Ak je to potrebné, realizovať stabilizáciu svahov rebrami.

- Je potrebné vykonať protierózne opatrenia na odkrytých svahoch (georohož a hydroosev).
- Teleso diaľnice nesmie predstavovať bariéru pre prúdenie povrchovej a podzemnej vody, je preto potrebné na strane privrátenej k svahu vybudovať odvodňovací rigol, prípadne opatrený aj pozdĺžnym podpovrchovým drénom, ktorý bude na vhodnom mieste vyústený do recipientu alebo do vsaku.
- Prípadné stabilizačné a drenážne rebrá odporúčame na lícovej strane opatriť kamenným dláždením, aby sa zabránilo ich zanášaniam organickým materiálom.
- V styku s vodou a pri mechanickom namáhaní sú deluviálne suty citlivé na rozbreďovanie. Pri potrebe častých pojazdov stavebných mechanizmov je potrebné tieto zeminy chrániť vhodnou ochrannou vrstvou;

2.2.2 Úsek 1,550 – 1,750 most 203

Oblasť mosta 203 predstavuje terénnu úvalinu bez trvalého vodného toku. Občasný vodný tok sa objavuje len pri dlhodobejších a intenzívnych zrážkach alebo pri jarnom topení snehu. Voda steká terénnym žľabom z juhovýchodných svahov kóty Borček (713,6 m n.m.). Oblasť mosta bola v minulosti preskúmaná vrtmi J-51 až J-56 (Fussgänger, 2006), ďalej vrtmi S3/203/3L, S3/203/5L (Šamaj, 2010) a S-7 (Mihál - Máťuš, 2001). Počas aktuálnej etapy prieskumu sme realizovali prieskumné vrty M-203-01 až M-203-06 a sondy dynamickej penetrácie DPS-203-01 až DPS-203-03A. Okrem toho boli využité i povrchové geofyzikálne merania na profiloch GF-JTR a GF-STR, v blízkosti miesta západnej opory mosta bol realizovaný priečny profil GF-2.

Územie je pokryté kvartérnymisedimentmi hrúbky 13 až 35 m. Pravý svah úvaliny buduje zachovaný mohutný sutinový kužeľ, ktorý úplne prekrýva v hlbších partiách zachované fluviálne terasové sedimenty. Delúvium predstavuje striedanie kamenito-ílovitých (F2/CG) až ílovito-kamenitých až balvanitých sutí (G5/GC, G2/GP). V podloží delúvia sa nachádzajú terasové štrky ílovité a štrky s prímiesou jemnozrnnej zeminy (G5/GC, G3/G-F), ktoré sú prevrstvené vložkami deluviálnych sutí. Terasový sediment siaha od pravej strany údolia (od km cca 1,500) až pod ľavostrannú oporu mosta 203 (približne km 1,720).

Podložie kvartéru je budované čiastočne skrasovatenými a rozvoľnenými slienitými vápencami (R1 – R2) s vložkami ílovitých bridlíc (R2 – R4). Kým na pravej strane údolia je skalné podložie v hĺbke až 35 m, na ľavej strane postupne vystupuje a vynára sa spod deluviálnych sutí až na povrch a vytvára výrazný skalný hrebenok medzi mostami 203 a 204. V mieste opory mosta na ľavom svahu úvaliny sa však podložie ešte stále nachádza v hĺbke asi 24 m.



Obrázok 9 Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.

Geotechnické parametre boli overené jednak laboratórnymi testami, ale aj skúškami in-situ. Predovšetkým boli realizované presiometrické skúšky PS-5 až PS-28 vo vrtoch M-203-01 až M-203-06, pričom overené boli najmä deluviálne suty rozličného zloženia. Deformačné parametre pre ílovité suty (F2/CG) dosahovali hodnoty v rozmedzí $E_{def} = 48,3 - 137,9$ MPa, v priemere 64,4 MPa, deformačné parametre pre prevažujúce ílovito-kamenité a balvanité suty (G5/GC, G2/GP) dosahovali hodnoty $E_{def} = 86,3 - 1111,2$ MPa, v priemere 344,7 MPa. Pre terasové štrky charakteru G3/G-F boli tromi presiometrickými skúškami zistené moduly deformácie v rozsahu 391,1 – 662,0 MPa, v priemere 481,4 MPa.

Doplniť labáky

Okrem toho boli v oblasti realizované tri sondy dynamickej penetrácie DPS-203-01 až DPS-203-03, ktoré stanovili strednú až veľkú uľahnutosť kamenitých sutí, resp. prevažne pevnú až lokálne tvrdú konzistenciu ílovitých sutí.

Hladina podzemnej vody v čase prieskumu bola ustálená v hĺbkach 11,30 – 15,30 m pod terénom, tj. na nivelete 490,92 – 494,66 m n.m. Podzemná voda je prevažne viazaná na polohu zvyšku terasového štrkového komplexu, resp. na priepustnejšie polohy kamenitých sutí. Vzhľadom na drenážny účinok štrkovej polohy i rozvoľneného a silno priepustného predkvartérneho karbonatického podložia sa v úvaline nenachádza trvalý vodný tok a zrážková voda rýchlo presakuje do podzemia. Len v čase topenia snehu alebo počas intenzívnych zrážok sa obnovuje vodný tok na dne úvaliny.

Počas prieskumu sa nepodarilo odobrať vzorky podzemnej vody na chemické analýzy (malý vodný stĺpec). Nepredpokladáme však agresívne účinky podzemnej vody.

Opory mosta 203 je možné založiť hĺbkovo na veľkopriemerových pilótoch votknutých do vrstvy stredne uľahnutých ílovito-kamenitých až kamenito-ílovitých deluviálnych sutí. Vhodné by bolo využiť plášťové trenie pilót, nakoľko päť pilóty nebude možné z dôvodu veľkej hrúbky kvartérnych sedimentov oprieť o skalné podložie. Obdobne zakladanie pilierov mosta predpokladáme hĺbkové na veľkopriemerových pilótoch, ktoré je možné oprieť o vrstvu štrkov terasového komplexu (predpokladáme ich strednú až dobrú uľahnutosť) charakteru G3/G-F, G5/GC až G2/GP s hrúbkou cca 5 m, resp. pri ich predĺžení až o skalné podložie.

Príhľahlé násypy mosta je potrebné vrstviť na zazubenej zemnej pláni po odstránení povrchovej humusovitej vrstvy, ktorá po vytvorení zazubenia bude zhutnená.

Po ukončení prác bude potrebné terén upraviť tak, aby v ňom nezostali bezodtokové

depresie, ktoré by mohli akumulovať zrážkovú vodu a následne sýtiť teleso násypov a jeho podložie.

2.2.3 Úsek 1,750 – 1,850 zárez

Zárez medzi mostami 203 a 204 prekonáva terénnu vyvýšeninu – lokálny hrebienok severojužného smeru, ktorý vybieha z vrcholu kóty Borček (713,6 m n.m.). Územie bolo preskúmané geofyzikálnymi povrchovými meraniami na pozdĺžnych profiloch GF-JTR, GF-STR a GF-SRTN, ktoré doplnil priečny profil GF-3, prieskumnými vrtmi NT-01 a NT-02 a geologickým mapovaním. Okrem toho v minulosti boli v okolí realizované archívne prieskumné vrtvy J-56 až J-58 (Fussgänger, 2006), ďalej vrtmi S3/204/2P, S3/203/5L (Šamaj, 2010) a V-9 (Mihál - Máťuš, 2001).

Hrebienok je tvorený súvrstvím kalových slienitých vápencov sivej farby, ktoré sú čiastočne prevrstvené zbridičnatými ílovcami tmavosivej farby. Miestami je súvrstvie detailne prevrásnené, plochy vrstiev sú prevažne zvlnené. Vzhľadom na expozíciu hrebienka na okraji aluviálnej nivy Váhu je horninový masív odľahčený a rozvoľnený. Generálny smer sklonu vrstiev je cca 30 – 50° na východ až severovýchod. Pevnosť horniny je závislá na stupni porušenia a zvetrania, v mieste hrebienka vápence dosahujú vysokú až strednú pevnosť (R2 - R3), preplástky bridlic a tektonizované polohy majú pevnosť strednú až veľmi nízku R3 – R5.

Geotechnické parametre boli overené jednak laboratórnymi testami, ale aj skúškami in-situ. Predovšetkým boli realizované presiometrické skúšky PS-29 až PS-33 vo vrte NT-02, pričom overené boli najmä vápence v rozličnom stupni porušenia. Deformačné parametre zistené presiometrickou skúškou pre pevný ale rozpukaný vápenec dosahovali $E_{def} = 956,8 - 1766,3$ MPa, v priemere 1455,8 MPa, deformačné parametre pre porušené husto rozpukané vápence dosiahli hodnoty $E_{def} = 43,8 - 322,5$ MPa, v priemere 183,15 MPa, čo zodpovedá kamenitej suti charakteru G5/Gc až G2/GP.

Labáky doplniť

Pokryv územia tvoria deluviálne sute premenlivej hrúbky, prevažne však charakteru suti ílovito-kamenitých až kamenitých (G5/GC, G2/GP), menej sa vyskytujú sute ílovito-kamenité resp. deluviálne íly (F2/CG). Hrúbka pokryvu je výrazná najmä na západných svahoch hrebienka smerom do úvaliny (k mostu 203), kde dosahuje až 17 m. Smerom k vrcholu sa hrúbka znižuje až lokálne delúvium úplne vykliňuje a na povrch územia vystupujú priamo podložné horniny. Východný svah je strmý, pokrytý len pomerne tenkou vrstvou kamenitej suti, pričom výraznejšia akumulácia je len v päte svahu na brehu Kamenného potoka.

Hladina podzemnej vody nebola počas prieskumných prác vôbec zistená. Predpokladáme, že masív je natoľko otvorený, že zrážkové vody dokážu veľmi rýchlo infiltrovať do hlbších častí masívu.

Vzhľadom na charakter hornín, v ktorých sa bude zárez diaľnice realizovať, nepredpokladáme výraznejšie stabilitné problémy počas budovania zárezu. Vzhľadom na rozvoľnenosť, hustotu a orientáciu puklín však treba počítať s lokálnym vypadávaním blokov a úlomkov hornín. Svah navrhujeme zabezpečiť klincovaním s aplikáciou ochrannej siete proti padaniu úlomkov, eventuálne v prípade prejavov nestability je možné previazať skalnú stenu kotveným železobetónovým prahom. Ako ochranu proti zvetrávaniu a opadávaníu úlomkov je možné aplikovať i gabiónový múr. V miestach, kde bude zachytené delúvium, je potrebné zeminy vysvahovať do stabilného sklonu. Na vrchnej hrane zárezu odporúčame vybudovať drenážny rigol na zachytenie prívalových zrážkových vôd.

2.2.4 Úsek 1,850 – 2,000 most 204

Plánovaný most 204 preklenuje výrazné údolie Kamenného potoka, pričom priamo nadväzuje na predchádzajúci skalný zárez na pravom brehu potoka a končí v oblasti portálového zárezu tunela Čebrať na ľavobrežných svahoch údolia.

Oblasť mosta v jeho pôvodnej polohe (pred zmenou trasy diaľnice) bola v minulosti preskúmaná vrtmi J-61 až J-85 (Fussgänger, 2006), vrtom JD-2 (Fussgänger, 2007), vrtmi 12/PZ-1 a 12/INK-1 (Šamaj, 2010) a vrtmi V-9 a V-10 (Mihál' - Máťuš, 2001). Okrem toho boli realizované v minulosti i sondy statickej penetrácie 12/CPT-1 až 12/CPT-4.

Počas aktuálnej etapy prieskumu sme realizovali prieskumné vrty M-204-03 až M-204-08 a sondy dynamickej penetrácie DPS-204-01 až DPS-204-03. Okrem toho boli využité i povrchové geofyzikálne merania na profiloch GF-JTR a GF-STR.



Obrázok 10 Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.
 V popredí mostík cez Kamenný potok.

Územie v trase mosta je na ľavom brehu Kamenného potoka pokryté mohutným prolúviálno-deluviálnym komplexom, ktorý dosahuje hrúbku 15 – 25 m. Ide pravdepodobne o starý prolúviálno-deluviálny kužeľ, ktorý bol následne eróziou Kamenného potoka čiastočne zredukovaný. Zahĺbením koryta potoka došlo i k destabilizácii svahu a k rozvoju svahových pohybov. V súčasnosti komplex pre jednoduchosť hodnotíme ako zosuvné delúvium, i keď sedimenty vykazujú často znaky prolúvia (opracované úlomky, vytriedenie a pod.). Ide prevažne o sute ílovito-kamenité až kamenité (G5/GC, G2/GP), striedajúce sa so suťami kamenito-ílovitými až ílmi (F2/CG, F6/CI, F8/CH). Úlomky v sedimentoch sú prevažne chaoticky usporiadané, čo svedčí o rýchlom vzniku jednotlivých vrstiev. Lokálne sa nachádzajú v komplexe splachy drobnozrnného dolomitového materiálu charakteru pieskov.

Pravobrežný svah údolia predstavuje skalný hrebeň, opisovaný v predchádzajúcej podkapitole. V mieste zaviazania mosta 204 do tohto svahu nebolo z technických dôvodov

možné realizovať vrtné práce, je však možné povedať, že pokryv územia je zanedbateľný a pod ním sa nachádza komplex vápencov s polohami bridlíc. Vápencové podložie je rozvoľnené, rozblokované a čiastočne zvetrané (najmä tektonicke porušené partie masívu a bridličnaté polohy). Pevnosť hornín dosahuje triedu prevažne R2 – R3.

Podložie kvartéru vápencového charakteru sa od línie Kamenného potoka smerom na východ postupne ponára pod súvrstvie tvorené prevažne ílovcami s preplástkami pieskovca až siltovca (porubské súvrstvie). Tieto horniny poloskalného charakteru tvoria podložie najmä pod južnou vetvou diaľnice, presné rozhranie medzi vápencovým a ílovcovým súvrstvom však nie je možné stanoviť. Je veľmi pravdepodobné, že ich vzájomný kontakt je tektonický. Ílovce sú prevažne strednej až nízkej pevnosti (R3 – R4), v tektonicky porušených zónach sú degradované až na zeminy charakteru štrku ílovitého (G5/GC). Polohy siltovca dosahujú strednú až vysokú pevnosť (R2 – R3).

Geotechnické parametre boli overené laboratórnymi testami, ale aj skúškami in-situ. Predovšetkým boli realizované presiometrické skúšky PS-34 až PS-62 vo vrtoch M-204-03 až M-204-08, pričom overené boli najmä deluviálno-proluviálne sute rozličného zloženia ale čiastočne aj predkvartérne podložie. Deformačné parametre pre ílovité sute (F6/CI, F2/CG) dosahovali hodnoty v rozmedzí $E_{def} = 7,2 - 31,6$ MPa, v priemere 15,2 MPa, deformačné parametre pre ílovito-kamenité a balvanité sute (G5/GC, G2/GP) dosahovali hodnoty $E_{def} = 62,9 - 585,6$ MPa, v priemere 208,4 MPa.

Doplniť labáky

Hydrogeologické pomery v trase mosta sú komplikované a vyplývajú z vrstevnatého charakteru geologickej štruktúry, tj. proluviálno-deluviálneho kužeľa. Striedanie viac priepustných (kamenitých sutí) a menej priepustných vrstiev (ílovitých sutí a ílov) vytvára niekoľko kolektorov podzemných vôd s napätou hladinou podzemnej vody, ktoré sú rozličnou mierou dotované vodou z vyšších partií svahu (najmä z kamenitých sutí na kontakte hornín chočského a križňanského príkrovu). Vztlakové účinky podzemnej vody prispeli aj k vzniku a rozvoju svahových pohybov v tejto lokalite. Podložné ílovcové súvrstvie považujeme v danej lokalite za nepriepustné, s výminkou úsekov, kde sa vyskytujú vápence. Hladina podzemnej vody v čase prieskumu bola ustálená v hĺbkach 7,40 – 18,40 m p.t., teda na nivelete 498,81 – 512,08 m n.m. Hladina klesá od východu smerom k miestnej eróznej báze, teda ku Kamennému potoku.

Z hľadiska chemického pôsobenia podzemných vôd v oblasti mosta 204 možno povedať, že podzemné vody sú bez nebezpečenstva vplyvu na betón aj na oceľ. Z výsledkov meraní vodivosti však vyplýva vysoká agresivita na oceľ, čo môže mať vplyv na šírenie bludných prúdov. Tieto skutočnosti však treba overiť koróznym geoelektrickým prieskumom.

Z výsledkov stanovení hodnotiacich ukazovateľov agresívnych vlastností vyplýva, že výluhy zeminy sú v danej oblasti bez nebezpečenstva chemického pôsobenia na základový betón. Na základe laboratórných obsahov percentuálneho zastúpenia chloridov a celkovej síry boli zeminy z vrtoch v trase mosta 204 charakterizované ako veľmi nízko až stredne agresívne na oceľ.

2.2.5 Portálový zárez v km 2,000 –2,067

Portálový zárez tunela Čebrať je situovaný na ľavom brehu Kamenného potoka na západných svahoch lokálnej terénnej depresie. Z juhu je depresia ohraničená skalným hrebienkom (kóta Skálie 555,3 m n.m.), budovaným rozblokovanými paleogénnymi zlepenkami a brekciami borovského súvrstvia (erózný zvyšok). Z východnej strany pokračuje svah, ktorý postupne zvyšuje sklon. Územie je morfológicky jednotvárne, tvorí misovitú depresiu, svah je

rozčlenený len systémom medzí na úzke terasy. V súčasnosti je oblasť využívaná len ako pasienok a postupne zarastá náletovými drevinami. Na západnej a severnej strane oblasť portálu ohraničujú dva vodné toky (Kamenný potok a jeho ľavostranný prítok). Okrem toho v teréne vymoká niekoľko rozptýlených prameňov, pri ktorých sa vytvárajú zamokrené plochy.



Obrázok 11 Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka

Úsek bol čiastočne preskúmaný počas predchádzajúcich etáp inžinierskogeologického prieskumu pre trasu diaľnice D1 Hubová – Ivachnová. Pre hodnotenie boli využité vrty V-10 (Mihál - Máťuš, 2001), 12/PZ-41 a 12/INK-1 (Šamaj, 2010), J-60 až J-85 (Fussgänger, 2006). Vrty sa nachádzajú napospol na južnej strane skúmanej oblasti v pôvodnej trase diaľnice. Pre účely predkladaného podrobného prieskumu sme na tomto mieste realizovali predovšetkým nové prieskumné štruktúrne vrty NT-03 až NT-11, ďalej NT-18 a NT-19, ktoré boli doplnené geofyzikálnymi meraniami a sondami dynamickej penetrácie DPS-JTR-01, DPS-STR-01, DPS-204-02 a DPS-204-03.

Pokryv územia tvoria deluviálno-proluviálne sedimenty, ktoré sa v rámci kvartérneho komplexu striedajú a nie je možné ich presne od seba odlíšiť. Celý kvartérny komplex radíme v oblasti portálového zárezu do zosuvného delúvia. Hrúbka delúvia je premenlivá. Generálne možno povedať, že hrúbka sa zväčšuje smerom ku dnu údolia Kamenného potoka, pričom v mieste portálovej steny razeného portálu dosahuje cca 8 - 11 m a na konci plánovaného zárezu je to cca 18 - 20 m. Hrúbka sa mení tiež v priečnom smere, nakoľko portálová oblasť je modelovaná do prírodného amfiteátra. Zo severu svah pokračuje k hlavnému hrebeňu, kde delúvium prechádza do balvanitých sutí neznámej hrúbky. Smerom na juh svah mierne stúpa k lokálnemu skalnému hrebienku, kde delúvium postupne vykliňuje. Počas prieskumných prác nebola identifikovaná žiadna výrazná a jednoznačná šmyková plocha. Predpokladáme však, že v rámci striedania jednotlivých vrstiev tvoria ílovitejšie vrstvy potenciálne šmykové zóny, najmä ak v ich podloží je priepustnejšia poloha nasýtená vodou.

Zosuvné delúvium (proluviálno-deluviálne) má prevažne charakter kamenito-ílovitých až ílovito-kamenitých sutí (F2/CG, G5/GC). V tomto komplexe sa vyskytujú aj čistejšie polohy ílov (F6/CI, F8/CH) resp. balvanité a kamenité preplástky (G2/GP).

Podložie pod kvartérnymi sedimentami je tvorené v oblasti portálového zárezu horninami krížňanského príkrovu, konkrétne ílovcami porubského súvrstvia. Ílovce sú prevažne strednej až nízkej pevnosti (R3 - R4). V komplexe sa vyskytujú i siltovcové a pieskovcové polohy, tieto sú však podradného zastúpenia, pričom ich pevnosť je vyššia ako čistých ílovcov, dosahuje stupeň R2 ojedinele pri masívnejších pieskovcoch až R1. Vzhľadom na exponovanú pozíciu na krížovaní niekoľkých tektonicky výrazných línií a s ohľadom na morfológické pomery v komplikovanej doline Váhu je podložie tektonicky značne porušené najmä medzivrstevnou tektonikou, ako aj gravitačnou tektonikou. V tektonicky porušených polohách, ktoré majú hrúbku i niekoľko metrov, sú horniny prevažne charakteru úlomkov s obsahom ílu (G5/GC), resp. pri zošupinovatených ílovcach až charakteru strednoplastického ílu (F6/CI), alebo pevnosti nízkej až extrémne nízkej (R4 - R6). Na základe dokumentácie vrtovej a karotážnych meraní očakávame, že vrstvy generálne upadajú so sklonom 15 - 35° smerom na sever až východ. Lokálne sú vrstvy vďaka blokovým pohybom orientované iným smerom.

Presiometrickými a dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-03, NT-04, NT-06 a NT-09 boli overené deformačné parametre podložných hornín v rozličnom stupni porušenia. Zatiaľ čo presiometrické skúšky v tektonicky porušených brekciovitých ílovcach preukázali rozsah modulu pretvárnosti $E_{def} = 20,18 - 356,26$ MPa, v priemere 222,31 MPa, kompaktné málo porušené ílovce dosahovali modul pretvárnosti rozsahu $E_{def} = 442,30 - 1\,091,44$ MPa, v priemere $E_{def} = 783,77$ MPa. Horniny s vyšším zastúpením siltovca majú modul pretvárnosti rozsahu $E_{def} = 1\,543,28 - 2\,019,40$ MPa, v priemere $E_{def} = 1\,832,12$ MPa. Podobné rozsahy dosahovali horniny i pri dilatometrických skúškach.

Celý kvartérny komplex je nasýtený podzemnou vodou, ktorá využíva na svoje prúdenie kamenitejšie polohy kvartérneho komplexu a rozvoľnený podložný masív. V oblasti portálu vďaka striedaniu priepustnejších a nepriepustných vrstiev zemín vytvára napäté horizonty a v miestach, kde vyvierajú na povrch vznikajú zamokrené oblasti. Vzhľadom na použitú technológiu vŕtania nebolo možné presne určiť miesta narazených a ustálených hladín.

Z hľadiska výstavby portálového zárezu a stability stavebnej jamy i steny razeného portálu je potrebné upozorniť na potenciálne riziko zosunutia svahových sutí alebo rozvoľneného silne zvetraného podložia, ktoré hrozí v prípade nevhodného technického zásahu do svahu (podkopanie), prípadne v čase intenzívnych zrážok, kedy je masív nasýtený podzemnou vodou. Je potrebné brať na zreteľ šmykové parametre deluviálnych zemín ako aj fakt, že oblasť je sýtená podzemnou vodou z vyššie položených partií svahu.

V prílohách 4.1 až 4.4 sú spracované schematické inžinierskogeologické rezy oblasťou portálu tunela Čebrať. Pre vykreslenie profilov boli využité jednak vrtné práce a jednak povrchové geofyzikálne merania.

Z uvedených výsledkov prieskumných prác v portálovej oblasti vyplývajú nasledujúce odporúčania:

- Je potrebné realizovať podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum pre širšiu oblasť portálu prípadne pre jeho alternatívne umiestnenie severnejšie;
- Pred výstavbou samotnej stavebnej jamy portálu je potrebné doplniť sieť monitorovacích hydrogeologických vrtovej na sledovanie hladiny podzemnej vody a okamžite začať kontinuálne monitorovanie;
- Svah stavebnej jamy portálu dosiahne výšku cca 20 m, čo predstavuje potenciálne riziko destabilizácie svahu, ktorý už sám o sebe je považovaný za zosuvný. Stavebnú jamu

z toho dôvodu odporúčame zabezpečiť kotvenou klincovanou alebo pilótovou stenou, pričom pilóty budú previazané v potrebných úrovniach kotvenými železobetónovými prahmi. V prípade, že nebude možné realizovať pilótovej stenu až do požadovanej hĺbky, je možné zvážiť zabezpečovanie svahu po úrovniach pomocou klincovania, kari sietí a torkrétového nástreku a kotevných prahov. Prípadné svahované časti stavebnej jamy je potrebné zabezpečiť stabilizačno-drenážnymi rebrami;

- alternatívne pre minimalizáciu zásahov do svahu je možné realizovať razenie úvodných metrov pod ochrannou klenbou tzv. korytnačky;
- Je potrebné doplniť monitorovaciu sieť pre sledovanie podpovrchových deformácií a vykonávať inklinometrické merania. Taktiež je potrebné sledovať hladinu podzemnej vody ešte počas prípravnej etapy, pred začiatkom samotnej výstavby a zistené výsledky operatívne vyhodnocovať a zohľadňovať počas realizácie, samozrejmosťou je priebežný monitoring stability svahu a hladiny podzemnej vody počas hĺbenia stavebnej jamy;
- Nad hornou hranou portálového zárezu je potrebné vytvoriť odvodňovací obvodový rigol na odvádzanie privalových zrážkových vôd v kombinácii s podpovrchovou drenážou, prípadne tento rigol vytvoriť i na lavičke na okraji zvislej časti stavebnej jamy. Pre zabezpečenie hĺbkovej drenáže sa vybudujú horizontálne odvodňovacie vrty. Účinnosť drenážnych prvkov je potrebné priebežne overovať hydrogeologickým monitoringom v pozorovacích vrtoch. Odvod vody by mal byť riešený nezamrzavým systémom, aby nemohlo dôjsť k vzdutiu podzemnej vody za zárubným múrom počas zimy. Drenážny systém by mal byť opatrený revíznymi šachtami pre možnosť kontroly účinnosti systému;
- Po definitívnej úprave nesmú v teréne nad portálom zostať bezodtokové depresie. Vzhľadom na pomerne veľký výskyt zamokrenín aj sústredených výverov vôd v širšom okolí je potrebné upraviť odtokové pomery v bezprostrednom okolí portálovej jamy. Táto činnosť by mala byť koordinovaná s pracovníkmi ochrany prírody, nakoľko na výveroch vôd sú naviazané cenné mokraďové biotopy. Je potrebné zvážiť i možnosť vytvorenia náhradného biotopu v bezprostrednom okolí portálu;
- Orientáciu horninových kotiev je potrebné spresniť počas postupného odkopávania portálovej steny po prehodnotení geologických pomerov geológom;
- Počas vrtania pilót (mikropilót) aj kotiev je potrebné sledovať režim vrtania, aby koreň kotvy resp. báza mikropilóty nebola osadená v tektonicky porušenej zóne charakteru zeminy;
- Zárezy v kvartérnych zeminách bude potrebné v definitívnej úprave opatriť vegetačnou vrstvou pre zamedzenie rozvoja erózie;
- Drenážne rebrá odporúčame na lícovej strane opatriť kamenným dláždením, aby sa zabránilo ich zanášaniu organickým materiálom.
- Tubus tunela odporúčame v portálovej oblasti presypať a v okolí vysadiť hlbokokoreniace stromy pre zlepšenie stabilitných pomerov deluviálnych sutí;
- Minimalizovať plochy, na ktorých bude obnažený pôdny pokryv a minimalizovať odlesnenie;
- Úvodný úsek razeného tunela bude potrebné raziť pod ochranou mikropilótového dáždnika;
- Pre zakladanie objektov portálu je vzhľadom na hrúbku zosuvného delúvia potrebné využiť zeminy kvartérneho komplexu. Pre vybudovanie presypanej časti tunelového tubusu (hĺbený tunel) je potrebné realizovať plošný základový prah alebo prah na mikropilótach votknutých do predkvartérneho podlažia alebo realizovaných ako plávajúce pilóty. Je potrebné dodržať minimálny časový odstup od vyhĺbenia základovej jamy po betonáž prahov, aby sa zamedzilo rýchlej degradácii geotechnických parametrov zemín;

- V prípade dlhodobého obnaženia najmä tektonicky porušených bridličnatých mezozoických hornín hrozí rýchla degradácia ich geotechnických parametrov vplyvom zvetrávania, rozvoj plošnej a výmoľovej erózie;
- V styku s vodou a pri mechanickom namáhaní sú deluviálne suty citlivé na rozbredanie. Pri potrebe častých pojazdov stavebných mechanizmov je potrebné tieto zeminy chrániť vhodnou ochrannou vrstvou;
- pozemné objekty pri portáli je možné zakladať plošne na deluviálno-proluviálnych zeminách zosuvného delúvia. V prípade, že sa v základovej škáre vyskytne významnejšia vrstva organických zemín, je potrebné uvažovať i s čiastočnou výmenou nevhodného málo únosného materiálu za lepšiu štrkopiesčítu (základový vankúš alebo geosyntetická doska).

2.2.6 Razený tunel Čebrať v km 2,067–5,663

Vzhľadom na fakt, že trasou tunela nebola realizovaná prieskumná štôľňa a s ohľadom na etapu prieskumu, pri inžinierskogeologickej charakteristike novej trasy tunela Čebrať sme vychádzali z výsledkov mapovacích prác, geofyzikálnych povrchových meraní, vrtných prác, ako aj z výsledkov geotechnických, hydrodynamických a karotážnych skúšok, realizovaných v prieskumných vrtoch. Trasu tunela sme členili do kvázihomogénnych úsekov len na základe výsledkov geofyzikálnych meraní po ich kalibrácii podľa výsledkov vrtného prieskumu. Najvýraznejší je deficit poznania štruktúrnych prvkov horninového masívu, a to hlavne orientácie hlavných regionálnych zlomových porúch, ktoré je možné detailne overiť len banským spôsobom.

Pri hodnotení sme čiastočne využili i výsledky prieskumných prác pre pôvodnú trasu tunela Čebrať, ktoré sú však pre tunelové dielo absolútne nedostatočné z hľadiska hustoty i výpovednej hodnoty. Detailné hodnotenie jednotlivých kvázihomogénnych celkov však v prípade pôvodnej trasy tunela nebolo ničím podložené a považujeme ho za nepoužiteľné.

Počas prieskumu boli v trase razenej časti tunela realizované prieskumné štruktúrne vrty NT-07 až NT-17. Využitú boli i archívne vrty JV-1 až JV-4 (Fussgänger, 2006). Geofyzikálne merania SOP a VES resp. multikábel (ERT) sa realizovali na pozdĺžnych profiloch GF-JTR, GF-STR a GF-STRN, priečných profiloch GF-4 a GF-5. V portálovej oblasti boli realizované merania georadarom, doplnené meraniami inžinierskej seizmiky.

Oblasť, ktorou prechádza nová trasa tunela Čebrať, predstavuje severný výbežok liptovského hrebeňa Veľkej Fatry medzi obcami Likavka a Hubová, severne od obce Hrboltová, ktorý v zmysle geomorfologických klasifikácií radíme do tzv. Šípskej Fatry. Územie je z južnej strany ohraničené antecedentným údolím rieky Váh, z východnej strany údolím potoka Likavka. Trasa tunela vchádza do masívu v miestenového západného portálu, ktorý sa nachádza v lokálnej terénnej depresii na ľavobrežných svahoch údolia Kamenného potoka, severne od obce Hrboltová, miestnej časti Záskanie, resp. severne od kóty Skálie (555,3 m n.m.). Potok tvorí pravobrežný prítok rieky Váh. Trasa tunela následne prechádza popod južné svahy kóty Radičiná (1127,2 m n.m.), popod široké výrazné sedlo medzi Radičinou a Čebraťou (766,0 m n.m.) a následne popod severné svahy kóty Čebrať (1054,2 m n.m.). Východný portál sa nachádza v údolí pravostranného bezmenného prítoku potoka Likavka na sever od rovnomennej obce. Celková dĺžka razenej časti tunela je v severnej tunelovej rúre (STR) 3596 m a južnej tunelovej rúre (JTR) 3602 m.

Údolie Váhu a Likavky ako aj údolia ich bočných pravobrežných prítokov z masívu Veľkej Fatry sú zväčša založené na tektonických zlomových líniiach resp. na litologických rozhraniach jednotlivých súvrství. Trasa tunela prechádza horninovými komplexami

krížňanského príkrovu, pričom odseparované trosky chočského príkrovu (tvoriace výrazné terénne útvary) nezasahujú do nivelety tunela. Horninový masív je budovaný najmä karbonatickými horninami s dominantným siltovcov, ílovcov a vápencov, slienitých bridlíc a pieskovcov. Skrasovatené horniny chočského príkrovu, s výrazným zastúpením dolomitov a vápencov, sa nachádzajú nad trasou tunela. Orientácia vrstevnatosti celého komplexu je veľmi variabilná, generálne však súvrstvia upadajú smerom na severovýchod až juhovýchod so sklonom cca 15 – 40°. Len v miestach výrazne postihnutých gravitačnými pohybmi horninových blokov a v okolí významných zlomových porúch alebo násunových zón príkrovov môže byť generálna orientácia vrstevnatosti odlišná a to najmä v dolných častiach svahov v na okraji aluviálnej nivy rieky Váh (južná strana pohoria). V oblastiach portálov sa nachádzajú i kvartérne pokryvné útvary, prevažne reprezentované delúviami resp. zosuvnými delúviami, a polygenetickými prolúviálno-deluviálnymi zeminami. Svahy na okraji pohoria sú postihnuté blokovými svahovými deformáciami a zosuvmi.

Relatívny výškový rozdiel medzi úrovňou aluviálnej nivy Váhu a vrcholovou časťou Veľkej Fatry v tejto oblasti (kóta Radičina 1127,2 m n.m.) je cca 620 – 670 m. Niveleta tunela sa pohybuje v nadmorskej výške 524 – 573 m n.m. to značí cca 50 – 64 m nad úrovňou miestnej eróznej bázy, ktorú tvorí rieka Váh resp. potok Likavka.

Tektonické pomery územia i celého okolia sú zložité, pretože sú podmienené príkrovou stavbou s výrazným nasunutím chočskej tektonickej jednotky z JJV na SSZ vo viacerých fázach na krížňanskú jednotku. Nerovnaká úroveň presunovej línie poukazuje aj na uplatnenie mladšej zlomovej i gravitačnej tektoniky poklesového a prešmykového charakteru, ktorá rozčlenila predovšetkým rigidne teleso chočského príkrovu na oddelené viaceré časti. Zlomy sú vyvinuté zväčša v strmých sklonoch 50-80° vo dvoch hlavných smerových systémoch, a to SSZ-JJV až ZSZ – VJV ako pozdĺžne zlomy a SV - JZ ako priečne zlomy. Okrem zlomovej tektoniky sa v skúmanej oblasti prejavuje vo veľkej miere najmä medzivrstevná tektonika, a to hlavne v plastickejších častiach súvrstvií (v ílovcoch až slieňovcoch). K ďalšiemu rozčleneniu chočskej jednotky v SZ časti nad trasou tunela prispelo rozvoľňovanie horninového masívu ťahovými puklinami po antecedentnom zarezaní toku Váhu v pliocéne až pleistocéne, ako aj následný rozvoj krasových javov a trhlín prevažne v obnažených wettersteinských vápencoch, ktoré napamáhajú prenikaniu zrážkových vôd k báze trosiek chočského príkrovu a rozvoju gravitačných blokových pohybov. Blokové poruchy po svahu priamo alebo postupne prechádzajú do zosuvných porúch rôzneho tvaru, prevažne potenciálneho charakteru, zasahujúcich pokryvné deluviálne útvary a čiastočne aj zvetranú zónu podložných hornín krížňanského príkrovu (veporika). Gravitačný rozpad skalných svahov z triasových vápencov a dolomitov chočského príkrovu bol identifikovaný v západnej časti masívu cca v úrovni 870 m n.m., ktorý od úrovne cca 725 m n.m. prechádza do blokových porúch a následne do starších skalných zosuvov. Podobne sú postihnuté blokovým rozpadom gravitačnou tektonikou i južné svahy Radičinej a Kečiek.

Na základe výsledkov prieskumných prác možno konštatovať, že **geologicko-tektonické pomery v hodnotenej trase tunela sú zložité**. Horninový masív je tvorený horninami niekoľkých súvrstvií krížňanského príkrovu. Sklon vrstevnatosti je všeobecne relatívne mierny, v rozmedzí 10 - 35°, pričom však orientácia sklonu vrstiev značne varíruje vo vertikálnom i horizontálnom smere.

Trasu tunela možno rozčleniť na 2 základné celky A a B podľa prevládajúceho typu hornín: úsek A s dominantným zastúpením ílovcov a siltovcov s ojedinelými polohami pieskovca resp. vápenca a úsek B s prevahou kalových vápencov a slieňovcov nad ílovcami až siltovcami.

2.2.6.1 Úsek A v km 2,072 až 3,643

Tunel bude prechádzať horninami porubského a lučivnianskeho súvrstvia, v ktorom možno vyčleniť senkovské vrstvy, slieňovce Homôľky, párnické vrstvy a mráznické súvrstvie. Z hľadiska litológie ide prevažne o ílovce a siltovce s rôznymi vzájomnými prechodmi. V flyšovom porubskom súvrství sa ojedinele nachádzajú lamíny až dosky pieskovcov. V ostatných častiach s pribúdaním vápnitej zložky sú viac zastúpené aj slieňovce až vápence. Presné hranice jednotlivých súvrství len na základe vrtných prác nebolo možné na stanoviť vzhľadom na pomerne riedko rozmiestnené prieskumné vrty a absenciu banského prieskumného diela s podrobnou geologickou dokumentáciou.

Orientáciu vrstevnatosti bola overená mapovaním na nemnohých odkryvoch tohoto súvrstvia v teréne, najmä jeho vápencových členoch. Čiastočne sa podarilo overiť vrstevnatosť v prieskumných vrtoch pomocou karotážneho zariadenia – vrtného skenera s možnosťou interpretácie orientácie geologických štruktúr voči magnetickému severu.

Rozčlenenie tohoto úseku tunela na kvázihomogénne dielčie bloky bolo možné vzhľadom na hustotu prieskumných vrto realizovať len na základe geofyzikálnych meraní a morfolologickej analýzy.

V úseku od km 2,072 po 2,238 (Blok 1) bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia s prevládajúcim zastúpením ílovcov a siltovcov, s vysokým podielom tektonicky porušených hornín najmä v úvodných cca 100 m. Nadložie tunela bude dosahovať 7 – 35 m. Tento priortálový úsek bol overeným vrtni NT-04 až NT-10. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 0 – 30° smerom na východ až severovýchod, lokálne až na sever. Len miestami v rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy). Horniny sú v oblasti razeného portálu a úvodných častí tunela prevažne tektonicky porušené, v tektonických poruchách detailne prevrášnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť je prevažne nízka až extrémne nízka (R4 - R5, resp. až G5/GC). V okolí týchto zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Mimo tektonických porúch (zlomov) a tektonizovaných zón je hornina navetraná až zvetraná, v hlbších partiách masívu až zdravá, pomerne kompaktná, prevažne strednej pevnosti (R3). Ku koncu úseku prechod cez homogénnejšie prostredie pravdepodobne s vyšším podielom siltovca alebo až pieskovca. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Iz** – ílovec zvetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Sz** – siltovec zvetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Pz** – pieskovec zvetraný;
- Pn** – pieskovec tektonicky porušený.

Dominantným horninovým typom sú ílovce a siltovce, ktoré tvoria vzájomné pozvoľné prechody (kolíše obsah siltovitej frakcie). Je potrebné upozorniť, že najmä ílovcové členy súvrstvia sú extrémne citlivé na styk s vodou. Ílovce sú prevažne doskovité až lavicovité, miestami masívne, v tektonizovaných zónach tenkodoskovité až laminované. Rozpadajú sa na tabulárne bloky veľkosti 10 – 40 cm. Masívnejšie lavice tvoria najmä siltovce.

Horninový masív je porušený niekoľkými systémami diskontinuít. V úrovni tunelovej rúry budú najvýraznejšie systémy smeru SZ – JV so sklonom k SV aj JZ (protismerný systém), a tiež systém S – J. Za systém porušenia tiež možno považovať smer vrstevnatosti, nakoľko najmä ílovcové polohy súvrstvia predstavujú predisponované šmykové plochy, po ktorých dochádzalo k medzivrstvným tektonickým pohybom počas vrásnenia a presunu príkrovov. smerom k V. Hlavné tektonické zlomové línie a puklinové systémy majú orientáciu, ktorá korešponduje so smerom údolia Váhu resp. so smerom bočných údolí v okolí portálu. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zóny pripovrchového rozvoľnenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé), v pripovrchovej časti s ílovitými povlakmi až výplňou ílu. V pripovrchových častiach je ílovec silne zvetraný a jeho zvyšky sú vplavované do otvorených puklín a dutín. Smerom do hĺbky však dochádza k uzatváraniu a utesňovaniu puklín. Hustota puklín dosahuje v zóne zvetrania a v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 100 – 600 mm.

Možno povedať, že pevnosť i deformačné parametre ílovcov a siltovcov sú výrazne znížené hustým rozpukaním a tektonickým porušením, prípadne aj stupňom zvetrania. Deformačné parametre horninového masívu boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-04, NT-06 až NT-10, presiometrickými skúškami v tých istých vrtoch a tiež laboratórnymi skúškami.

Hlavným rizikom v uvedenom úseku je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložím a v úsekoch s tektonickým porušením. Navyiac ílovce sú vysoko citlivé na styk s vodou a charakteristické vysokou nerovnorodosťou horninového materiálu. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 3,95 - 369,79 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 129,00 \text{ MPa}$. Za účelom stanovenie modulov pretvárností bol použitý priemerný obor zaťaženia 1,1 – 2,4 MPa. Rozpukané ílovce v zónach v okolí zlomových porúch mali deformačné parametre v rozsahu $E_{def} = 335,49 - 1851,11 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 707,28 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 2,5 – 7,4 MPa. Kompaktné a zdravé ílovce až siltovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 2200,91 - 2581,23 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 2335,10 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 5,1 – 12,38 MPa. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnatosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4).

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra čiastočne prechádza zeminami kvartéru resp. v ich tesnej blízkosti a z veľkej časti v zóne pripovrchového rozvoľnenia a zvetrania hornín. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón a rozhrania kvartér / mezozoikum) a z kvartéru. Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výsky otvorených ťahových puklín, ktoré môžu predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

V úseku od km 2,238 po cca 2,463 (Blok 2) bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia, s prevládajúcim zastúpením ílovcov a siltovcov. Prostredie bude pravdepodobne menej tektonicky porušené ako predchádzajúci úsek. Nadložie tunela bude dosahovať 35 – 85 m. Vyčlenený úsek tunela bol overeným prieskumným vrtom NT-11 a geofyzikálnymi

prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 0 – 30° smerom na severovýchod až sever. Len miestami v rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy). Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä ílovce porubského súvrstvia, pričom od km cca 2,360 budú dominantné skôr siltovce. Horniny sú prevažne doskovité až lavicovité, prípadne hrubolavicovité, strednej pevnosti (R3), v oslabených častiach nízkej pevnosti (R4). Horniny sú prevažne zdravé, v okolí tektonizovaných zón s čiastočne otvorenými puklinami až navetrané. V miestach zlomových porúch sú zbridličnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť je prevažne nízka až extrémne nízka (R4 -R5, resp. až G5/GC). V okolí týchto zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Vyčlenený úsek končí výraznejšou zlomovou poruchou. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Iz** – ílovec zvetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Sz** – siltovec zvetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Pz** – pieskovec zvetraný;
- Pn** – pieskovec tektonicky porušený.

Vzhľadom na tektonický vývoj masívu, výsledky geofyzikálnych meraní a vrtných prác a samotný vrstevnatý a polosklaný charakter hornín očakávame, že horniny v celom úseku budú pomerne často tektonicky porušené charakteristickou medzivrstevnou tektonikou s miernym sklonom (viď vrty VPK-01 a VPK-02, TK-10). Výplň takýchto zón je charakteru tektonických brekcií s plávajúcimi úlomkami karbonátov. Tieto porušené horniny možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Zeminy sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV, menej často S-J až SV-JZ. Na tieto smery tektonického porušenia sú viazané i charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 100 – 600 mm prípadne viac.

Možno povedať, že pevnosť i deformačné parametre ílovcov a siltovcov sú výrazne znížené hustým rozpukáním a tektonickým porušením. Deformačné parametre horninového masívu neboli priamo overené dilatometrickými skúškami. Vo vrte NT-11 bola zastihnutá v úrovni tunelovej rúry výrazná tektonicky porušená zóna úlomkovitého charakteru s častými bridličnatými úsekmi. Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcim úsekom.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej

vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

V úseku od km 2,463 po cca 2,718 (Blok 3) bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia, so zastúpením ílovcov a siltovcov, pričom predpokladáme na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní vyšší podiel siltovcov. Prostredie bude pravdepodobne menej tektonicky porušené ako predchádzajúci úsek. Nadložie tunela bude dosahovať 85 – 120 m. Vyčlenený úsek tunela bol overeným prieskumným vrtom NT-12 a geofyzikálnymi prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 10 – 40° smerom na severozápad až severovýchod. Len miestami v rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená a zrotovaná (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy). Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä ílovce porubského súvrstvia resp. k záveru hodnoteného úseku siltovce a slieňovce až vápence lučivnianskeho súvrstvia. Horniny sú prevažne doskovité až lavicovité, prípadne hrubolavicovité, prevažne strednej pevnosti (R3), slieňovcové a vápencové členy súvrstvia však už môžu dosiahnuť vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R1 - R2). Naopak, v oslabených častiach masívu sú ílovce nízkej pevnosti (R4). Horniny sú prevažne zdravé, v okolí tektonizovaných zón s čiastočne otvorenými puklinami až navetrané. V miestach zlomových porúch sú horniny zbridičnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť v týchto zónach je prevažne nízka až extrémne nízka (R4 - R5, resp. až G5/GC). V okolí tektonických zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- ltp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vsn** – slienitý vápenec až slieňovec zdravý až navetraný;
- Vstp** – slienitý vápenec až slieňovec tektonicky porušený;
- Pn** – pieskovec tektonicky porušený.

Hodnotený úsek tunela vedie horninovým masívom, ktorý predstavuje rigidný blok hornín v južnom výbežku hrebeňa kóty 955 m n.m., v oblasti Borová hora. Hrebeň tvorí hlavný morfológický predel medzi údolím bezmenného potoka na východe a údolím Kamenného potoka na západe. Horninový blok je ohraničený výraznými tektonickými líniami smeru SZ-JV a SV-JZ, vytvára tak klin vybiehajúci do údolia Váhu. Samotný masív je pomerne kompaktný a homogénny, porušený len lokálne zlomovými tektonickými poruchami a čiastočne medzivrstevnou tektonikou. Výplň takýchto zón je charakteru tektonických brekcií s plávajúcimi úlomkami karbonátov. Tieto porušené horniny možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Zeminy sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstevnej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV, menej často S-J až SV-JZ. Na tieto smery

tektonického porušenia sú viazané i charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). Vo vápencových členoch súvrstvia sa vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcim úsekom resp. otestované dilatometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-12 a samozrejme laboratórnymi prácami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 8,23 - 395,51 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 150 \text{ MPa}$. Kompaktné a zdravé ílovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 2878,52 - 3096,06 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 2987 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 2,5 – 13,5 MPa. Kompaktné a zdravé slienité vápence lučivnianskeho súvrstvia dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 5512 - 17813 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 9408 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 5 – 15 MPa. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4). Pevnosť vápencov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2).

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

V úseku od km 2,718 po cca 3,013 (Blok 4) bude tunel razený v prostredí porubského a lučivnianskeho súvrstvia, so dominantným zastúpením ílovcov a siltovcov s polohami vápencov, pričom predpokladáme na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní vyšší podiel siltovcov až slienitých vápencov. Prostredie bude pravdepodobne menej tektonicky porušené. Nadložie tunela bude dosahovať 120 – 125 m. Vyčlenený úsek tunela bol overeným prieskumným vrtom NT-13 a geofyzikálnymi prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 25 – 55° smerom na východ až severovýchod prípadne juhozápad (zrotované bloky hornín). Výsekoch zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnosť až vztýčená. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä siltovce, slieňovce až vápence lučivnianskeho súvrstvia. Horniny majú prevažne doskovitú až lavicovitú vrstevnosť, prípadne až hrubolavicovitú až masívnu vrstevnosť, sú prevažne strednej pevnosti (R3), slieňovcové a vápencové členy súvrstvia však už môžu dosiahnuť vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R1 - R2). Naopak, v oslabených častiach masívu sú ílovce nízkej pevnosti (R4). Horniny sú prevažne zdravé, v okolí tektonizovaných zón s čiastočne otvorenými puklinami až navetrané. V miestach zlomových porúch sú horniny zbridičnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s

plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť v týchto zónach je prevažne nízka až extrémne nízka (R4 - R5, resp. až G5/GC). V okolí tektonických zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Vyčlenený úsek končí výraznejšou zlomovou poruchou - pásmom, na ktorej je založené údolie bezmenného potoka. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vsn** – slienitý vápenec až slieňovec zdravý až navetraný;
- Vstp** – slienitý vápenec až slieňovec tektonicky porušený;
- Pn** – pieskovec zdravý až navetraný.

Hodnotený úsek tunela vedie horninovým masívom, ktorý predstavuje rigidný blok hornín v južnom výbežku hrebeňa kóty 955 m n.m., v oblasti Borová hora, podobne ako predchádzajúci úsek. Hrebeň tvorí hlavný morfológický predel medzi údolím bezmenného potoka na východe a údolím Kamenného potoka na západe. Horninový blok je ohraničený výraznými tektonickými líniami smeru SZ-JV a SV-JZ, vytvára tak súčasť klinu, ktorý vybiehasmerom do údolia Váhu. Samotný masív je pomerne kompaktný a homogénny, porušený len lokálne zlomovými tektonickými poruchami a čiastočne medzivrstevnou tektonikou. Výplň takýchto zón je charakteru tektonických brekcií s plávajúcimi úlomkami karbonátov, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Zeminy sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstevnej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV, menej často S-J až SV-JZ. Na tieto smery tektonického porušenia sú viazané i charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). Vo vápencových a čiastočne i siltovcových členoch súvrstvia sa vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-13 a tiež laboratórnymi prácami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé kompaktné siltovce až ílovce dosahovali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 4124 - 12\,726 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 8917 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 7 – 22 MPa. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load Test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnatosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov prevažne stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4). Pevnosť vápencov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2).

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky

podzemnej vody z úlomkových partíí masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

V úseku od km 3,103 po cca 3,123 (Blok 5) bude tunel razený v prostredí porubského a lučivnianskeho súvrstvia, so dominantným zastúpením ílovcov a siltovcov s polohami vápencov, pričom predpokladáme na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní vyšší podiel tektonicky porušených hornín. Trasa tunela podchádza výrazné údolie bezmenného potoka, ktoré je pravdepodobne založené na zlomovom systéme smeru SV-JZ. Nadložie tunela bude dosahovať 115 – 145 m. Oblasť bola preskúmaná najmä mapovacími prácami a geofyzikálnymi meraniami, pričom geotechnické parametre a geologickú stavbu možno odvodiť od neďalekého vrtu NT-13. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry nebolo možné určiť, predpokladáme vzhľadom na blízkosť významných zlomových línií, že smer vrstevnatosti bude značne variovať, pričom môže byť až vztýčená. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä siltovce, slieňovce až vápence lučivnianskeho súvrstvia, tektonicky viac porušené ako v predchádzajúcom úseku. V miestach zlomových porúch budú ílovcové horniny zbridličnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami, prípadne v pevnejších karbonátoch budú horniny rozbité na pevné úlomky. Pevnosť v týchto zónach je prevažne nízka až veľmi nízka (R4 - R5, resp. až G5/GC), pričom degradované horniny sú citlivé na vodu. V okolí tektonických zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Vyčlenený úsek začína a končí výraznejšími zlomovými líniami, medzi ktorými predpokladáme zachovaný pevnejší menej prušený blok hornín. Na zlomovú tektoniku sú viazané prítoky podzemnej vody a vznik terénnej morfolologickej hrany. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vsn** – slienitý vápenec až slieňovec zdravý až navetraný;
- Vstp** – slienitý vápenec až slieňovec tektonicky porušený;

Hodnotený úsek tunela vedie horninovým masívom, ktorý je porušený zlomovým systémom na viacerých miestach. Na základe morfolologickej analýzy ide pravdepodobne o poklesovú zlomovú tektoniku, ktorá súvisí s gravitačným rozpadom horského masívu po zarezaní údolia Váhu a redistribúcii hlavných napätí (odľahčenie). V teréne sa pokles prejavuje vznikom výraznej hrany, so zachovaným zvyškom hornín chočského príkrovu, najmä dolomitov a vápencov, ktorý je na západnej strane uťatý, pričom vzniká depresia so strmými svahmi.

Okrem medzivrstevnej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SV-JZ, resp. až S-J. Na tieto smery tektonického porušenia sú viazané i charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). Vo vápencových a čiastočne i siltovcových členoch súvrstvia sa vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s

ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, mimo zlomovej poruchy je hustota puklín 200 – 600 mm.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-13 a tiež laboratórnymi prácami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé kompaktné siltovce až ílovce dosahovali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 4124 - 12\,726 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 8917 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 7 – 22 MPa. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load Test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnatosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov prevažne stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4). Pevnosť vápencov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2).

V úseku od km 3,123 po cca 3,643 (Blok 6) bude tunel razený v prostredí porubského a lučivnianskeho resp. mráznického súvrstvia, so dominantným zastúpením siltovcov a ílovcov s polohami slienitých vápencov, pričom predpokladáme na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní pomerne homogénne a málo porušené prostredie (s výminkou zlomových porúch). Nadložie tunela bude dosahovať 140 – 170 m. Vyčlenený úsek tunela bol overeným prieskumným vrtom NT-14 a geofyzikálnymi prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 25 – 45° smerom na severovýchod prípadne východ. V úsekoch zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä siltovce a ílovceporubského súvrstvia, prípadne slieňovce lučivnianskeho súvrstvia. Horniny majú prevažne doskovitú až lavicovitú vrstevnatosť, prípadne hrubolavicovitú až masívnu vrstevnatosť (homogénne masívne ílovce), sú prevažne strednej pevnosti (R3), slieňovcové a vápencové členy súvrstvia však už môžu dosiahnuť vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R1 - R2). Naopak, v oslabených častiach masívu sú ílovce nízkej pevnosti (R4). Horniny sú prevažne zdravé, v okolí tektonizovaných zón s čiastočne otvorenými puklinami až navetrané. V miestach zlomových porúch sú horniny zbridičnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť v týchto zónach je prevažne nízka až extrémne nízka (R4 - R5, resp. až G5/GC). V okolí tektonických zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Vyčlenený úsek končí výraznejšou zlomovou poruchou - pásmom, na ktorej je založené údolie bezmenného potoka. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- ltp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vsn** – slienitý vápenec až slieňovec zdravý až navetraný;
- Vstp** – slienitý vápenec až slieňovec tektonicky porušený;
- Pn** – pieskovec zdravý až navetraný.

Hodnotený úsek tunela vedie horninovým masívom, ktorý predstavuje tektonickými zlomovými líniami ohraničený kvázihomogénny blok hornín v južných svahoch kóty 828 m n.m. Horninový blok je ohraničený výraznými tektonickými líniami smeru SV-JZ, pričom podružný je systém S-J. Samotný masív je pomerne kompaktný a homogénny, porušený len lokálne

zlomovými tektonickými poruchami a čiastočne medzivrstevnou tektonikou. Výplň takýchto zón je charakteru tektonických brekcií s plávajúcimi úlomkami karbonátov, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Zeminy sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstevnej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV, menej často S-J až SV-JZ. Na tieto smery tektonického porušenia sú viazané i charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). V siltovcových a slieňovcových členoch súvrstvia sa vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-14 a tiež laboratórnymi prácami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé kompaktné siltovce až ílovce dosahovali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 2717 - 22\,385 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 11\,868 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 8 – 20 MPa. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load Test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnatosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov prevažne stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4).

Hlavným **geologickým rizikom v celom vyčlenenom úseku A** je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložíím a v úsekoch s výraznejším tektonickým porušením, heterogenita vlastností litologických typov hornín (vápence, pieskovce a siltovce versus ílovce) a vysoká citlivosť tektonicky porušených ílovcových hornín na styk s vodou.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi do tunelovej rúry. Vzhľadom na gravitačnú poklesovú tektoniku v oblasti tunela však možno predpokladať, že počas razenia budú zastihnuté priepustnejšie zóny (najmä tektonicky predisponované), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody, podobne aj tektonizované polohy s vyšším podielom rigidných úlomkov hornín (polohy pieskovcov resp. vápencov). Očakávaný sumárny prítok podzemnej vody do tunelovej rúry z celého úseku A počas razenia je $Q = 0,50 - 2,00 \text{ l.s}^{-1}$, pričom objem závisí najmä od intenzity zrážok v danej oblasti a na narazení na prípadný otvorený puklinový systém.

Celkovo možno rizikové faktory z hľadiska budovania tunela v úseku A v prostredí s prevahou ílovcových hornín krížňanského príkrovu (porubské súvrstvie a mrážnické súvrstvie) charakterizovať nasledovne:

- degradácia geotechnických parametrov horniny až na úroveň zemín v dôsledku intenzívneho tektonického porušenia a v priortálovom úseku aj zvetrania najmä v strmo uložených zlomových zónach a v zónach medzivrstevnej tektoniky;
- nestabilita klenby, čelby a stien v dôsledku rozvoľnenia masívu a tektonického porušenia horniny ako aj s ohľadom na možnosť vyklzávania klinov horniny po plochách diskontinuít, možnosť odlupovania platní horniny po vrstevných plochách vzhľadom na relatívne mierny úklon vrstiev;
- nízka hodnota šmykových parametrov na vrstevných plochách s častými povlakmi ílov;

- veľká citlivosť ílovcových hornín na zmeny vlhkosti a mrazové cykly, podmieňujúca rýchle zvetrávanie a degradáciu geotechnických parametrov hornín;
- náchylnosť najmä tektonicky porušených ílovcov na rozbredanie;
- riziko nestability portálovej steny ale aj klenby v oblasti západného portálu, vzhľadom na predpokladaný výskyt kvartérnych zemín a silno zvetraných hornín v úrovni klenby tunela;
- rozličná blokovitosť horniny;
- heterogenita vlastností horninového materiálu – striedanie kvalitnejšej a nekvalitnej horniny;
- možnosť prítokov podzemnej vody po predisponovaných privilegovaných cestách..

Pre realizáciu tunela v úseku A, budovanom prevažne ílovcami a siltovcami porubského a mráznického súvrstvia, odporúčame aplikovať nasledovné opatrenia:

- zabezpečenie stability klenby tunela vhodnými technickými a technologickými opatreniami (mikropilóťový dáždňik), najmä v priortálovom úseku a v zónach s výrazným tektonickým porušením;
- zabezpečenie stability portálovej steny a svahov zárezu stavebnej jamy;
- zredukovanie prítokov podzemnej vody do tunelovej rúry pomocou vhodných technických opatrení – vytvorenie vhodnej hydroizolácie. V prípade požiadaviek na minimalizáciu drenážnych účinkov tunela na horninový masív je potrebné aplikovať v miestach sústredených prítokov podzemnej vody tesniace opatrenia vo forme chemickej injektáže;
- V priortálovom úseku realizovať úpravu povrchových vodných tokov do dláždených koryt resp. selektívne zachytenie vystupujúcich prameňov a ich zvedenie do recipientu mimo portálovú oblasť;
- zabezpečiť drenáž portálovej steny pomocou vejáru odvodňovacích vrtov, vo vrchnej časti aj formou drenážno-stabilizačných rebier;
- vzhľadom na očakávané časté tektonické porušenie odporúčame stabilizovať aj čelbu tunela pomocou horninového piliera alebo kotiev, prípadne je možné čelbu členiť.

Tabuľka 17 Prehľad charakteristík inžinierskogeologických typov pre úsek A

Prevládajúci inžinierskogeologický typ	RQD	vzdialenosť puklín	otvorenosť	výplň	UCS	prevládajúci tvar blokov	veľkosť blokov
	(%)	(mm)	(mm)		(MPa)		(mm)
$I_n > I_{tp} + V_{tp}$	30 – 60	100 – 400	0 – 1	povlaky	5 – 50	Ta, Eq, Po	100 – 400
$I_{tp} > I_n + V_n$	0 – 30	10 – 60	1 – 5	tekt. íl	0,5 – 10	Ta, Po	10 – 100
$V_n > I_n$	60 – 1000	200 – 600	0 – 2	povlaky	50 – 100	Ta, Po	200 – 600

V zmysle RMR možno v kvázihomogénnych celkoch v úseku A hodnotiť horninový masív na cca 60% svojej dĺžky prevažne triedou IV, ako zlý, charakterizovaný ÖNORM B2203 prevažne triedou B2 (sčasti B1 v kvalitnejších menej porušených úsekoch), s vystrojovacou triedou NRTM 3.

Pretváranie výrubu v predmetnom – silno tlačivom horninovom prostredí je nutné očakávať po celom obvode vrátane oblasti pod niveletou tunela. Priebeh deformácií v silne porušených až rozložených ílovcoch a brekciách za prítomnosti vody môžu mať rýchly nástup a následne dlhodobejšie plastické vyznievanie.

Porušené zóny budú predstavovať cca 40% z celkovej dĺžky úsekov typu A. Možno ich hodnotiť ako úseky so zníženou kvalitou horninového prostredia, sprevádzanou degradáciou geotechnických parametrov pri kontakte s vodou, resp. sufóziou rozložených ílovcov a brekcií charakteru ílovitých zemín. V zmysle RMR je toto zníženie kvality hodnotené triedou V ako

veľmi zlé, charakterizované ÖNORM B2203 triedou B3 – C3, s vstrojovacom triedou NRTM 4 až 5a, pričom podľa SIA 198 hodnotenie vstrojenia predstavuje triedu V - VI. Na zabezpečenie veľkých deformácií v takomto horninovom masíve bude potrebné použiť vhodnú poddajnú výstroj s aplikáciou uzavretého prierezu.

2.2.6.2 Úsek B v km 3,643 až 5,518

Tunel bude prechádzať horninami mráznického, lučivnianskeho a osnického súvrstvia. Z hľadiska litológie ide prevažne o slienité vápence až slieňovce, resp. ílovce s rôznymi vzájomnými prechodmi. V flyšovom mráznickom súvrství sa v dominantnom komplexe ílovcov a siltovcov nachádzajú lamíny až dosky pieskovcov, na báze tohto súvrstvia i polohy vápencov. V osnickom súvrství s pribúdaním vápnitej zložky sú viac zastúpené slieňovce a vápence. Presné hranice jednotlivých súvrství len na základe vrtných prác nebolo možné na stanoviť vzhľadom na pomerne riedko rozmiestnené prieskumné vrty a absenciu banského prieskumného diela s podrobnou geologickou dokumentáciou. Do tohto úseku však možno priradiť i už vyrazenú časť tunela Čebrať od východného portálu.

Orientáciu vrstevnatosti bola overená mapovaním na odkryvoch v teréne, najmä jeho vápencových členoch. Čiastočne sa podarilo overiť vrstevnatosť v prieskumných vrtoch pomocou karotážneho zariadenia – vrtného skenera s možnosťou interpretácie orientácie geologických štruktúr voči magnetickému severu.

Rozčlenenie tohoto úseku tunela na kvázihomogénne dielčie bloky bolo možné vzhľadom na hustotu prieskumných vrtovej realizovať len na základe geofyzikálnych meraní a morfolgiej analýzy.

V úseku od km 3,643 po 3,925 (Blok 7) bude tunel razený v prostredí porubského a mráznického súvrstvia s prevládajúcim zastúpením ílovcov a siltovcov, pričom postupne bude pribúdať vápencových polôh mráznického resp. možno už osnického súvrstvia. Kvázihomogénny blok je ohraničený výraznými zlomovými pásmami. Nadložie tunela bude dosahovať 170 – 215 m. Tento úsek bol overeným najbližšími vrtnými NT-14 a NT-15, mapovacími prácami a geofyzikálnymi meraniami.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 15 – 35° smerom na severovýchod, po prechode cez zlomové pásmo sa orientácia vrstevnatosti zmení na západ až severozápad. V rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy).

Hodnotený úsek tunela vedie horninovým masívom, ktorý predstavuje tektonickými zlomovými líniami ohraničený kvázihomogénny blok hornín. V teréne je tento blok vyčlenený výrazným lokálnym hrebienkom SZ-JV smeru, ktorý vybieha z južných svahov kóty Veterný vrch (862,6 m n.m.). Horninový blok je ohraničený výraznými tektonickými líniami smeru SSZ-JJV a systémom SSV-JJZ. Samotný masív mimo zlomových zón je pomerne kompaktný a homogénny, tvorený prevažne slieňovcami a vápencami. V zlomoch má hornina charakter tektonických brekcií s plávajúcimi úlomkami karbonátov, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Tektonizované zeminy sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy doplnené i charakteristickými puklinovými systémami. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). V slieňovcových a vápencových členoch sú plochy diskontinuít prevažne zvlnené a hladké (potiahnuté vyvalcovaným ílovcom vo forme lesklých šupiniek tvrdého ílu). Vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu sa môžu objavovať otvorené

pukliny bez výplne, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac.

Horniny sú v tektonických poruchách detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť je prevažne nízka až veľmi nízka (R4 -R5, resp. až charakter zemiíny triedy G5/GC). V okolí týchto zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Mimo tektonických porúch (zlomov) a tektonizovaných zón je hornina zdravá, prevažne málo porušená, pomerne kompaktná, pričom ílovce sú zväčša strednej pevnosti (R3), vápence vysokej až veľmi vysokej pevnosti (R2 – R1). Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vn** – vápenec slienitý zdravý až navetraný;
- Vn** – vápenec slienitý tektonicky porušený.

Dominantným horninovým typom v tomto úseku budú už pravdepodobne slienité vápence a slieňovce v prevahe nad ílovcami a siltovcami. Je potrebné upozorniť, že najmä ílovcové členy súvrstvia sú extrémne citlivé na styk s vodou. Ílovce sú prevažne doskovité až lavicovité, miestami masívne, v tektonizovaných zónach tenkodoskovité až laminované. Vápence a slieňovce sú prevažde lavicovité až hrubolavicovité, prípadne doskovité. Rozpadajú sa na tabulárne bloky veľkosti 10 – 60 cm, v homogénnejších menej rozpukaných partiách na bloky nad 1 m. Naopak, v tektonických poruchách sú drobnolistočkovitého charakteru až drobnoulomkovitého charakteru.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-15 a tiež laboratórnymi prácami. Vo vrte NT-15 boli v oblasti tunelovej rúry zastihnuté najmä tektonicky porušené úlomkovité horniny až horniny charakteru brekcie (zeminy). Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené a úlomkovité siltovce až ílovce, ktoré počas skúšok dosahovali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 25 - 698 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 271 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 8 – 20 MPa. Pevnejšie menej porušené horniny s vyšším podielom vápencov dosahovali $E_{def} = 1278 - 8529 \text{ MPa}$. Pevnosť horniny testovaná pomocou skúšok Point Load Test preukázala anizotropiu podľa smeru zaťaženia. V smere kolmom na vrstevnosť je pevnosť zdravých ílovcov aj siltovcov prevažne stredná (R3), v smere paralelnom s plochami vrstevnatosti má hornina nízku pevnosť (R4). Vápencové a slieňovcové člny dosahovali vysokú až veľmi vysokú pevnosť. (R2 - R1).

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

Podľa obsahu CO₂ agresívneho na CaCO₃ vo vzorke podzemnej vody z vrtu TK-02 (CO₂ = 16,85 mg.l⁻¹), tvorí podzemná voda kvapalné prostredie so zvýšenou agresivitou na betón uložený v pôde a vode so symbolom XA1 a pre prítomnosť agresívnej formy oxidu uhličitého na železo (CO₂ = 31,71 mg.l⁻¹) predstavujú kvapalné prostredie s veľmi vysokou agresivitou na oceľ uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity. Treba podotknúť, **že zvýšené obsahy agresívneho CO₂ vo vode z vrtu TK-02 mohli byť spôsobené výplachom, keďže vzorky vôd boli odobraté tesne po dovŕtaní vrtov**, preto odporúčame **zopakovať odber podzemných vôd z predmetných vrtov v prípadnej ďalšej etape prieskumu**.

V úseku od km 3,925 po 5,145 (Blok 8) bude tunel razený v prostredí osnického súvrstvia s prevládajúcim zastúpením slienitých vápencov a slieňovcov nad ílovcami. Kvázihomogénny blok je ohraničený výraznými zlomovými pásmami na začiatku a na konci úseku, pričom niekoľko výraznejších zlomových línií bude zastihnutých i v rámci tohto kvázihomogénneho celku. Nadložie tunela bude dosahovať 180 – 310 m. Tento úsek bol overeným prieskumnými vrtmi NT-15 až NT-17 a NT-30, mapovacími prácami a geofyzikálnymi meraniami.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je ťažko jednoznačne hodnotiť. Azimut sklonu varíruje vo vertikálnom i horizontálnom smere, pričom sklon je mierny cca 15 – 30°, miestami dokonca horizontálny. V vrtoch NT-15 a NT-30 bola identifikovaná v úrovni tunelovej rúry orientácia na S až SZ, vo vrte NT-16 a NT-17 nebolo možné štruktúry overiť až v úrovni tunelovej rúry. Vo vertikálnom smere však dochádza k rotovaniu azimutu vrstevnatosti na SV i JZ. V rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy).

Hodnotený úsek tunela vedie v prvej polovici horninovým masívom popod široké terénne sedlo medzi výraznými kótami Čebrať (1054,2 m n.m.) a Radičiná (1127,2 m n.m.). Predpokladáme, že sedlo vzniklo eróznou-denudačnými procesmi vďaka primárnemu oslabeniu pôvodných hornín zlomovou tektonikou, ktorá bude zastihnutá i v úrovni tunelových rúr. Druhá polovica trasy hodnoteného úseku vedie popod severné svahu kóty Čebrať. Kvázihomogénny blok je ohraničený výraznými tektonickými líniami smeru SZ-JV a smeru SV-JZ. V rámci celého úseku sa tieto dva systémy zlomov niekoľkokrát opakujú, hrúbka porušených zón je veľmi variabilná – od niekoľko dm po niekoľko m. Samotný masív mimo zlomových zón je pomerne kompaktný a homogénny, tvorený prevažne slieňovcami a vápencami mráznického a sonického súvrstvia. V zlomoch má hornina charakter tektonických brekcií s úlomkami karbonátov, ktoré plávajú v tektonickom íle, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Tektonické brekcie sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy doplnené i charakteristickými puklinovými systémami. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). V slieňovcových a vápencových členoch súvrstvia sú plochy diskontinuít prevažne zvlnené a hladké (potiahnuté vyvalcovaným ílovcom vo forme lesklých šupiniek tvrdého ílu). Vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu sa môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne alebo s výplňou kalcitu, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou

pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- ltp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vn** – vápenec slienitý zdravý až navetraný;
- Vn** – vápenec slienitý tektonicky porušený.

Dominantným horninovým typom v tomto úseku budú už pravdepodobne slienité vápence a slieňovce v prevahe nad ílovcami a siltovcami. Je potrebné upozorniť, že najmä ílovcové členy súvrstvia sú citlivé na styk s vodou. Ílovce sú prevažne doskovité až lavicovité, miestami masívne, v tektonizovaných zónach tenkodoskovité až laminované. Vápence a slieňovce sú prevažde lavicovité až hrubolavicovité, prípadne doskovité. Rozpadajú sa na tabulárne bloky veľkosti 10 – 60 cm, v homogénnejších menej rozpučených partiách na bloky nad 1 m. Naopak, v tektonických poruchách sú drobnolístočkovitého charakteru až drobnoulomkovitého charakteru.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dilatometrickými skúškami in-situ vo vrtoch NT-15, NT-16 a NT-30 a tiež laboratórnymi prácami. Vo vrte NT-15 boli v oblasti tunelovej rúry zastihnuté najmä tektonicky porušené úlomkovité horniny až horniny charakteru brekcie (zeminy), naopak, vo vrtoch NT-16, NT-17 a NT-30 sa v úrovni tunelových rúr nachádzali kompaktné málo porušené horniny.

Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé resp. navetrané slienité kalové vápence, ktoré dosahujú vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R2 – R1). Menej zastúpené ílovce majú pevnosť strednú až nízku (R3 – R4). Na základe vyhodnotenia dilatometrických skúšok tieto kompaktné a pevné horniny doahujú moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 25 - 698 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 271 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 8 – 20 MPa. V tektonicky porušených zlomových zónach budú horniny detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť je prevažne nízka až veľmi nízka (R4 - R5, resp. až charakter zemiíny triedy G5/GC). V okolí týchto zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Na základe dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-15 v prostredí porušených hornín možno povedať, že rozsah modulov deformácie bude $E_{def} = 1278 - 8529 \text{ MPa}$, v priemere priemere $E_{def} = 271 \text{ MPa}$, pri priemernom obore zaťaženia v rozsahu XXX.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

Podľa obsahu CO₂ agresívneho na CaCO₃ vo vzorke podzemnej vody z vrtu TK-02 (CO₂ = 16,85 mg.l⁻¹), tvorí podzemná voda kvapalné prostredie so zvýšenou agresivitou na betón uložený v pôde a vode so symbolom XA1 a pre prítomnosť agresívnej formy oxidu uhličitého na železo (CO₂ = 31,71 mg.l⁻¹) predstavujú kvapalné prostredie s veľmi vysokou agresivitou na oceľ uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity. Treba podotknúť, **že zvýšené obsahy agresívneho CO₂ vo vode z vrtu TK-02 mohli byť spôsobené výplachom, keďže vzorky vôd boli odobraté tesne po dovŕtaní vrtov**, preto odporúčame **zopakovať odber podzemných vôd z predmetných vrtov v prípadnej ďalšej etape prieskumu**.

V úseku od km 5,145 po cca 5,195 (Blok 9) bude tunel razený v prostredí silno tektonicky porušených hornín pravdepodobne osnického súvrstvia s prevládajúcim zastúpením slienitých kalových vápencov a slieňovcov nad ílovcami. Kvázihomogénny blok je ohraničený výraznými zlomovými pásmami na začiatku aj na konci úseku, pričom predpokladáme, že vzhľadom na blízkosť jednotlivých zlomových línií budú horniny aj medzi týmito poruchami značne tektonicky porušené. Nadložie tunela bude dosahovať 140 – 175 m. Tento úsek bol overeným len mapovacími prácami a geofyzikálnymi meraniami, bez priameho prieskumného diela. Túto skutočnosť je potrebné brať do úvahy pri návrhu postupu prác počas razenia tunela.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je ťažko jednoznačne hodnotiť, vzhľadom na absenciu priameho prieskumného diela alebo odkryvu. Na základe analógie s prostredím v už vyrazenej časti tunela čebrať však predpokladáme prevažne mierny sklon k severu, prípadne hákovanie (vyvlečenie) a vztýčenie vrstev priamo v zlomovej zóne.

Tektonické porušenie horninového masívu zlomovými poruchami sa prejavuje v teréne odseparovaním rozľahlého bloku hornín chočského príkrovu na východných svahoch kóty Čebrať (1054,2 m n.m.) za vzniku terénnej depresie medzi týmto blokom a samotným masívom Čebrate. Očakávame, že depresia bude vyplnená silno porušeným a rozvolneným horninovým materiálom, ktorý umožňuje rýchlu infiltráciu zrážok do podzemia, pričom je predpoklad, že zlomová štruktúra v bloku hornín choča priamo pokračuje aj v podložných horninách krížňanského príkrovu a umožňuje tak prienik podzemnej vody do hlbších partií masívu. Zlomové poruchy identifikované nepriamo z geofyzikálnych meraní budú mať pravdepodobne smer SZ-JV resp. smer S-J, pričom pôjde o systém niekoľkých paralelných plôch s rozličnou hrúbkou. V zlomoch má hornina charakter tektonických brekcií s úlomkami karbonátov, ktoré plávajú v tektonickom íle, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Tektonické brekcie sú extrémne citlivé na styk s vodou. Pokiaľ bude zlomová porucha v prostredí vápencov, bude mať charakter pevných zaklivených alebo rozvolnených úlomkov s piesčitou výplňou alebo bez výplne. Zlomové poruchy sprevádzajú aj charakteristické puklinové systémy. Pukliny a vrstevné plochy predpokladáme v tomto úseku hladké až vyhladené, zvlnené až rovné, v miestach s dominanciou ílovca aj s ílovými povlakmi. Vďaka gravitačnému rozvolňovaniu masívu sa môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne alebo s výplňou kalcitu, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 100 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 500 mm prípadne viac. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vn** – vápenec slienitý zdravý až navetraný;

Vn – vápenec slienitý tektonicky porušený.

Dominantným horninovým typom v tomto úseku budú už pravdepodobne tektonicky porušené a rozpukané slienité vápence a slieňovce v prevahe nad ílovcami a siltovcami. Je potrebné upozorniť, že najmä ílovcové členy súvrstvia sú citlivé na styk s vodou. Tektonicky porušené ílovce sú prevažne tenkodoskovité až laminované, brekciovitého charakteru. Tektonicky porušené vápence a slieňovce sú prevažne tenkodoskovité až doskovité. Rozpadajú sa na tabulárne bloky veľkosti 10 – 40 cm, v homogénnejších menej rozpukaných partiách na bloky nad 1 m.

Geotechnické parametre boli odvodené na základe analógie s predchádzajúcimi úsekmi tunela resp. otestované dilatometrickými skúškami in-situ vo vrtoch v širšom okolí a tiež laboratórnymi prácami.

Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé resp. navetrané slienité kalové vápence, ktoré dosahujú vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R2 – R1). Menej zastúpené ílovce majú pevnosť strednú až nízku (R3 – R4). Na základe vyhodnotenia dilatometrických skúšok tieto kompaktné a pevné horniny doahujú moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 25 - 698 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 271 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 8 – 20 MPa. V tektonicky porušených zlomových zónach budú horniny detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Pevnosť je prevažne nízka až veľmi nízka (R4 - R5, resp. až charakter zemiíny triedy G5/GC). V okolí týchto zón je hornina tiež porušená najmä medzivrstevnou tektonikou, ktorá sa prejavuje lesklými vyhladenými šmykovými plochami v smere plôch vrstevnatosti. Na základe dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-15 v prostredí porušených hornín možno povedať, že rozsah modulov deformácie bude $E_{def} = 1278 - 8529 \text{ MPa}$, v priemere priemere $E_{def} = 271 \text{ MPa}$, pri priemernom obore zaťaženia v rozsahu XXX.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

Podľa obsahu CO_2 agresívneho na CaCO_3 vo vzorke podzemnej vody z vrtu TK-02 ($\text{CO}_2 = 16,85 \text{ mg.l}^{-1}$), tvorí podzemná voda kvapalné prostredie so zvýšenou agresivitou na betón uložený v pôde a vode so symbolom XA1 a pre prítomnosť agresívnej formy oxidu uhličitého na železo ($\text{CO}_2 = 31,71 \text{ mg.l}^{-1}$) predstavujú kvapalné prostredie s veľmi vysokou agresivitou na oceľ uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity. Treba podotknúť, že zvýšené obsahy agresívneho CO_2 vo vode z vrtu TK-02 mohli byť spôsobené výplachom, keďže vzorky vôd boli odobraté tesne po dovŕtaní vrto, preto odporúčame zopakovať odber podzemných vôd z predmetných vrto v prípadnej ďalšej etape prieskumu.

V úseku od km 5,195 po 5,518 (Blok 10) bude tunel razený v prostredí osnického a čiastočne mráznického súvrstvia s prevládajúcim zastúpením slienitých kalových vápencov a

slieňovcov nad ílovcami. Kvázihomogénny blok je ohraničený výrazným zlomovým pásmom na západnej strane a čelbou už vyrazenej časti tunela Čebrať na východnej strane. V rámci úseku predpokladáme križovanie niekoľkých zlomových porúch nižšieho rádu. Nadložie tunela bude dosahovať 65 – 145 m. Tento úsek bol overeným archívnymi prieskumnými vrtmi JV-1 a JV-2, mapovacími prácami a archívnymi geofyzikálnymi meraniami geofyzikálnymi meraniami.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je ťažko jednoznačne hodnotiť, pretože v archívnych vrtoch neboli realizované merania orientácie štruktúr. Predpokladáme však, že podobne ako na čelbe v už vyrazenom úseku tunela Čebrať bude súvrstvie generálne sklonené k severu. Sklon vrstiev je mierny 15 – 30°. V rámci zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy).

Hodnotený úsek tunela vedie popod východné svahy kóty Čebrať (1054,2 m n.m.), ktoré sú poznačené gravitačnou poklesovou tektonikou a rozvoľňovaním horninového masívu smerom do výrazného údolia Likavky. Predpokladáme, že hlavné zlomové línie budú paralelné so smerom tohto údolia, tj. hlavný smer cca SZ-JV, ktoré budú doplnené prečným smerom približne Z-V resp. JZ-SV. V rámci celého úseku sa tieto dva systémy zlomov niekoľkokrát opakujú, pričom hrúbka porušených zón je veľmi variabilná – od niekoľko dm po niekoľko m. Samotný masív mimo zlomových zón je pomerne kompaktný a homogénny, tvorený prevažne slieňovcami a vápencami mráznického a osnického súvrstvia. V zlomoch má hornina charakter tektonických brekcií s úlomkami karbonátov, ktoré plávajú v tektonickom íle, pričom ich možno považovať za tvrdé ílové zeminy, obsahujúce lístočkovité vyhladené šupinky ílovca až tvrdého ílu. Tektonické brekcie sú extrémne citlivé na styk s vodou. Okrem medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy doplnené i charakteristickými puklinovými systémami. Pukliny a vrstevné plochy sú v ílovcovom komplexe všeobecne pomerne zopnuté (okrem zón tektonického porušenia), rovné až mierne zvlnené a hladké prípadne v blízkosti zlomových porúch vyhladené (lesklé). V slieňovcových a vápencových členoch súvrstvia sú plochy diskontinuit prevažne zvlnené a hladké (potiahnuté vyvalcovaným ílovcom vo forme lesklých šupiniek tvrdého ílu). Vďaka gravitačnému rozvoľňovaniu masívu sa môžu objavovať otvorené pukliny bez výplne alebo s výplňou kalcitu, ktoré sú rovné až stupňovité, drsné. V tektonických poruchách budú plochy porušenia prevažne vyhladené a lesklé, zvlnené až rovné, často s ílovou výplňou pevného lístočkovitého ílu. Hustota puklín dosahuje v tektonicky porušených zónach 10 – 200 mm, v pevnejších zdravých zónach je hustota 200 – 1000 mm prípadne viac. Horninový masív v tomto úseku je reprezentovaný nasledovnými inžinierskogeologickými typmi:

- In** – ílovec zdravý až navetraný;
- Itp** – ílovec tektonicky porušený;
- Sn** – siltovec zdravý až navetraný;
- Stp** – siltovec tektonicky porušený;
- Vn** – vápenec slienitý zdravý až navetraný;
- Vn** – vápenec slienitý tektonicky porušený.

Dominantným horninovým typom v tomto úseku budú pravdepodobne slienité vápence a slieňovce v prevahe nad ílovcami a siltovcami. Je potrebné upozorniť, že najmä ílovcové členy súvrstvia sú citlivé na styk s vodou. Ílovce sú prevažne doskovité až lavicovité, miestami masívne, v tektonizovaných zónach tenkodoskovité až laminované. Vápence a slieňovce sú prevažde lavicovité až hrubolavicovité, prípadne doskovité. Rozpadajú sa na tabulárne bloky veľkosti 10 – 60 cm, v homogénnejších menej rozpučaných partiách na bloky nad 1 m. Naopak, v tektonických poruchách sú drobnolistočkovitého charakteru až drobnoulomkovitého charakteru.

Geotechnické parametre možno odvodiť len na základe analógie s predchádzajúcimi

úsekmi tunela resp. na základe archívnych laboratórnych a geotechnických skúšok. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené zdravé resp. navetrané slienité kalové vápence, ktoré dosahujú vysokú až veľmi vysokú pevnosť (R2 – R1). Menej zastúpené ílovce majú pevnosť strednú až nízku (R3 – R4). Na základe vyhodnotenia archívnych dilatometrických skúšok v horizontálnom vrte VST-02, ktorý bol realizovaný z čelby severnej tunelovej rúry, tieto kompaktné a pevné horniny dosahujú moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 3476 - 6287 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 4376 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 2 – 20 MPa. Presiometrické skúšky, ktoré sa realizovali v tom istom vrte, otestovali hodnotu modulov deformácie v rozsahu $E_{def} = 1698 - 2665 \text{ MPa}$, v priemere priemere $E_{def} = 2047 \text{ MPa}$, pri priemernom obore zaťaženia v rozsahu 1 – 4 MPa.



Obrázok 12 Pohľad na čelbu tunela v prostredí slienitých vápencov s preplástkami ílovcov

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde tunelová rúra prechádza niekoľkými výraznými tektonickými zlomovými líniami generálne severojužného smeru (SZ-JV až SV-JZ), ktoré budú predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody. Napriek relatívnej tesnosti ílovcového prostredia ako celku, možno očakávať prítoky podzemnej vody z úlomkovitých partií masívu (tektonických zón). Vzhľadom na gravitačnú tektoniku na okraji údolia Váhu možno tiež očakávať výskyt otvorených ťahových puklín, ktoré môžu tiež predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemná voda z vrtu TK-01 podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I.

Podľa obsahu CO_2 agresívneho na CaCO_3 vo vzorke podzemnej vody z vrtu TK-02 ($\text{CO}_2 = 16,85 \text{ mg.l}^{-1}$), tvorí podzemná voda kvapalnú prostredie so zvýšenou agresivitou na betón uložený v pôde a vode so symbolom XA1 a pre prítomnosť agresívnej formy oxidu uhličitého na železo ($\text{CO}_2 = 31,71 \text{ mg.l}^{-1}$) predstavujú kvapalnú prostredie s veľmi vysokou agresivitou na ocel' uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity. Treba podotknúť, že zvýšené obsahy agresívneho CO_2 vo vode z vrtu TK-02 mohli byť spôsobené výplachom, keďže

vzorky vôd boli odobraté tesne po dovŕtaní vrtov, preto odporúčame **zopakovať odber podzemných** vôd z predmetných vrtov v prípadnej ďalšej etape prieskumu.

Hlavným **geologickým rizikom v celom vyčlenenom úseku B** je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úsekoch s výraznejším tektonickým porušením resp. rozpukáním, heterogenita vlastností litologických typov hornín (vápence, pieskovce a siltovce versus ílovce) a vysoká citlivosť tektonicky porušených ílovcových hornín na styk s vodou.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek komplikované prostredie, kde možno očakávať aj plošné priesaky podzemnej vody z vápencových polôh (pokiaľ budú rozpukané), opričom priepustnosť bude redukovaná výskytom nepriepustných vrstiev ílovca a slieňovca medzi polohami vápencov. Výraznejšie prítoky možno očakávať z tektonicky porušených úlomkovitých zón. Vzhľadom na čiastočnú otvorenosť prostredia je piezometrická výška hladiny podzemnej vody v tomto úseku relatívne nízko. Očakávaný sumárny prítok podzemnej vody do tunelovej rúry z celého úseku B počas razenia je $Q = 0,50 - 2,00 \text{ l.s}^{-1}$, pričom objem závisí najmä od intenzity zrážok v danej oblasti a na narazení na prípadný otvorený puklinový systém.

Celkovo možno rizikové faktory z hľadiska budovania tunela v úseku B v prostredí s prevahou vápencových a slieňovcových hornín krížňanského príkrovu (osnické a mráznické súvrstvie) charakterizovať nasledovne:

- degradácia geotechnických parametrov horniny až na úroveň zemín v dôsledku tektonického porušenia najmä v strmo uložených zlomových zónach a v zónach medzivrstvej tektoniky;
- nestabilita klenby, čelby a stien v dôsledku rozvoľnenia masívu a tektonického porušenia horniny ako aj s ohľadom na možnosť vyklzavania klinov horniny po plochách diskontinuit, možnosť odlupovania platní horniny po vrstevných plochách vzhľadom na relatívne mierny úklon vrstiev;
- možnosť vypadávania veľkých blokov hornín z klenby;
- nízka hodnota šmykových parametrov na vrstevných plochách s častými povlakmi ílov;
- rozličná blokovitost' horniny;
- heterogenita vlastností horninového materiálu – striedanie kvalitnejšej a menej kvalitnej horniny;
- možnosť prítokov podzemnej vody po predisponovaných privilegovaných cestách a plošné prítoky.

Pre realizáciu tunela v úseku B, budovanom prevažne vápencami a slieňovcami osnického a mráznického súvrstvia, odporúčame aplikovať nasledovné opatrenia:

- zabezpečenie stability klenby tunela v tektonicky porušených úsekoch vhodnými technickými a technologickými opatreniami (ihlovanie, kotvenie);
- zredukovanie prítokov podzemnej vody do tunelovej rúry pomocou vhodných technických opatrení – vytvorenie vhodnej hydroizolácie. V prípade požiadaviek na minimalizáciu drenážnych účinkov tunela na horninový masív je potrebné aplikovať v miestach sústredených prítokov podzemnej vody tesniace opatrenia vo forme chemickej injektáže.

Tabuľka 18 Prehľad charakteristík inžinierskogeologických typov pre úsek B

Prevládajúci inžinierskogeologický typ	RQD	vzdialenosť puklín	otvorenosť	výplň	UCS	prevládajúci tvar blokov	veľkosť blokov
	(%)	(mm)	(mm)		(MPa)		(mm)
$V_n > I_n + I_{tp} + V_{tp}$	60 – 100	200 – 600	0 – 1	povlaky	50 – 120	Ta, Eq, Po	200 – 600
$V_{tp} + I_{tp} > I_n + V_n$	20 – 40	20 – 100	0 – 2	Tekt. íl	5 – 25	Ta, Po	20 – 200

V zmysle RMR možno v kvázihomogénnych celkoch v úseku A hodnotiť horninový masív na cca 60% svojej dĺžky prevažne triedou IV, ako zlý, charakterizovaný ÖNORM B2203 prevažne triedou B2 (sčasti B1 v kvalitnejších menej porušených úsekoch), s vystrojovacou triedou NRTM 3.

Pretváranie výrubu v predmetnom – silno tlačivom horninovom prostredí je nutné očakávať po celom obvode vrátane oblasti pod niveletou tunela. Priebeh deformácií v silne porušených až rozložených ílovcoch a brekciách za prítomnosti vody môžu mať rýchly nástup a následne dlhodobjšie plastické vyznievanie.

Porušené zóny budú predstavovať cca 40% z celkovej dĺžky úsekov typu A. Možno ich hodnotiť ako úseky so zníženou kvalitou horninového prostredia, sprevádzanou degradáciou geotechnických parametrov pri kontakte s vodou, resp. sufóziou rozložených ílovcov a brekcií charakteru ílovitých zemín. V zmysle RMR je toto zníženie kvality hodnotené triedou V ako veľmi zlé, charakterizované ÖNORM B2203 triedou B3 – C3, s vystrojovacou triedou NRTM 4 až 5a, pričom podľa SIA 198 hodnotenie vystrojenia predstavuje triedu V - VI. Na zabezpečenie veľkých deformácií v takomto horninovom masíve bude potrebné použiť vhodnú poddajnú výstroj s aplikáciou uzavretého prierezu.

2.2.6.3 Účelové geotechnické zhodnotenie trasy tunela Čebrať

Podrobnejšie rozčlenenie horninového masívu, s uvedením jeho základných geotechnických charakteristík a hodnotenie podľa účelových geotechnických klasifikácií je spracované v pozdĺžnom inžinierskogeologickom reze pre tunel **Čebrať (príloha 5.1)**. Pre účely hodnotenia bol vypracovaný profil severnou tunelovou rúrou, pričom predpokladáme, že geologicko-geotechnické a hydrogeologické podmienky sa v trase južnej tunelovej rúry dramaticky nemenia (dochádza k posunom jednotlivých porušených pásiem a vyčlenených kvázihomogénnych celkov v rámci staničenia). Upozorňujeme, že vstupné parametre účelových geotechnických klasifikácií boli zisťované iba z vrtných prác, dokumentácie skalných odkryvov a hodnotenia už vyrazených úsekov tunela Čebrať, resp. boli kvalifikovane odhadnuté pomocou výsledkov z prieskumov v analogickom horninovom prostredí.

Pre podrobnejšie a presnejšie hodnotenie horninového prostredia z hľadiska tunelárskych klasifikácií by bolo potrebné v trase tunela realizovať prieskumnú štôľňu. Z viacerých použitých účelových klasifikácií horninového prostredia sme upriamili pozornosť na klasifikáciu podľa Z.T.Bienawského (1973, 1979), ktorá je – pri využití výsledkov iba z prieskumných vrtov lepšie aplikovateľná a univerzálnejšia. Triedy hornín RMC boli zostavené podľa ratingového bodového ohodnotenia RMR, zohľadňujúceho: pevnosť v prostom tlaku σ_c , index kvality RQD, vzdialenosť a charakter diskontinuit, vplyv podzemnej vody a smer i úklon diskontinuit – hlavne vrstevnatosti k osi tunela a smeru razenia (upravený podľa T.E.Francisa, 1991). Okrem klasifikácie RMR hodnotíme masív i systémom QTS (Tesař, 1977) a systémom Q NGI (Barton et al., 1974). Zároveň pre úplnosť doplníme i klasifikáciu pre cyklické razenie ÖNORM B2203, t.j. normu, ktorá už nie je platná.

Na základe očakávaných geotechnických vlastností bola trasa tunela Čebrať rozčlenená na 2 hlavné geotechnické kvázihomogénne úseky, ktoré sa ďalej členia na 10 kvázihomogénnych blokov. Prehľad charakteristických geotechnických vlastností oboch uvádzame v prehľadnej tabuľke 19.

Tabuľka 19 *Prehľad vyčlenených úsekov tunela Čebrať*

Kvázihomogénny úsek		A Bloky 1 - 6	B Bloky 7 - 10	Spolu	
Tunel Kolombiarok	Celková dĺžka	[m]	1856	1593	3449
	Zastúpenie	[%]	53,8	46,2	100
	Objemová hmotnosť	ρ_n [g.cm ⁻³]	2,67–2,81/2,72 (2,67)	2,65–2,81/2,76 (2,65)	
	Pevnosť v prostom tlaku	σ [MPa]	23,1–53,0/37,0 (23,0)	49,0–106,0/76,0 (49,0)	
	Modul deformácie	E_{def} [MPa]	430–1090/673 (430)	488–2637/1342 (488)	
	Poissonovo číslo	ν [-]	0,17–0,25/0,20 (0,25)	0,14–0,20/0,18 (0,20)	
	Uhol vnútorného trenia	φ_{ef} [°]	34,0–46,0/40,0 (34,0)	42,0–52,0/47,0 (42,0)	
	Šmyk. pevn. pri nulovom norm. zaťaž.	$C_{ef} = \tau_0$ [kPa]	250–500/400 (250)	500–1000/750 (500)	
	RQD	–	20–80/55 (20)	30–100/80 (30)	
	QTS	–	67(53)	76,5(65)	
	RMR	–	49(33)	77(55)	
	Q NGI	–			
	NRTM	–	3(3)	2(3)	
ÖNORM B 2203	–	A2–B1(B2)	A2(A2–B1)		

V nasledujúcich odsekoch uvádzame podrobnú charakteristiku jednotlivých úsekov.

Kvázihomogénny blok	začiatok staničenia (km)	koniec staničenia (km)	Dĺžka bloku (m)
Blok 1	213,404	213,599	195,00

Blok v priortálovej oblasti, kde možno očakávať v úvode razenia dosah zvetrávania ílovcov a siltovcov porubského súvrstvia. Charakteristický je tým, že pevnostné a deformačné parametre horninového masívu sú znížené hustejším rozpukáním a tektonickým porušením, ako aj zvetraním.

Predpokladané hustejšie rozpukanie a tektonické porušenie môže byť zdrojom prítokov podzemnej vody, pričom je predpoklad, že drenážnym účinkom v dlhodobejšom období bude masív vďaka svojej nízkej priepustnosti suchý.

Hlavným rizikom je nestabilita klenby, čelby a stien výrubu tunela hlavne v tektonicky porušených častiach masívu. Pri strednej priemernej hodnote RQD (55 %) je v zmysle RMR masív hodnotený ako uspokojivý, charakterizovaný podľa ÖNORM B2203 triedou A2 – B1, s vystrojovacou triedou NRTM 3.

Za predpokladu výrazných zrážok v miestach poruchovej zóny s väčšou hustotou diskontinuit a veľmi nízkou hodnotou RQD (20 %), s nepredvídateľnými krasovými prejavmi možno očakávať zníženie kvality horninového prostredia čo v zmysle RMR hodnotíme ako zlé, charakterizované podľa ÖNORM B2203 triedou B2, s vystrojovacou triedou NRTM 3.

Úvodnú časť bloku s predpokladom výskytu poruchovej zóny odporúčame raziť pod ochranou mikropilótového dáždika, čo bude aj súčasťou statického zabezpečenia portálovej steny.

Kvázihomogénny blok	začiatok staničenia (km)	koniec staničenia (km)	Dĺžka bloku (m)
TK–2	213,599	214,014	415,00

2.3 Hydrogeologické pomery územia

Pri charakterizovaní hydrogeologických pomerov v okolí novej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová vychádzame z výsledkov predchádzajúcich prieskumov, výskumov a štúdií, ale najmä z aktuálne realizovaných prieskumných diel, realizovaných hydrodynamických skúšok, ako aj z výsledkov laboratórnych analýz podzemných a povrchových vôd, hydrogeologického mapovania, hydrometrovacích prác a monitoringu. Hydrogeologické pomery trasy diaľnice sú zhodnotené podľa charakteristických úsekov.

2.3.1 Úsek diaľnice v km 0,000 – 2,400

Nová trasa diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v tomto úseku vedie prakticky v identickom koridore ako pôvodná trasa diaľnice, pričom k postupnému odklonu dochádza až ku koncu hodnoteného úseku. Diaľnica vedie po relatívne plochom území výrazného terasového stupňa na pravom brehu rieky Váh, pričom mostnými objektami 203 a 204 prekonáva bezmennú úvalinu a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka. Lokálny skalný hrebienok medzi oboma mostami prekonáva trasa diaľnice zárezom. V území sú tak zastúpené fluvialne a deluviálne sedimenty kvartéru, antropogénne navážky a podložné horniny mezozoika.

Dominantnými kolektorskými horninami podzemných vôd v území sú fluvialne štrky aluviálnej nivy Váhu, ktoré však nezasahujú priamo do trasy diaľnice. V podloží samotného telesa diaľnice sú dominantne zastúpené deluviálne sute rozličného zloženia, menej sa vyskytujú terasové štrkovité a polygenetické ílovito-piesčité sedimenty.

Priepustnosť komplexu terasových štrkov zastúpených štrkami s prímiesou jemnozrnnej zeminy v hodnotenom území je medzizrnová. Koeficient filtrácie fluvialných štrkov podľa archívnych prieskumov (Zakovič, 1990) sa pohybuje v rozsahu $k_f = 1,1 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Podľa hodnôt koeficienta filtrácie v zmysle klasifikácie priepustnosti hornín (Jetel, 1982) tvoria fluvialne aluviálne štrky dosť silno priepustné až silno priepustné prostredie s triedou priepustnosti III.–II.

Tabuľka 20 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu (m)	Výška pažnice (m)	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
				narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
230-01 518,21	21,0		8.4.2016	-	-	0,0 – 2,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 2,0 – 21,0 m Škvrnité vápence doskovité, miestami tektonicky porušené, prestúpené puklinami
230-02 491,72	12,0		11.4.2016	-	-	0,0 – 1,9 m Deluviálny íl s úlomkami 1,9 – 8,5 m Polygenetická suť (fluvialno-proluviálna?) kamenito-ílovitá až siltovito-kamenitá 8,5 – 12,0 m Súvrstvie tvorené navetraným slienitým vápencom
231-01 513,76	15,0		12.4.2016	-	-	0,0 – 7,1 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 7,1 – 15,0 m Polygenetická suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá, miestami balvanitá
231-02 497,03	15,0		12.4.2016	6,80 490,23	-	0,0 – 0,8 m Deluviálny íl piesčitý s úlomkami 0,8 – 1,3 m Polygenetický íl stredne plastický s úlomkami 1,3 – 2,1 m Fluvialny štrk ílovitý 2,1 – 15,0 m Súvrstvie ílovcov a slienovcov s polohami vápencov
231-03 496,42	15,0		11.4.2016	4,80 sizenie 491,62	6,34 490,08	0,0 – 0,5 m Deluviálny silt piesčitý s úlomkami 0,5 – 4,5 m Polygenetická suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,5 – 15,0 m Škvrnité slienité vápence, do 7,0 m zvetrané, hlbšie navetrané až zdravé
M-203-01 511,99	18,0		13.4.2016	11,5 sizenie 500,49	-	0,0 – 13,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 13,3 – 16,6 m Fluvialny štrk s prímiesou jemnozrnnej zeminy 16,6 – 18,0 m Vápenec žilnatý, vysokej pevnosti
M-203-02 512,29	17,0		14.4.2016	13,0 499,29	-	0,0 – 13,6 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 13,6 – 17,0 m Fluvialny piesok siltovitý, od 14,0 m štrk s prímiesou jemnozrnnej zeminy

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu (m)	Výška pažnice (m)	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
				narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
M-203-03 508,44	25,0		23.4.2016	-	13,75 494,69	0,0 – 13,2 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá hlbšie ílovitá 13,2 – 19,4 m Fluviálny štrk s prímiesou jemnozrnnnej zeminy 19,4 – 25,0 m Vápence tmavosivej farby, do 23,3 m husto rozpukané, hlbšie masívne
M-203-04 511,29	21,0		13.4.2016	-	-	0,0 – 16,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 16,4 – 21,0 m Fluviálny štrk s prímiesou jemnozrnnnej zeminy
M-203-05 517,69	19,0		13.4.2016	-	-	0,0 – 16,0 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 16,0 – 19,0 m Vápence svetlosivej farby, zdravé
M-203-06 515,82	20,0		19.4.2016	18,80 sĺzenie 497,02	-	0,0 – 18,7 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 18,7 – 20,0 m Fluviálny piesok s prímiesou jemnozrnnnej zeminy
M-204-03 506,36	17,0		14.4.2016	5,50 500,86 Sĺzenie 13,8 492,56	7,40 498,96	0,0 – 11,2 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 11,2 – 17,0 m Vápence silne tektonicky porušené
M-204-04 504,11	14,0		14.4.2016	6,50 497,61 7,5 496,61	8,50 495,61	0,0 – 12,0 m Deluviálna prevažne ílovito-kamenitá 12,0 – 14,0 m Vápence sĺienité, silne tektonicky porušené
M-204-05 512,70	20,0		15.4.2016	14,75 497,95	14,75 497,95	0,0 – 3,0 m Zosuvné delúvium charakteru ílu piesčitého 3,0 – 20,0 m Zosuvné delúvium, suť ílovito-kamenitá až kamenito- ílovitá
M-204-06 513,41	22,0		15.4.2016	14,60 498,81	-	0,0 – 19,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 19,0 – 22,0 m Striedanie sĺienitých ílovcov s vápencami
M-204-07 520,40	20,0		15.4.2016	8,60 511,8 16,90 503,50	18,40 502,00	0,0 – 19,6 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 19,6 – 20,0 m Proluviálny íl piesčitý
M-204-08 518,33	17,0		22.4.2016	-	-	0,0 – 15,5 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 15,5 – 17,0 m Vápence sĺienité, silne tektonicky porušené

Vysvetlivky : mp.t – metrov pod terénom, m n.m. – metrov nad morom (Balt po vyrovnaní)

Chemické zloženie podzemných vôd a ich vlastnosti boli hodnotené na základe chemickej analýzy vzorky vody z vrtov M-204-04, M-204-06 a M-204-07. Podzemné vody sú podľa chemickej klasifikácie (Gazda, 1971) základného výrazného A₂ chemického typu. Podľa celkovej mineralizácie sú **stredne mineralizované** (471 – 517 mg.l⁻¹), podľa reakcie vody patria k slabó alkalickým (pH = 7,6 – 7,7) a celkovou tvrdosťou patria k vodám dosť tvrdým v rozsahu celkovej tvrdosti od 4,44 – 5,52 mmo.l⁻¹.z. Analyzované vzorky podzemnej vody sú podľa svojho chemického zloženia **bez chemického účinku na betón**. Vzorky vôd z vrtov M-204-04, M-204-06, M-204-07 predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – merná elektrická vodivosť nad 430 μS.cm⁻¹ - **vysoko agresívne prostredie so stupňom IV.**, kedy je potrebné chrániť kovové materiály zosilnenou izoláciou.

Vzorka **zeminy** odobratá z vrtu M-204-06 v hĺbke 14,6 m pod terénom vykazuje nízku agresivitu prostredia na kovové konštrukcie so stupňom agresivity I. Vzorky zemín odobraté z vrtov M-204-04 a M-204-07 vykazujú pre percentuálny obsah celkovej síry v zeminách 0,12 a 0,14 % strednú agresivitu prostredia na kovové konštrukcie so stupňom agresivity II. Analyzované obsahy hodnotiacich ukazovateľov agresivity zemín sú spracované v tabuľke 21. Výsledky chemických analýz podzemných vôd a zemín sú v prílohe 5.4.

Tabuľka 21 Prehľad laboratórne stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností zemín na betónové konštrukcie podľa STN EN 206-1:2015 a oceľ uloženú v pôde (v horninách) podľa STN 03 8372 (tab. 2 hodnotiacej normy)

Zdroj	hĺbka odberu	obsah celkovej síry	chloridy	sírany	kyslosť zemín	odporúčaný stupeň agresivity na základový betón podľa STN EN 206-1:2015 agresivita pôdy (hornín) na oceľ podľa STN 03 8372
	(m)	%	%	mg.kg ⁻¹	ml.kg ⁻¹	
M-204-06	-	0,12	<0,01	12,5	<2	bez nebezpečenstva chemického účinku na betón stredná agresivita na oceľ, stupeň II.
M-204-06	14,6	0,09	<0,01	8,2	11,4	bez nebezpečenstva chemického účinku na betón veľmi nízka na oceľ, stupeň I.
M-204-07	17,0	0,14	<0,01	22,2	<2	bez nebezpečenstva chemického účinku na betón stredná agresivita na oceľ, stupeň II.

2.3.2 Oblasť západného portálu tunela Čebrať

Trasa diaľnice v tomto úseku vedie v rozsiahlej akumulácii deluviálno-proluviálnych sedimentov, ktoré na základe monitoringu svahových pohybov zaraďujeme do zosuvného delúvia. Hrúbka dosahuje podľa polohy na svahu od 7 m do viac ako 20 m. V komplexe sa striedajú polohy ílov a ílovitých sutí so suťami kamenitými až balvanitými. Prostredie je sytené podzemnou vodou pritekajúcou z vyšších partií svahov a vďaka striedaniu priepustnejších a málo priepustných vrstiev vzniká niekoľko kolektorov s napätými hladinami.

V podloží kvartérnych zemín sa nachádzajú tektonicky porušené alebo kompaktné polohy mezozoických ílovcov s polohami pieskovcov (porubské súvrstvie). Vďaka gravitačnej tektonike a blokovým pohybom je prostredie čiastočne otvorené pre prúdenie podzemnej vody. Z hľadiska hydrogeologického predstavujú horniny relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi. Lokálne sa v komplexe ílovcov vyskytujú predisponované cesty prúdenia vôd, najmä v miestach tektonického porušenia a v miestach s vyšším podielom rozpukaných pieskovcov.

2.3.3 Úsek diaľnice novej trasy tunela Čebrať

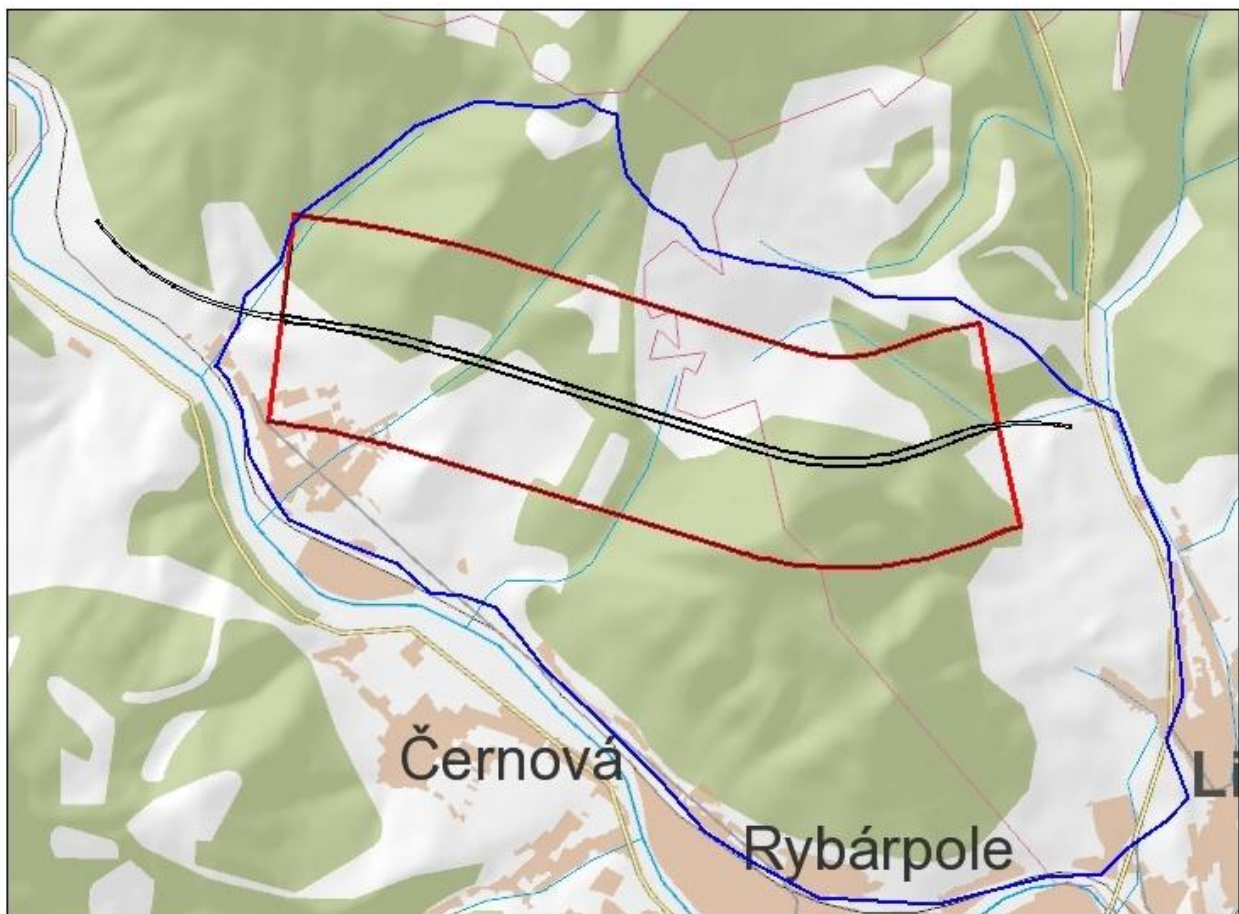
Nová trasa tunela Čebrať prechádza južným okrajom masívu Radičiná a sevenou časťou územia hydrogeologickej štruktúry elevácie Čebrate. Hydrogeologické pomery hodnotenej oblasti sú z hľadiska geologickej stavby len mierne komplikované.

V masíve Radičiná a hydrogeologickej štruktúre Čebrate sa uplatňuje jednoduchý spôsob obehu podzemnej vody. Zrážkové vody infiltrujú v priepustnom prostredí dolomitov a vápencov hronika, ktoré tvoria odkrytú vrcholovú časť územia. Vody, ktoré sa infiltrujú do triasových karbonátov postupujú podľa sklonu nepriepustného podložia slienitých vápencov mráznického, porubského súvrstvia a osnického súvrstvia veporika a vyvierajú ako vrstvomé pramene na odkrytom kontakte týchto hornín alebo pokračujú v hĺbke zvetralinového plášťa a vystupujú na povrch aj v oveľa nižších polohách pod kontaktom. Dôležitú úlohu pre cirkuláciu vôd zohráva tektonika a hustá sieť puklín viazaná na zóny tektonického porušenia. Odkrytá plocha stredotriasových dolomitov a vápencov hronika, ktoré sa nachádzajú na vrcholovej pozícii nad málo priepustným podložíom tvoreným zväčša slienitými vápencami mráznického a porubského súvrstvia veporika, predstavuje menšiu časť plochy hodnotenej oblasti.

Horninové prostredie je odvodňované množstvom zostupných prameňov na uvedenom litologickom rozhraní, ktoré nie je v teréne vždy rozoznateľné, pretože je prekryté sutinami a zosunutými blokmi rigidných dolomitov. Podzemné vody prestupujú z karbonátov priamo do rozsiahlych suťovísk s mnohopočetnými prameňmi so sutinovo-vrstvomým charakterom. Prírodné vývery a pramene v hodnotenej hydrogeologickej štruktúre sú zdokumentované v samostanej prílohe 4.5 a zobrazené sú v mape dokumentácie (príloha 3.1).

Miera ovplyvnenia podzemných vôd razením a výstavbou tunela Čebrať v novej trase bola posudzovaná priestorovým modelovaním drenážneho účinku tunela a vodnou bilanciou v širšom území.

Vodná bilancia oblasti predstavuje základný údaj o klimaticky podmienenom potenciáli hodnotenej oblasti z hľadiska tvorby a formovania sa podzemných vôd. Vymedzenie hodnoteného územia bolo určené konvenčne na obe strany do vzdialenosti 500 m od osi tunelových rúr s celkovou plochou 3,788 km². Vzhľadom na predpokladaný veľký podiel cezhraničných prestupov podzemnej vody bolo potrebné toto územie rozšíriť a pribrať širšiu oblasť siahajúcu od vrcholových častí až po eróziu bázu s celkovou plochou 11,457 km² (obrázok 13).



Obrázok 13 Oblasť tunela Čebrať širšia bilančne hodnotená oblasť

Výsledky hydrologickej bilancie širšej oblasti (plocha 11,457 km²) pre obdobie hydrologických rokov 2007 až 2016 sú dokumentované v prílohe 12. Zo sumarizovaných výsledkov pre 2007 – 2016 vyplýva, že 29 % až 82 % neodparených množstiev vody pravdepodobne odteká cezhranične mimo pozorované územie, v priemere je to 64 %. Pri danej ploche širšej bilancovanej oblasti (11,457 km²) sa môže jednať o množstvá o veľkosti od 10 l·s⁻¹ do 147 l·s⁻¹ (priemerne 65 l·s⁻¹). Časť tohto množstva môže tvoriť odtok prostredníctvom režimovo nesledovaných malých povrchových tokov odvodňujúcich územie. Vzhľadom na geologickú stavbu širšej bilancovanej oblasti (triasové karbonáty hronika sa nachádzajú vo vrcholových častiach a zaberajú len 25 % z jej celkovej plochy 11,457 km²) tu má pravdepodobne významný podiel povrchová zložka odtoku. Táto je typická intenzívnymi prietokmi s krátkodobým trvaním, ktoré sú ťažko kvantifikovateľné bez zavedenia

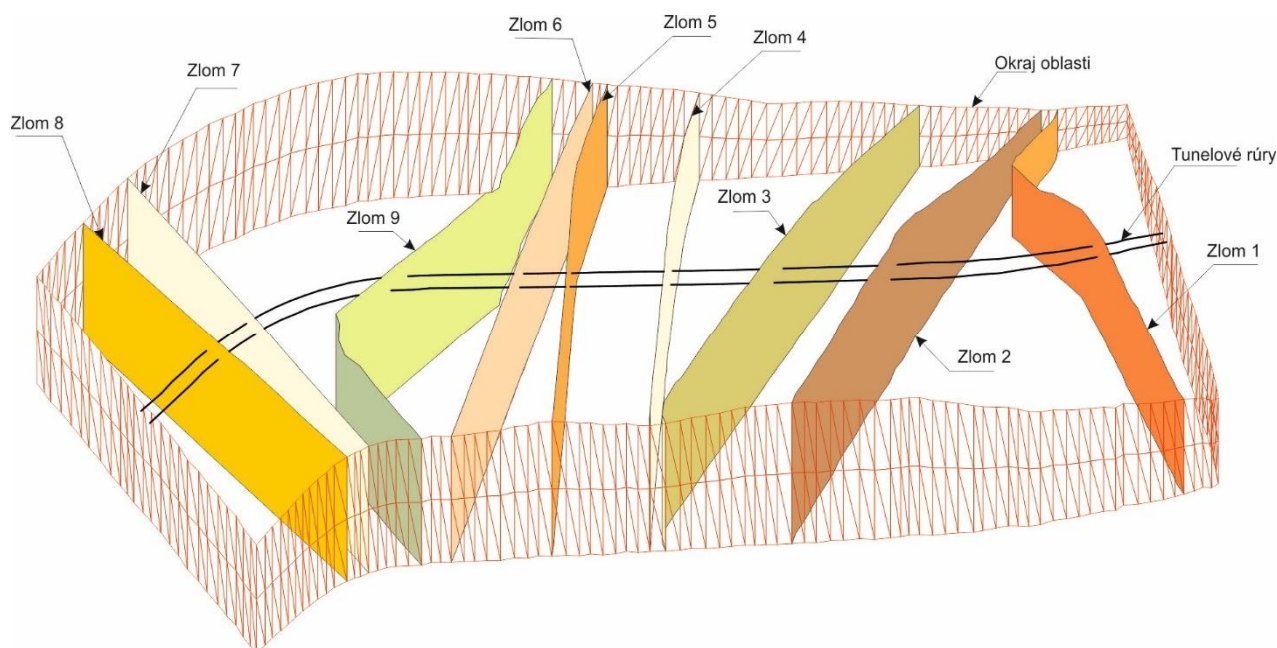
systematického monitoringu prietokov s minimálne dennou frekvenciou zberu údajov. Menšia časť podzemných vôd môže tiež cezhranične prestupovať v stredotriasových karbonátoch hronika smerom na sever v rámci karbonátovej kryhy Radičinej (kóta 1127 m). Musíme teda konštatovať, že napriek zväčšeniu rozsahu bilancovanej oblasti na 11,457 km² (Obr. 2) sa nepodarilo konštatovať bilančne vyrovnaný stav. Predpokladáme, že priemerné chýbajúce množstvo (~65 l·s⁻¹) čiastočne odteká povrchovým odtokom počas vysokých stavov v malých režimovo nesledovaných povrchových tokoch, čiastočne prestupuje na sever v rámci karbonátovej kryhy Radičinej a čiastočne nebolo zachytené pri jednodesačnej frekvencii sledovania výdatností vodárensky využívaných prameňov.

Výsledky stanovenia efektívnych zrážok užšej oblasti tunela Čebrať (plocha 3,788 km², pre obdobie hydrologických rokov 2001 až 2016 sú dokumentované v prílohe 12. Z výsledkov bilančných výpočtov pre plochu 3,788 km² užšej oblasti tunela Čebrať vyplýva, že celkové množstvo odtečených vôd za jeden hydrologický rok sa môže pohybovať medzi 471 851 m³ a 2 083 489 m³ pričom jeho priemerná veľkosť je 1 138 661 m³. V jednotkách vyjadrujúcich celkový **priemerný odtok z uvedenej oblasti sa toto množstvo môže pohybovať medzi hodnotami 15,0 l·s⁻¹ pri minimálnych stavoch a 66,1 l·s⁻¹ pri maximálnych stavoch, s priemernou hodnotou 36,1 l·s⁻¹**. Toto množstvo je o 8,2 l·s⁻¹ vyššie než bolo pre túto oblasť vypočítané z dlhodobých priemerov SHMÚ pre zrážkové úhrny a teploty vzduchu za roky 1951–1980 extrapolovaných podľa morfológie reliéfu (Švasta a Malík, 2006) ktorý určil hodnotu priemerného odtoku okolo 27,9 l·s⁻¹.

Celkove teda môžeme konštatovať, že z uvedenej užšej oblasti tunela Čebrať s plochou 3,788 km² možno očakávať celkový priemerný odtok vôd 1 138 661 m³ ročne, resp. 36,1 l·s⁻¹. Toto množstvo však v závislosti od hydrologickej situácie môže byť menej ako polovičné, resp. dvojnásobné. **Aká časť z tohto množstva môže byť drénovaná tunelovou rúrou je funkciou technických parametrov tunela a hydraulických parametrov hornín, cez ktoré bude tento prechádzať.**

Simulácia drenážneho vplyvu razenia tunela a odhadnutie resp. prognóza prítokov podzemných vôd do tunelových rúr bola riešená priestorovým numerickým modelovaním.

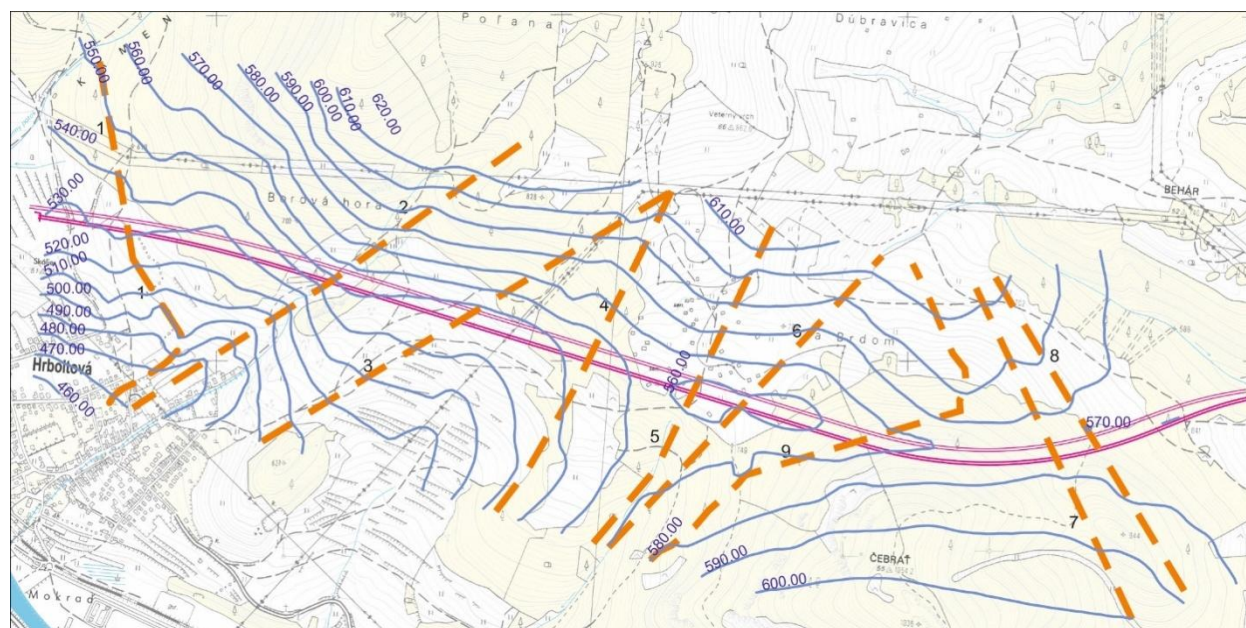
Modelovanie prúdenia podzemných vôd bolo aplikované na vymedzené územie určeného konvenčným ohraničením na obe strany do vzdialenosti 500 m od osi tunelových rúr s celkovou plochou 3,788 km². Numerický model využíval na riešenie metódu hraničných prvkov hybridnou metódou modelovania v puklinovom geologickom prostredí, kde priestorový numerický model bol skombinovaný s deviatimi 2D modelmi na zlomoch (obrázok 14).



Obrázok 14 Priestorový pohľad na hlavné charakteristické tektonické poruchy (pohľad zo severu)

Schematicky znázornené línie charakteristických vertikálnych zlomov porúch sú zobrazené na obrázku 14. Hrúbka všetkých zlomov sa uvažuje 5 m. Ich priepustnosť je charakterizovaná podľa výsledkov vodnotlakových hydrodynamických skúšok koeficientom filtrácie $k_y = k_z = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Koeficient filtrácie kriedového masívu alebo medzizlomových blokov kriedového masívu je $k_x = k_y = k_z = 2,07 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Po obvode modelovanej filtračnej oblasti (MFO) a tiež v jednom mieste južnej tunelovej rúry boli zadané kóty hladiny podzemnej vody a kóty zohľadňujúce priebeh kriedového súvrstvia pod terénom. Tieto zadané bodové údaje o hladine podzemnej vody boli podkladom pre zostrojenie hydroizohýps (Obrázok 3), ktoré boli porovnávacou úrovňou pre hladiny ovplyvnené tunelmi.



Obrázok 15 Namodelované hydroizohypsy piezometrickej výšky hladiny podzemnej vody

Riešenie modelu bolo vykonávané v dvoch alternatívach s rôznym zadaním okrajových podmienok. Alternatíva 1 vyjadruje stav minimálnych prítokov, kde okrajovou podmienkou bolo zadanie do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy, ktorý je sumárne len 6,56 l.s⁻¹ (simuluje zrážky, tento prítok bol vypočítaný z predpísaných hladín podzemnej vody bez tunelov pri zadanej priepustnosti masívu a zároveň príslušný plošný prítok (prítok zo zrážok) bol zadávaný aj do stropu zlomov.

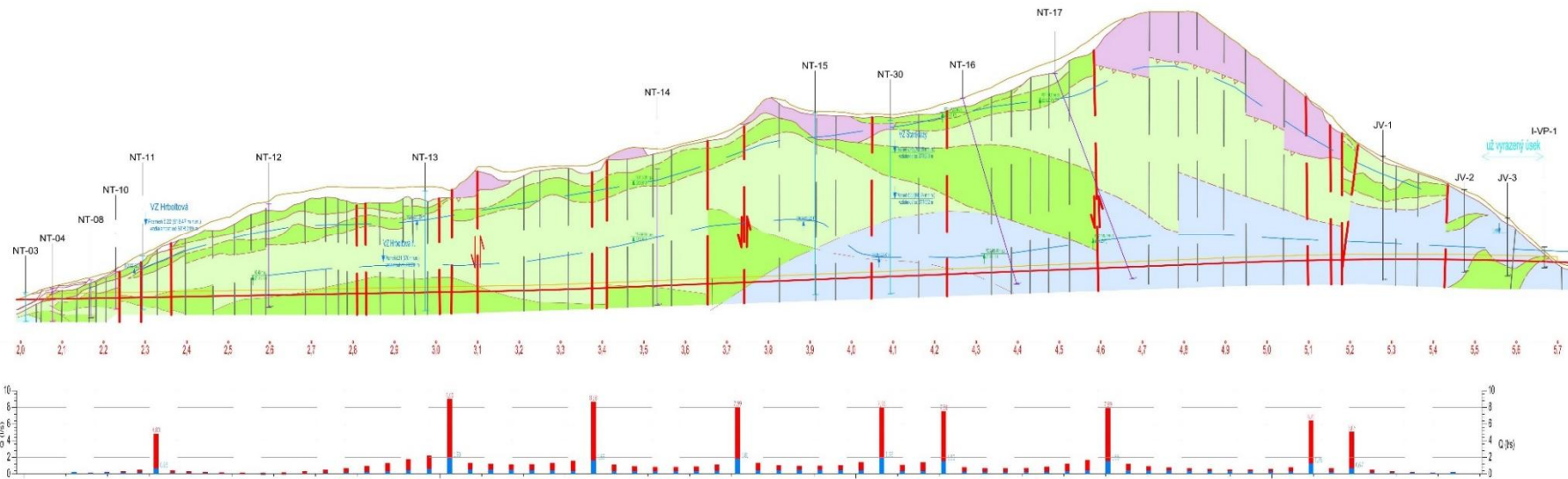
Alternatíva 2 vyjadruje stav maximálnych prítokov do tunelových rúr. Pre alternatívu 2 (tzv. veľké prítoky do tunelov) je do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy zadávaný konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy a zároveň do stropu zlomov bola zadávaná okrajová podmienka 1. druhu H = konštanta (t.j. na strope zlomov sa vždy udrží počiatočná kóta HPV a v prípade drénovania podzemnej vody tunelmi sa bude udržiavať jej rovnaká úroveň zväčšovaním prítoku podzemnej vody z nadložia.

Z výsledkov modelovania riešenia trvalých prítokov v alternatíve 1 pritečie do obidvoch tunelov spolu 29,18 l.s⁻¹ podzemných vôd. Z tohto množstva zo zlomov pritečie 10,28 l.s⁻¹ a z masívu 18,90 l.s⁻¹. Do severnej tunelovej rúry (STR) pritečie spolu 15,87 l.s⁻¹ a do južnej tunelovej rúry (JTR) spolu 13,31 l.s⁻¹.

V Alt.2 pritečie do obidvoch tunelov spolu 113,957 l/s. Z tohto množstva zo zlomov pritečie 54,33 l/s a z masívu 59,62 l/s. V tejto alternatíve zlomy viac "kírmia" masív.

Z výsledkov modelovania riešenia okamžitých prítokov v alternatíve 2 pritečie do severnej tunelovej rúry (STR) spolu 58,61 l/s a do južnej tunelovej rúry (JTR) spolu 55,35 l/s. Teoreticky celkom pritečie do oboch tunelových rúr 113,96 l/s. Prítok 58,61 l/s do STR pochádza z masívu 32,18 l/s a zo zlomov 26,43 l/s. Prítok 55,35 l.s⁻¹ do JTR pochádza z masívu 27,44 l/s a zo zlomov 27,91 l/s.

Pravdepodobné prítoky do tunelov sa budú nachádzať medzi alternatívami Alt.1 a Alt.2. Väčšie prítoky do tunelov budú na začiatku razenia. **V modeli sa neuvažovalo s hydraulickým odporom na ostení tunela, alebo celoplošnou hydroizoláciou na zlomoch.** Výpočty zodpovedajú **ideálnemu drenu**, ktorý ale reálne nevznikne. Hydrostatické tlaky na tunelové rúry možno približne určiť z rozdielov kót tunela a kót namodelovanej hladiny podzemnej vody (Príloha 12). Prítoky do tunelov sú graficky znázornené na obrázku 16.



Obrázok 16 Schématický geologický rez severnou tunelovou rúrou s grafickým vyjadrením prognózy prítokov do tunelových rúr,

Tabuľka 22 Prognóza trvalých prítokov do tunelových rúr podľa vyčlenených charakteristických úsekov tunela

Charakteristický úsek - blok	Úsek tunela od v km	Úsek tunela Do v km	Suma okamžitých prítokov [l.s ⁻¹]	Maximálny okamžitý prítok [l.s ⁻¹]	Suma trvalých prítokov [l.s ⁻¹]	Maximálny trvalý prítok [l.s ⁻¹]	Litostratigrafické členenie
Blok 1	2072	2238	0,972	0,325	0,60	0,09	Porubské súvrstvie
Blok 2	2238	2463	6,260	4,831	1,05	0,05	Porubské súvrstvie
Blok 3	2463	2718	0,965	0,322	0,15	0,09	Porubské súvrstvie
Blok 4	2718	3013	7,326	2,176	1,77	0,08	Porubské a lučivnianske súvrstvie
Blok 5	3013	3123	11,498	9,003	2,91	0,50	Porubské a lučivnianske súvrstvie
Blok 6	3123	3643	18,443	8,679	4,78	0,29	Mráznické súvrstvie
Blok 7	3643	3925	13,413	7,989	3,97	0,36	Mráznické a osnické súvrstvie
Blok 8	3925	5145	47,947	7,959	12,67	0,20	Osnické súvrstvie
Blok 9	5145	5195	5,749	5,070	0,91	0,24	Osnické súvrstvie
Blok 10	5195	5518	1,385	0,482	0,66	0,10	Osnické súvrstvie

Tabuľka 23 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu (m)	Výška pažnice (m)	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
				narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-01 536,70	40,0	0,80	11.4.2016	-	21,0 515,7	0,0 – 0,3 m Deluviálna suť kamenito-siltovitá 0,3 – 3,8 m Tektonicky porušená zóna, rozvoľnená, tvorená slienitými vápencami 3,8 – 23,0 m Súvrstvie slienitých vápencov, nepravidelne rozblokovaných na celistvejšie a úlomkovité úseky 23,0 – 40,0 m Slienité vápence s kalcitovými žilkami, od 28,5 m neporušené, kompaktné
NT-02 537,30	40,0	0,85	20.4.2016	-	18,4 518,19	0,0 – 0,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá, pevnej konzistencie 0,3 – 3,5 m Tektonicky porušená poloha slienitých vápencov 3,5 – 19,2 m Súvrstvie slienitých vápencov, zvetrané, rozvoľnené 19,2 – 25,8 m Slienité vápence s kalcitovými žilkami, pevné 25,8 – 40,0 m Vápence slienité tenkodoskovité, tektonicky porušené, prestúpené hustou sieťou puklín
NT-03 532,53	35,0	0,94	25.4.2016	1,50 531,03	8,78 523,75	0,0 – 15,5 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 15,5 – 35,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov a vápencov tektonicky porušené
NT-04 538,30	40,0	0,93	5.5.2016	-	4,90 533,40	0,0 – 8,5 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 8,5 – 40,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov, miestami výrazne tektonicky porušené
NT-06 535,55	40,0	0,85	10.6.2016	-	-	0,0 – 6,7 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 6,7 – 40,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov a vápencov tektonicky porušené
NT-07 540,92	45,0	0,87	6.6.2016	-	8,38 532,54 až 9,08 531,84	0,0 – 4,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,4 – 45,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
NT-08 547,72	45,0	0,92	26.5.2016	4,70 543,02	8,95 538,77 až 9,72 538,00	0,0 – 3,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 3,4 – 45,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
NT-09 544,14	45,0	1,05	9.5.2016	-	8,01 536,13 až 9,23 534,91	0,0 – 10,8 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 10,8 – 45,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov, lokálne tektonicky porušené

Vysvetlivky : mp.t – metrov pod terénom, m n.m. – metrov nad morom (Balt po vyrovnaní)

Tabuľka 24 Prehľad terénnych meraní hladín a parametrov podz. vody v km diaľnice 1,000 – 2,000

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu (m)	Výška pažnice (m)	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
				narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-10 557,62	45,0	-	20.5.2016	4,5 553,12	-	0,0 – 2,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 2,0 – 45,0 m Ílovce s preplástkami pieskovcov, lokálne silne tektonicky porušené
NT-11 576,77	65,0	0,92	21.6.2016	-	10,07 566,70	0,0 – 9,5 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 9,5 – 65,0 m Ílovce s preplástkami siltovcov a pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
NT-12 639,84	125,0	-	8.2.2017	-	-	0,0 – 7,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 7,0 – 125,0 m Ílovce s preplástkami siltovcov a pieskovcov, tektonicky porušené, od 106,5 do 120,0m polohy piesčitého vápca, hlbšie ílovce málo porušené.
NT-13 655,87	145,0	-	14.12.2016	-	35,00 620,87	0,0 – 14,2 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 14,2 – 145,0 m Ílovce s preplástkami siltovcov a vápencov, tektonicky porušené, od 121,9 m polohy masívneho siltovca
NT-14 682,34	165,0	-	2.12.2016	-	-	0,0 – 6,0 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 6,0 – 165,0 m Ílovce s laminami siltovcov, výrazne tektonicky porušené polohy sa striedajú s kompaktnými ílovcami
NT-15 749,88	220,0	-	20.2.2017	-	130,14 619,74	0,0 – 6,8 m Deluviálny íl s úlomkami 6,8 – 24,0 m relikť chočského príkrovu tvorený dolomitmi 24,0 – 31,0 m násunová tektonická zóna, úlomky vápencov 31,0 – 220,0 m Vápence s laminami ílovcov a siltovcov, výrazne tektonicky porušené polohy sa striedajú s pevnými vápencami
NT-16 767,91	260,0	-	9.3.2017	-	-	0,0 – 9,7 m Deluviálny íl s úlomkami 9,7 – 87,4 m Ílovce s laminami siltovcov, tektonicky porušené 87,4 – 260,0 m Vápence s laminami ílovcov až siltovcov, výrazne tektonicky porušené úseky sa striedajú s pevnými vápencami
NT-17 796,93	325,0	-	6.12.2016	-	-	0,0 – 2,5 m Deluviálny íl s úlomkami až kamenito-ílovitá suť 2,5 – 24,0 m Ílovce výrazne tektonicky porušené, prevrášnené 24,0 – 325,0 m Vápence s laminami ílovcov až siltovcov, výrazne tektonicky porušené úseky sa striedajú s pevnejšími polohami

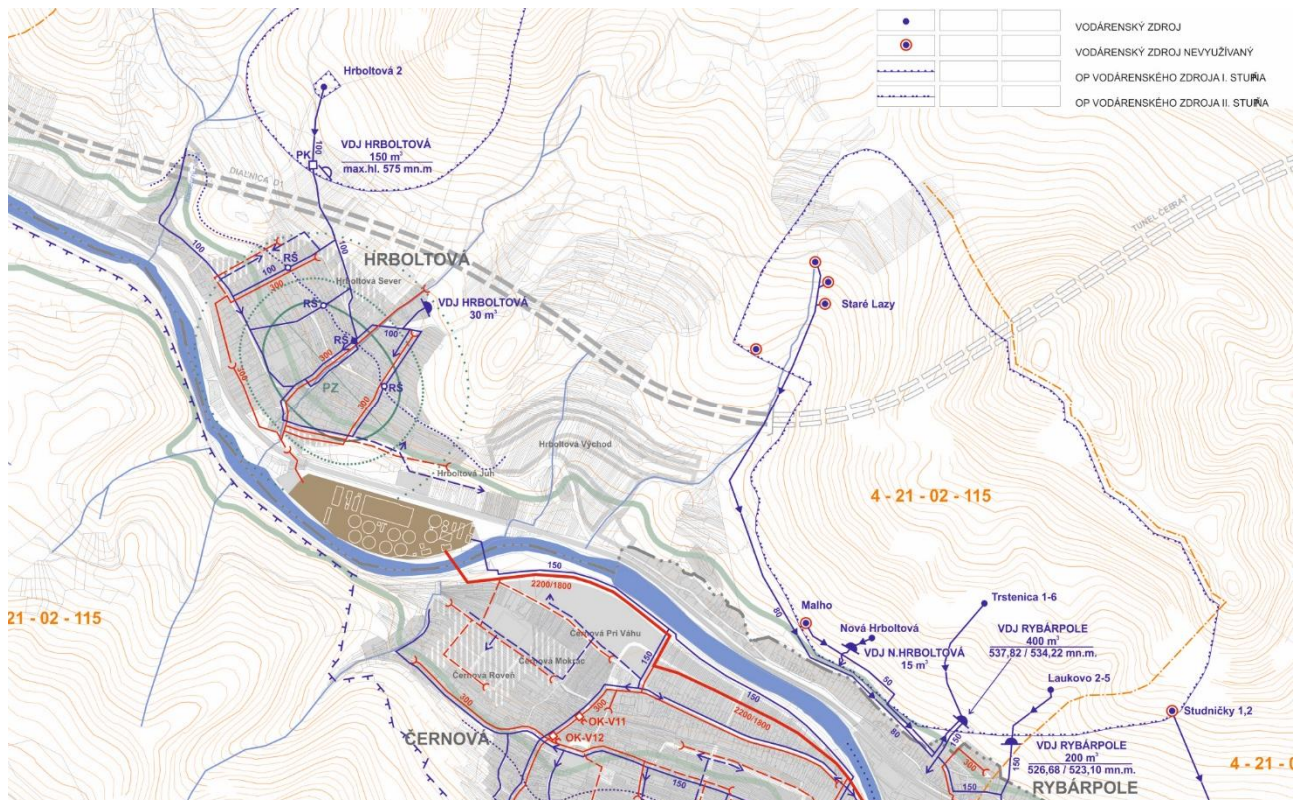
Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu (m)	Výška pažnice (m)	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
				narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-18 523,83	25,0		19.4.2016	8,00 515,83	13,50 510,33	0,0 – 12,2 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 12,2 – 25,0 m Vápence slienité, tektonicky porušené úseky sa striedajú so zdravými vápencami
NT-19 523,84	25,0		20.4.2016	7,00 516,84	11,00 512,84	0,0 – 12,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 12,0 – 25,0 m Vápence kalové jemnozrnné, miestami tektonicky porušené
NT-28	15,0		9.5.2017	7,80	8,57	0,0 – 10,5 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 10,5 – 15,0 m Ílovce s laminami tmavosivého vápenca
NT-29	11,0		10.5.2017	3,00	2,45	0,0 – 1,8 m Deluviálny íl s úlomkami 1,8 – 3,0 m Fluviálny íl piesčity 3,0 – 5,8 m Fluviálny štrk s prímiesou jemnozrnej zeminy 5,8 – 11,0 m Vápence zdravé až navetrané
NT-30 740,82	210,0		15.5.2017	-	165,94 574,88	0,0 – 1,8 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá 1,8 – 25,6 m Dolomit silno zvetraný, tektonicky podvrvený 25,6 – 210,0 m Slienité vápence až ílovce, výrazne tektonicky porušené, striedajúce sa s kompaktnými vápencami s kalcitom

Vysvetlivky : mp.t – metrov pod terénom, m n.m. – metrov nad morom (Balt po vyrovnaní)

2.3.4 Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje

Posúdenie potenciálneho vplyvu novej trasy tunela Čebrať na vodné zdroje vychádza z výsledkov interpretácie geofyzikálnych profilov, pozorovania piezometrických výšok hladín vo vrtoch, hydrologickej bilancie a simulácie prítokov podzemnej vody do tunelových rúr numerickým modelovaním.

Nová trasa tunela prechádza v km cca 2,000 až 2,825 južným okrajom ochranného pásma PHO 2 stupňa využívaného vodárenského zdroja Stará Hrboltová (zdroj 22), v km cca 3,895 - 4,075 vedie severnou hranicou spoločného ochranného pásma PHO 2. stupňa vodných zdrojov Staré Lazy (46- 50), Malho (57), Nová Hrboltová (59), Laukovo (61), Trsteniaca (62) a Studničky. Prehľadná situácia ochranných pásiem (z územného plánu mesta Ružomberok) je na obrázku 17.



Obrázok 17 Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok
 (VÝKRES RIEŠENIA VEREJNÉHO TECHNICKÉHO VYBAVENIA - VODNÉ HOSPODÁRSTVO)

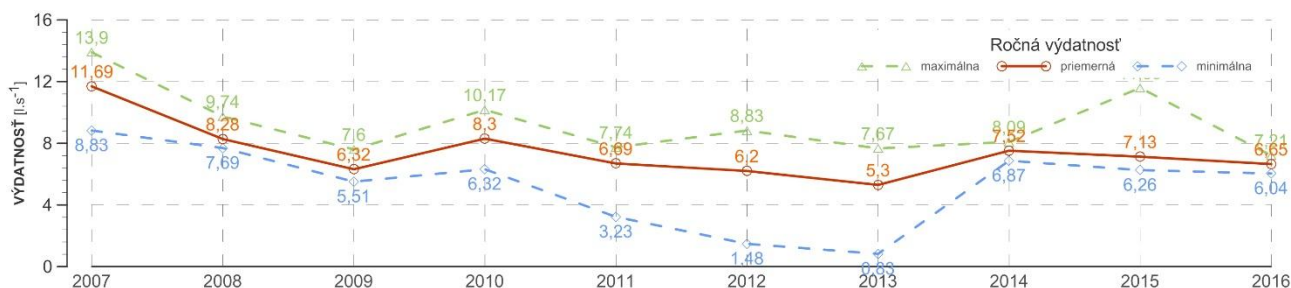
Okrem vodárenských zdrojov na hromadné zásobovanie vodou určenou na ľudskú spotrebu sú v trase tunela aj zachytené pramene ako miestne vodné zdroje. Miestny vodný zdroj zásobujúci najmen dva rodinne domy nad obcou Hrboltová v mape označenom pod číslom 31 a miestny vodný zdroj č. 67 situovaný nad južnou tunelovou rúrou v oblasti východného portálu tunela.

Podľa územno plánovacej dokumentácie mesta Ružomberok sú využívanými vodárenskými zdrojmi Stará Hrboltová (v územnoplánovacej dokumentácii označený ako Hrboltová 2), zo skupiny vodných zdrojov Čebrat je využívaný vodárenský zdroj Nová Hrboltová, Trstenica s prameňmi 1 až 6, Laukovo s prameňmi 2 až 5. **Nevyužívanými vodárenskými zdrojmi sú Staré lazy s prameňmi 1 až 10, vodárenský zdroj Malho a Studničky s prameňmi 1 a 2.**

A) Vodárenský zdroj Stará Hrboltová s prameňmi č. 1 a 2

Vodárenský zdroj Stará Hrboltová tvorí záchyt dvoch prameňov vo svahu na kontakte karbonátov Hronika a málo priepustného súvrstvia ílovcov a slieňovcov porubského súvrstvia veporika. Vodný zdroj Stará Hrboltová je situovaný len 219 m od severnej tunelovej rúry v nadmorskej výške 618,47 m n. Ide o vodárensky využívaný vodný zdroj, ktorým je obec Hrboltová zásobovaná pitnou vodou na ľudskú spotrebu.

Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok VSR a.s. sa sumárna ročná výdatnosť prameňov vodného zdroja Stará Hrboltová pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 0,83$ až $13,9 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $7,41 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 18 a tabuľka 25).



Obrázok 18 Ročná sumárna výdatnosť prameňa 1 a 2 vodárenského zdroja Hrboltová (Stará Hrboltová)

Tabuľka 25 Ročné výdatnosti prameňov 1 a 2 vodného zdroja Stará Hrboltová za roky 2007 – 2016

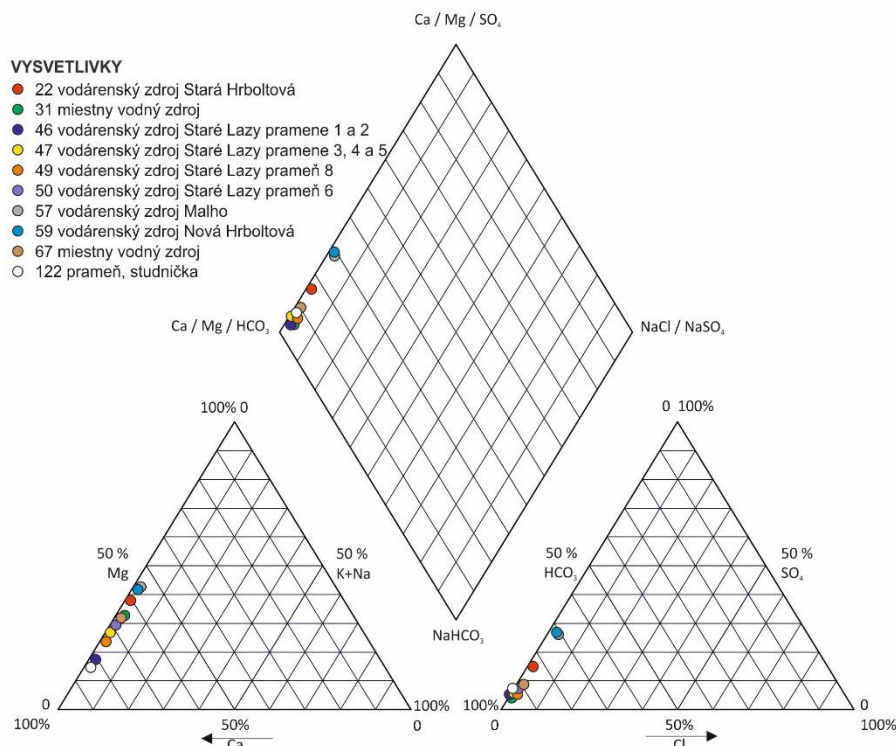
ROK	2007 [l.s ⁻¹]	2008 [l.s ⁻¹]	2009 [l.s ⁻¹]	2010 [l.s ⁻¹]	2011 [l.s ⁻¹]	2012 [l.s ⁻¹]	2013 [l.s ⁻¹]	2014 [l.s ⁻¹]	2015 [l.s ⁻¹]	2016 [l.s ⁻¹]
Min	8,83	7,69	5,51	6,32	3,23	1,48	0,83	6,87	6,26	6,04
Max	13,90	9,74	7,60	10,17	7,74	8,83	7,67	8,09	11,59	7,21
Priem	11,69	8,28	6,32	8,30	6,69	6,20	5,30	7,52	7,13	6,65

Podzemná voda patrí podľa reakcie vodypH = 8,13 k vodám slabobazickým, podľa klasifikácie Alekina (1970) podľa obsahu všetkých rozpustených látok 305 mg.l⁻¹ je stredne mineralizovaná a podľa celkovej tvrdosti 1,92 mmol.l⁻¹ je mäkká. Podľa chemického typu ide o podzemnú vodu základného výrazného Ca-Mg-HCO₃ typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, menej SO₄²⁻, (obrázok 19) medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A₂ zložka 79,97 c.z.%, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,63. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty Kc, Kd a pre sadrovec Ks. Z empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit Kc vyplýva, že **podzemná voda je presýtená voči kalcitu a je nasýtená dolomitom** (obrázok 21). Z uvedeného vyplýva, že **podľa genetickej príslušnosti ide o podzemnú vodu petrogénnu s karbonátogénnou mineralizáciou** (Gazda, 1974), kde obchod podzemnej vody je **v prostredí karbonátov, prevažne dolomitov chočského príkrovu**. Izotopovou analýzou síry σ³⁴SSO₄ vo vode prítomných síranov s analyzovanou nízkou koncentráciou 28,7 mg.l⁻¹ bolo zistené, že obsahuje izotopicky ľahkú.

Podľa výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová **vsúčasných prírodných pomeroch (bez tunelov) zo stropu tohto zlomu infiltruje sumárne 0,5848 l.s⁻¹ podzemnej vody**. Pri razení tunelových rúr môže cez tento zlom infiltrovať maximálne 4,8328 l.s⁻¹. **Tunelové rúry bez opatrení a uvažovania odporu ostenia tunela spôsobia zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 1 o maximálne 4,2480 l.s⁻¹.**

Sumárna priemerná ročná výdatnosť vodárenského zdroja je Q_R = 7,41 l.s⁻¹, vypočítané prírastok drenážnym účinkom tunela na zlome č. 1 o 4,2480 l.s⁻¹ čo **može teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %**. Upozorňujem, že ide o teoretický úbytok výdatnosti vodného zdroja, nakoľko modelové riešenie nezapočítavalo opatrenia na ochranu podzemných vôd (hydroizolácia) ani hydraulický odpor na ostení tunela.

Ovplyvnenie výdatnosti vodného zdroja predpokladáme najmä v prípade, ak podzemná voda odvodňujúca dolomity chočského príkrovu je hydraulicky spojená na zónu tektonického porušenia (modelovaný zlom č. 1). Pre overenie tohto predpokladu odporúčame overiť smer prítoku vôd do zdroja, ktorých pozícia je v blízkosti poruchovej zóny vhodnou metódou geofyzikálneho prieskumu napr. metódou spontánej polarizácie alebo metódou nabytého telesa, kde nositeľom elektrického náboja je prúdiaca voda.



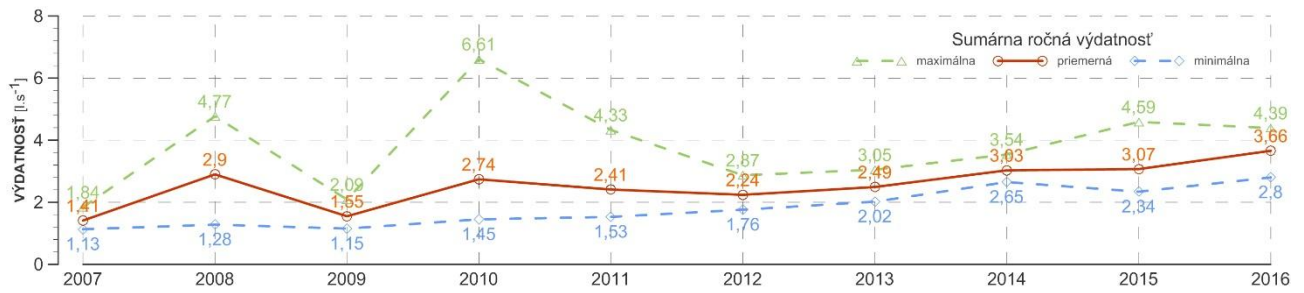
Obrázok 19 Systematizačný graf chemizmu podzemných vôd vodných zdrojov

Zároveň vzhľadom na najviac potenciálne ohrozený vodný zdroj, odporúčame pre ochranu tohto vodného zdroja aplikovať počas razenia zmierňujúce opatrenia, najmä ciele **utesňovanie sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injektáže**. Účinnosť injektáže je potrebné overovať terénymi meraniami vo vrtoch (monitoring hladín / tlakov podzemnej vody), meraniami výdatnosti vodného zdroja a prítokov na povrchových tokoch. Okrem toho navrhujeme v rizikovej oblasti zlomov realizovať horizontálne predvrtvy zo steny severnej tunelovej rúry do strany, ktorý by bola vrtom zachytená zlomová porucha a vrt umožňoval merať tlak podzemnej vody v zlomovej štruktúre (vybaviť ústie vrtu zhlavím s tlakovým meračom). Významnejšie zachytené prítoky podzemnej vody je potrebné sledovať aj z hľadiska chemizmu pre identifikovanie ich genézy.

B) Vodárenský zdroj Staré Lazy pramene 1 až 10

Vodárenský zdroj Staré Lazy predstavuje záchyty 10. Pramene sú situované v nadmorskej výške 646,74 (50) až 702,08 m n.m. (46) na ľavostrannom svahu údolia bezmenného povrchového toku. Výnimkou je záchyt prameňa č. 8, ktorého záchyt je na päte protíahlého svahu. Vodárenské objekty zachytených prameňov č.1 a 2 na mape zobrazujeme pod č. 46, prameňov 3, 4, a 5 (47a), prameňa 6 (48) a prameňa 8 (49), ležia vo výverovej oblasti oblasti bezmenného povrchového toku pretekajúceho hlbokým údolím zarezaným. Pramene 7, 9 a 10 sme v rámci mapovacích prác v teréne neidentifikovali ani za účasti pracovníka Vodárenskej spoločnosti Ružomberok, a.s.

Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok VSR a.s. sa sumárna ročná výdatnosť prameňov 1 až 10 vodného zdroja Staré Lazy pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 1,13$ až $6,61 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $2,55 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 20 a tabuľka 26).

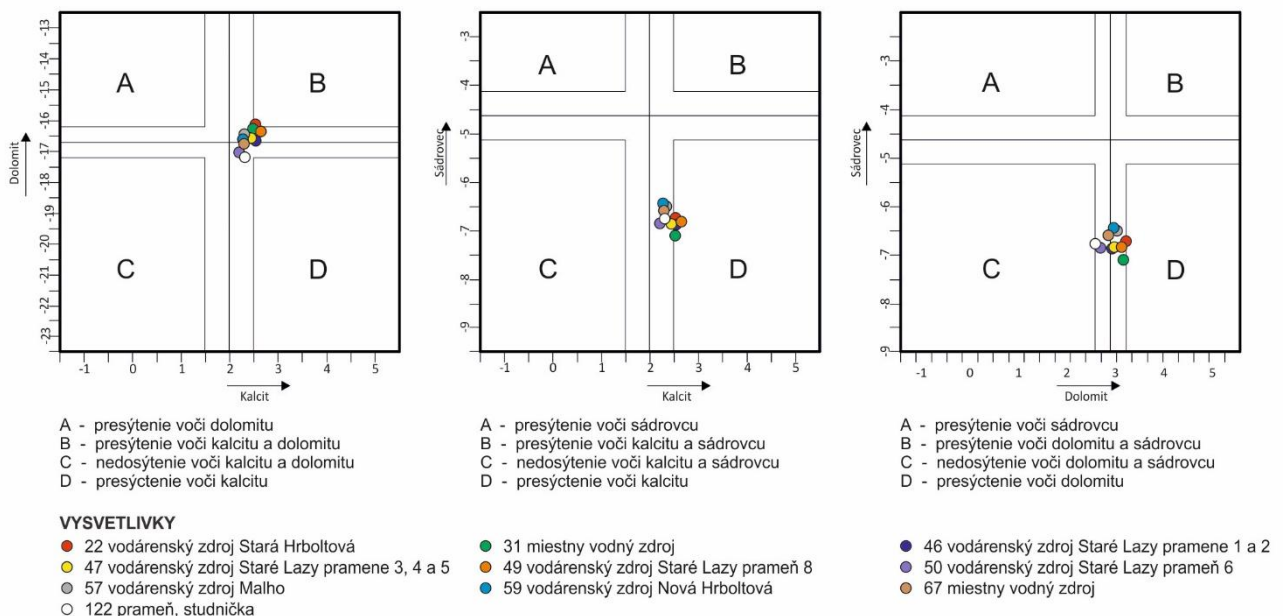


Obrázok 20 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy

Tabuľka 26 Ročné výdatnosti prameňov 1-10 vodného zdroja Staré Lazy za roky 2007 – 2016

	46 pr. 1 a 2 [l.s ⁻¹]	47 pr. 3, 4, a 5 [l.s ⁻¹]	48 prameň 6 [l.s ⁻¹]	49. prameň 8 [l.s ⁻¹]	prameň, 7, 9 a 10 [l.s ⁻¹]	Σ Staré Lazy [l.s ⁻¹]
Min	0,20	0,24	0,00	0,20	0,38	1,13
Max	3,00	1,83	0,10	0,91	1,45	6,61
Priem	0,63	0,69	0,07	0,41	0,76	2,55

Podzemná voda prameňov č.46, č.47, č.48 a č.49 patrí podľa reakcie vodypH = 7,60-7,84 k vodám slabo alkalickým, podľa klasifikácie Alekina (1970) podľa obsahu všetkých rozpustených látok od 420 -454 mg.l⁻¹ je stredne mineralizovaná a podľa celkovej tvrdosti 2,50-2,78 mmo.l⁻¹ je mäkká. Podľa chemického typu ide o podzemnú vodu základného výrazného Ca-HCO₃ typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, menej SO₄²⁻, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie zložka A₂= 90,05-94,62 c.z%, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,22-0,37. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty Kc, Kd. Z empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit Kc vyplýva, že podzemná voda zo zdrojov č. 46, č.47, č.48 je nasýtená kalcitom a v rovnováhe až mierne nasýtená dolomitom (Obrázok 21).



Obrázok 21 Graf nasýtenia vody vodárenských a miestnych vodných zdrojov

Podzemná voda zo zdroja č. 49 je presýtená voči kalcitu a je mierne nasýtená dolomitom (obrázok 21). Izotopovou analýzou síry o³⁴SSO₄ vo vode prítomných síranov v podzemných vodách záchytoch prameňov v zdrojoch č. 46 a č. 49 bolo zistené, že na základe analyzovaných nízkych koncentrácií síranov 12,7 a 15,1 mg.l⁻¹ a záporných hodnôt

$\sigma^{34}\text{SSO}_4$ sa podzemná voda formovala aj prechodom infiltrujúcej zrážkovej vody cez pôdny pokryv. Z uvedeného vyplýva, že **podľa genetickej príslušnosti ide o podzemnú vodu petrogénnu s karbonátogénnou mineralizáciou** (Gazda, 1974), kde obeh podzemnej vody je v prostredí karbonátov chočského príkrovu hronika.

Podľa výsledkov numerického modelovania od výverovej oblasti, kde sú situované Vodárenske zdroje Staré Lazy, v **súčasných prírodných pomeroch (bez tunelov) zo stropu tohto zlomu infiltruje sumárne $0,3759 \text{ l.s}^{-1}$** . Pri razení tunelových rúr môže cez tento zlom infiltrovať maximálne $6,7800 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a bez uvažovania hydraulického odporu ostenia spôsobia zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 5 o maximálne $6,4040 \text{ l.s}^{-1}$** . Predpokladáme, že primárne bude zlom „sýtený“ vodou z bezmenného potoka, v ktorého údolí sa vodné zdroje nachádzajú.

K ovplyvneniu prameňov Vodného zdroja Staré Lazy nedôjde v prípade, ak pramene vystupujú na kontakte karbonátov hronika a súvrstvi málo priepustných mezozoických ílovcov a slieňovcov (mraznické súvrstvie) veporika, preto odporúčame overiť geofyzikálnymi meraniami rozhranie hronika a veporika, keďže rozhranie je zakryté suťovým materiálom. Ovplyvnenie vodného zdroja je možné iba v prípade, ak podzemná voda odvodňujúca karbonáty chočského príkrovu v prameňoch vodárenského zdroja je hydraulicky spojená na zónu tektonického porušenia (modelovaný zlom č. 15). Podľa pozície záchytovej výverovej prameňov 1 a 2 (na mape dokumentácie 46) a prameňa 8 (na mape dokumentácie 49) v blízkosti tektonickej zóny zlomu č. 5 môžu byť tieto teoreticky čiastočne ovplyvnené. Ostatné pramene sú 30 až 50 m výškových metrov nad údolím v ľavobrežnom svahu údolia bezmenného potoka. Tieto pramene nebudú viazané na zónu tektonického porušenia preto nepredpokladáme ovplyvnenie ich kvantity. **Odporúčame overiť smer prítoku vôd do zdrojov**, ktorých pozícia je v blízkosti poruchovej zóny vhodnou metódou geofyzikálneho prieskumu napr. metódou spontánej polarizácie alebo metódou nabytého telesa, kde nositeľom elektrického náboja je prúdiaca voda.

Hladina podzemnej vody overená vrtom NT-30 je zaklesnutá hlboko v masíve v hĺbke až 165,94 m t.j. na kóte 574,88 m n.m. Hlboko zaklesnutú hladinu podzemnej vody potvrdzujú výsledky meraní pórového tlaku druhej úrovne vo vrte NT-16 v hĺbke prepočítanej k zvislici vrtu 188,45 m t.j. na piezometrickej úrovni 579,46 m n.m. Relatívne vyššie je dokumentovaná hladina podzemnej vody vrtom NT-15 na kóte 619,74 m n.m., napriek tomu je pozícia prameňov v nadmorskej výške od 646,78 po 720 m n.m. podstatne vyššie, ako sú dokumentované ustálené hladiny (piezometrické výšky) v najbližších pozorovacích vrtoch.

V porovnaní chemického zloženia podzemných vôd z prameňov vodárenského zdroja Staré Lazy s podzemnými vodami odobratými z vrtu NT-15.

Podľa klasifikácie Alekina (1970) patrí **podzemná voda odobratá z vrtu NT-13** podľa obsahu všetkých rozpustených látok 356 mg.l^{-1} k vodám stredne mineralizovaným a **podzemná voda odobratá z vrtu NT-15** patrí podľa obsahu všetkých rozpustených látok 669 mg.l^{-1} k vodám so zvýšenou mineralizáciou. V podzemných vodách bola zistená vysoko alkalická reakcia vody - pH 9,69 a 12,01, v dôsledku čoho vo vodách nie sú prítomné HCO_3^- ióny, ale sú prítomné CO_3^- ióny a nesie znaky vplyvu redukčných procesov prítomného iónu NH_4^+ . Obeh podzemnej vody vo vrte NT-13 a NT-15 je podľa geologickej dokumentácie v prostredí tektonicky porušených mezozoických ílovcov, siltovcov, pieskovcov, vápencov križnanského príkrovu veporika. Podľa chemickej klasifikácie Gazdu (1972) je podzemná voda z NT-13 základného nevýrazného Na-Mg- SO_4 typu a podzemná voda z NT-15 je prechodného Na-Mg- HCO_3 - SO_4 typu. V iónovom zložení vôd dominujú najmä ióny Na^+ , K^+ a SO_4^{2-} . Z Palmerových indexov má zastúpenie najmä S1(SO_4) a A1 zložka, menej A2 zložka. **Podľa genetickej klasifikácie** (Gazda, 1974) **patria k vodám prechodného silikátovo-sulfidogénnemu podtypu**. Z mineralizačných procesov sa tak vo vodách s rôznou intenzitou uplatnili najmä

proces hydrolytického rozkladu silikátových minerálov a iónovými procesy, ktoré sú typické pre nehomogénne prostredie zastúpené karbonátickými aj silikátovými minerálmi. Na vzorke vody z vrtu NT-13 s analyzovaným obsahom síranov 111 mg.l^{-1} a izotopovou analýzou síry $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ vo vode overených síranov bolo zistené, že obe vzorky vôd nesú znaky formovania sa ich chemického zloženia v styku so sadrovcami (anhydritom), a preto obsahujú aj izotopicky ťažkú síru. Jej pôvod je pravdepodobnejší prítomnosťou izolovaných prostredí s redukčnými podmienkami, kde z prítomnej morskej vody s hodnotami okolo 20% vznikol v dôsledku redukcie v uzavretom priestore ťažký zostatkový síran a pyrit s ľahkou sírou. mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M = 0,24$, podobne vo vzorke NT-15 bol analyzovaný obsah síranov 106 mg.l^{-1} a tvorí na celkovej mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M = 0,09$, podzemná voda oboch zdrojov je voči sadrovcu nedosýtená.

Vzhľadom na reálne namerané úrovne hladín podzemných vôd vo vrtoch v trase tunela a z pozície výverov vodných zdrojov, ako aj z rozdielnych podmienok tvorby chemického zloženia podzemných vôd, predpokladáme odelené podmienky obehu podzemných vôd v prípade vodných zdrojov a v prípade okolia tunelovej rúry. Významné ovplyvnenie vodných zdrojov Staré Lazy preto v súvislosti s razením prieskumného nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.

Napriek vyššie uvedenému konštatovaniu pre zvýšenie bezpečnosti odporúčame aj v tomto úseku tunela realizovať cielene utesňovanie významnejších sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injektáže.

C) Skupina vodárenských zdrojov Malho, Laukovo, Trstenica, Nová Hrboltová, Studničky

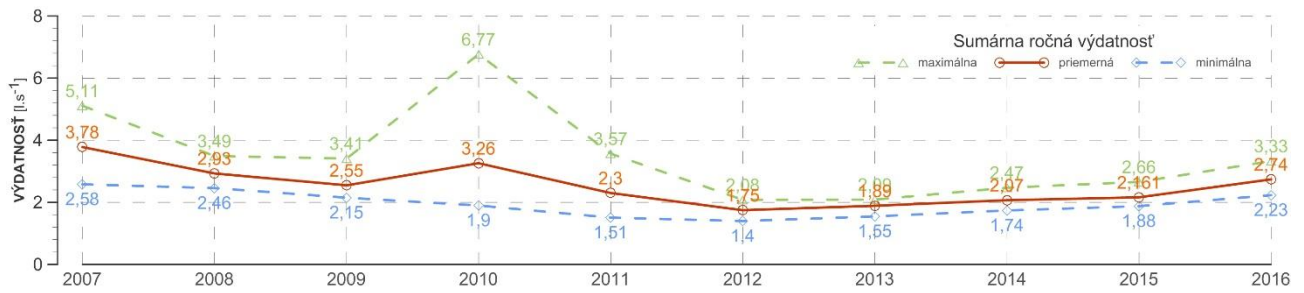
Skupina Vodárenských zdrojov Malho, Laukovo, Trstenica, Nová Hrboltová, Studničky je situované juhu hydrogeologickej štruktúry Čebrať v nadmorskej výške 552 (59) až 670 m n. m. (62). Záchyty prameňov sú vo svahu na kontakte karbonátov Hronika a málo priepustného súvrstvia ílovcov a slieňovcov mraznického súvrstvia veporika. Podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok využívané sú vodárenské zdroje Nová Hrboltová, Trstenica s prameňmi 1 až 6, Laukovo s prameňmi 2 až 5. Nevyužívanými vodárenskými zdrojmi sú Staré lazy s prameňmi 1 až 10, vodárenský zdroj Malho a Studničky s prameňmi 1 a 2.

Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok VSR a.s. sa priemerná výdatnosť prameňa vodného zdroja Malho č. 57 sa pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 0,47$ až $2,40 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $0,94 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 22).



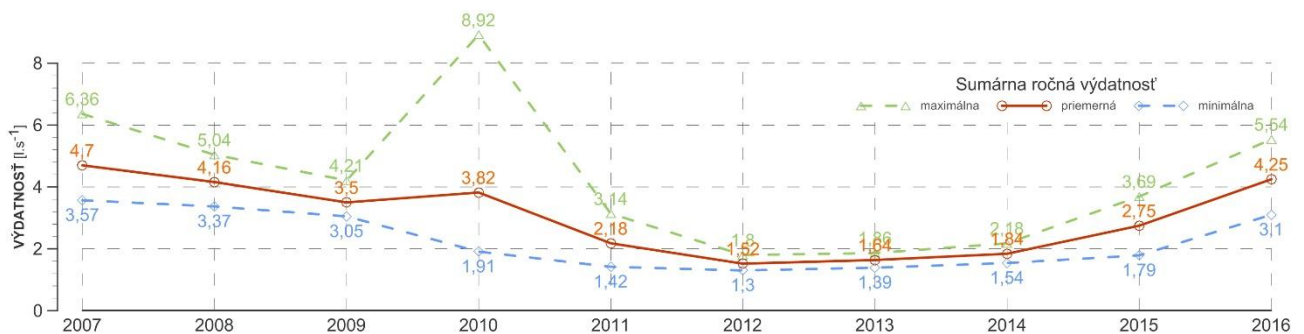
Obrázok 22 Ročná výdatnosť vodárenského zdroja Malho

Sumárna priemerná výdatnosť prameňov Laukovo 2 až 5 sa pohybovala v rokoch 2007-2016 v rozmedzí $Q = 1,40$ až $6,77 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $2,54 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 23).



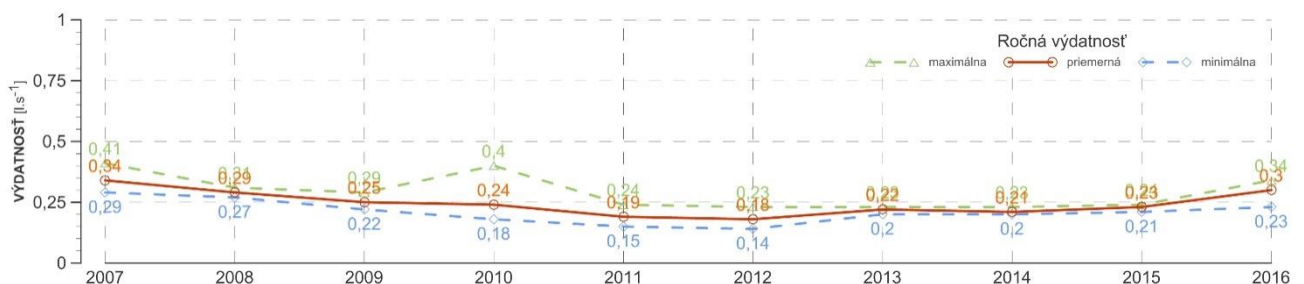
Obrázok 23 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 2 až 5 vodárenského zdroja Laukovo

Sumárna priemerná výdatnosť prameňov Trstenica, pramene 1 až 6, sa pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 1,30$ až $8,92 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $3,04 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 24).



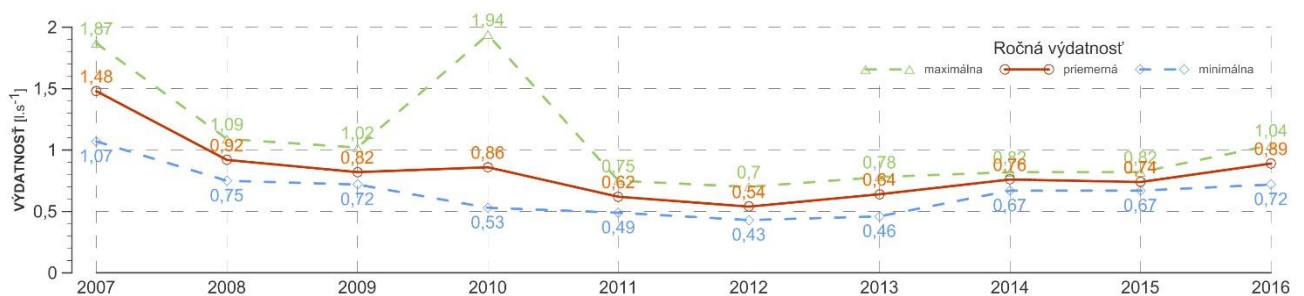
Obrázok 24 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 6 vodárenského zdroja Trstenica

Priemerná výdatnosť prameňa č. 2 vodného zdroja Studničky sa pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 0,14$ až $0,41 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $0,25 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 25).



Obrázok 25 Ročná výdatnosť prameňa 2 vodárenského zdroja Studničky

Priemerná výdatnosť prameňa vodného zdroja Nová Hrboltová sa pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 0,43$ až $1,94 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $0,83 \text{ l.s}^{-1}$ (obrázok 26).



Obrázok 26 Ročná výdatnosť vodárenského zdroja Nová Hrboltová

Tabuľka 27 Výdatnosti vodárenských zdrojov za obdobie 11/2012 – 04/2014 podľa údajov vodárenských

spoločností (tabuľková časť Príloha 12).

	VZ Malho	VZ Laukovo	VZ Trstenica	VZ Studničky	VZ Nová Hrboltová
Min	0,47	1,40	1,30	0,14	0,43
Max	2,40	6,77	8,92	0,41	1,94
Priem	0,94	2,54	3,04	0,25	0,83

Podzemná voda v zodárenského zdroja Malho patrí podľa reakcie vody $pH = 8,02$ k vodám slabo alkalickým, podľa klasifikácie Alekina (1970) podľa obsahu všetkých rozpustených látok 312 mg.l^{-1} je stredne mineralizovaná a podľa celkovej tvrdosti $2,02 \text{ mmo.l}^{-1}$ je mäkká. Podľa chemického typu ide o podzemnú vodu základného výrazného Ca-Mg-HCO₃ typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca₂⁺, Mg₂⁺, HCO₃⁻ a SO₄²⁻, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A₂ zložka 67,40 c.z%, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,77. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty Kc, Kd. Z empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit Kc vyplýva, že podzemná voda je nasýtená voči kalcitu a mierne nasýtená dolomitom (obrázok 21). Z uvedeného vyplýva, že **podľa genetickej príslušnosti ide o podzemnú vodu petrogénnu s karbonátogénnou mineralizáciou (Gazda, 1974), kde obeh podzemnej vody je v prostredí karbonátov chočského príkrovu hronika najmä dolomitov.**

V zhladom na vzdialenosť vodárenských zdrojov vodných zdrojov od osi južnej tunelovej rúry je 1200 až 1320 m a obeh podzemnej vody viazaný na karbonáty chočského príkrovu ovplyvnenie kvantity hodnotenej skupiny vodných zdrojov nepredpokladáme.

2.4 Kategorizácia a využiteľnosť zemín a hornín

2.4.1 Kategorizácia zemín a hornín

Jednotlivé vyčlenené typy pokryvných kvartérnych zemín a podložných mezozoických hornín s rôznym stupňom zvetrania a porušenia, vyskytujúcich sa v novej trase diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, radíme podľa STN 73 3050 do nasledovných tried ťažiteľnosti:

- antropogénne navážky (koľajové kamenivo, násypy hrádzí a ciest) tr.2 – 4
- náplavové sily a íly piesčité, terasové polygenetické íly a sily piesčité tr.3 – 4
- náplavové a terasové polygenetické íly, sily a piesky tr.2 – 3
- deluviálne a proluviálne sute kamenité a ílovito–kamenité tr.4
- deluviálne a proluviálne sute balvanité tr.5
- deluviálne a proluviálne sute ílovité tr.3 – 4
- štrky korytovej fácie, terasové štrky tr.5
- mezozoické siltovce a vápence zvetrané a tektonicky porušené tr.4 – 5
- mezozoické siltovce a vápence zdravé a navetrané tr.5 – 7
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zvetrané a tektonicky porušené tr.5
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zdravé a navetrané tr.5 – 6

2.4.2 Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín

V návaznosti na tabuľky 15 a 16, ktoré uvádzajú prehľad geotechnických parametrov kvartérnych zemín a mezozoických hornín, vyskytujúcich sa v trase navrhovaného variantu V1 diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, uvádzame v nasledujúcej tabuľke 28 prehľad vlastností kvartérnych zemín z hľadiska ich využiteľnosti pre budovanie násypov a úpravy podlažia. Materiály boli zhodnotené podľa najpoužívanejších klasifikácií a technických noriem, pričom tabuľka má len odporúčací charakter.

Pri orientačnom výpočte objemu rúbaniny, ktorá vznikne pri realizácii tunela

Čebrať pomocou NRTM, sme uplatnili vstupné údaje profilu výrubu dvojrúrovňového diaľničného tunela s plochou výrubu $F = 83,5 \text{ m}^2$ bez spodnej klenby a $F = 101 \text{ m}^2$ so spodnou klenbou. Celková dĺžka razenej časti tunela je 3449 m. Pri predpokladanej aplikácii tunela so spodnou klenbou na úseku cca 20% z celkovej dĺžky tunela (cca 690 m) bude celkový vyťažený objem hornín z týchto úsekov $139\,380 \text{ m}^3$. Z dvojrúrovňového tunela bez spodnej klenby predpokladáme vyťažiť $460\,753 \text{ m}^3$ horniny. Spolu celkový vyťažený objem rúbaniny z tunela razeného NRTM bude $600\,133 \text{ m}^3$. V tejto sume nie sú zahrnuté objemy hornín vyťažených z tunelových prepojk a z núdzových a otáčacích zálivov – tieto informácie neboli v čase spracovania záverečnej správy k dispozícii.

Za predpokladu, že hodnota súčiniteľa nakyprenia bude $k = 1,3$, bude celkový vyťažený objem hornín z diaľničného tunela Čebrať v prípade razenia pomocou NRTM predstavovať $780\,173 \text{ m}^3$. Dominantným horninovým typom vyťaženým z tunela Čebrať budú budú ílovce a siltovce v jeho západnej časti (55%) a vápence až slieňovce vo východnej časti (45%). Ílovce sú horniny citlivé na zmeny vlhkosti a napätosti, pričom horniny s prevahou ílovcov možno charakterizovať ako kamennú sypaninu z mäkkých skalných hornín ($\sigma_c = 20 - 50 \text{ MPa}$). Tektonicky podrvené a zbridičnatené mezozoické ílovce možno považovať za rúbaniny charakteru zeminy s extrémne nízkou pevnosťou (R5 – R6) a charakteru štrku až ílu (G5/GC, F2/CG, F6/CI). Tieto materiály sú podmiennečne vhodné na zabudovanie do násypových telies, vhodnejšie však vo forme sendvičovej štruktúry alebo do jadier násypov tak, aby boli ochránené od klimatických vplyvov.

Druhým najrozšírenejším horninovým typom budú slienité kalové vápence, ktoré po vyťažení z tunela budú predstavovať kamennú sypaninu z tvrdých skalných hornín ($\sigma_c > 50 \text{ MPa}$). Nakoľko ide o vysokopevné horniny, pri použití razenia pomocou NRTM bude vyťažený materiál mať rozličnú blokovitosť, pričom z takejto rúbaniny možno vyseparovať aj materiál, ktorý možno použiť ako kvalitný stavebný kameň (bloky hornín). Sypanina z vápencových hornín predstavuje materiál veľmi vhodný na zabudovanie do násypových telies, ale aj ako výplň stabilizačných a drenážnych rebier či do gabiónov, prípadne na výmenu nevhodného podlažia.

Celkove možno konštatovať, že v zmysle STN 73 6133 rúbanina (hlavne vápence), po úprave drvením do požadovanej granulometrie, bude prevažne vhodným materiálom pre použitie do násypov, zdravé ílovce a siltovce len do jadra násypov. Po nevyhnutnom vykonaní kontrolných skúšok materiál rúbaniny nájde uplatnenie aj pri návrhu konštrukčných vrstiev vozoviek.

Tabuľka 28 Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti

CHARAKTERISTIKA		DELUVIÁLNE, POLYGENETICKÉ A FLUVIÁLNE SEDIMENTY A ELÚVIUM PALEOGÉNNYCH HORNÍN						
		ÍLY A SILTY			PIESKY	ŠTRKY		
Zatriedenie STN 72 1001	symbol	CG, MG	CS, MS	CL, CI, CH, MI, MH	SC, SM, SP, S-F	G-F	GW, GP, GM, GC	
	trieda	F2, F1	F4, F3	F6, F8, F5	S5, S4, S3, S2	G3	G1, G2, G4, G5	
STN 73 6133	Zatriedenie	porad. číslo	2 – 1	3 – 5	9 – 11	18 – 21	24	22, 23, 25, 26
	Vhodnosť do násypov		podmiennečne vhodné	vhodné	podmiennečne vhodné až nevhodné	vhodné	vhodné	vhodné
	Vhodnosť do podlažia		podmiennečne vhodné	podmiennečne vhodné až nevhodné	nevhodné	podmiennečne vhodné až vhodné	vhodné	vhodné až podmienneč ne vhodné

Namŕzavosť		namŕzavé	nebezpečne namŕzavé	nebezpečne namŕzavé až vysoko namŕzavé	namŕzavé	mierne namŕzavé až nenamŕzavé	nenamŕzavé až mierne namŕzavé
Zhutnenie	ρ_{dmax} (g.cm ⁻³)	(1,55 – 2,00)	(1,55-2,00)	(1,38 – 1,95)	(1,70 – 2,10)	2,09-2,22	1,99-2,15
Proctor standart	W opt (%)	(10 – 35)	(12 – 35)	(10 – 35)	(8 – 20)	6,7-9,8	8,7-11,5
CBR pri w _{opt}	CBR (%)	(5 – 18)	(2 – 30)	(2 – 20)	(4 – 70)	2,0-12,0	3,0-6,0
CBR pri S _r = 95%	CBR ₉₅ (%)	(3 – 10)	(0 – 20)	(0 – 8)	(2 – 25)	(6 – 60)	(3 – 40)
Skupina zhutniteľnosti		2	2 – 3	3	2 – 3	2	2 – 3
Požadovaná miera zhutnenia telies násypov pozemných komunikácií	I _D	–	–	–	0,70 0,80	0,70 0,80	0,70 0,80
	D (% PS)	92 95	92 95	92 95	–	–	–
	E _{def 2} (MPa)	≥20 ≥30	≥20 ≥30	≥20 ≥30	≥45 ≥100	≥45 ≥100	≥45 ≥100
Požadovaná miera zhutnenia v zemnom telese železničného spodku	I _D	–	–	–	0,80 – 0,90	0,75 – 0,85	0,70 – 0,80
	D (% PS)	100	100	102	–	–	–

Poznámka: hodnoty uvedené v zátvorke sú prevzaté z prílohy C normy STN 73 6133

Menej hodnotná rúbanina, predovšetkým silne zvetrané a tektonicky porušené ílovce a siltovce charakteru zemín, bude využiteľná pre rôzne terénne úpravy technickej rekultivácie vyťažených zemníkov, lomov a zaplnenie rôznych terénnych nerovností a depresí, resp. ako inertný materiál skládok. Je potrebné upozorniť, že mezozoické ílovce sú absolútne nevhodné na použitie do gabiónových konštrukcií ani ako materiál na budovanie lícovej strany násypov.

2.5 Zoznam súradníc prieskumných diel

Prieskumné diela boli v teréne vytyčené pomocou GPS prístroja TRIMBLE s dostačujúcou presnosťou. V nasledujúcej tabuľke uvádzame prehľad zameraných súradníc. Zameranie prieskumných diel vykonal Ing. Ondrej Baránek zo spoločnosti GEOSMART s.r.o. Meračská správa je súčasťou Záverečnej správy ako samostatná príloha 13. V nasledujúcej tabuľke 29 uvádzame iba zoznam súradníc prieskumných diel.

Tabuľka 29 Zoznam súradníc prieskumných diel

Označenie	X	Y	Z (terén)	Poznámka
NT-01	-407802,23	-1187481,58	536,70	pažnica 0,80
NT-02	-407791,57	-1187484,60	537,30	pažnica 0,85
NT-03	-407577,51	-1187511,97	532,53	pažnica 0,94
NT-04	-407518,43	-1187562,65	538,30	pažnica 0,74
NT-06	-407528,64	-1187595,58	535,55	pažnica 0,74
NT-07	-407490,36	-1187601,19	540,92	pažnica 0,74
NT-08	-407440,22	-1187579,16	547,72	pažnica 0,74
NT-09	-407509,10	-1187524,00	544,14	pažnica 0,74
NT-10	-407369,82	-1187595,90	557,62	
NT-11	-407306,42	-1187599,40	576,77	pažnica 0,74
NT-12	-407007,42	-1187650,85	639,84	

NT-13	-406646,52	-1187752,02	655,87	pažnica 0,74
NT-14	-406125,22	-1187957,67	682,34	
NT-15	-405746,54	-1188030,50	749,88	pažnica 0,74
NT-16	-405417,84	-1188130,97	767,32	
NT-17	-405168,49	-1188100,29	796,93	
NT-18	-407612,85	-1187575,79	523,83	pažnica 0,67
NT-19	-407615,76	-1187578,50	523,84	pažnica 0,74
NT-28				pažnica 0,74
NT-29				pažnica 0,74
NT-30				pažnica 0,74
M-203-01	407966,00	1187457,51	511,99	
M-203-02	407956,06	1187452,26	512,29	
M-203-03	407935,83	1187456,50	508,44	
M-203-04	407898,78	1187471,60	511,29	
M-203-05	407881,31	1187476,39	517,69	
M-203-06	407886,69	1187493,31	515,82	
M-204-03	407711,94	1187526,64	506,36	
M-204-04	407719,88	1187541,20	504,11	
M-204-05	407677,26	1187551,94	512,70	
M-204-06	407673,83	1187531,86	513,41	
M-204-07	407636,84	1187534,80	520,40	
M-204-08	407644,45	1187561,16	518,53	
230-01	408330,86	1187163,16	518,21	pažnica 0,87
230-02	408401,59	1187218,39	491,72	pažnica 0,79
231-01	408118,50	1187315,20	513,76	
231-02	408182,90	1187390,94	497,03	pažnica 0,71
231-03	408165,18	1187398,90	496,42	pažnica 0,64
DPS-203-01	-407983,11	-1187489,45	501,94	
DPS-203-02	-407941,99	-1187475,67	502,61	
DPS-203-03	-407912,16	-1187485,77	508,00	
DPS-204-01	-407724,33	-1187506,86	525,49	
DPS-204-02	-407594,59	-1187538,21	525,49	
DPS-204-03	-407599,52	-1187565,91	525,08	
DPS-JTR-01	-407510,94	-1187583,49	538,34	
DPS-STR-01	-407527,27	-1187547,04	539,46	
DPS-JTR-02	-407470,65	-1187580,59	543,62	
DPS-STR-02	-407470,56	-1187550,82	546,95	
DPS-STRN-01	-407632,58	-1187493,86	524,04	
DPS-STRN-02	-407571,52	-1187461,15	535,32	
DPS-STRN-03	-407530,90	-1187507,03	541,22	
DPS-STRN-04	-407454,70	-1187521,52	551,94	
DPS-230-03	-408306,18	-1187278,36	499,89	
DPS-231-01	-408110,29	-1187305,82	515,79	
DPS-231-02A	-408170,58	-1187402,60	493,83	
DPS-231-02	-408172,52	-1187405,81	493,71	

DPS-230-02	-408436,15	-1187254,33	485,68	
DPS-230-01	-408372,26	-1187193,96	498,96	

3 ZÁVER

Sumarizácia výsledkov a odporúčaní

Predkladaná záverečná správa z podrobného inžinierskogeologického prieskumu sumarizuje výsledky prieskumných terénnych i laboratórnych prác v trase nového variantu diaľnice D1 v úseku Hubová - Ivachnová a to konkrétne v jeho alternatíve V1. Cieľom prieskumných prác bolo podrobné overenie inžinierskogeologických, hydrogeologických a geotechnických pomerov v trase predĺženého tunela a príľahlej zmenenej trasy a poskytnúť relevantné podklady pre EIA a pre optimalizáciu umiestnenia portálu tunela.

Metodika prác a všeobecné údaje o prírodných podmienkach sú prehľadne spracované v úvodných kapitolách predkladanej záverečnej správy (všeobecná časť). Vlastné spracovanie výsledkov prieskumu je náplňou podrobnej časti predkladanej záverečnej správy, kde v kapitole 2.1 sú uvedené hlavné charakteristické typy zemín a hornín spolu s ich laboratórne a terénne zistenými fyzikálno–opisnými i pevnostno–deformačnými vlastnosťami. Pri inžinierskogeologickej, geotechnickej a hydrogeologickej charakteristike jednotlivých kvartérnych zemín a podložných hornín boli v plnej miere zohľadnené a prevzaté výsledky z predchádzajúcich prieskumov v danej oblasti, prípadne lokalít s obdobnou geologickou stavbou. V kapitole 2.2 sú prehľadne charakterizované geotechnické pomery v novej trase diaľnice a to v jej povrchovej časti, portálovej oblasti i v trase razeného tunela. V kapitole 2.3 uvádzame prehľad hydrogeologických pomerov na skúmanom území.

3.1 Trasa variantu V1 vedená na povrchu

V **povrchovom úseku diaľnice** je geologická stavba zložitá. Trasa vedie po ploche terasového stupňa, budovaného najmä zeminami fluvialne (terasové štrky a ich polygenetický pokryv) a deluviálnej (svahové sute) genézy. V ich podloží sa nachádzajú čiastočne skrasovatené vápence a ílovce. Územie možno považovať za stabilné, bez vplyvov podzemnej vody. Prieskumné práce boli zamerané najmä na zistenie stability svahov a možnosti zakladania mostných objektov.

Medzi hlavné rizikové fenomény, ktoré sa vyskytujú v trase diaľnice mimo tunela a oportálovej oblasti, patria zosuvy a erózia. Svahy príľahlé k povrchovej časti diaľnice v skúmanom úseku hodnotíme ako stabilné, bez náznakov aktivity. Erózia je viazaná najmä na miesta vodných tokov a miesta s odstráneným pôdnym krytom (lesné cesty). Medzi ďalšie rizikové fenomény patria degradácia geotechnických parametrov hornín pri styku s vodou (rozbredanie a zvetrávanie hlavne ílovcov) a heterogenita geotechnických vlastností zemín a hornín, ktoré sa prejavujú najmä v prípade ílovcových hornín a tektonicky porušených vápencových hornín a pri niektorých typoch kvartérnych zemín (proluviálny komplex, antropogénny komplex).

Mostné objekty je možné **zväčša zakladať hĺbkovo** na veľkopriemerových pilótach votknutých do predkvartérneho podložia alebo (vzhľadom na veľké hrúbky kvartéru) ako plávajúcích pilótach, v kvartérnom komplexe. Upozorňujeme, že v deluviálnych sutiach, ktoré prekryli terasové sedimenty Váhu sa vyskytujú balvany až bloky karbonatických hornín, ktoré boli zvrátené z vyšších partií svahov, ktoré budú sťažovať realizáciu veľkopriemerových pilót prípadne baranenie štetovnic.

3.2 Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V1

V **portálovom zárezei** v príľahlom úvodnom úseku tunela sú geologická stavba i geotechnické pomery komplikované. Na geologickej stavbe sa podieľajú prevažne zeminy deluviálnej a proluviálnej genézy, ktoré sú v súčasnosti zahrnuté do zosuvného delúvia. Zosuvné delúvium považujeme v súčasnosti za stabilizované. V podloží kvartéru sa nachádzajú mezozoické horninové komplexy, značne tektonicky porušené a zvetrané. Prieskumné práce v týchto úsekoch boli zamerané najmä na predbežné zhodnotenie možnosti zakladania portálových objektov, budovanie zárezov a samotného razeného tunela Čebrať.

Medzi hlavné rizikové fenomény, ktoré sa vyskytujú v skúmanej oblasti patria zosuvy a blokové deformácie, rozvoj erózie, tektonické pohyby a zemetrasenia, ako aj zvetrávanie. Svahy horstiev, ktoré lemujú aluviálnu nivu rieky Váh, sú v dolnej časti (tj. v miestach, kde bude situovaný nový západný portál tunela Čebrať) budované prevažne ílovcovými horninami. Vďaka špecifickej geologickej stavbe, morfológickému vývoju územia ako aj vplyvom klimatických pomerov je územie extrémne náchylné na vznik svahových pohybov, najmä v prípade nevhodného technického zásahu do svahu. Počas prieskumných prác v priestore západného portálu tunela boli identifikované **potenciálne a stabilizované zosuvy**.

Medzi ďalšie rizikové fenomény z hľadiska výstavby portálu a razenia tunela v úvodnom úseku patria degradácia geotechnických parametrov hornín pri styku s vodou (rozbredanie a zvetrávanie) a heterogenita geotechnických vlastností zemín a hornín, ktoré sa prejavujú najmä v prípade ílovcových hornín a pri niektorých typoch kvartérnych zemín (deluviálno-proluviálny komplex). Okrem toho negatívne vplyva i nízke nadložie tunela.

Vzhľadom na absenciu predchádzajúcich prieskumných prác v trase tunela, opierali sme sa pri hodnotení horninového prostredia najmä o údaje získané priamo v teréne, jednak z vrtných prác a najmä z realizovaných geotechnických skúšok. Pre overenie geotechnických parametrov horninového masívu sme využili presiometrické a dilatometrické skúšky, ktoré umožňujú overiť deformačné parametre horninového prostredia priamo v nivelete plánovanej tunelovej rúry. Tieto geotechnické skúšky boli kombinované s karotážnými meraniami, laboratórnymi skúškami na odobratých vzorkách a hydrodynamickými skúškami.

Z výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu vyplýva, že **podmienky pre vybudovanie nového portálu tunela Čebrať a jeho razenie (v hodnotenom úseku) nie sú úplne ideálne**. Dôvodom je najmä pomerne veľká hrúbka deluviálnych zemín, ktoré hodnotíme ako zosuvné stabilizované delúvium, a hlavne značná tektonická porušenosť horninového prostredia. Okrem týchto fenoménov za negatívny vplyv možno považovať aj nasýtenie horninového prostredia podzemnou vodou so vztlakovými účinkami a napätými horizontami.

Napriek pomerne nepriaznivým geologickým a geotechnickým pomerom v skúmanej oblasti možno povedať, že za dodržania navrhovaných opatrení a dôslednej technologickej disciplíny je portál tunela aj úvodné metro razeného tunela možné realizovať bez závažnejších problémov. V prípade potreby, je možné portál posunúť severnejším smerom, kde by sa pravdepodobne pri zachovaní súčasnej nivelety mierne zlepšili geologicko-geotechnické podmienky v kalote v úvodných metroch tunela. Túto skutočnosť však je potrebné overiť priamym prieskumným dielom v nasledujúcej etape prieskumu.

Dominujúcim litologickým a inžinierskogeologickým typom v hodnotenej oblasti sú ílovce s občasnými prechodmi do siltovca až pieskovca. Mimo tektonicky porušených zón predstavujú **uspokojivo kvalitné horninové prostredie** poloskálnych hornín s minimálnym očakávaným prítokom podzemnej vody. Rizikovým faktorom je ich **citlivosť na styk s vodou**. V tektonicky porušených zónach v tomto prostredí nadobúda hornina charakter súdržnej ílovitej zeminy

s úlomkami a **podmienky na razenie sú zlé** Prítoky podzemnej vody v tomto komplexe očakávame len v zónach s vyšším zastúpením pieskovcov resp. vápencov po otvorených puklinách. V zmysle (už neplatnej, ale stále aplikovanej) normy ÖNORM B 2203 prevažná časť trasy tunela bude razená v horninách triedy B2 - B3, v kompaktnějších úsekoch v triede B1 až A2. V poruchových zónach predpokladáme razenie na cca 30% trasy tunela, kde trieda hornín je prevažne B3, v najviac porušených úsekoch až C3.

Opatrenia na zlepšenie podmienok razenia by mali mať nasledujúci charakter:

- realizovať podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum
- dôsledné dodržiavanie technologickej disciplíny;
- v úsekoch tvorených tektonitmi charakteru zeminy a v úsekoch tvorenými poloskalnými horninami je potrebné dôsledne zachytávať všetky prítoky podzemnej vody a sústredene ich odvádzať drenážnym potrubím tak, aby voda nemohla degradovať geotechnické parametre hornín najmä v počve tunela a zamedziť sa tak rozbredaniu hornín pri pojazdoch mechanizmov;
- z rovnakého dôvodu je potrebné zamedziť únikom technologickej vody;
- je potrebné prijať opatrenia na zamedzenie vysýpania úlomkovitých hornín, najmä bridličnatých ílovcov v tektonicky porušených zónach – je možné uplatniť aplikáciu horninového piliera, chemickú injektáž klenby tunela a podobne;
- pre zamedzenie rizika zavlečenia znečistenia do okolitých vodných zdrojov je potrebné počas výstavby dôsledne dodržiavať používanie ekologicky odbúrateľných mazív;
- chemicky nebezpečné látky sa nesmú skladovať v medziskladoch v tuneli;

Nadložie tunela bude dosahovať v tomto úseku 5 – 45 m. Razený portál je situovaný do bloku hornín porubského súvrstvia, ktoré je v mieste portálu intenzívne tektonicky porušené. V prvých cca 20 m tunela predpokladáme, že v kalote budú zastihnuté ešte zeminy kvartéru, charakterizované ako zosuvné delúvium. Geneticky ide o proluviálno-deluviálne sute rozličného zloženia. Podložné súvrstvie v prvých cca 50 - 60 m tunela možno priradiť do potenciálnych blokových deformácií svahu, ktorých aktivita v tejto oblasti však zatiaľ nie je dokumentovaná žiadnymi meraniami.

Z hľadiska účelových tunelárskych klasifikácií kvality horninového prostredia sme v danej oblasti vyčlenili dve charakteristické horninové prostredia: prostredie silno tektonicky porušených hornín charakteru brekcií s budinovanými restami pevnejších blokov hornín a prostredie relatívne kompaktných masívnych ílovcov až siltovcov. Tieto dve prostredia sa v danej oblasti striedajú, pričom predpokladáme, že porušených hornín bude cca 30% z celkového objemu. Prehľad kvality horninového prostredia, hodnoteného podľa viacerých klasifikačných systémov poskytuje nasledovná tabuľka 30:

Tabuľka 30 Prehľad hodnotenia kvality horninového prostredia pre účely výstavby tunela

Typ prostredia	RQD	RMR kvalita / trieda	QTS trieda	ÖNORM B 2203
Tektonické brekcie a porušené ílovce	0 - 25%	21 zlá / IV.	37 4.	B3 - C3
Kompaktné ílovce až siltovce, masívne, málo rozpukané	25 - 50%	58 uspokojivá / III.	64 3.	B2 - B1

Poznámka: RQD - Rock Quality Designation (Deere, 1964); RMR - Rock Mass Rating (Bieniawski, 1973); QTS - Regionální klasifikace Praha (Tesař, 1977);

Upozorňujeme, že vstupné parametre účelových geotechnických klasifikácií boli

získované iba z vrtných prác, resp. boli kvalifikovane odhadnuté. Pre presnejšie klasifikovanie prostredia by bolo potrebné realizovať banské prieskumné dielo (lokálnu prieskumnú štôľňu alebo šachticu). Z viacerých použitých účelových klasifikácií horninového prostredia sme využili klasifikáciu podľa Z. T. Bieniawského (1973, 1979), ktorá je – pri využití výsledkov iba z prieskumných vrtovej a čiastočne z odkryvov – lepšie aplikovateľná a univerzálnejšia. Triedy hornín RMC boli zostavené podľa ratingového bodového ohodnotenia RMR, zohľadňujúceho pevnosť v prostom tlaku σ_c , index kvality RQD, vzdialenosť a charakter diskontinuit, vplyv podzemnej vody a smer i úklon diskontinuit – hlavne vrstevnatosti k osi tunela a smeru razenia (upravený podľa T. E. Francisa, 1991). Okrem RMR uvádzame i pražskú geotechnickú klasifikáciu podľa Tesařa (1977), ktorá je vhodná pre geologické podmienky prostredie Západných Karpát. Zároveň, vzhľadom na predpokladaný spôsob razenia tunela uvádzame i klasifikáciu pre cyklické razenie ÖNORM B2203, ktorá je už neplatná.

Z uvedených výsledkov prieskumných prác v portálovej oblasti vyplývajú nasledujúce odporúčania:

- Keďže hlavným geotechnickým rizikom v uvedenom úseku je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložením a v úsekoch s tektonickým porušením, je potrebné realizovať zabezpečenie klenby tunela mikropilótoým dáždnikom a zároveň zabezpečovať uzatváranie profilu tunela protiklenbou;
- je potrebné zabezpečiť odvádzanie priesakových vôd sústredeným odtokom tak, aby nedochádzalo k rozmokaniu počvy tunela pri pojazdoch mechanizmov;
- vzhľadom na fakt, že v časti trasy tunela bude do kaloty zasahovať kvartérny deluviálny pokryv, navrhujeme v tomto úseku zlepšenie vlastností zemín v klenbe z povrchu alebo realizovať v tomto mieste razenie pod ochrannou klenbou (korytnačka), prípadne prehodnotiť pozíciu razeného portálu (zasunutie viac do masívu).

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek relatívne komplikované prostredie s veľmi variabilným charakterom prítokov podzemnej vody. Vzhľadom na otvorenosť masívu (gravitačný rozpad na okraji pohoria) pozdĺž predisponovaných tektonizovaných zón možno očakávať prítok na úrovni 0,5 - 2 l.s⁻¹. Mimo porušených zón očakávame masív relatívne tesný, bez prítokov alebo len s malými prítokmi po rozpučaných pieskovcových polohách.

Podzemná voda z okolitých vrtovej v mieste portáloveho zárezu podľa svojho chemického zloženia nemala agresívne účinky na betón - symbol X0 a tvorí prostredie s veľmi nízkou agresivitou pre kovové materiály so stupňom I. Pre podrobnejšie charakterizovanie agresivity prostredia je potrebné realizovať odbery podzemných vôd zo zabudovaných vrtovej s dlhším časovým odstupom od ich realizácie.

3.3 Trasa variantu V1 vedená tunelom Čebrať

V úseku diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, vedenom tunelom Čebrať vo variante V1, možno **inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické pomery hodnotiť ako zložité**. Vzhľadom na komplikovanosť problematiky je potrebné globálne hodnotenie rozčleniť na **A) vplyv horninového prostredia na razenie tunelov** (banskotechnické resp. geotechnické podmienky pre razenie) a v druhej časti na **B) vplyv výstavby tunelov na horninové prostredie**.

Územie ktorým je vedený tunel Čebrať vo svojej variante V1 sa nachádza na okraji pohoria Šípskej Fatry. Z pohľadu geologickej stavby ide o zložitú štruktúru, ktorá bola primárne tvorená endogénnymi tektonickými procesmi – nasúvaním príkrovov resp. duplexov v rámci

príkrovov a primárne rozblokovaníe zlomovou tektonikou. Sekundárnym činiteľom sú exogénne procesy, najmä zarezanie údolia Váhu a jeho prítokov, ktoré zmenili napätostné pomery územia. Následne dochádza k vzniku gravitačných pohybov horninových blokov (najmä chočského príkrovu) pozdĺž už predtým vytvorených tektonických rozhraní a vzniku zložitej blokovej štruktúry, sprevádzanej vznikom rozsiahlych suťovísk pod skalnými stenami, vzniku zosuvov rozličného typu a rozsahu. Komplikovaná geologická stavba podmieňuje vznik zložitých geotechnických, inžinierskogeologických, ale najmä hydrogeologických pomerov. Prieskumné práce podrobného prieskumu boli z toho dôvodu zamerané najmä na detailné zhodnotenie jednak možnosti samotného razenia tunela, jednak zhodnotiť riziko vplyvu tunela na okolité vodné zdroje resp. celé územie, tj. predbežne stanoviť hydrogeologické pomery územia.

Podmienky razenia jednotlivých úsekov tunela a výstavby príľahlých objektov sú podrobne charakterizované v kapitole 2.2 a jej podkapitolách. Považujeme za dôležité upozorniť, že tento takmer 4 km dlhý diaľničný tunel bolo potrebné charakterizovať z hľadiska inžinierskogeologických, geotechnických a hydrogeologických pomerov **bez realizácie pilotnej prieskumnej štôľne**, pričom ani v trase pôvodného variantu tunela Čebrať nebola takáto štôľňa realizovaná. Zároveň je potrebné upozorniť, **že prieskum bol realizovaný počas veľmi krátkeho a klimaticky nevhodného zimného obdobia**, čím je kvalita a najmä podrobnosť hodnotenia trasy tunela tiež oplyvnená.

Pri charakteristike geologických pomerov sme vychádzali z výsledkov geofyzikálnych povrchových meraní, podrobných mapovacích prác, z obmedzeného rozsahu vrtných prác (predovšetkým štruktúrnych vrtoch), ako aj výsledkov geotechnických a hydrodynamických skúšok realizovaných vo vrtoch a v laboratóriách. Je tiež potrebné upozorniť, že niektoré dôležité štruktúrne prvky horninového masívu (orientácia vrstiev, puklín, priebeh zlomových porúch a pod., ich výplň, charakter a hustotu), ktoré môžu mať zásadný vplyv jednak na podmienky razenia tunela a na objektívne hodnotenie kvality horninového prostredia (ako základné vstupné hodnoty do všetkých hodnotiacich systémov), ale najmä na hydrogeologické pomery, nebolo možné stanoviť s dostatočnou hustotou. Z toho bude vyplývať neistota v hodnotení podmienok realizácie tunela.

Vzhľadom na absenciu predchádzajúcich prieskumných prác v trase tunela, opierame sa pri hodnotení horninového prostredia najmä o údaje získané priamo v teréne, jednak z mapovacích prác ale najmä z in-situ realizovaných skúšok. Zároveň boli využité nadobudnuté skúsenosti z už realizovanej časti tunela čebrať od východného portálu. Pre overenie geotechnických parametrov horninového masívu sme využili dilatometrické a presiometrické skúšky, ktoré umožňujú overiť deformačné parametre horninového prostredia priamo v nivelete plánovanej tunelovej rúry. Tieto geotechnické skúšky v kombinácii s karotážnymi meraniami, laboratórnymi skúškami na odobratých vzorkách a hydrodynamickými skúškami umožňujú veľmi detailné a hodnoverné hodnotenie kvality horninového prostredia.

Trasu tunela sme rozčlenili primárne na dva kvázihomogénne celky A a B, podľa dominantného zastúpenia litologických typov hornín. Tieto dva celky sme následne detailnejšie rozčlenili na 10 kvázihomogénnych blokov. Hodnotenie kvality horninového masívu v rozčlenenej trase tunela sme vykonali využitím viacerých tunelárskych klasifikácií pre každý z desiatich blokov. V trase tunela Čebrať tvoria kvázihomogénny úsek A horniny porubského a lučivnianskeho súvrstvia s dominanciou ílovcov a siltovcov, kvázihomogénny úsek B tvoria horniny mráznického a osnického súvrstvia s prevahou slienitých vápencov nad ílovcami a slieňovcami. Je potrebné mať na zreteli deficit relevantných vstupných údajov pre detailné a zodpovedné hodnotenie prostredia, najmä z dôvodu absencie prieskumnej štôľne. Klasifikácia charakteristických úsekov masívu tak má skôr orientačný charakter.

Z viacerých použitých účelových klasifikácií horninového prostredia sme upriamili pozornosť na klasifikáciu RMR (Bienawski, 1973, 1979), ktorá je – pri využití výsledkov iba z prieskumných vrtov – lepšie aplikovateľná a univerzálnejšia. Okrem tejto metódy sme uplatnili klasifikáciu QTS (Tesař, 1977), klasifikáciu Q Nórskeho geotechnického inštitútu (Barton, 1974). Pre úplnosť sme doplnili klasifikáciu pre cyklické razenie ÖNORM B2203, t.j. normu, ktorá už nie je platná.

3.3.1 Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať

Z výsledkov realizovaných prieskumných prác vyplýva, že **podmienky pre razenie tunela Čebrať na celej trase sú za dodržania technologickej disciplíny a aplikácie vhodných opatrení priaznivé.**

V zmysle (už neplatnej, ale stále aplikovanej) normy ÖNORM B 2203 prevažná časť trasy tunela bude razená v horninách triedy B2, v kompaktnějších úsekoch až triedy A2. V poruchových zónach predpokladáme razenie na cca 30% trasy tunela, kde trieda hornín je prevažne B2 – B3, v najviac porušených úsekoch až C3.

Dominujúcim litologickým a inžinierskogeologickým typom (A) na viac ako 50% trasy tunela budú ílovce a siltovce flyšových súvrství krížňanského príkrovu, najmä porubského, párnického a mráznického. Mimo tektonicky porušených zón predstavujú tieto horniny **uspokojivo kvalitné horninové prostredie** poloskálnych hornín s minimálnym očakávaným prítokom podzemnej vody. Rizikovým faktorom je ich **citlivosť na styk s vodou**. V tektonicky porušených zónach v tomto prostredí nadobúda hornina charakter súdržnej ílovitej zeminy s úlomkami a **podmienky na razenie sú zlé**. Intenzívne tektonicky porušené zóny charakteru zemín budú predstavovať cca 30% z celkovej dĺžky úseku tunela, razeného v prostredí ílovcov a siltovcov. Prítoky podzemnej vody v tomto komplexe očakávame len v zónach tektonického porušenia (zlomové pásma) prípadne z polôh s vyšším zastúpením siltovcov až pieskovcov (po otvorených puklinách).

Druhý charakteristický horninový typ (B) predstavujú slienité vápence až slieňovce mráznického a osnického súvrstvia. Ide prevažne o doskovité až hrubolavicovité kalové vápence s polohami slieňovcov až ílovcov. Mimo tektonicky porušených zón toto súvrstvie s dominanciou vápencov predstavuje **dobré prostredie z hľadiska razenia tunela**. Hlavným rizikovým faktorom budú **intenzívnejšie prítoky podzemnej vody** cez rozpukané tektonizované zóny. Nepredpokladáme však výskyt kaverien ani iných krasových fenoménov. Okrem toho v rozvoľnenejších častiach môže dochádzať **k vypadávaniu blokov z klenby tunela**. Vysokotlakové sufózne účinky podzemnej vody v komplexe vápencov neočakávame.

Z hľadiska tunelovania predstavuje riziko zatiaľ **nie celkom detailne objasnená zlomovo-príkrovová tektonická a geologická stavba** masívu Šípskej Fatry v trase tunela Čebrať a z nej vyplývajúca nepresnosť v situovaní zlomových porúch a nemožnosť kvantitatívne presne zhodnotiť zastúpenie jednotlivých litologických a najmä inžinierskogeologických typov hornín. Z toho dôvodu je potrebné počas razenia využívať služby geologického dozoru a možnosti doplnkového geologického prieskumu.

Opatrenia na zlepšenie podmienok razenia musia zahŕňať:

- dôsledné dodržiavanie technologickej disciplíny;
- v úsekoch tvorených tektonitmi charakteru zeminy a v úsekoch tvorenými poloskálnymi horninami je potrebné dôsledne zachytávať všetky prítoky podzemnej vody a sústredene ich odvádzať drenážnym potrubím tak, aby voda nemohla degradovať geotechnické parametre hornín najmä v počve tunela a zamedzilo sa tak rozbredaniu hornín pri pojazdoch mechanizmov;

- z rovnakého dôvodu je potrebné zamedziť únikom technologickej vody;
- v prípade výskytu sústredených prítokov z konkrétneho miesta (klenba, steny, počva tunela) je potrebné aplikovať chemickú injektáž s cieľom čo najviac utesniť horninové prostredie a významne zredukovať prítoku do tunelovej rúry;
- je potrebné prijať opatrenia na zamedzenie vysýpania úlomkovitých hornín, najmä tektonicky porušených vápencov resp. slieňovcov a siltovcov – je možné uplatniť aplikáciu horninového piliera, chemickú injektáž klenby tunela a podobne;
- pre zamedzenie rizika zavlčenia znečistenia do okolitého horninového prostredia je potrebné počas výstavby dôsledne dodržiavať používanie ekologicky odbúrateľných mazív;
- chemicky nebezpečné látky sa nesmú skladovať v medziskladoch v tuneli.

3.3.2 Vplyv raziť tunela Čebrať na horninové prostredie

Najzásadnejším vplyvom navrhovaného tunela Čebrať je jeho drenážny účinok na okolitý horninový masív. Hydrogeologické pomery v širšom okolí trasy tunela sú extrémne zložité. Vyplýva to najmä z rozličnej priepustnosti hornín, ktoré sa podieľajú na stavbe masívu, a tiež zo štruktúrno-tektonických pomerov. Na základe meraní hladiny podzemnej vody resp. meraní tlakov podzemnej vody po zabudovaní uzatvorených piezometrov vo vrtoch počas prieskumných prác možno povedať, že v prevažnej časti trasy tunela je možné zreteľne odlišiť **dva hydrogeologické kolektory**, a to najmä vo vertikálnom smere.

Do **vyššieho kolektora** možno zahrnúť okrem kvartérneho pokryvu deluviálnych sutí i celý vápencovo-dolomitový komplex trosiek chočského príkrovu a blokov hornín, ktoré sú roztrúsené po svahoch pohoria takmer až k rieke Váh. Zároveň do tohto kolektora možno pripočítať zónu pripovrchového rozvoľnenia horninového masívu resp. zónu zvetrania. V tomto prostredí s rýchlym obehom prúdi prevažná časť vôd, ktoré infiltrujú do masívu počas zrážok. Prakticky všetky vodné zdroje a pramene v hodnotenej oblasti sú viazané na uvedený kolektor.

Do **nižšieho kolektora** možno zahrnúť hlbšie partie horninového masívu, kde je prúdenie podzemných vôd veľmi obmedzené nízkou priepustnosťou hornín a komunikácia s vyšším kolektorom sa obmedzuje najmä na zóny tektonického porušenia s rozličnou priepustnosťou.

Na základe hydrologickej bilancie, ktorá bola zhotovená na základe dostupných (aj keď nie dostatočných) údajov možno povedať, že horninové prostredie v bezprostrednom okolí tunela Čebrať môže produkovať minimálne $15,0 \text{ l.s}^{-1}$ maximálne $66,1 \text{ l.s}^{-1}$ podzemných vôd v priemere $361,1 \text{ l.s}^{-1}$. Táto voda je distribuovaná najmä sieťou puklín a tektonických porúch prípadne sutami k výverom (prameňom), ktoré lemujú okraje blokov hornín chočského príkrovu alebo sledujú významné tektonické línie. Celkovo 29 % až 82 % množstiev vody pravdepodobne odteká cezhranične mimo hodnotené územie, v priemere je to 64 %. Zvyšná časť horninového prostredia je odvodňovaná v prameňoch a povrchových tokoch.

Z hľadiska vplyvu tunela Čebrať na okolité vodné zdroje Stará Hrboltová, Staré Lazy, Malho, Nová Hrboltová, Hubert a iné možno konštatovať nasledovné:

A) Vodný zdroj Staré Lazy – ročná výdatnosť prameňov 1 až 10 vodného zdroja Staré Lazy sa pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 1,13$ až $6,61 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $2,55 \text{ l.s}^{-1}$ (podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok a.s.). Vzhľadom na reálne namerané úrovne hladín podzemných vôd vo vrtoch v trase tunela a z pozície výverov vodných zdrojov (výškový rozdiel), ako aj z rozdielných podmienok tvorby chemického zloženia podzemných vôd

(petrogénne resp. silikátogénne vody), predpokladáme odelené podmienky obehu podzemných vôd v prípade vodných zdrojov a v prípade horninového masívu v okolí tunelovej rúry. **Významné ovplyvnenie vodných zdrojov Staré Lazy preto v súvislosti s razením prieskumného nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.**

Napriek tomu pre zvýšenie bezpečnosti vodného zdroja odporúčame aj v tomto úseku tunela realizovať **cielene utesňovanie významnejších sústredených prítokov** podzemnej vody pomocou chemickej injeckáže.

B) Vodný zdroj Stará Hrboltová – Podľa údajov Vodárenskej spoločnosti Ružomberok VSR a.s. sa sumárna ročná výdatnosť prameňov vodného zdroja Stará Hrboltová pohybovala v rokoch 2007 - 2016 v rozmedzí $Q = 0,83$ až $13,9 \text{ l.s}^{-1}$, v priemere $7,41 \text{ l.s}^{-1}$.

Podľa výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová **vsúčasných prírodných pomeroch (bez tunelov) zo stropu tohto zlomu infiltruje sumárne $0,5848 \text{ l.s}^{-1}$** podzemnej vody. Pri razení tunelových rúr môže cez tento zlom infiltrovať maximálne $4,8328 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a uvažovania odporu ostenia tunela spôsobia zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 1 o maximálne $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$.**

Sumárna priemerná ročná výdatnosť vodárenského zdroja je $Q_R = 7,41 \text{ l.s}^{-1}$, vypočítané prírastok drenážnym účinkom tunela na zlome č. 1 o $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$ čo **može teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %**. Upozorňujem, že ide o teoretický úbytok výdatnosti vodného zdroja, nakoľko modelové riešenie nezapočítavalo opatrenia na ochranu podzemných vôd (hydroizolácia) ani hydraulický odpor na ostení tunela.

Ovplyvnenie výdatnosti vodného zdroja predpokladáme najmä v prípade, ak podzemná voda odvodňujúca dolomity chočského príkrovu je hydraulicky spojená na zónu tektonického porušenia (modelovaný zlom č. 1.). Pre overenie tohto predpokladu odporúčame realizovať doplnkové geofyzikálne merania.

Zároveň vzhľadom na **najviac potenciálne ohrozený vodný zdroj**, odporúčame pre ochranu tohto vodného zdroja aplikovať počas razenia zmiernujúce opatrenia, najmä **cielené utesňovanie sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injeckáže**. Účinnosť injeckáže je potrebné overovať terénnymi meraniami vo vrtoch (monitoring hladín / tlakov podzemnej vody), meraniami výdatnosti vodného zdroja a prítokov na povrchových tokoch. Okrem toho navrhujeme v rizikovej oblasti zlomov realizovať **horizontálne predvrty** zo steny severnej tunelovej rúry do strany, ktorý by bola vrtom zachytená zlomová porucha a vrt umožňoval merať tlak podzemnej vody v zlomovej štruktúre (vybaviť ústie vrtu zhlavím s tlakovým meračom). Významnejšie zachytené prítoky podzemnej vody je potrebné sledovať aj z hľadiska chemizmu pre identifikovanie ich genézy.

Pri dôslednom aplikovaní ochranných opatrení je možné zachovať vodný zdroj Stará Hrboltová bez vplyvu tunela alebo len s miernym vplyvom.

C) Skupina vodárenských zdrojov Malho, Laukovo, Trstenica, Nová Hrboltová, Studničky - vzhľadom na vzdialenosť vodárenských zdrojov vodných zdrojov od osi južnej tunelovej rúry je 1200 až 1320 m a obchod podzemnej vody viazaný na karbonáty chočského príkrovu **ovplyvnenie kvantity hodnotenej skupiny vodných zdrojov nepredpokladáme.**

Hlavnými rizikami, ktoré ovplyvňujú možnosť realizácie tunela Čebrať v jeho novej trase sú najmä **výskyt tektonicky porušených zón** v trase tunela cez ktoré bude hornonový masív drénovaný, z čoho vyplýva riziko **ovplyvnenia okolitých vodných zdrojov**. Je potrebné uviesť, že riziko drenáže by mohlo byť účinne znížené vhodnými technologickými opatreniami

počas razenia tunela, a to najmä utesňovaním najvýraznejších prítokov podzemnej vody chemickou injektážou.

3.4 Návrh prác ďalšej etapy prieskumu

V prípade, že výstavba diaľnice D1Hubová - Ivachnová bude realizovaná v predĺženom tunelovom variante, navrhujeme realizovať doplnkový inžinierskogeologický prieskum formou banského prieskumného diela od východného portálu. Tento postup by mal niekoľko výhod:

- overila by sa presnejšie geologická stavba masívu v miestach, kde je topografickým a vrtným prieskumom znemožnené konfiguráciou terénu;
- overil by sa prípadný vplyv razenia na menší vodný zdroj Hubert v blízkosti východného portálu a možnosti a úspešnosť chemickej injektáže. Na základe výsledkov takéhoto pokusu by bolo možné spresniť technologické opatrenia na elimináciu vplyvov razenia na vodné zdroje ďalej v trase;
- doplniť geofyzikálne povrchové merania na dvoch lokalitách v oblasti VZ Stará Hrboltová a Staré Lazy pre upresnenie zlomových štruktúr;
- využiť možnosť realizácie prieskumných predvrtov počas razenia v miestach, kde sa začne prejavovať blízkosť tektonicky porušenej zóny s rizikom vyšších prítokov vody;
- systematicky dokumentovať prítoky podzemnej vody na čelbe prieskumného diela so stanovovaním základných fyzikálnochemických ukazovateľov, v prípade intenzívneho prítoku odobrať vzorku vody na laboratórne stanovenie chemizmu a genézy podzemnej vody;
- zaradiť všetky novovybudované pozorovacie vrty do siete geotechnického monitoringu;
- opakované odbery vzoriek podzemných vôd na stanovenie agresivity podzemnej vody z vrtovej trasy tunela, nakoľko v súčasnosti realizované chemické analýzy mohli byť ovplyvnené technológiou vrtania s vodným výplachom s použitím aditív na stabilizáciu stien vrty;
- inštalovať dočasnú automatickú zrážkomernú resp. meteorologickú stanicu na vhodné miesto na lokalite, na spresnenie vstupných údajov do hydrologickej bilancie;
- v súčinnosti s prevádzkovateľmi vodných zdrojov osadiť vo vodných zdrojoch automatické merače prietoku s diaľkovým prenosom dát. Dáta sledovať na hodinovej báze a denne ich zasielať na spracovanie do kancelárie GTM. **Toto opatrenie by samalo realizovať ihneď**, ešte pred začiatkom pokračovania banských prác;
- Na základe monitoringu počas prieskumných prác kalibrovanie hydraulického modelu tunela s cieľom optimalizovať raziace práce a vystrojenie tunela, optimalizovať prípadné ochranné opatrenia na zníženie rizika ovplyvnenia vodných zdrojov.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- Andrusov, D.: Geológia Československých Karpát, SAV 1959
- Barton, N. - Lien, R. - Lunde, J.: Engineering Classification of Rock Masses for the design of Tunnel Support. In: Rock Mechanics No 6.1974;
- Bieniawski, Z., T.: The geomechanic classification in rock engineerinh application. 4th ISRM, Montreaux, 1979;
- Borovský, M.: Diaľnica D1 hubová – Ivachnová, nová trasa, orientačný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum. CAD-ECO a.s., Bratislava, 2016;
- Čajka, O.: Diaľnica D-1 Ivachnová - Liptovský Mikuláš, objekt: štúdia preložky štátnej cesty I/18, inžinierskogeologický prieskum. Dopravoprojekt n.p., Bratislava, 1970. GEOFOND 24241;
- Francis, T. E.: Determination of the influence of joint orientation on rock mass classification for tunneling using a stereographic overlay. Qarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v.24:267-273. QJEG, 1991;
- Fussgänger, E., et. al.: D1 Hubová - Ivachnová, podrobný inžinierskogeologický prieskum Stavební geologie – Geotechnika, a.s., Bratislava, 2006;
- Fussgänger, E., et. al.: D1 Hubová - Ivachnová, doplnkový inžinierskogeologický prieskum Stavební geologie – Geotechnika, a.s., Bratislava, 2007;
- Gazda, S.: Chemizmus podzemných vôd Západných Karpát a jeho genetická klasifikácia. Materiály z III. celoslovenskej konferencie, II. časť. GÚDŠ, Bratislava, 1974;
- Gazda, S.: Modifikácia Palmerovho klasifikačného systému. Hydrogeologická ročenka 1970/1971. SHMÚ, Bratislava, 1971;
- Jetel, J.: Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech, Ústřední ústav geologický, Praha, 1982;
- Lehocký, M. – Kraus, A.: Inžiniersko-geologické pomery v trase Diaľnica D-1 Trenčín - Poprad. B/ Podrobná časť - úsek II. Žilina - Ružomberok, geologická štúdia. IGHP n.p., Žilina, 1969. GEOFOND 22445/B;
- Lukniš, M. – Konček, M.: Atlas SSR – Ovzdušie a vodstvo, vydalo Vydavateľstvo VEDA Bratislava, 1982;
- Malík, P. - Kordík, J. - Bottlik, F. - Kováčová, E.: Základná hydrogeologická mapa západnej časti Veľkej Fatry v mierke 1 : 50 000. Čiastková záverečná správa. Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, arch.č. 92456/2;
- Mahel, M. et al.: Regionální geologie ČSSR, II. Západní Karpaty, sv.1. Ústřední geologické vydavatelství, Praha, 1967;
- Matejček, A, et.al.: Horný Váh III, orientačný prieskum, IGHP n.p., Žilina, 1988. GEOFOND 67190;
- Matejček, A.: D1 Lubochňa-Ivachnová, orientačný prieskum - štúdia, GEOFOS s.r.o. Žilina, 1998;
- Matula, M. et al.: Atlas inžinierskogeologických máp v mierke 1:200000, KIG PriFUK, Bratislava, 1989;
- Matula, M., Pašek, J.: Regionálna inžinierska geológia ČSSR, Alfa Bratislava, SNTL Praha 1986;
- Máťuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 1996. GEOFOND 80482;
- Máťuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, doplnenie orientačného

- inžinierskogeologického prieskumu. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 2001. GEOFOND 80482;
- Mazúr, E. – Lukniš, M.: Regionálne geomorfologické členenie SSR, mapa 1 : 500 000, Geografický ústav SAV Bratislava, 1980;
 - Máťuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. Uranpres a.s., Spišská Nová Ves, 1996. GEOFOND 80482;
 - **Minář,**
 - Nemčok, A.: Inžinierskogeologické pomery na Hornom Váhu III, poriečna varianta Bešeňová - Krpeľany, SVŠT Bratislava, 1985;
 - Ondrášik, R.: Inžinierskogeologické zhodnotenie tektonickej nerovnorodosti údolia Váhu medzi Ružomberkom a Krpeľanmi, KIG PriFUK Bratislava, 1987;
 - Ondrášik, R., et.al.: Inžinierskogeologická mapa mierky 1:200 000, list Žilina, KIG PriFUK, 1989;
 - Ondrášik, R.: Diaľnica D1 Martin – Ľubochňa, inžinierskogeologická štúdia, KIG PriFUK Bratislava, 1996;
 - Páleník, M., et.al.: inžinierskogeologická mapa Ružomberok, mierka 1: 10 000, IGHP n.p., Žilina, 1988;
 - Polák, M. – Bujanovský, A. – Kohút, M.: Geologická mapa Veľkej Fatry 1 : 50 000. Geologická služba Slovenskej Republiky, Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava, 1997;
 - Polák, M., et al.: Vysvetlivky ku geologickej mape Veľkej Fatry, M = 1 : 50 000, ŠGÚDŠ, Bratislava, 1997;
 - Quitt, E., et al.: Klimatické oblasti ČSSR, Academia Brno, 1971;
 - Rentka R. – Dolejší, F.: Horný Váh III - Bešeňová - Krpeľany, inžinierskogeologická štúdia. IGHP n.p., Žilina, 1971. GEOFOND 26615;
 - Rentka, R.: Geologické pomery v trasách diaľničných tunelov v SR. Inžinierskogeologická štúdia. INGEO a.s., Žilina, 1995;
 - SAV et SÚGaK : Atlas Slovenskej socialistickej republiky, Bratislava 1980;
 - Sýkorová, M.: Horný Váh III, úsek Bešeňová-Kraľovany - geologický prieskum, Hydroconsult Bratislava, 1977. GEOFOND 39077;
 - Sýkorová, M.: Horný Váh III. - úsek Bešeňová - Kraľovany - poriečna varianta, inžinierskogeologický prieskum. Hydroconsult n.p., Bratislava, 1978. GEOFOND 41464;
 - Šamaj, M. – Coplák, M. – Copláková, J. – Gažúr, J.: Hubová - Ivachnová - diaľnica D1, doplnkový inžinierskogeologický prieskum. GEOFOS s.r.o., Žilina, 2010. GEOFOND 90661;
 - Šamaj, M. – Coplák, M. – Copláková, J. – Gažúr, J.: Hubová - Ivachnová - diaľnica D1 (úsek 3), doplnkový inžinierskogeologický prieskum - II. etapa. GEOFOS s.r.o., Žilina, 2010. GEOFOND 90666;
 - Šamaj, M.: Highway D1 Hubová - Ivachnová, geotechnical monitoring. (Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, geotechnický monitoring.). GEOFOS s.r.o., Žilina, 2012. GEOFOND 91900;
 - Tesař, O.: The design of Rock Classification for Underground Structures in Prague (in Czech). In: Zpravodaj Metro č.1, Praha, 1977;
 - Tesař, O.: Klasifikace skalních a poloskalních hornin pro podzemní stavby. Autoreferát doktorskej dizertačnej práce, PF KU, Praha, 1989;
 - Tesař, O.: Přehled klasifikací hornin pro podzemní stavby a jejich vztah ke klasifikaci

- QTS. Inženýrske stavby No 6. p. 261-265, 1989;
- Vrábek, P., et.al.: Diaľnica D1 Poluvsie – Ivachnová, inžinierskogeologická štúdia, IGHP n.p., Žilina, 1984;
 - Zakovič, M., et al.: Základná hydrogeologická mapa 1: 200 000 list Žilina, 1987;
 - Zakovič, M., et al.: Výsvetlivky k základnej hydrogeologickej mape ČSSR 1: 200 000, list 26 Žilina, Geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava, 1990;
 - Žembery, M., et.al.: Základná inžinierskogeologická mapa Martin – Vrútky, mierky 1:10 000, IGHP n.p., Bratislava, 1986.

ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM

- STN EN ISO 22282-1:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 1: Všeobecné pravidlá (ISO 22282-1:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22282-2:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 2: Skúšky priepustnosti vo vrte s otvoreným systémom (ISO 22282-2:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22282-3:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 3: Vodné tlakové skúšky v skalných horninách (ISO 22282-3:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22282-4:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 4: Čerpacie skúšky (ISO 22282-4:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22282-5:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 5: Nalievacie skúšky (ISO 22282-5:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22282-6:2013 Geotechnický prieskum a skúšky. Hydrodynamické skúšky. Časť 6: Skúšky priepustnosti vo vrte s uzatvoreným systémom (ISO 22282-6:2012) (72 1040);
- STN EN ISO 22475-1:2007 Geotechnický prieskum a skúšky. Metódy odbeu vzoriek a meranie hladín podzemnej vody. Časť 1: Technické zásady vykonávania (ISO 22475-1:2006) (72 1005);
- STN 73 3050: Zemné práce;
- ÖNORM B2203: Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm - Teil 1: Zyklischer Vortrieb;
- STN 73 6133: Stavba ciest, teleso pozemných komunikácií;
- STN EN 1998-1/NA: Eurokód 8: Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť;
- STN 73 0036/1997: Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií;
- STN 72 1001/2010: Klasifikácia zemín a skalných hornín;
- STN 03 8372 Zásady ochrany proti korózii nelíniových zariadení uložených v zemi alebo vo vode zo dňa 2. 2. 1977;
- Národná príloha STN EN 206-1/NA: 2009 Betón, časť 1, Špecifikácia, vlastnosti, výroba, zhoda. Národná príloha STN EN z júna 2004;
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 z 9. júna 2010, ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd;
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky z 8. decembra 2010, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu;
- ON 73 6196: Ochrana cestných komunikácií pred účinkami premrzania