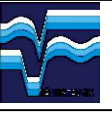


č.	TEXT ZMENY - ODOVODNENIE	DÁTUM	PODPIS
a			
b			
c			

SÚRADNICOVÝ SYSTÉM: S-JTSK V REALIZÁCII JTSK

VÝŠKOVÝ SYSTÉM:

Bpv

NÁZOV STAVBY			
DIAĽNICA D1 HUBOVÁ - IVACHNOVÁ			
VEREJNÝ OBSTARÁVATEĽ	 NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ	NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ, a.s. DÚBRAVSKÁ CESTA 14 841 04 BRATISLAVA	HLAVNÝ INŽINIER STAVBY: ING. Ľ. PEMČÁK PODPIS:
NEZÁVISLÝ STAVEBNÝ DOZOR	 AECOM	AECOM Polska Sp. z o.o., organizačná zložka A. BERNOLÁKA 6 034 50 RUŽOMBEROK	STAVEBNÝ DOZOR: JANUSZ UBOWSKI PODPIS:
ZHOTOVITEĽ STAVBY		RIADITEĽ VÝSTAVBY: ING. J. POLLÁK	
 OHL ŽS			
VEDÚCI ČLEN ZDRUŽENIA: OHL ŽS, a.s. Burešová 938/17 662 02 Brno	ČLEN ZDRUŽENIA: VÁHOSŤAV - SK, a.s. Priemyselná 6 821 09 Bratislava	ZDRUŽENIE ČEBRAŤ TUHOVSKÁ 10722/29 831 06 BRATISLAVA	PODPIS: 

DÚR - zmena F

ZDRUŽENIE "D1 HUBOVÁ - IVACHNOVÁ"		VEDÚCI ČLEN ZDRUŽENIA: DOPRAVOPROJEKT, a.s. DIVÍZIA BRATISLAVA I 832 03 Bratislava 3, Kominárska 2,4		ČLEN ZDRUŽENIA: GEOCONSULT, spol. s r.o. Tomášikova 10/E 821 03 Bratislava	
					
HL. INŽ. PROJEKTU		ING. J. KRČ		PODPIS 	
Č. ZÁKAZKY		7596-05			
PROJEKTANT OBJEKTU	ZODPOVEDNÝ PROJEKTANT	Mgr. MARTIN BOROVSÝ	PODPIS		
 Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava	VYPRACOVAL	RNDr. MARIAN KUVIK	PODPIS		
	KONTROLOVAL	RNDr. MARIAN KUVIK	PODPIS		
	IDENTIF. ČÍSLO PRÍLOHY	HI00000F7DÚRa181130B			
KRAJ ŽILINSKÝ	KATASTR. ÚZEMIE: HUBOVÁ, HRBOLTOVÁ, UKAVKA, MARTINČEK, LISKOVÁ, IVACHNOVÁ		DÁTUM	11.2018	
F. PODKLADY A PRIESKUMY			FORMÁT		
			MIERKA		
			ÚČEL	DÚR zmena	
			ČÍS. ZÁKAZKY	20170013	
NÁZOV PRÍLOHY			ČÍS. SÚPRAVY	ČÍS. PRÍLOHY	
INŽINIERSKOGEOLOGICKÝ PRIESKUM				F.7	

POL'NÉ SKÚŠKY

PRÍLOHY 6.1 – 6.3

VÝSLEDKY DILATOMETRICKÝCH SKÚŠOK VO VRTOCH

Výsledky skúšok dilatometrom PROBEX

1. Úvod

Cieľom dilatometrických skúšok bolo overenie deformačných parametrov horninového masívu v mieste navrhovaných objektov novej trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová vo variante V2. Jednalo sa najmä o oblasť severne posunutého západného portálu tunela Čebrať a príslušného predportálového i tunelového úseku diaľnice. Skúšky boli realizované v období 25.5.2017 až 18.8.2017 v 4 štruktúrnych prieskumných vrtoch s celkovým počtom skúšok 39 ks. Uvedený rozsah tvoril podstatnú časť geotechnických terénnych skúšok počas prieskumných prác. Všetky skúšky vykonali pracovníci CAD-ECO a.s. Bratislava Mgr. M. Borovský, RNDr. M. Kuvik, Ing. L. Stolárik, p. Šimek, p. Konkolovský a p. Gábor.



Obrázok 1 Realizácia dilatometrickej skúšky - tlakovanie pomocou hydraulického pumpy a odčítanie hodnôt tlaku a objemu pomocou dataloggera

2. Dilatometrické skúšky dilatometrom PROBEX – metodika

Podstata dilatometrickej skúšky dilatometrom (resp. horninovým presiometrom) spočíva v realizácii zaťažovacej skúšky radiálnym tlakom na stenu malopriemerového vrtu pomocou dilatometrickej bunky, čo je v princípe v zhode s presiometrickou skúškou prístrojom typu Ménard, kde však meracia bunka je približne polovičná a aplikácia max. tlaku cca 1/10 maximálneho tlaku pri dilatometrickej skúške. V zmysle EUROKÓDU ide o skúšku tzv. pružným dilatometrom EN ISO 22476-5.

Zatiaľ čo presiometrickú sondu tvorí meracia bunka spolu s dvoma ochrannými bunkami, dilatometrickú sondu tvorí meracia bunka s dvojčinným hydraulickým piestom

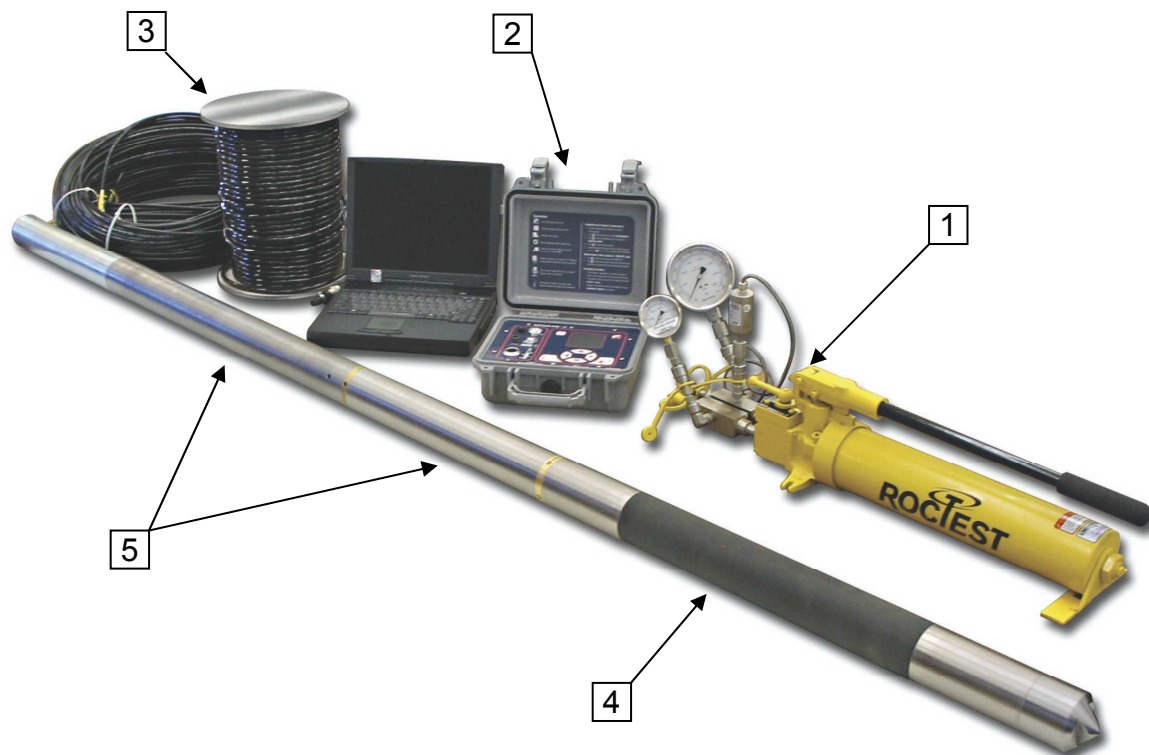
a analógovým prevodníkom objemu (potenciometer). Pri oboch skúškach sondy zapustené do vrtu umožňujú meranie deformácií horninového masívu v potrebnej hĺbke (presiometer typu Ménard max. 30 - 50 m, dilatometer PROBEX max. 500 m) sledovaním objemových zmien kvapaliny v meracej bunke pri súčasnom sledovaní vyvodzovaného tlaku.

Na predmetnej úlohe bol použitý dilatometer PROBEX kanadsko-francúzskej spoločnosti TELEMAT-ROCTEST. Skúšobné zariadenie pozostáva z dilatometrickej sondy (meracej bunky, analógového prevodníka objemu - posuvného potenciometra a hydraulického dvojčinného piestu), hydraulického a elektrického obvodu, meracej aparatury (datalogger) a hydraulickej pumpy. Na obr. 2 je zobrazené skúšobné zariadenie so všetkým príslušenstvom a s označením jednotlivých súčastí.

Pre realizáciu dilatometrickej skúšky bolo potrebné v prieskumnom vrtu realizovať návrť priemeru NQ (76 mm). Dĺžka návrťu zodpovedala požiadavkám geotechnika na otestovanie horninového masívu v podzákladi plánovaných mostných pilierov, pričom minimálna dĺžka návrťu bola 10 m. Zároveň boli zohľadnené i miestne geologické pomery.

Základnou podmienkou úspešnosti dilatometrických skúšok je, že pred realizáciou skúšok v každom prieskumnom vrtu je potrebné overiť tesnosť sústavy, odpor membrány meracej bunky (inercia – realizácia min. 1x) a rozťažnosť tlakového obvodu (kalibrácia – realizácia min. 5x). Údaje z kalibrácie a merania odporu membrány vstupujú do vyhodnotenia skúšky a výpočtu modulov.

Pri samotnej realizácii bola použitá meracia bunka (sonda) priemeru 73,7 mm. Sonda bola spúšťaná do vrtu pomocou vrtných tyčí systému WireLine rovnakého priemeru, ako skúšobná sonda. Schéma skúšobného zariadenia je znázornená na obrázku 3.



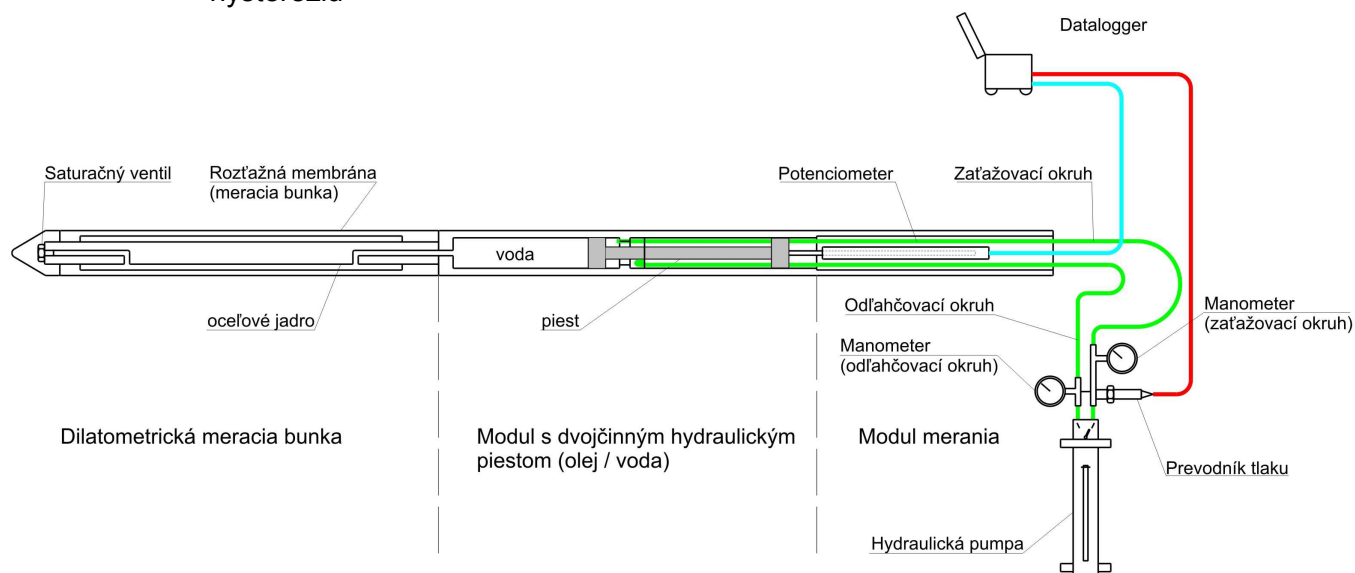
Obrázok 2 Celá zostava dilatometra PROBEX

1. Hydraulická pumpa s prevodníkom tlaku a kontrolnými manometrami; 2. Datalogger pre sledovanie a záznam nameraných údajov; 3. Hydraulický a elektrický obvod; 4. Meracia bunka; 5. Dvojčinný hydraulický piest a analógový prevodník objemu (potenciometer)

Vlastná skúška sa realizuje v požadovanej hĺbkovej úrovni vždy pri minimálne siedmych zaťažovacích stupňoch (nenulových tlakových úrovniach). Zvyšovanie tlakov je postupné, pričom počas odčítavania je potrebné dosiahnuť kvázi ustálený stav objemu a tlaku. Veľkosť zaťažovacích stupňov sa volí v závislosti na skúšanom horninovom prostredí a na inercii membrány použitej meracej sondy. Tlak sa vyvodzuje pomocou hydraulického olejového okruhu (max. 30 MPa), napojeného na hydraulickú ručnú pumpu. V sonde tlak hydraulického oleja pôsobí na piest, ktorý následne vyvodzuje tlak na vodou vyplnenú meraciu bunku. Dĺžka meracej časti sondy (rozťažnej membrány) je 457 mm.

Účelom dilatometrických skúšok je získať informácie o deformačno-pevnostných charakteristikách horninového prostredia až do štádia jeho porušenia. Zo skúšok je možné určiť:

- začiatok pružnoplastickej fázy namáhania
- medzu limitného tlaku pri poloskálných horninách a zeminách
- modul deformácie (pretvárnosti)
- modul pružnosti
- hysteréziu



Obrázok 3 Funkčná schéma meracej aparatury

3. Dilatometrické skúšky dilatometrom PROBEX – spôsob vyhodnotenia meraní

Pre vyhodnotenie dilatometrických skúšok dilatometrom PROBEX t.j. výpočet modulu deformácie (pretvárnosti) E_{def} je potrebné poznať inerciu (odpor) dilatometrickej sondy (tlakové straty) a rozťažnosť hydraulického obvodu (objemové straty). Pred sériou dilatometrických skúšok v každom vrte je preto nevyhnutné vykonať dva kalibračné postupy na povrchu terénu pri atmosferickom tlaku za účelom zistenia:

- rozťažnosti sondy v ocelevej rúre so známym priemerom, kde sa zistí koeficient rozťažnosti c , vyjadrujúci objemovú stratu. Tlak sa zvyšuje v krokoch až do maximálneho dosiahnuteľného zaťaženia 30 MPa. Kalibrácia sa päťkrát opakuje a výsledná hodnota c je priemerom z čiastkových kalibrácií;
- rozťažnosti a odolnosti plášťa a membrány sondy (inercia) a vyjadrenie tlakovej straty. Kalibrácia sa vykonáva pri voľne položenej (podopretej) sonde až do

maximálneho povoleného objemu (cca 600 cm³). Dosiahnutou krivkou sa následne korigujú v teréne namerané údaje.

Deformačný modul (modul pretvárnosti) je modulom distorzie a charakterizuje pseudoplastickú fázu skúšky – deformácie horninového prostredia. Hodnotu deformačného modulu E_{def} potom možno určiť podľa vzorca:

$$E_{\text{def}} = 2(1 + \nu_r) \cdot (V_0 + V_m) \cdot \frac{1}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta p_b} \right)^{-c}}$$

kde:

- ν_r - Poissonovo číslo skúšanej horniny
- V_0 - objem sondy
- V_m - priemerný objem vrtu v mieste skúšky medzi dvomi tlakmi p_1 a p_2 $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$
- ΔV - rozdiel tlakov $\Delta V = V_2 - V_1$
- Δp_b - rozdiel tlakov $\Delta p_b = p_2 - p_1$
- p_1, p_2 - tlaky v pružno-plastickej fáze deformácie (v prípade zeminy a poloskalnej horniny), prípadne v pružnej fáze deformácie (v prípade horniny)
- V_1, V_2 - objem vrtu v mieste skúšky pri tlaku p_1 a p_2 .

Na základe uvedených vzťahov sme vypočítali výsledné hodnoty modulov pretvárnosti E_{def} pre 39 realizovaných dilatometrických skúšok realizovaných v 30 až 75 m hlbokých jadrových vrtoch. Súhrnné výsledky deformačno-pevnostných charakteristík vo vrtoch poskytujú reálny obraz o stave a kvalite horninového masívu v oblasti plánovaného západného portálu tunela Čebrať vo variante V2 na novej trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová, čo dokumentuje aj tabuľka č. 1.

Pracovné diagramy skúšok, číselné hodnoty objemových zmien pri jednotlivých tlakových stupňoch a vypočítané moduly pretvárnosti E_{def} sú uvedené v prílohách 6.1.1 až 6.1.39.

4. Vyhodnotenie skúšok

Dilatometrické skúšky boli cielene realizované v oblasti plánovaného západného portálu tunela Čebrať a v trase budúcej tunelovej rúry vo variante V2, pričom skúšky zastihli predkvartérne horniny ílovcov, siltovcov a vápencov. Horniny boli rôzneho stupňa porušenia od zdravých kompaktných hornín cez navetrané a rozpukané, až po horniny výrazne tektonicky poručené.

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.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-25 (DS-026 až DS-029), NT-26 (DS-001, DS-005,

DS-007, DS-008, DS-010) a NT-27 (DS-016 a DS-017), pričom hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{\text{def}} = 10,46 - 261,05 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 114,07 \text{ MPa}$.

B) Zvetrané alebo čiastočne porušené ílovce až siltovce

Majú charakter poloskalných 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.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-26 (DS-002, DS-009) a NT-27 (DS-011, DS-012, DS-014, DS-020 a DS-021), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{\text{def}} = 412,60 - 1168,20 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 755,19 \text{ MPa}$.

C) Navetrané a zdravé ílovce až siltovce

Sú zvyčajne masívne, tmavosivej farby. Ílovce v porubskom súvrství sú v danej lokalite dominantným litologickým typom.

Deformačné parametre navetraných a zdravých ílovcov boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-26 (DS-003, DS-004, DS-006) a NT-27 (DS-013, DS-015, DS-018 a DS-019). Hodnoty modulov pretvárnosti pre zdravé ílovce až siltovce boli v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 2654,64 \text{ MPa}$.

D) Zvetrané a husto rozpukané vápence jaseninského súvrstvia

Sú lavicovité až doskovité, pričom vytvárajú pozvoľné prechody do slienitých ílovcov alebo obsahujú tenké "vyvalcované" preplástky zbridičnatých ílovcov. Vyskytujú sa najmä v západnej časti územia smerom od údolia Kamenného potoka.

Geotechnické parametre hornín boli testované terénnymi dilatometrickými skúškami. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-20 (DS-030 až DS-038) boli stanovené pre porušené súvrstvie vápencov v rozsahu $E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 623,57 \text{ MPa}$.

E) Zdravé až navetrané slienité vápence jaseninského súvrstvia

Sú lavicovité až doskovité, vytvárajú pozvoľné vzájomné prechody do vápnitých ílovcov až slieňovcov, iba lokálne sú tektonizované prevažne medzivrstevnou tektonikou. Vyskytujú sa v západnej časti hodnoteného územia od údolia Kamenného potoka.

Geotechnické parametre boli stanovené na základe laboratórnych i terénnych skúšok. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok, ktoré boli realizované vo vrtoch NT-25 (DS-023, DS-024 a DS-025) a NT-20 (DS-039), boli stanovené v rozsahu $E_{\text{def}} = 2963,85 - 5238,53 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 3899,39 \text{ MPa}$.

5. Zoznam použitej literatúry

1. Briaud Jean-Louis: The pressuremeter, Rotterdam [etc.]: Balkema III. ISBN 90 6191 125 7 bound. Taylor and Francis Group plc, London, ©2005
2. Richard Simon, Desheng Deng: Estimation of Scale Effects of Intact Rock Using Dilatometer Tests Results. GeoHalifax, 2009

3. Ghamgosar, M., Fahimifar, A., Rasouli, V.: Estimation of rock mass deformation modulus from laboratory experiments in Karun dam. EUROCK. 2010
4. Zalesky, M., Bühler, Ch., Burger, U., John, M.: Dilatometer tests in deep boreholes in investigation for Brenner base tunnel. Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises – Barták, Hrdina, Romancov and Zlámál (eds) ©2007 Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-0-415-40807-3
5. A. Burak Göktepe, Selim Altun, Alper Sezer: Simulation of dilatometer tests by neural networks. Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 535-545, 2011.© Association for Scientific Research

V Žiline 30.8.2017

Ing. Július Bohyník

Prieskumné dielo	Označenie skúšky	Dátum realizácie skúšky	Hĺbka skúšky [m]	Poissonove číslo [ν]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul pretváramosti E _{def} [MPa]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul pretváramosti E _{def} [MPa]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul Pružnosti E [MPa]	Litologický typ horniny	
					od	do		od	do		od	do			
NT - 26	DS-001	30.5.2017	49,5	0,30	1,59	3,45	252,76							ílovec s preplástkami siltovca, tp a zbridiľčatený	
	DS-002		47,0	0,25	2,53	4,72	796,19							siltovec masívny	
	DS-003		44,0	0,25	4,72	11,83	1 029,31							siltovec masívny	
				0,25	1,91	4,50	2 080,60							siltovec masívny	
	DS-004		41,0	0,25	4,50	10,91	1 765,48							siltovec masívny	
				0,25	0,70	5,76	1 512,66							brekciovitá zóna	
	DS-005		38,0	0,35	0,39	0,73	14,13								siltovec masívny
	DS-006		35,0	0,23	0,89	3,36	2 135,88								siltovec masívny
				0,23	3,36	10,52	3 420,71								siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridiľčatený
	DS-007		32,0	0,30	0,56	2,36	107,07								siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridiľčatený
NT - 27	DS-008	30,0	0,30	0,64	1,83	89,08								siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridiľčatený	
	DS-009	26,0	0,30	0,86	4,58	295,61							siltovec s prechodom do ílovca, kvalitnejšia poloha		
			0,30	4,58	9,22	555,33								siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridiľčatený	
	DS-010	23,0	0,30	1,10	3,19	157,55							ílovec tp, so zvýšeným výskytom lamín až preplástkov pieskovca		
	DS-011	73,0	0,30	2,26	7,68	436,68								ílovec, kvalitný na rozhraní s tp zónou	
			0,30	1,21	4,05	283,94								ílovec, kvalitný, doskovitý	
	DS-012	71,5	0,30	2,53	9,40	412,60								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý	
			0,23	0,99	4,64	1 139,11								ílovec, kvalitný, doskovitý	
	DS-013	68,5	0,23	3,18	12,72	2 891,34								ílovec, kvalitný, doskovitý	
			0,25	1,21	4,18	703,13								ílovec, kvalitná časť na kontakte so zbridiľčateným, šupinatým ílovcom	
	DS-014	65,5	0,25	3,00	6,34	1 168,20								ílovec, kvalitný, doskovitý	
0,23			0,76	4,34	1 177,76								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý		
DS-015	62,5	0,23	2,72	13,56	3 337,41	5,78	10,87	2 933,92	10,87	1,94	8 043,93	ílovec, kvalitný, doskovitý			
DS-016	59,5	0,30	2,60	5,87	261,05	4,06	6,61	327,17	6,61	0,72	608,08	ílovec, kvalitná časť na kontakte so zbridiľčateným, šupinatým ílovcom			
DS-017	56,5	0,35	0,69	0,84	10,46								ílovec, tp poloha		
DS-018	53,5	0,25	2,52	10,18	2 349,34	2,52	10,18	2 349,34	10,18	0,78	4 095,45	ílovec, kvalitný, doskovitý			
DS-019	50,5	0,23	1,75	4,54	1 758,96								ílovec, kvalitný, doskovitý		
		0,23	4,54	10,99	2 784,97								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý		
DS-020	47,5	0,25	0,64	4,15	643,92								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý		
		0,25	4,85	12,90	1 090,03								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý		
DS-021	44,5	0,30	1,55	3,44	523,80								ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý		

Prieskumné dielo	Označenie skúšky	Dátum realizácie skúšky	Hĺbka skúšky [m]	Poissonove číslo [ν]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul pretvárnosti E _{def} [MPa]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul pretvárnosti E _{def} [MPa]	Obor zaťaženia [MPa]		Modul Pružnosti E [MPa]	Litologický typ horniny
					od	do		od	do		od	do		
NT - 25	DS-022	7.8.2017	44,7	0,25	1,63	4,97	836,13							vápenec s ojedinelými preplástkami siltovca
	0,25			4,97	12,12	1 299,79								
	DS-023		42,7	0,20	1,40	6,24	3 124,13							vápenec s ojedinelými preplástkami siltovca
	0,20			1,40	23,87	5 238,53								
	DS-024		40,7	0,23	0,74	6,46	1 237,17							vápenec s ojedinelými preplástkami siltovca
	0,23			6,46	12,50	2 963,85								
	DS-025		39,7	0,23	0,58	6,28	1 110,89							vápenec s ojedinelými preplástkami siltovca
	0,23			6,28	23,06	3 613,13								
	DS-026		35,7	0,30	0,95	1,82	122,65							siltovec silno tp, zbridičnený
DS-027	33,7	0,35	0,39	0,68	25,85							siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridičnený		
DS-028	31,7	0,35	0,37	0,53	23,54							siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridičnený		
DS-029	29,7	0,30	0,67	1,55	147,21							siltovec, porušený - rozpukaný, s laminami až preplástkami pieskovca		
NT - 20	DS-030	18.8.2017	36,0	0,25	0,89	4,96	462,83							vápenec
	0,25			7,70	20,25	1 315,05								
	DS-031		34,5	0,30	1,82	5,91	310,30							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	DS-032		31,5	0,30	2,39	5,57	290,75							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	DS-033		30,0	0,30	0,77	3,26	166,42							vápenec
	0,30			3,26	12,36	882,60								
	DS-034		27,0	0,30	1,52	3,58	360,43							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	0,30			3,58	6,47	466,93								
	DS-035		25,0	0,30	2,37	5,43	275,15							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	DS-036		23,0	0,30	1,83	6,25	333,23							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	DS-037		21,0	0,30	1,38	4,00	776,96							vápenec, dosah silného rozpukania masívu
	0,30			4,00	8,53	797,52								
	DS-038		19,0	0,30	0,92	1,63	98,21							vápenec, dosah silného porušenia masívu
	DS-039		17,0	0,23	1,39	3,88	2 513,91							vápenec
	0,23			3,88	10,80	3 378,44								

	modul pretvárnosti odvodený z dilatometrickej skúšky (obor zaťaženia: 0 - 7 MPa)
	modul pružnosti odvodený z cyklického zaťaženia dilatometrickej skúšky
	modul pretvárnosti z dilatometrickej skúšky (obor zaťaženia: 0 - 30 MPa)

Označenie skúšky: **DS-001**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26**

Poissonovo číslo: 0,30

Hĺbka skúšky (m): **49,50**

Skúšaná hornina: **ilovec s preplastkami siltovca, tp a zbridiľčnatý**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 3:34

[illegible]

Výsledky:

P1 = 1,59 MPa

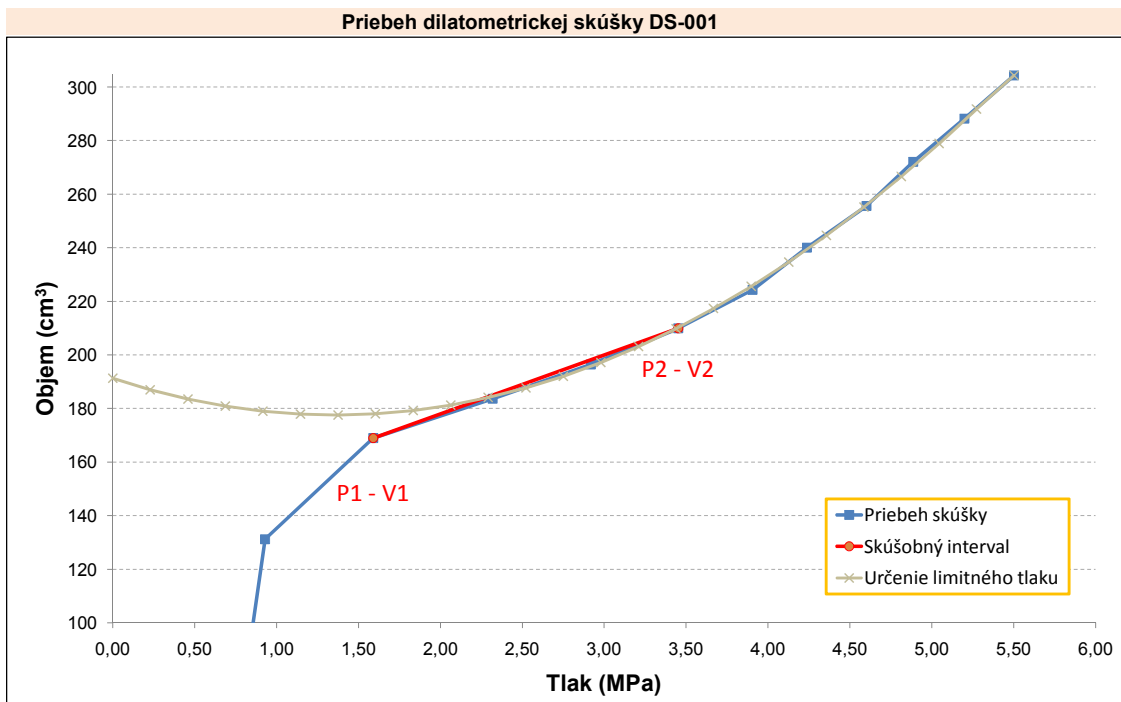
P2 = 3,45 MPa

V1 = 168,92 cm³

$$V_2 = 209.88 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 252,76 \text{ MPa}$$

$p_i = 18,71 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.1**

Označenie skúšky: **DS-002** Hladina podz. vody (m p.t.): **-**

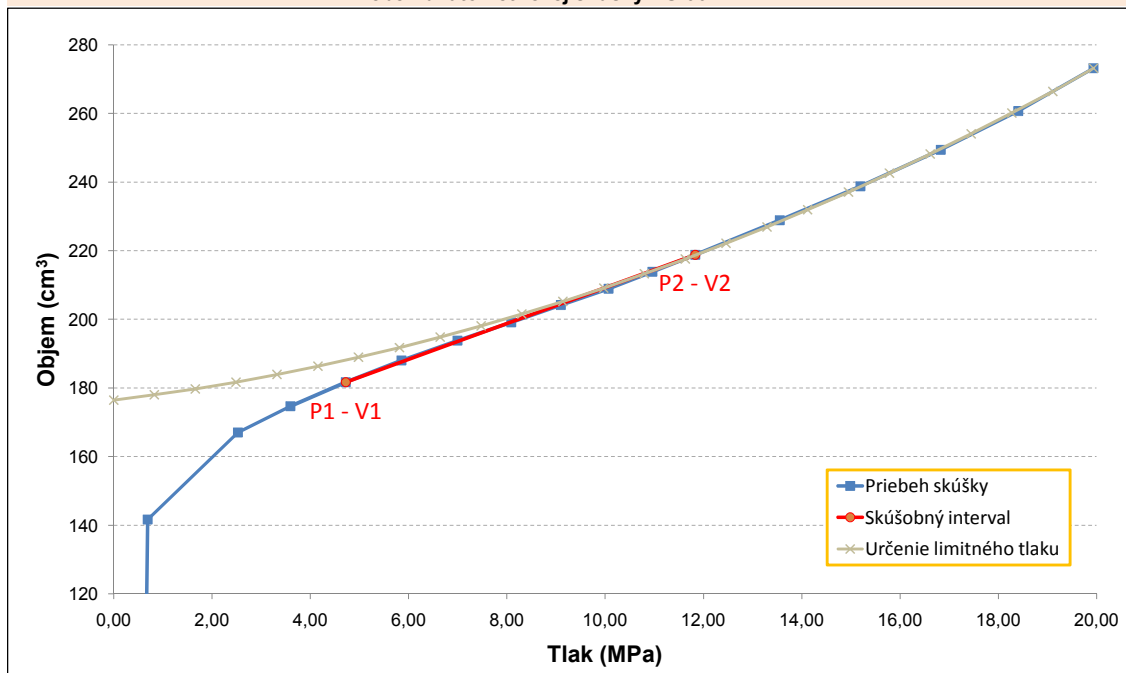
Označenie vrtu: **NT-26** Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **47,00** Skúšaná hornina: **siltovec masívny**

Typ sondy: **PROBEX** Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon** Začiatok skúšky: **4:02**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,000	2,154	0,275	2,2	0,05
0,731	90,779	0,645	90,0	2,15
1,027	142,717	0,694	141,6	3,37
2,979	170,175	2,526	166,9	4,00
4,086	179,033	3,597	174,6	4,21
5,247	187,293	4,725	181,6	4,40
6,408	194,904	5,856	188,0	4,57
7,575	202,001	6,997	193,8	4,73
8,689	208,519	8,087	199,1	4,88
9,723	214,631	9,099	204,1	5,02
10,716	220,472	10,072	208,9	5,16
11,628	226,421	10,965	213,8	5,29
12,514	232,278	11,832	218,7	5,43
14,272	244,248	13,553	228,8	5,70
15,949	255,999	15,197	238,7	5,96
17,614	268,433	16,827	249,4	6,25
19,224	281,493	18,404	260,7	6,54
20,794	295,638	19,939	273,1	6,86

Výsledky:P1 = **4,72** **MPa**P2 = **11,83** **MPa**V1 = **181,61** **cm³**V2 = **218,73** **cm³** E_{def} = **1029,31** **MPa** p_L = **115,15** **MPa****Poznámky:****Priebeh dilatometrickej skúšky DS-002**Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy:

6.1.2

Označenie skúšky: **DS-003** Hladina podz. vody (m p.t.): **-**

Označenie vrtu: **NT-26** Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **44,00** Skúšaná hornina: **siltovec masívny**

Typ sondy: **PROBEX** Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon** Začiatok skúšky: **4:46**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,087	20,897	0,287	20,8	0,50
0,772	106,786	0,591	106,0	2,53
1,006	156,548	0,595	155,5	3,69
2,463	190,053	1,912	187,4	4,46
3,805	195,243	3,234	191,1	4,58
5,086	199,549	4,499	194,0	4,68
6,287	203,985	5,684	197,2	4,78
7,341	207,616	6,724	199,7	4,86
9,521	216,125	8,875	205,8	5,06
11,588	226,135	10,908	213,6	5,29
13,541	233,535	12,837	218,9	5,45
15,627	248,527	14,879	231,6	5,79
17,694	259,456	16,914	240,3	6,04
19,606	270,313	18,797	249,1	6,29
21,512	281,159	20,675	257,9	6,53
22,995	292,723	22,129	267,8	6,79

Výsledky:

P1 = **4,50** MPa

P2 = **10,91** MPa

V1 = **194,04** cm³

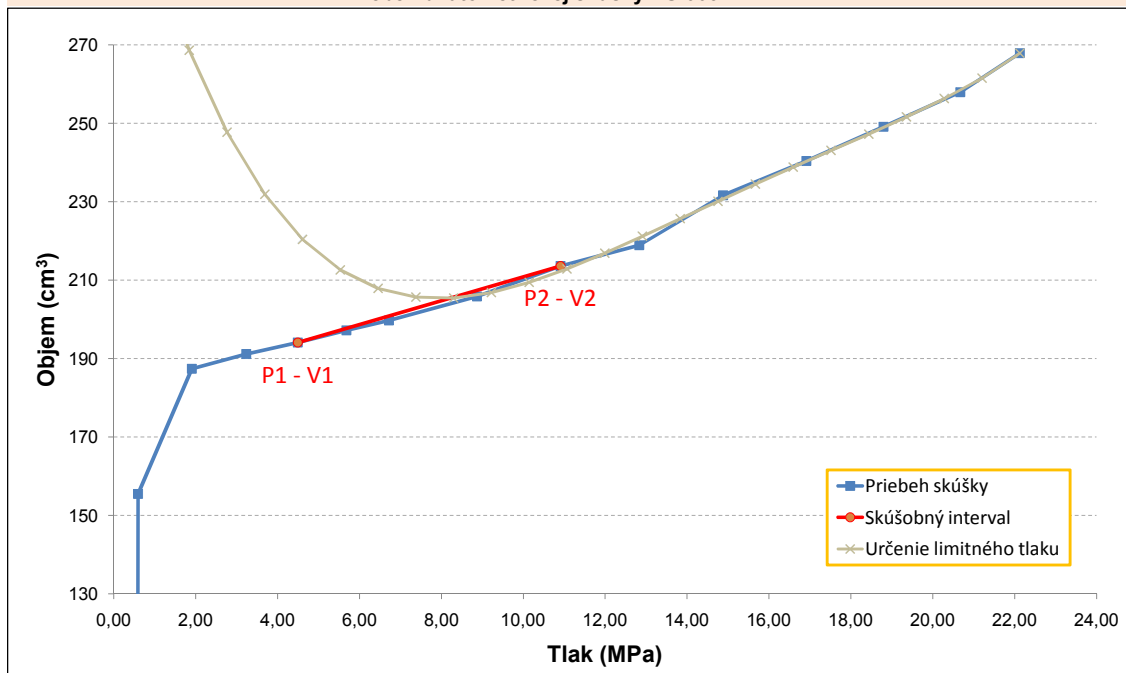
V2 = **213,59** cm³

E_{def} = **1765,48** MPa

p_L = **44,74** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-003



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy: **6.1.3**

Označenie skúšky: **DS-004**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26**

Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **41,00**

Skúšaná hornina: **siltovec masívny**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **5:18**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 3,29 MPa

P2 = 12,55 MPa

V1 = 168,08 cm³

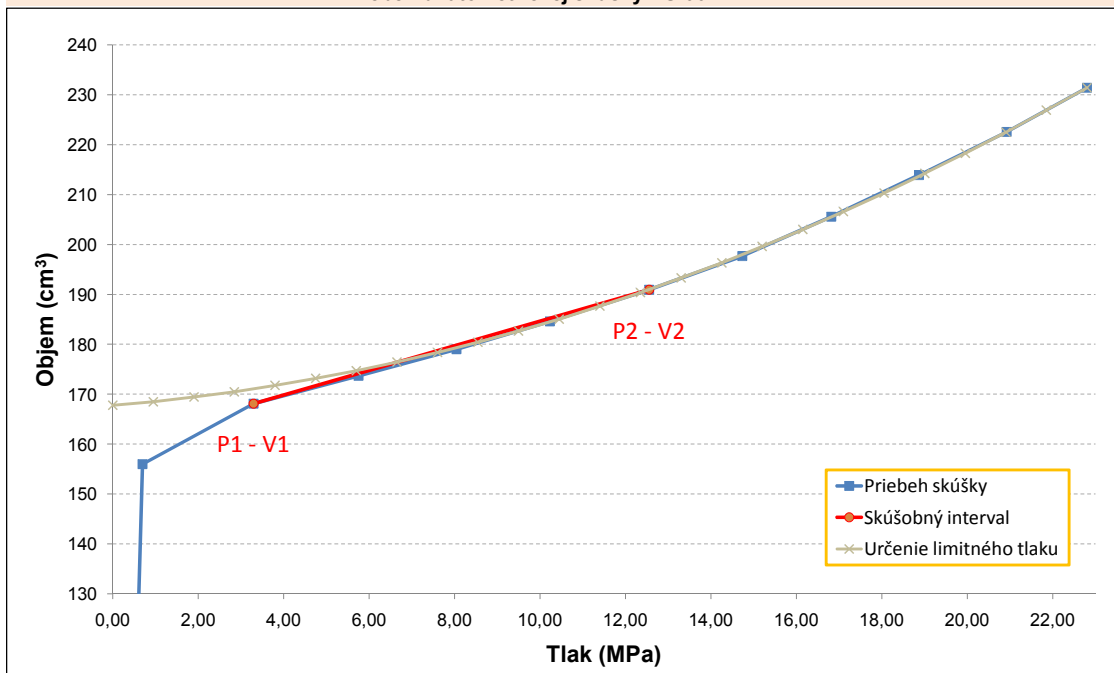
V2 = 190.94 cm³

$$E_{\text{def}} = 2156,32 \text{ MPa}$$

$p_i = 152,57 \text{ MPa}$

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-004



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.4**

Označenie skúšky: **DS-005**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26**

Poissonovo číslo: **0,35**

Hĺbka skúšky (m): **38,00**

Skúšaná hornina: **brekciovitá zóna**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 5:50

[illegible]

Výsledky:

P1 = 0,39 MPa

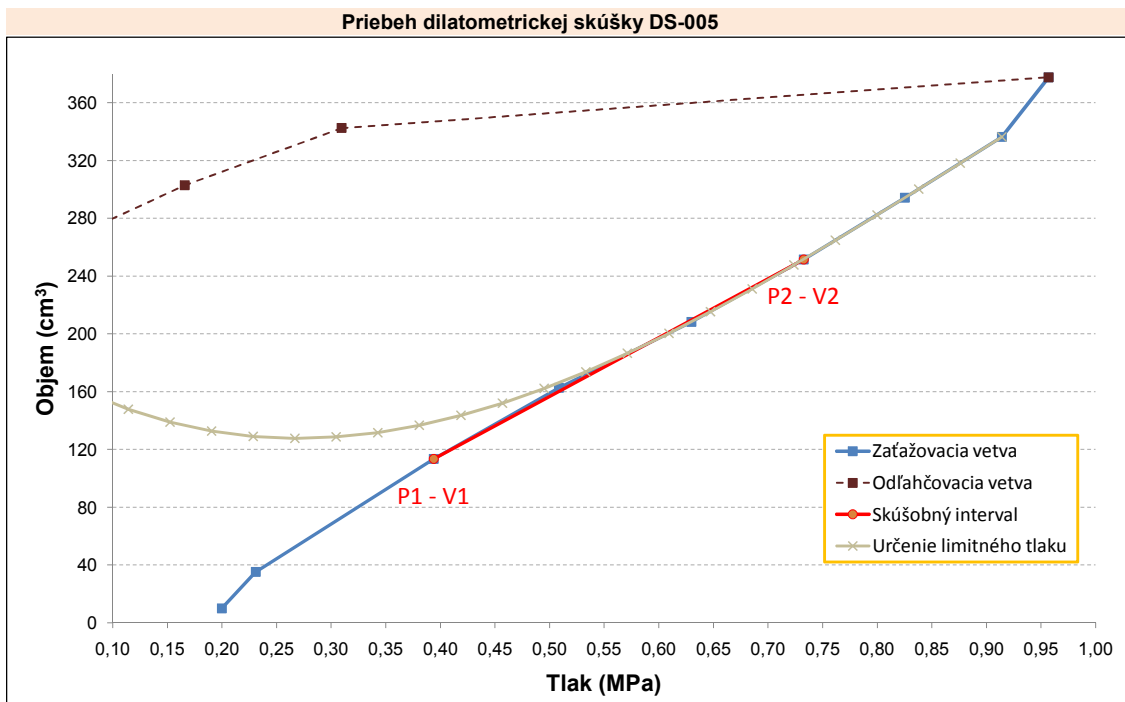
P2 = 0,73 MPa

V1 = 113,43 cm³

$$V_2 = 251.50 \text{ cm}^3$$
$$E_{\text{def}} = 14,13 \text{ MPa}$$

$p_l =$ **#N/A** **MPa**

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.5**

Označenie skúšky: **DS-006** Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26** Poissonovo číslo: **0,23**

Hĺbka skúšky (m): **35,00** Skúšaná hornina: **siltovec masívny**

Typ sondy: **PROBEX** Dátum realizácie: **30.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon** Začiatok skúšky: **6:13**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,013	29,506	0,129	29,5	0,71
0,664	110,228	0,415	109,5	2,61
1,355	156,613	0,891	155,1	3,69
3,865	165,331	3,362	161,1	3,89
6,462	171,613	5,932	164,6	4,04
8,743	177,873	8,188	168,4	4,18
11,105	184,071	10,525	172,0	4,32
1,711	165,155	1,209	163,3	3,89
0,483	154,824	0,026	154,3	3,65
3,245	166,580	2,737	163,1	3,92
6,301	174,724	5,758	167,9	4,11
11,729	187,370	11,136	174,7	4,40
16,218	198,983	15,580	181,4	4,67
20,640	214,999	19,945	192,7	5,03
24,585	234,716	23,825	208,1	5,48
8,126	205,823	7,463	197,0	4,82
1,315	179,599	0,753	178,2	4,22
0,456	167,168	-0,054	166,7	3,93

Výsledky:

P1 = **3,36** MPa

P2 = **10,52** MPa

V1 = **161,15** cm³

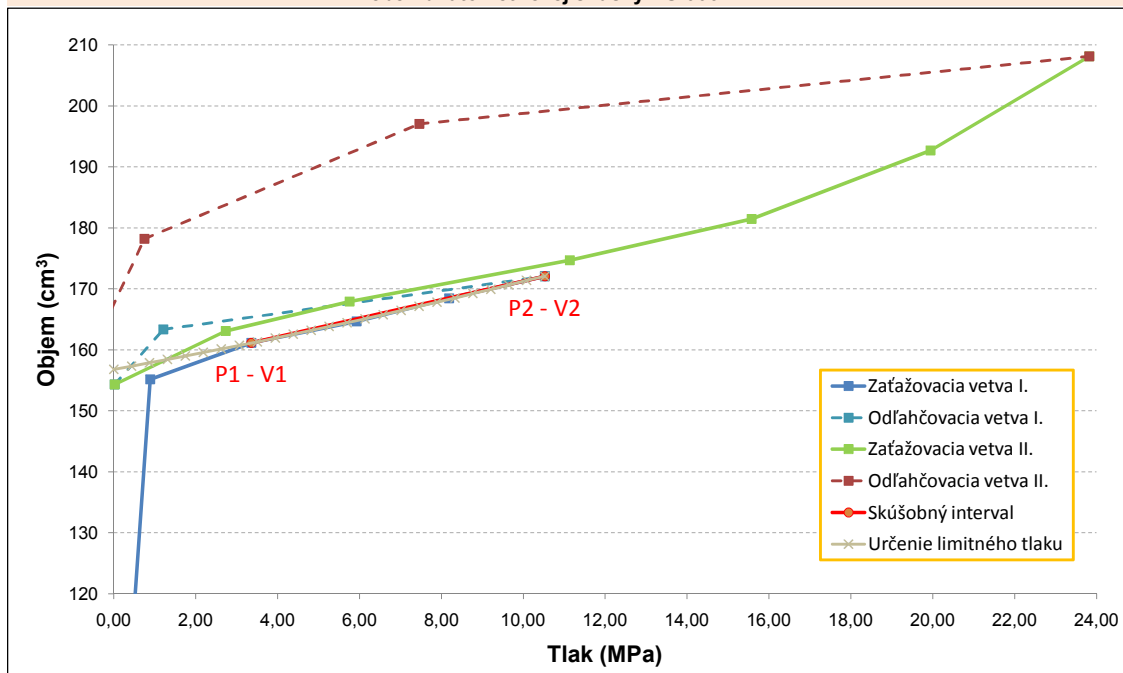
V2 = **172,05** cm³

E_{def} = **3420,71** MPa

p_L = **284,96** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-006



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy:

6.1.6

Označenie skúšky: **DS-008**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **30,00**

Skúšaná hornina: **slivkový s prechodom do rovea,
tektonicky porušený,
zbridličenatý**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: 30.5.2017

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **7:16**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 0,64 MPa

P2 = 1,83 MPa

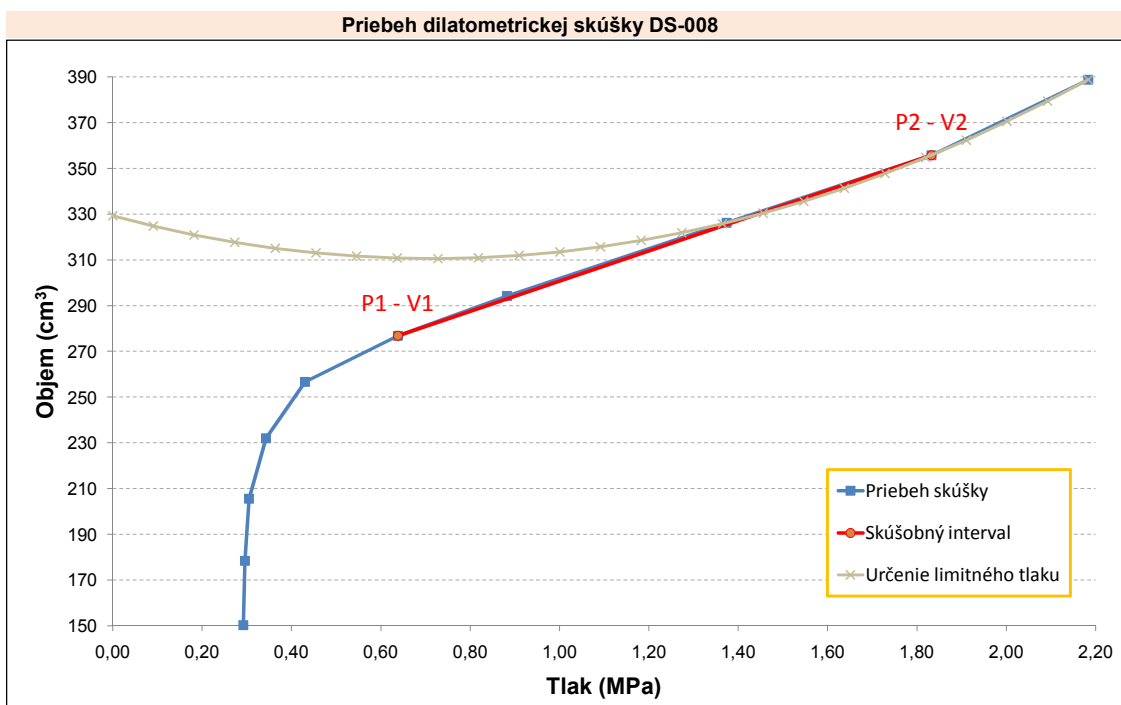
V1 = 276,69 cm³

$V_2 = 355.71 \text{ cm}^3$

$E_{def} = 89,08 \text{ MPa}$

$p_l = 8,72 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Sinak, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy: **6.1.8**

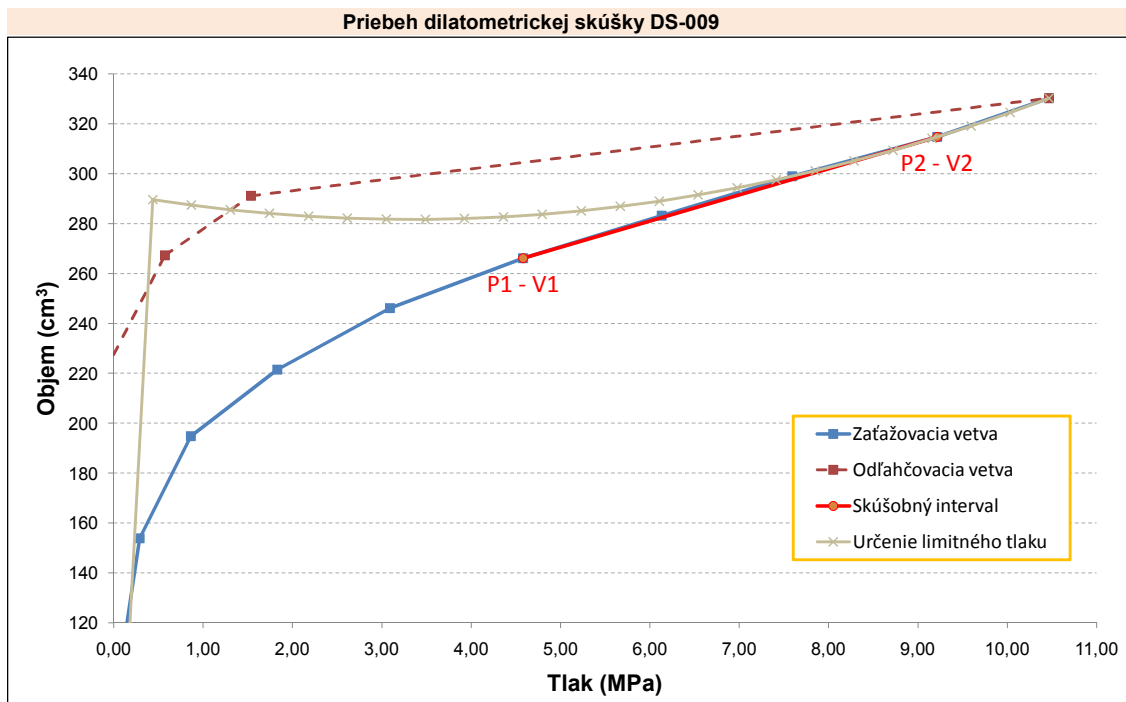
Označenie skúšky:	DS-009	Hladina podz. vody (m p.t.):	-
Označenie vrtu:	NT-26	Poissonovo číslo:	0,30
Hĺbka skúšky (m):	26,00	Skúšaná hornina:	siltovec s prechodom do ílovca, kvalitnejšia poloha
Typ sondy:	PROBEX	Dátum realizácie:	30.5.2017
Povlak sondy:	Nylon	Začiatok skúšky:	7:44

[illegible]

Výsledky:

P1 =	4,58	MPa
P2 =	9,22	MPa
V1 =	266,05	cm ³
V2 =	314,63	cm ³
E _{def} =	555,33	MPa
p _L =	52,78	MPa

Poznámky:



Název úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.9**

Označenie skúšky: **DS-010**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-26**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **23,00**

Skúšaná hornina: **tektonicky porušený,
zbridiľčnatý**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: 30.5.2017

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 8:15

[illegible]

Výsledky:

P1 = 1,10 MPa

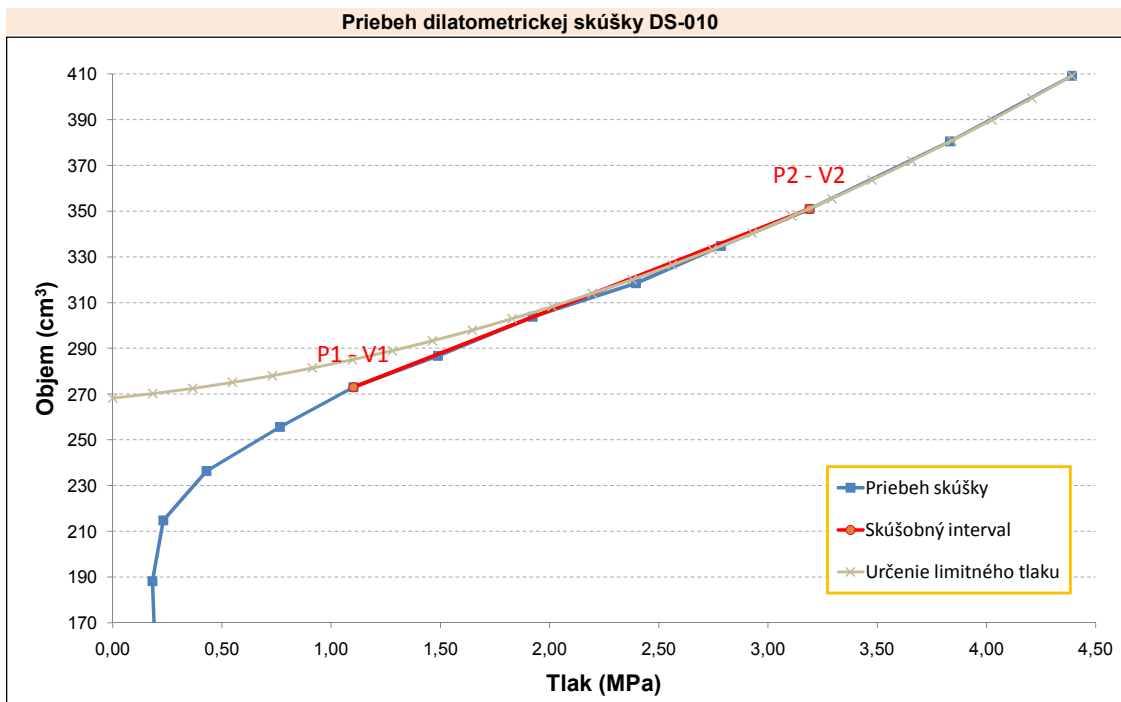
P2 = 3,19 MPa

V1 = 272,95 cm³

$$V_2 = 350.89 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 157,55 \text{ MPa}$$

$p_l = 20,54 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.10**

Označenie skúšky: **DS-011** Hladina podz. vody (m p.t.): **-**

Označenie vrtu: **NT-27** Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **73,00** Skúšaná hornina: **ílovec tp, so zvýšeným výskytom lamin až preplástkov pieskovca**

Typ sondy: **PROBEX** Dátum realizácie: **25.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon** Začiatok skúšky: **9:54**

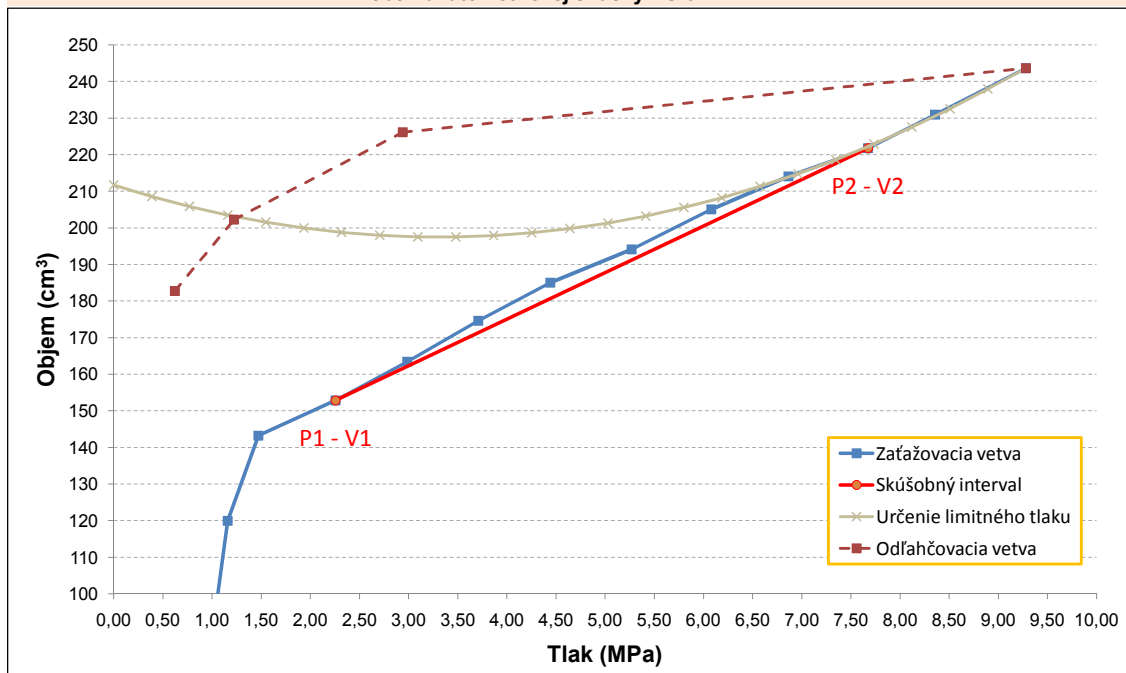
Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,054	20,660	0,424	20,6	0,49
0,624	55,816	0,853	55,1	1,33
0,966	93,045	1,021	92,0	2,21
1,241	121,281	1,161	119,9	2,87
1,664	144,938	1,474	143,1	3,42
2,496	155,505	2,258	152,8	3,66
3,274	166,895	2,987	163,4	3,93
4,046	178,905	3,709	174,5	4,20
4,824	190,172	4,443	185,0	4,46
5,690	200,186	5,270	194,0	4,69
6,542	212,033	6,080	205,0	4,96
7,361	221,914	6,865	214,0	5,19
8,200	230,586	7,675	221,7	5,39
8,911	240,495	8,356	230,9	5,61
9,877	254,259	9,281	243,6	5,92
3,462	229,808	2,940	226,1	5,37
1,657	203,999	1,224	202,2	4,78
0,980	183,797	0,623	182,7	4,32

Výsledky:

P1 = **2,26** MPaP2 = **7,68** MPaV1 = **152,81** cm³V2 = **221,74** cm³ E_{def} = **436,68** MPa p_L = **44,42** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-011

Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**Číslo prílohy: **6.1.11**

Označenie skúšky: **DS-012**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**Poissonovo číslo: **0,30**Hĺbka skúšky (m): **71,50**Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný na rozhraní s tp zónou**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **25.5.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **10:34**

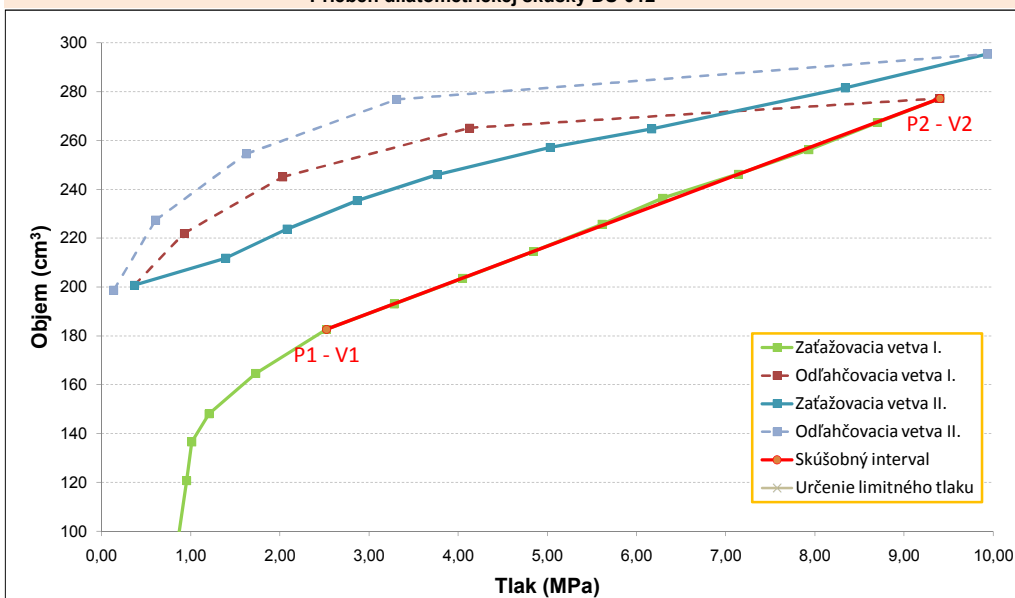
Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,060	55,533	0,282	55,5	1,32
0,731	85,522	0,814	84,7	2,03
1,047	121,812	0,955	120,7	2,88
1,181	137,777	1,015	136,5	3,25
1,429	149,644	1,209	148,1	3,53
2,026	166,714	1,731	164,5	3,92
2,899	185,836	2,525	182,7	4,36
3,697	196,955	3,281	193,0	4,62
4,509	208,293	4,051	203,4	4,88
5,341	220,214	4,842	214,5	5,15
6,153	232,267	5,614	225,6	5,43
6,871	243,863	6,297	236,5	5,69
7,743	254,639	7,138	246,3	5,93
8,569	265,387	7,934	256,1	6,18
9,367	277,451	8,700	267,3	6,45
10,092	288,012	9,399	277,1	6,69
4,777	270,294	4,129	265,1	6,29
2,617	247,825	2,031	245,0	5,78
1,436	223,546	0,926	222,0	5,23
0,805	201,639	0,371	200,8	4,73
1,872	213,781	1,395	211,8	5,00
2,603	226,488	2,083	223,7	5,29
3,429	238,993	2,869	235,3	5,58
4,361	250,665	3,767	246,0	5,84
5,656	263,211	5,027	257,1	6,13
6,824	272,036	6,171	264,7	6,33
9,038	291,249	8,337	281,5	6,76
10,675	306,850	9,937	295,3	7,11
3,986	281,020	3,310	276,7	6,53
2,234	256,878	1,623	254,5	5,98
1,134	228,538	0,607	227,3	5,34
0,564	199,194	0,139	198,6	4,67

Výsledky:

P1 = **2,53** MPaP2 = **9,40** MPaV1 = **182,71** cm³V2 = **277,13** cm³E_{def} = **412,60** MPap_L = **#N/A** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-012

Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy:

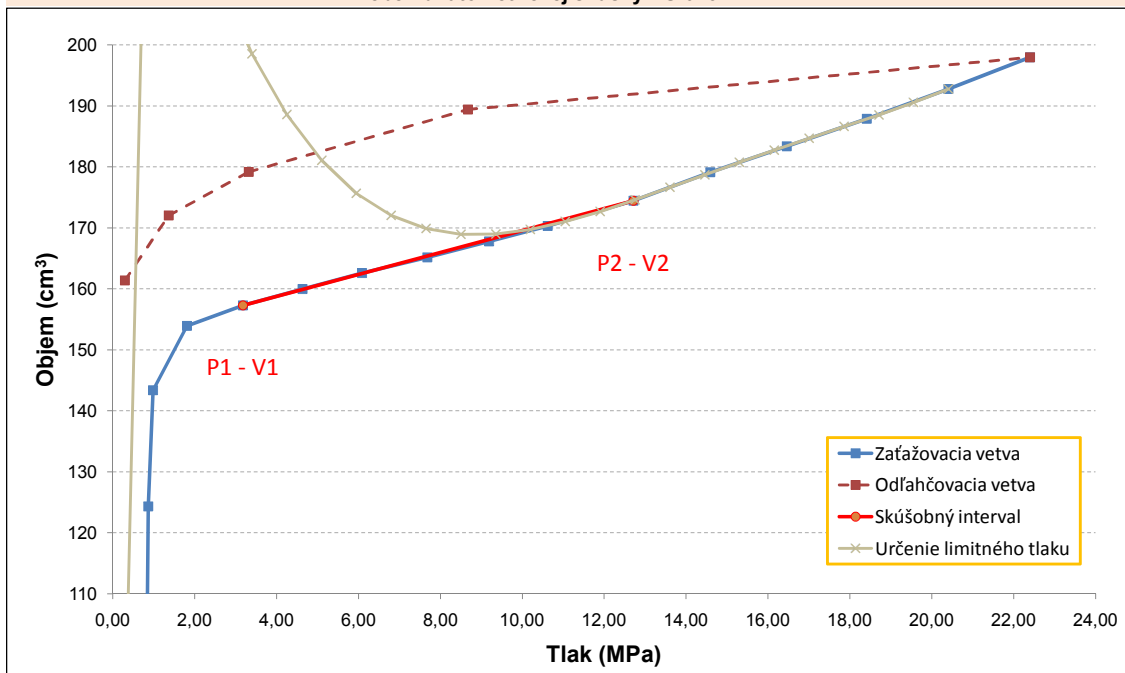
6.1.12

Označenie skúšky: **DS-013**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**Poissonovo číslo: **0,23**Hĺbka skúšky (m): **68,50**Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, doskovitý**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **25.5.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **11:57**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,013	29,606	0,324	29,6	0,71
0,819	97,075	0,828	96,2	2,30
0,993	125,391	0,867	124,3	2,96
1,201	144,666	0,986	143,4	3,41
2,080	156,141	1,813	153,9	3,68
3,469	161,020	3,181	157,3	3,79
4,945	165,284	4,639	160,0	3,89
6,415	169,455	6,091	162,5	3,99
8,025	173,769	7,683	165,1	4,09
9,555	178,043	9,195	167,7	4,18
10,998	182,141	10,621	170,3	4,28
13,118	188,592	12,716	174,4	4,43
15,017	195,275	14,589	179,1	4,58
16,909	201,592	16,458	183,4	4,72
18,888	208,246	18,413	187,9	4,88
20,908	215,269	20,408	192,7	5,04
22,921	222,656	22,396	197,9	5,21
9,119	199,222	8,676	189,4	4,67
3,704	183,119	3,324	179,1	4,30
1,711	173,867	1,368	172,0	4,09
0,590	161,976	0,298	161,3	3,81

Výsledky:P1 = **3,18** MPaP2 = **12,72** MPaV1 = **157,28** cm³V2 = **174,44** cm³ E_{def} = **2891,34** MPa p_L = **47,67** MPa**Poznámky:****Priebeh dilatometrickej skúšky DS-013**Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**Číslo prílohy: **6.1.13**

Označenie skúšky: **DS-014** Hladina podz. vody (m p.t.): **-**

Označenie vrtu: **NT-27** Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **65,50** Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý**

Typ sondy: **PROBEX** Dátum realizácie: **25.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon** Začiatok skúšky: **12:43**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,027	41,938	0,271	41,9	1,00
0,852	108,861	0,787	107,9	2,58
1,067	148,903	0,815	147,8	3,51
1,221	168,247	0,885	166,9	3,96
1,610	184,943	1,205	183,2	4,34
2,469	197,149	2,017	194,5	4,62
3,482	205,328	3,000	201,6	4,81
4,684	210,948	4,181	205,9	4,94
5,851	217,835	5,325	211,5	5,10
6,891	224,451	6,343	217,0	5,25
7,857	232,607	7,283	224,1	5,43
8,542	243,203	7,934	234,0	5,67
9,548	251,089	8,918	240,8	5,85
10,447	259,251	9,794	248,0	6,04
11,736	272,207	11,047	259,5	6,33
12,823	284,298	12,104	270,5	6,60
13,816	295,411	13,069	280,5	6,85
5,838	270,790	5,153	264,5	6,30
2,677	247,258	2,058	244,4	5,77
1,282	224,381	0,733	223,0	5,25
0,611	200,759	0,145	200,1	4,71

Výsledky:

P1 = **3,00** MPa

P2 = **6,34** MPa

V1 = **201,57** cm³

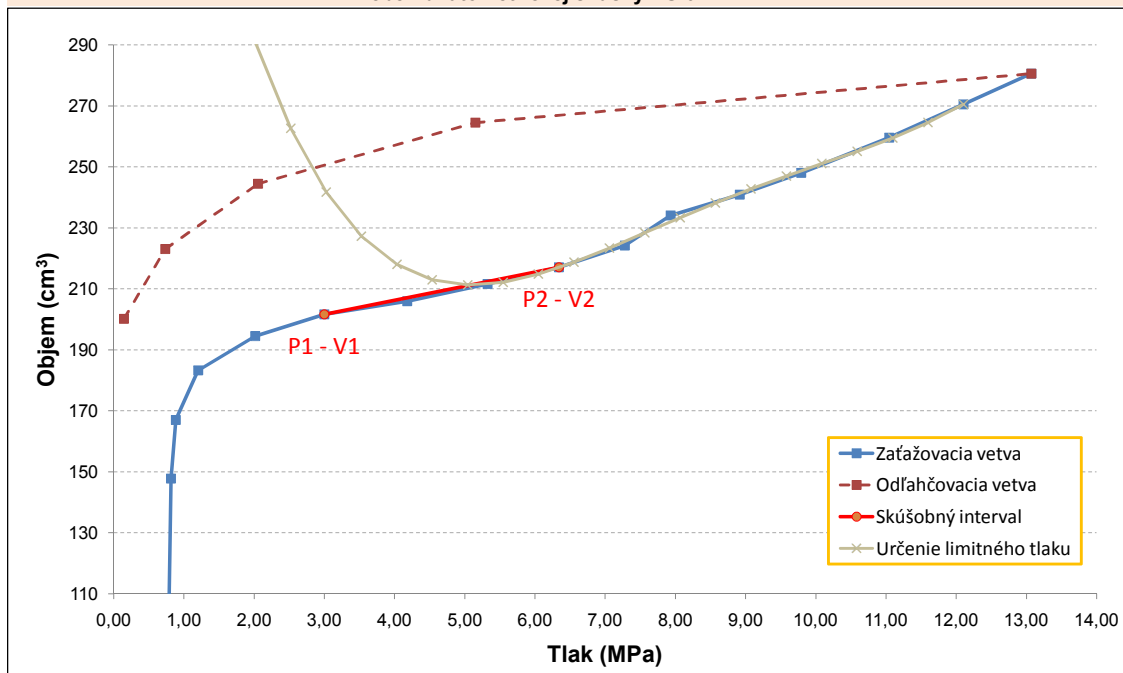
V2 = **217,02** cm³

E_{def} = **1168,20** MPa

p_L = **22,53** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-014



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

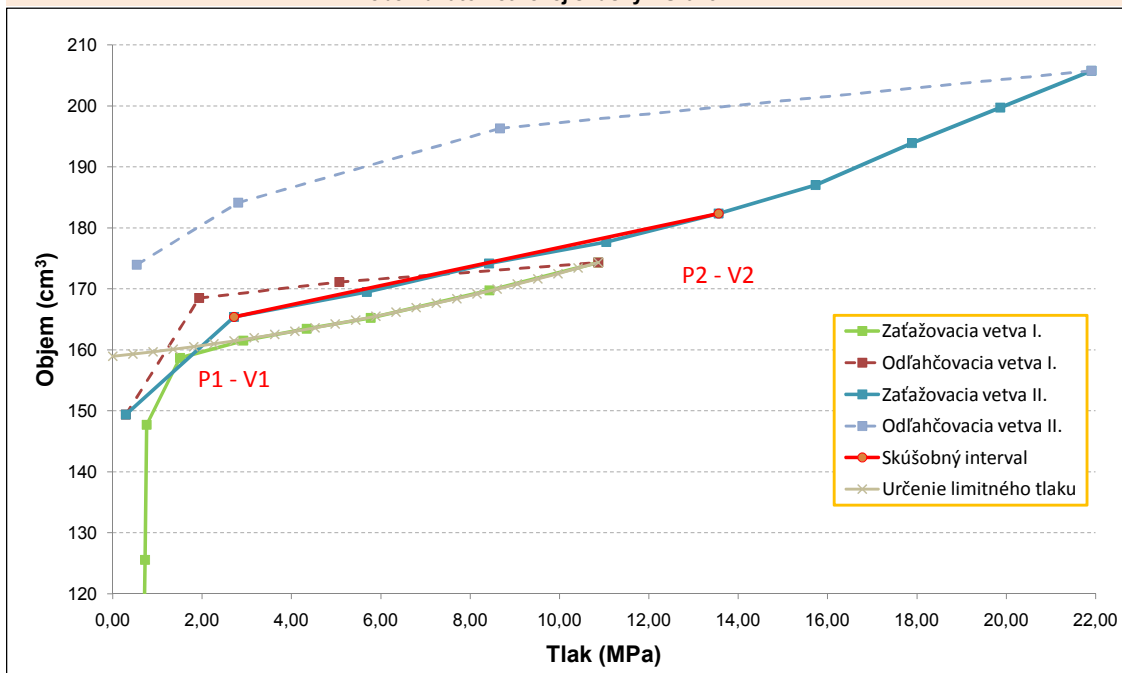
Číslo prílohy: **6.1.14**

Označenie skúšky: **DS-015**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**Poissonovo číslo: **0,23**Hĺbka skúšky (m): **62,50**Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, doskovitý**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **25.5.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **13:29**

Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,081	52,432	0,263	52,3	1,25
0,624	86,679	0,648	86,0	2,06
0,892	126,485	0,726	125,5	2,99
1,027	148,779	0,757	147,7	3,51
1,825	160,632	1,504	158,7	3,78
3,268	165,037	2,927	161,5	3,88
4,697	168,501	4,342	163,4	3,96
6,146	171,844	5,777	165,2	4,04
8,830	179,237	8,431	169,7	4,21
11,299	186,456	10,871	174,3	4,38
5,462	176,990	5,071	171,1	4,16
2,301	170,954	1,936	168,5	4,02
0,570	150,000	0,296	149,4	3,54
3,073	168,666	2,717	165,4	3,97
6,079	176,000	5,693	169,4	4,14
8,844	183,652	8,426	174,1	4,31
11,494	190,068	11,051	177,7	4,46
14,030	197,458	13,560	182,3	4,63
16,231	204,477	15,734	187,0	4,79
18,419	213,712	17,889	193,8	5,00
20,425	221,712	19,868	199,7	5,18
22,492	229,960	21,908	205,7	5,37
9,172	206,166	8,669	196,3	4,83
3,241	187,593	2,808	184,1	4,40
0,919	174,941	0,537	173,9	4,11

Výsledky:P1 = **2,72** MPaP2 = **13,56** MPaV1 = **165,35** cm³V2 = **182,32** cm³ E_{def} = **3337,41** MPa ρ_L = **188,46** MPa**Poznámky:****Priebeh dilatometrickej skúšky DS-015**Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkoloľský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**Číslo prílohy: **6.1.15**

Označenie skúšky: **DS-016**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**Poissonovo číslo: **0,30**Hĺbka skúšky (m): **59,50**Skúšaná hornina: **ilovec, kvalitná časť na kontakte so zbridičnatým, šupinatým ilovcom**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **25.5.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **14:44**

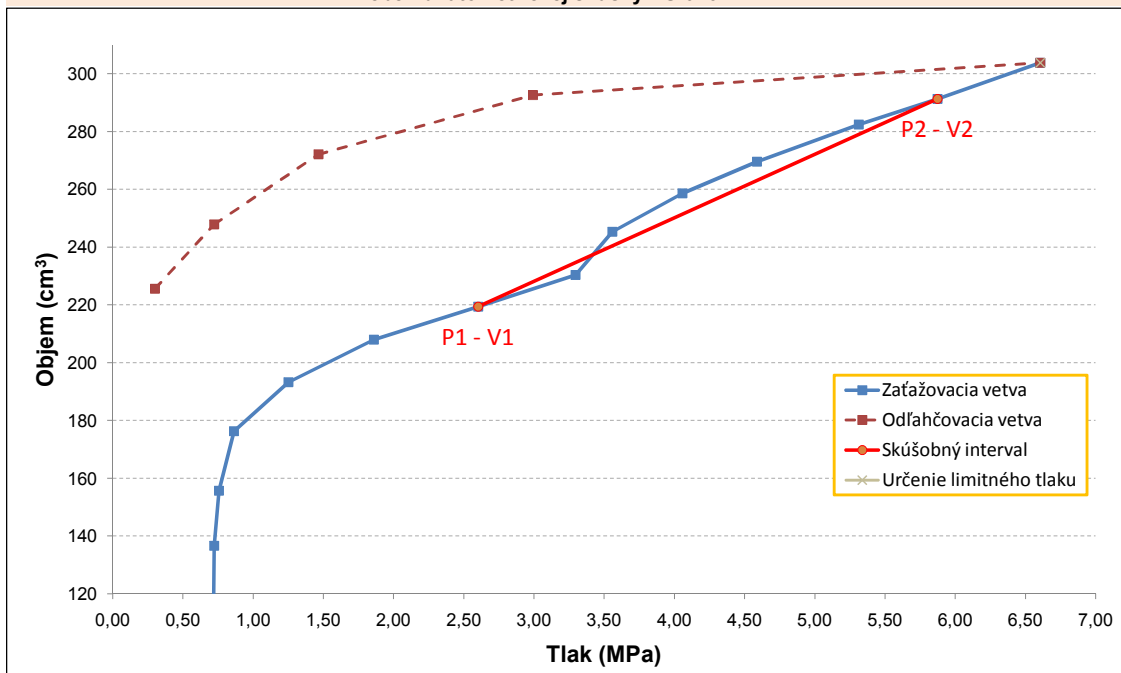
Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,262	50,755	0,434	50,5	1,21
0,631	81,364	0,663	80,7	1,93
0,852	115,801	0,719	114,9	2,74
0,960	137,669	0,723	136,6	3,25
1,080	156,793	0,758	155,6	3,69
1,275	177,636	0,864	176,3	4,17
1,731	195,012	1,252	193,1	4,57
2,395	210,465	1,860	207,9	4,93
3,180	222,797	2,602	219,4	5,21
3,912	234,494	3,296	230,3	5,48
4,221	249,826	3,559	245,3	5,82
4,757	263,680	4,057	258,5	6,14
5,321	275,220	4,590	269,5	6,40
6,079	288,881	5,314	282,3	6,71
6,663	298,412	5,874	291,2	6,92
7,428	311,778	6,607	303,8	7,22
3,778	296,623	2,993	292,5	6,88
2,194	274,436	1,465	272,1	6,38
1,382	249,252	0,722	247,8	5,81
0,892	226,509	0,302	225,5	5,29

Výsledky:

P1 = **2,60** MPaP2 = **5,87** MPaV1 = **219,37** cm³V2 = **291,23** cm³E_{def} = **261,05** MPap_L = **#N/A** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-016

Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy:

6.1.16

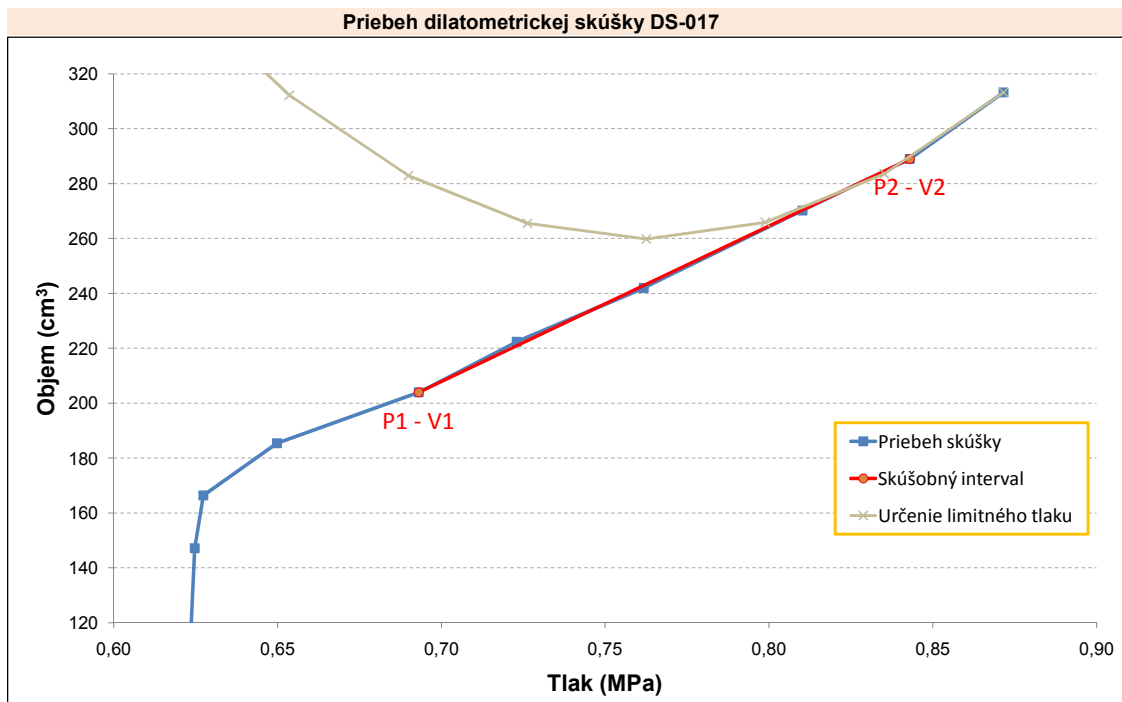
Označenie skúšky:	DS-017	Hladina podz. vody (m p.t.):	-
Označenie vrtu:	NT-27	Poissonovo číslo:	0,35
Hĺbka skúšky (m):	56,50	Skúšaná hornina:	ilovec, tp poloha
Typ sondy:	PROBEX	Dátum realizácie:	25.5.2017
Povlak sondy:	Nylon	Začiatok skúšky:	15:33

[illegible]

Výsledky:

$P_1 =$	0,69	MPa
$P_2 =$	0,84	MPa
$V_1 =$	203,95	cm³
$V_2 =$	288,92	cm³
$E_{def} =$	10,46	MPa
$p_i =$	1,47	MPa

Poznámky:



Název úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.17**

Označenie skúšky: **DS-018**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**Poissonovo číslo: **0,25**Hĺbka skúšky (m): **53,50**Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, doskovitý**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **25.5.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **16:06**

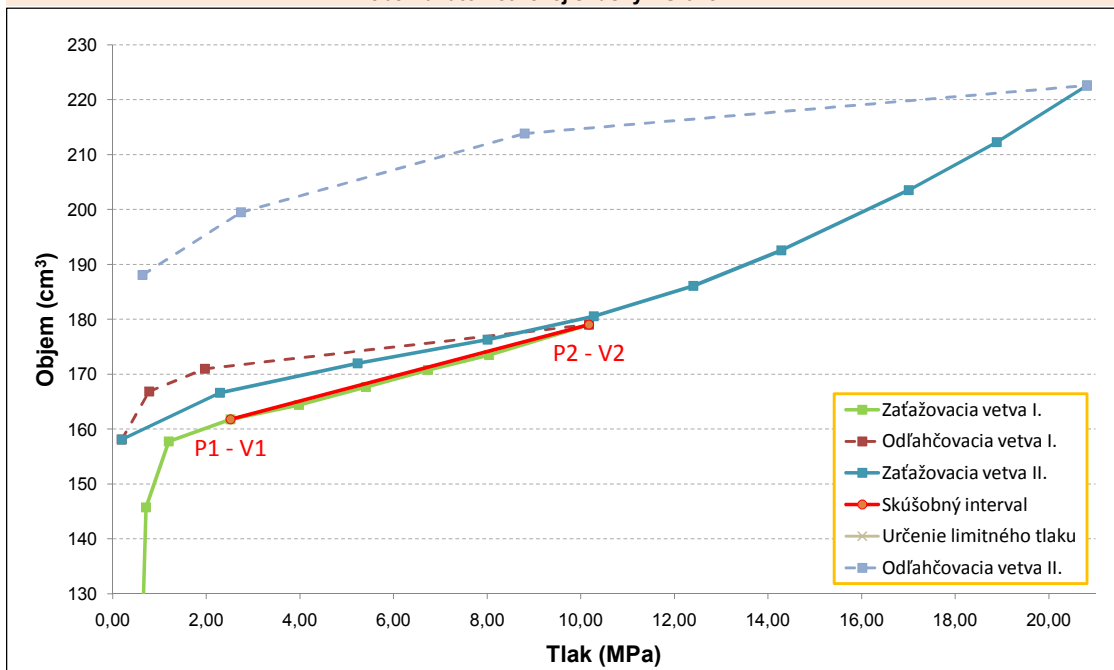
Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,107	46,064	0,264	45,9	1,10
0,752	112,410	0,600	111,6	2,66
1,027	146,812	0,714	145,7	3,46
1,570	159,405	1,201	157,7	3,75
2,912	164,870	2,520	161,7	3,88
4,395	169,132	3,984	164,4	3,98
5,844	173,947	5,414	167,6	4,09
7,186	178,501	6,737	170,8	4,19
8,508	182,636	8,042	173,5	4,29
10,675	190,525	10,178	179,0	4,47
2,402	173,553	1,973	171,0	4,08
1,188	168,114	0,781	166,8	3,96
0,557	158,676	0,191	158,1	3,74
2,704	169,513	2,292	166,6	3,99
5,683	178,095	5,236	172,0	4,19
8,488	185,411	8,011	176,3	4,35
10,783	192,159	10,279	180,5	4,51
12,937	200,034	12,404	186,1	4,69
14,849	208,583	14,285	192,6	4,88
17,620	222,510	17,008	203,5	5,20
19,533	233,343	18,885	212,3	5,45
21,505	245,744	20,820	222,5	5,73
9,421	223,985	8,804	213,8	5,24
3,288	203,005	2,744	199,5	4,76
1,127	189,259	0,635	188,0	4,44

Výsledky:

P1 = **2,52** MPaP2 = **10,18** MPaV1 = **161,73** cm³V2 = **179,01** cm³ E_{def} = **2349,34** MPa ρ_L = **#N/A** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-018

Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Sinak, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**Číslo prílohy: **6.1.18**

Označenie skúšky: **DS-019**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**

Poissonovo číslo: **0,23**

Hĺbka skúšky (m): **50,50**

Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, doskovitý**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **25.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 17:10

[illegible]

Výsledky:

P1 = 4,54 MPa

P2 = 10,99 MPa

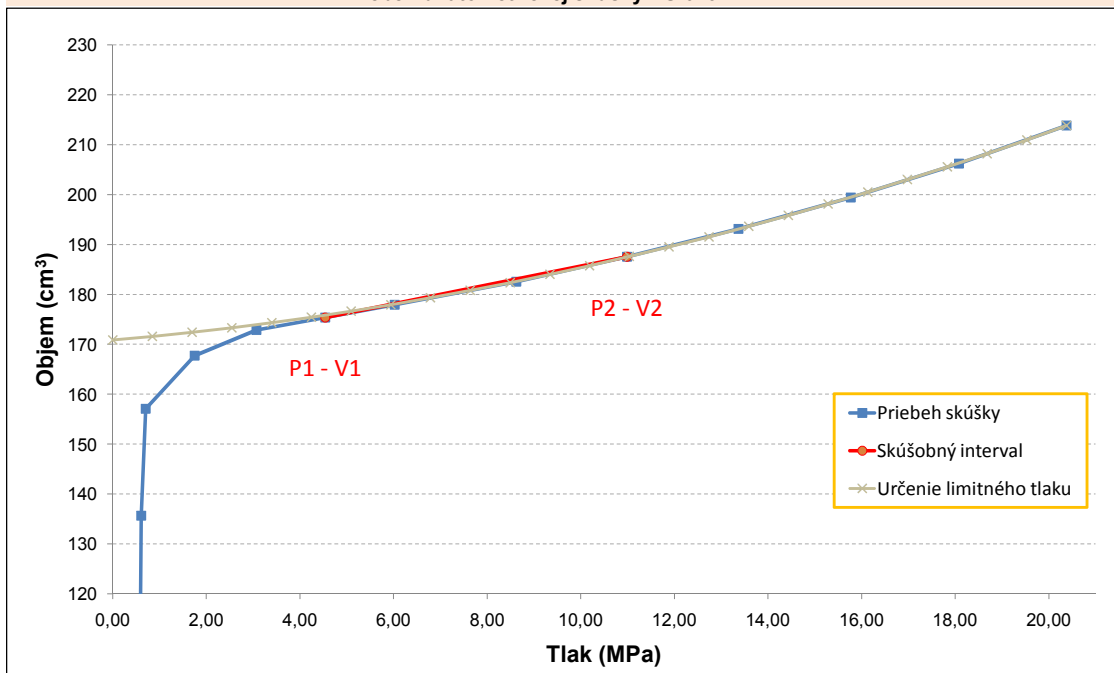
V1 = 175,34 cm³

$$V_2 = 187.48 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 2784,97 \text{ MPa}$$

$p_i = 182,85 \text{ MPa}$

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-019



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.19**

Označenie skúšky: **DS-020**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-27**

Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **47,50**

Skúšaná hornina: **ílovec, kvalitný, tenkodoskovitý**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **25.5.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **17:50**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 4,85 MPa

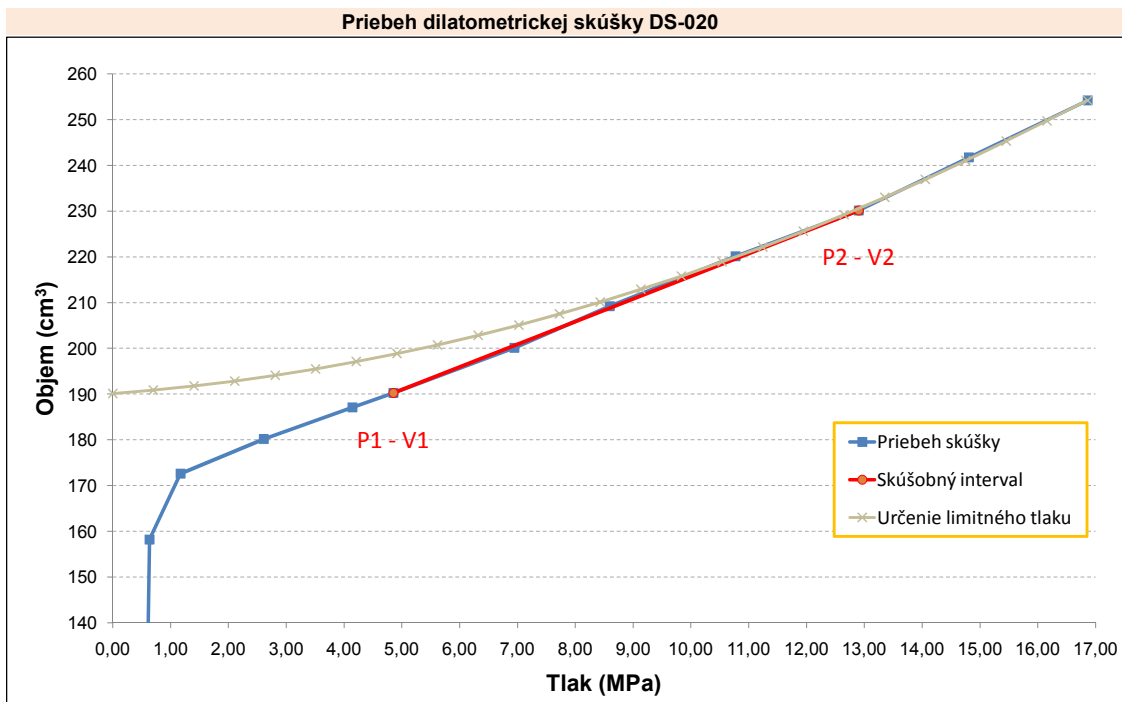
P2 = 12,90 MPa

V1 = 190,24 cm³

$$V_2 = 230.11 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 1090,03 \text{ MPa}$$

$p_i = 112,84 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.20**

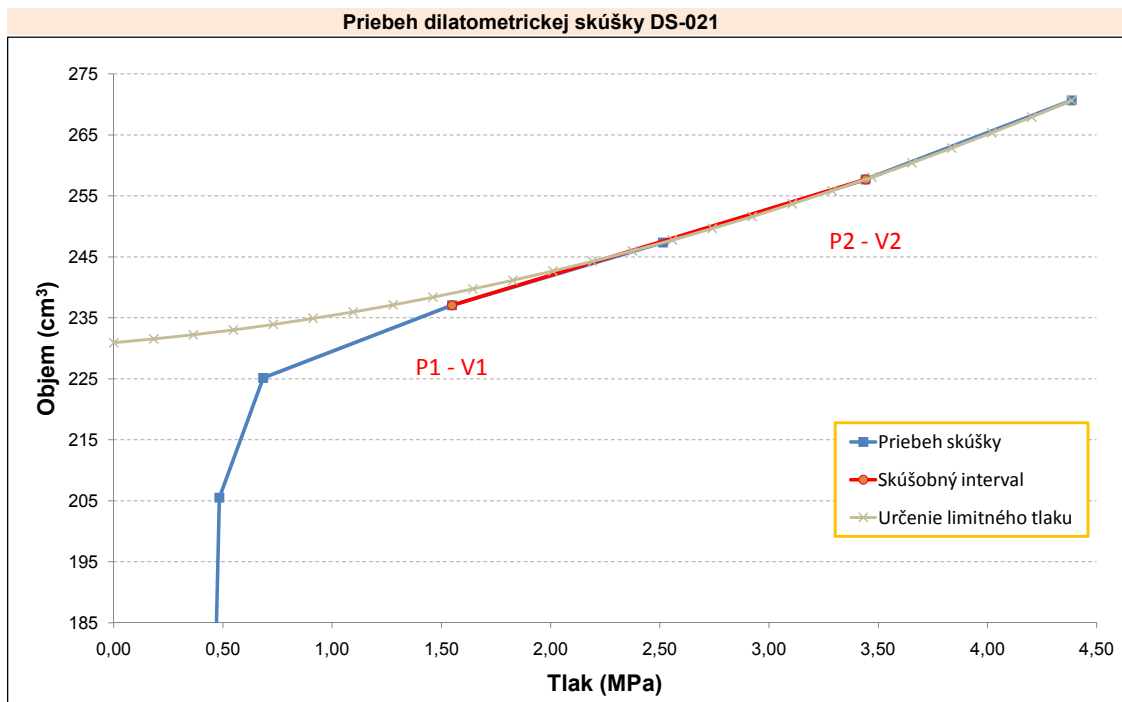
Označenie skúšky:	DS-021	Hladina podz. vody (m p.t.):	-
Označenie vrtu:	NT-27	Poissonovo číslo:	0,30
Hĺbka skúšky (m):	44,50	Skúšaná hornina:	ilovec, kvalitný, tenkodoskovitý
Typ sondy:	PROBEX	Dátum realizácie:	25.5.2017
Povlak sondy:	Nylon	Začiatok skúšky:	18:21

[illegible]

Výsledky:

$P_1 =$	1,55	MPa
$P_2 =$	3,44	MPa
$V_1 =$	237,02	cm³
$V_2 =$	257,68	cm³
$E_{def} =$	523,80	MPa
$p_i =$	40,37	MPa

Poznámky:



Název úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.21**

Označenie skúšky: **DS-023**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-25**

Poissonovo číslo: **0,20**

Hĺbka skúšky (m): **42,70**

Skúšaná hornina: vápenec s ojedinelými preplástkami siltovca

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: 7.8.2017

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **16:51**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 1,40 MPa

P2 = 23,87 MPa

V1 = 163.47 cm³

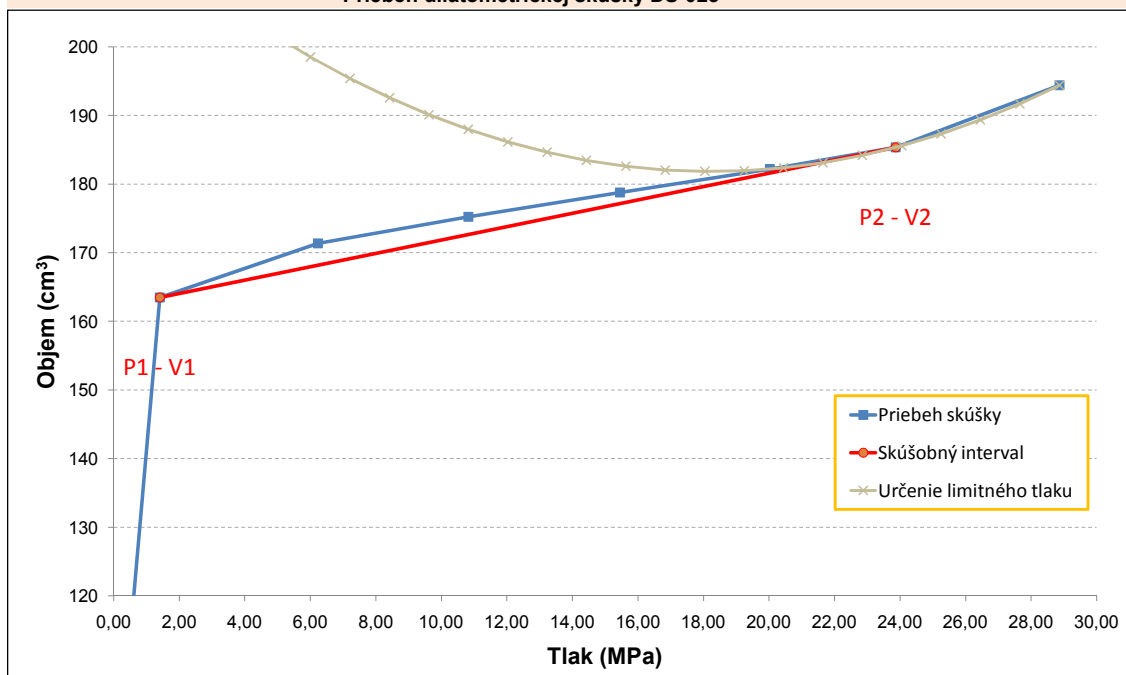
$V_2 = 185.34 \text{ cm}^3$

$$E_{def} = 5238,53 \text{ MPa}$$

$p_i = 159,70 \text{ MPa}$

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-023



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.23**

Označenie skúšky: **DS-024**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-25**

Poissonovo číslo: **0,23**

Hĺbka skúšky (m): **40,70**

Skúšaná hornina: **vapenec s ojedinelými preplástkami siltovca**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: 7.8.2017

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 17:20

[illegible]

Výsledky:

P1 = 6,46 MPa

P2 = 12,50 MPa

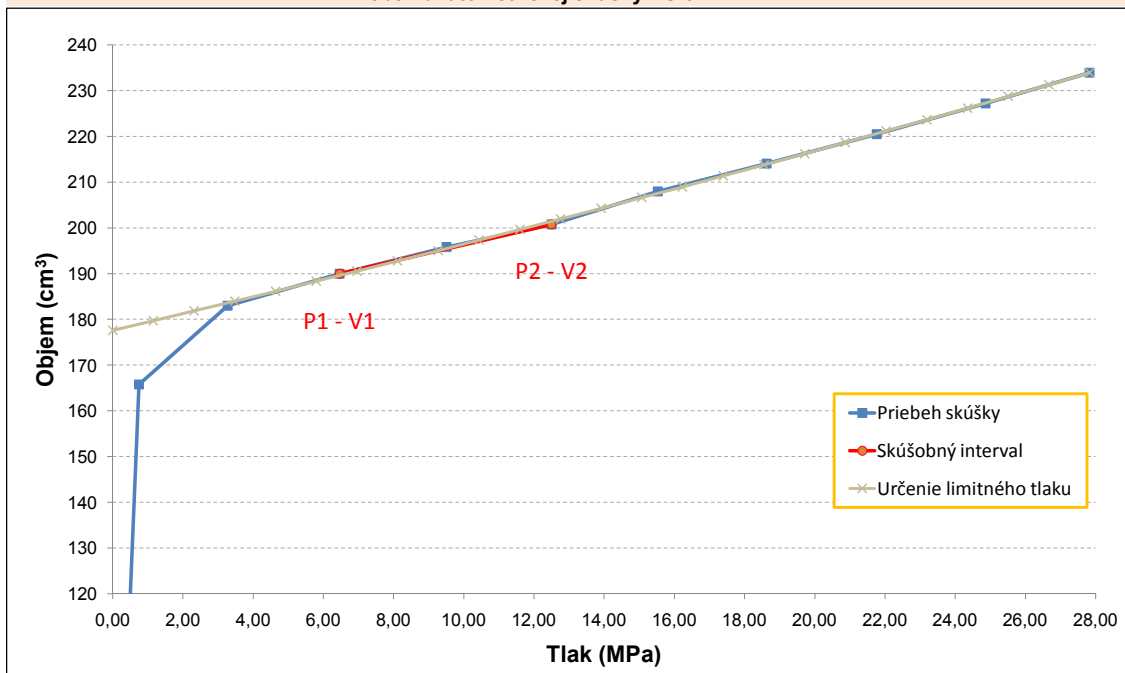
V1 = 189,93 cm³

$$V_2 = 200.69 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 2963,85 \text{ MPa}$$

$p_l = 439,95 \text{ MPa}$

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-024



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.24**

Označenie skúšky: **DS-025**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-25**

Poissonovo číslo: **0,23**

Hĺbka skúšky (m): **39,70**

Skúšaná hornina: **vapenec s ojedinelými preplástkami siltovca**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **7.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 17:42

[illegible]

Výsledky:

P1 = 6,28 MPa

P2 = 23,06 MPa

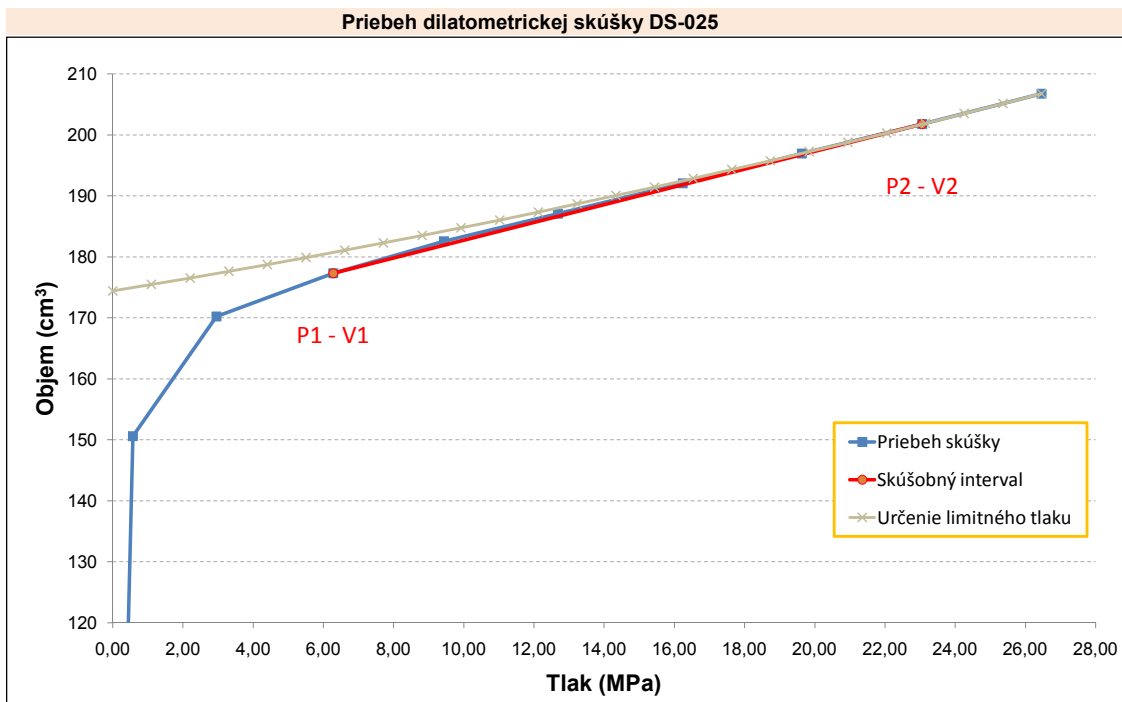
V1 = 177,28 cm³

V2 = 201.72 cm³

$$E_{def} = 3613,13 \text{ MPa}$$

$p_l = 416,36 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.25**

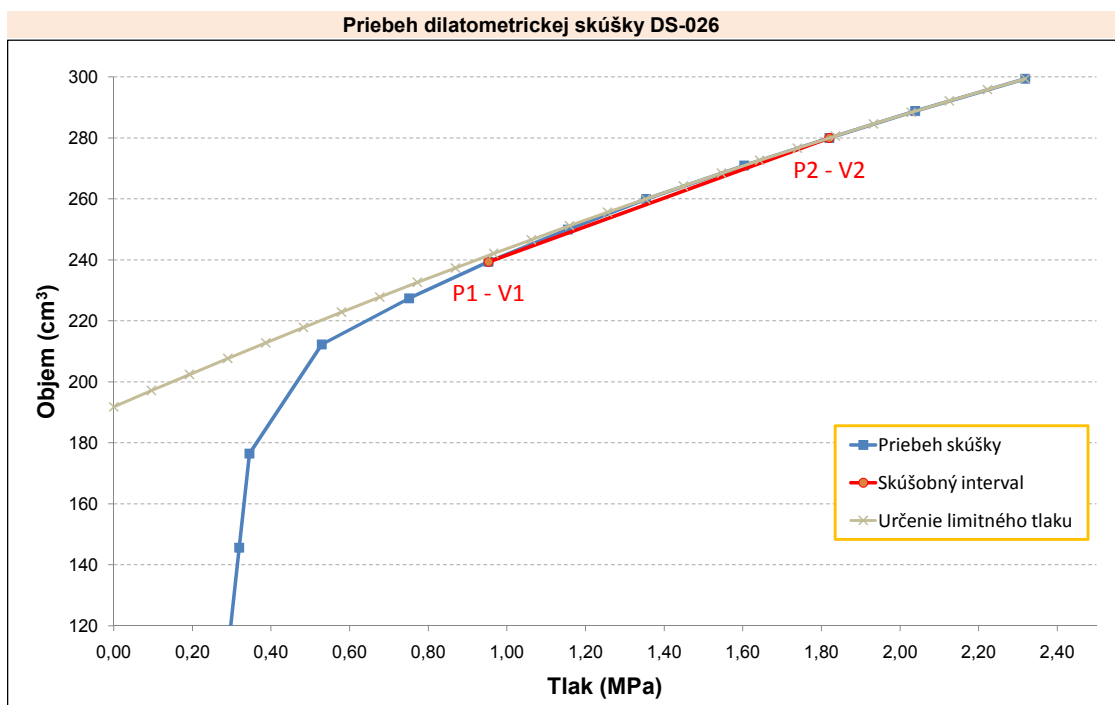
Označenie skúšky:	DS-026	Hladina podz. vody (m p.t.):	-
Označenie vrtu:	NT-25	Poissonovo číslo:	0,30
Hĺbka skúšky (m):	35,70	Skúšaná hornina:	siltovec silno tp, zbridiľčnatený
Typ sondy:	PROBEX	Dátum realizácie:	7.8.2017
Povlak sondy:	Nylon	Začiatok skúšky:	18:12

[illegible]

Výsledky:

$P_1 =$	0,95	MPa
$P_2 =$	1,82	MPa
$V_1 =$	239,28	cm³
$V_2 =$	279,89	cm³
$E_{def} =$	122,65	MPa
$p_i =$	8,93	MPa

Poznámky:



Název úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy: **6.1.26**

Označenie skúšky: **DS-027**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-25**

Poissonovo číslo:	0,35
Skúšaná hornina:	siltovec s prechodom do ílovca, tektonicky porušený, zbridličenatý

Hĺbka skúšky (m): **33,70**

Skúšaná hornina:

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: 7.8.2017

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **18:37**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 0,39 MPa

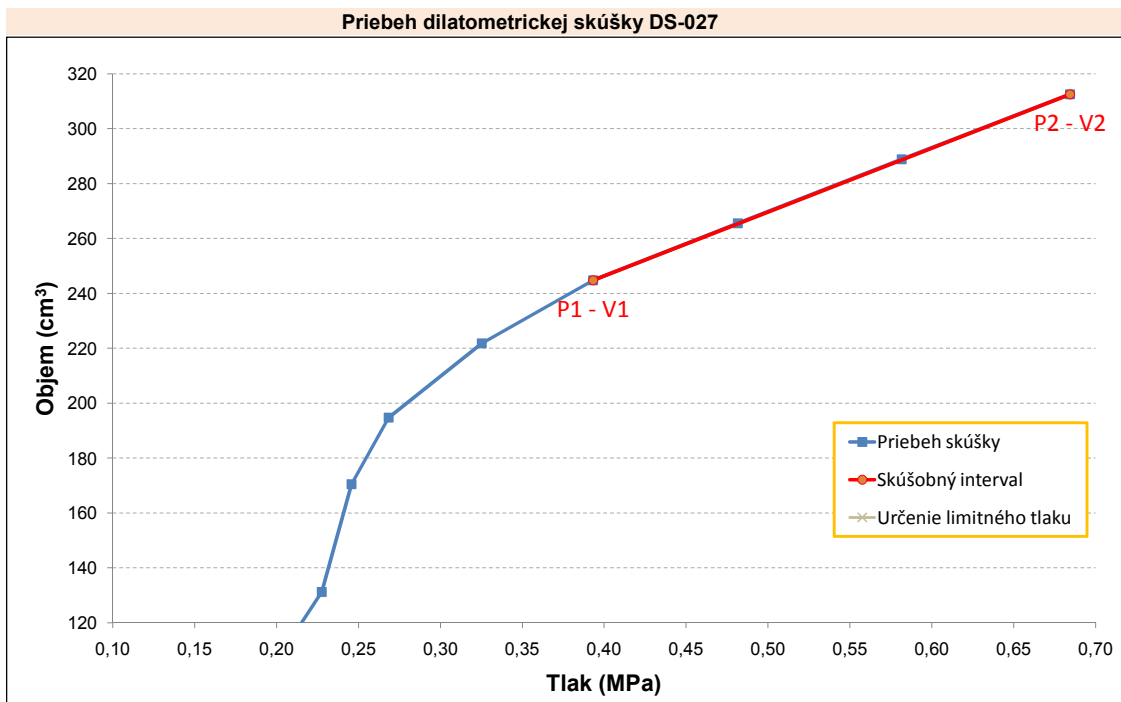
P2 = 0,68 MPa

V1 = 244,69 cm³

$$V_2 = 312.44 \text{ cm}^3$$
$$E_{\text{def}} = 25,85 \text{ MPa}$$

$p_l =$ **#N/A** **MPa**

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: **Sinak, Konkolovský**

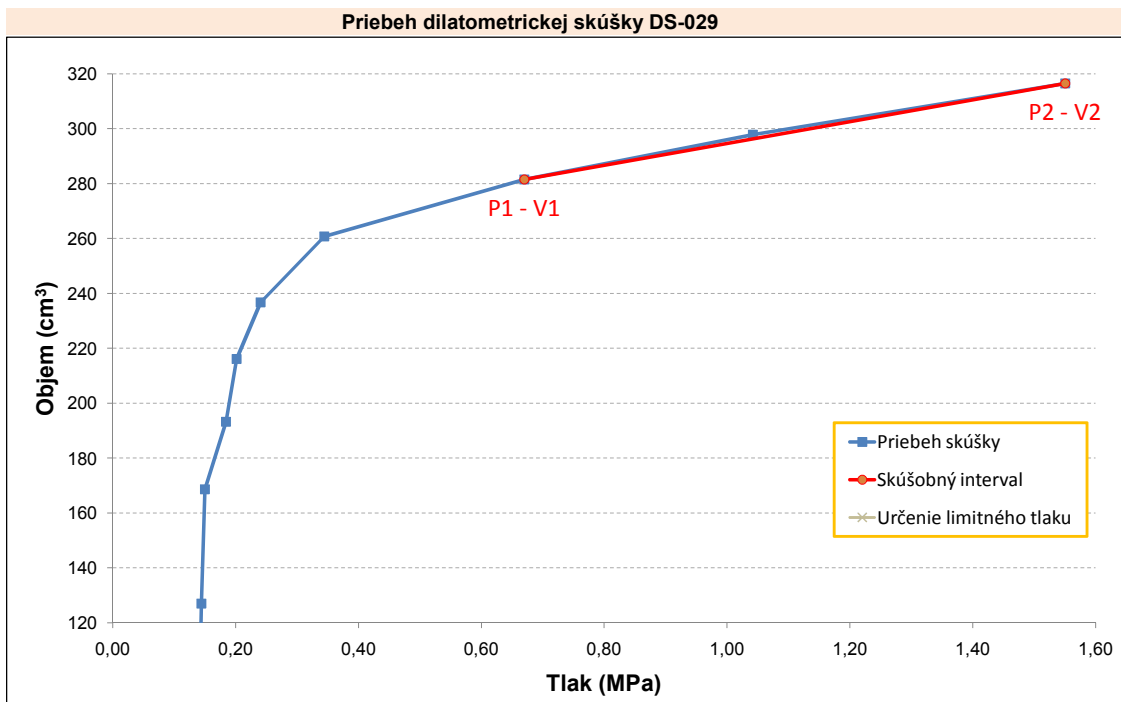
Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.27**

Začiatok skúšky: **19:15**

[illegible]

Poznámky:



Číslo přílohy: **6.1.29**

Označenie skúšky: **DS-030**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,25**

Hĺbka skúšky (m): **36,00**

Skúšaná hornina: vápenec

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **7:15**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 7,70 MPa

P2 = 20,25 MPa

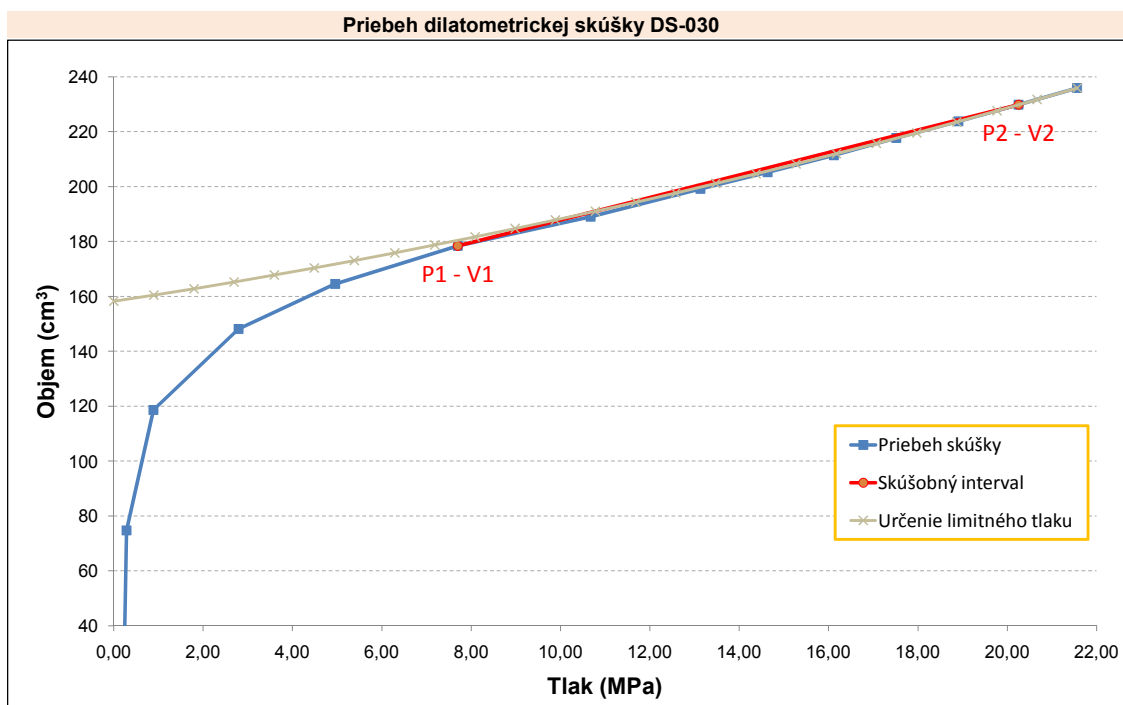
V1 = 178,38 cm³

V2 = 229.78 cm³

$$E_{def} = 1315,05 \text{ MPa}$$

$p_l = 186,94 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.30**

Označenie skúšky: **DS-031**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **34,50**

Skúšaná hornina: **vapenec, dosah silného
rozpukania masívu**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **7:45**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 1,82 MPa

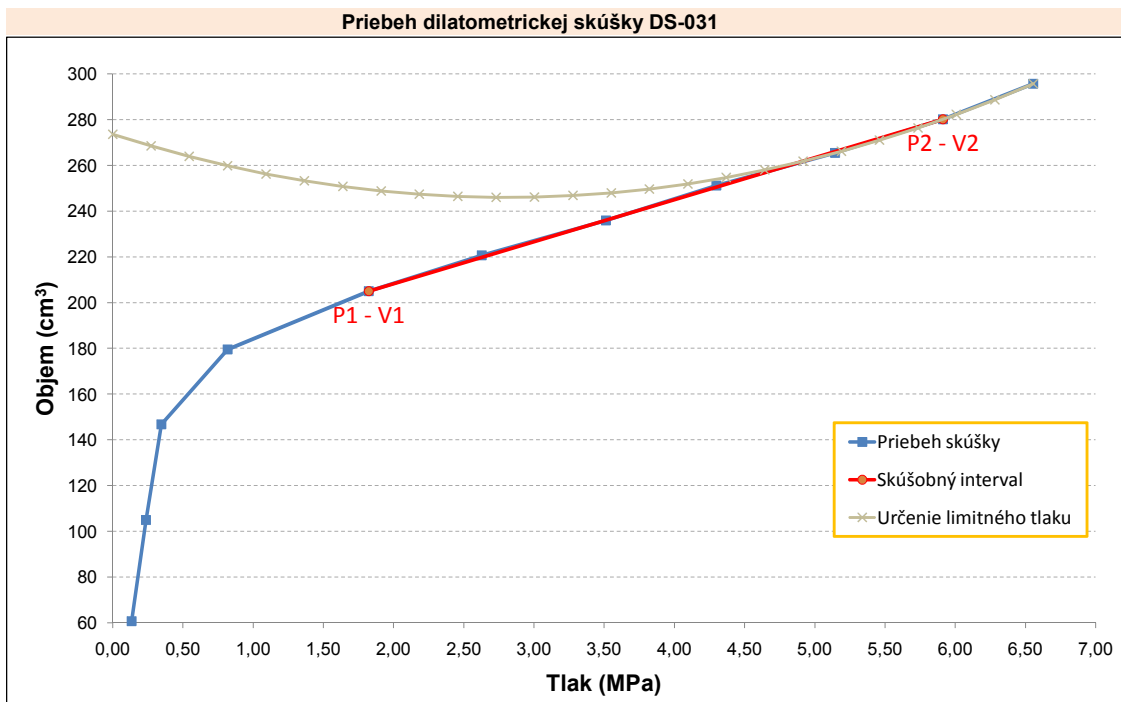
P2 = 5,91 MPa

V1 = 204,97 cm³

$$V_2 = 280.11 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 310,30 \text{ MPa}$$

$p_l = 28,07 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.31**

Označenie skúšky: **DS-033**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: 0,30

Hĺbka skúšky (m): **30,00**

Skúšaná hornina: vápenec

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **8:30**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 3,26 MPa

P2 = 12,36 MPa

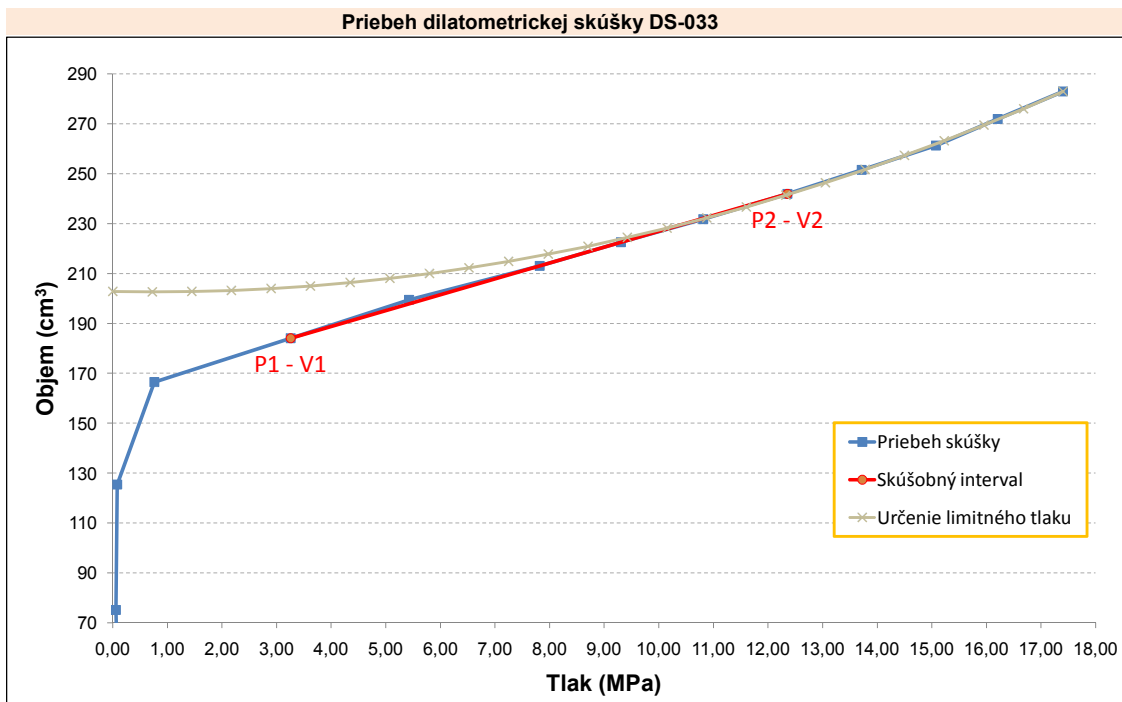
V1 = 183,93 cm³

V2 = 241.90 cm³

$$E_{def} = 882,60 \text{ MPa}$$

$p_l = 88,96 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.33**

Označenie skúšky: **DS-034**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **27,00**

Skúšaná hornina: **vapenec, dosah silného
rozpukania masívu**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 9:00

[illegible]

Výsledky:

P1 = 3,58 MPa

P2 = 6,47 MPa

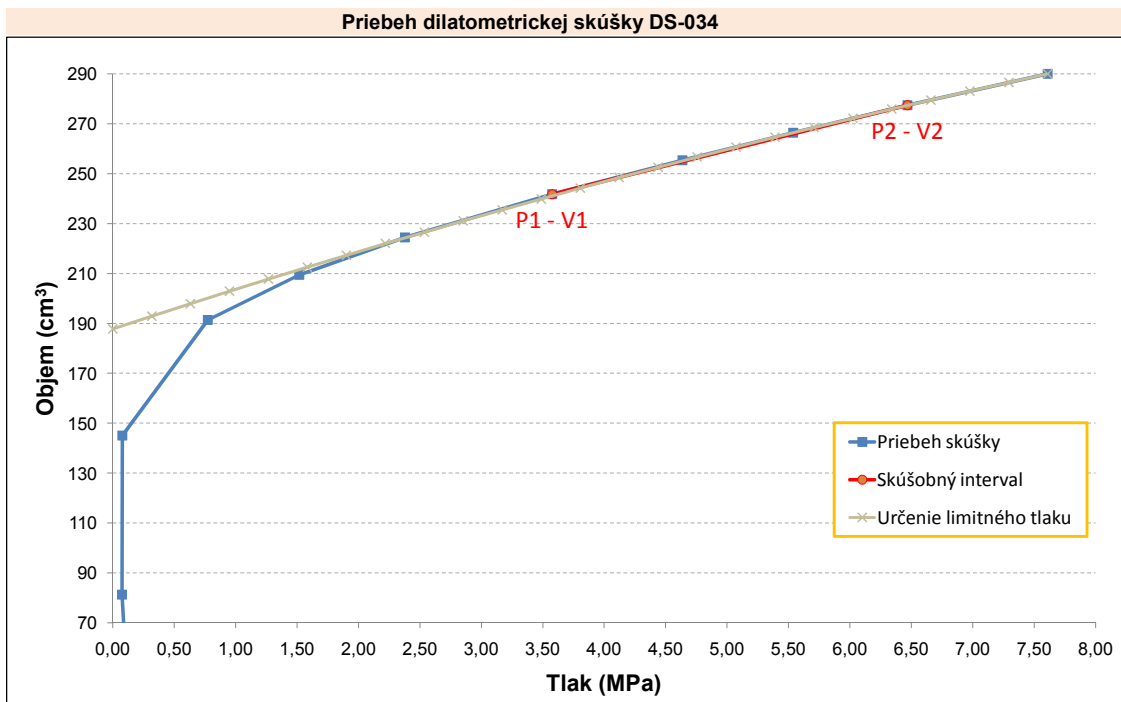
V1 = 241,73 cm³

$V_2 = 277.32 \text{ cm}^3$

$$E_{def} = 466,93 \text{ MPa}$$

$p_l =$ **#N/A** **MPa**

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.34**

Označenie skúšky: **DS-035**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **25,00**

Skúšaná hornina: vápenec, dosah silného rozpukania masívu

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 9:20

[illegible]

Výsledky:

P1 = 2,37 MPa

P2 = 5,43 MPa

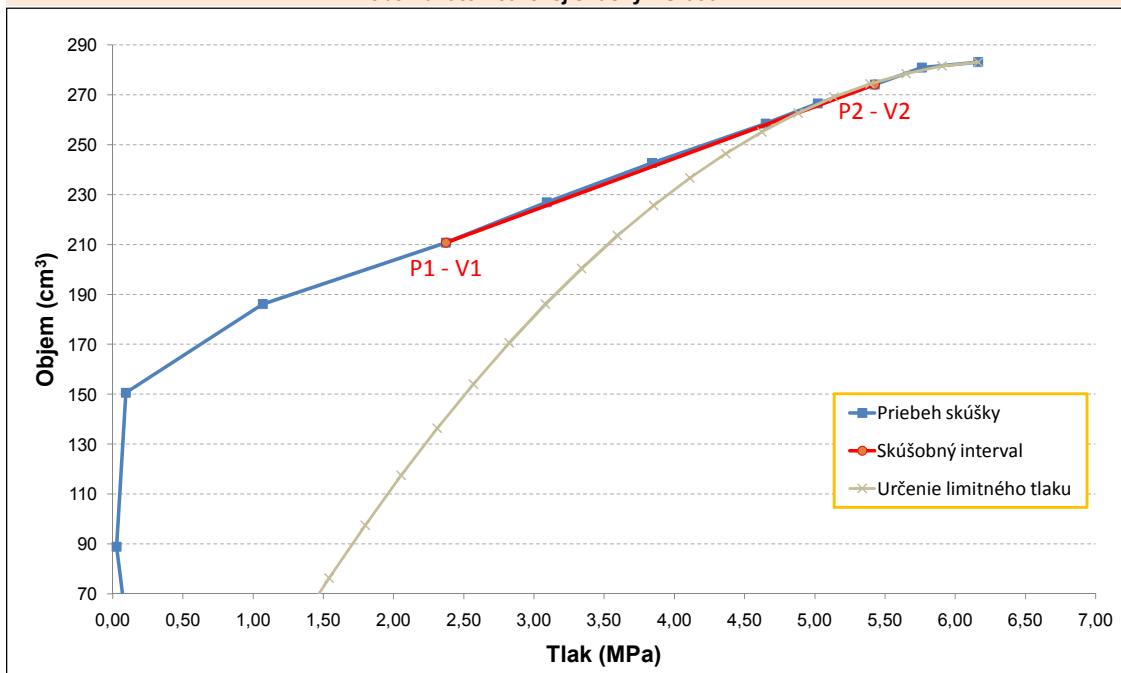
V1 = 210,72 cm³

$$V_2 = 273.99 \text{ cm}^3$$
$$E_{\text{def}} = 275,15 \text{ MPa}$$

$p_L =$ #N/A MPa

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-035



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.35**

Označenie skúšky: **DS-036**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **23,00**

Skúšaná hornina: **vapenec, dosah silného
rozpukania masívu**

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: 9:45

[illegible]

Výsledky:

P1 = 1,83 MPa

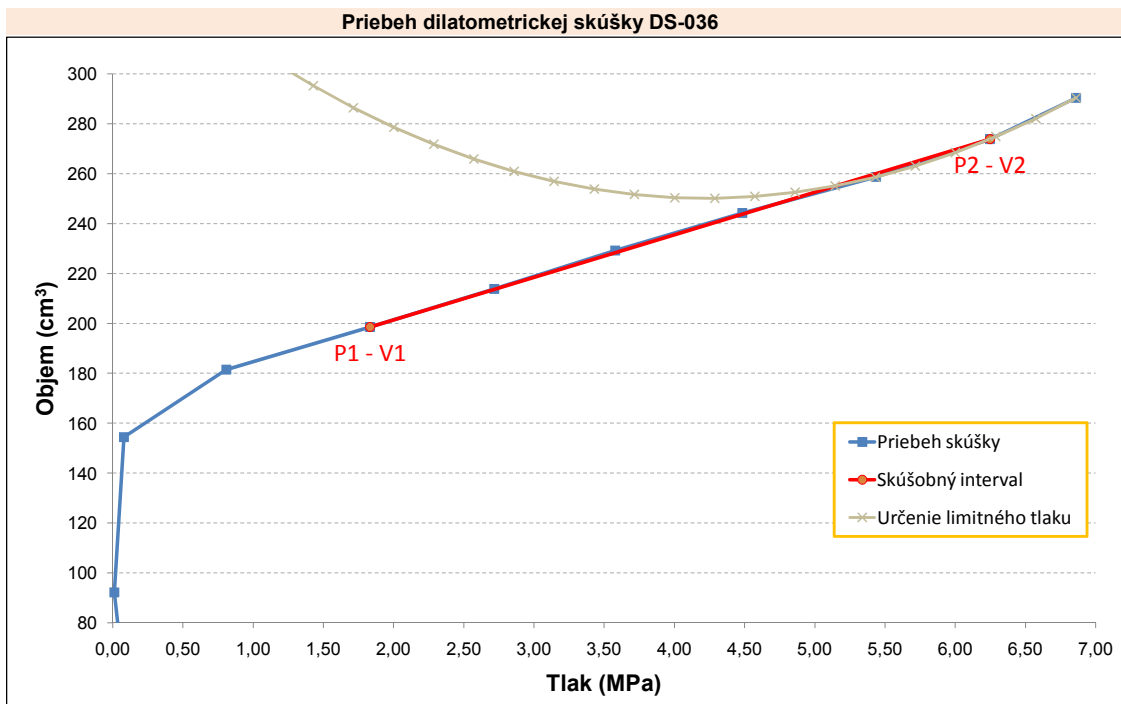
P2 = 6,25 MPa

V1 = 198,49 cm³

$$V_2 = 273.80 \text{ cm}^3$$
$$E_{def} = 333,23 \text{ MPa}$$

$p_l = 23,88 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.36**

Označenie skúšky: **DS-037**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **21,00**

Skúšaná hornina: vápenec, dosah silného rozpukania masívu

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **10:05**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 4,00 MPa

P2 = 8,53 MPa

V1 = 194,87 cm³

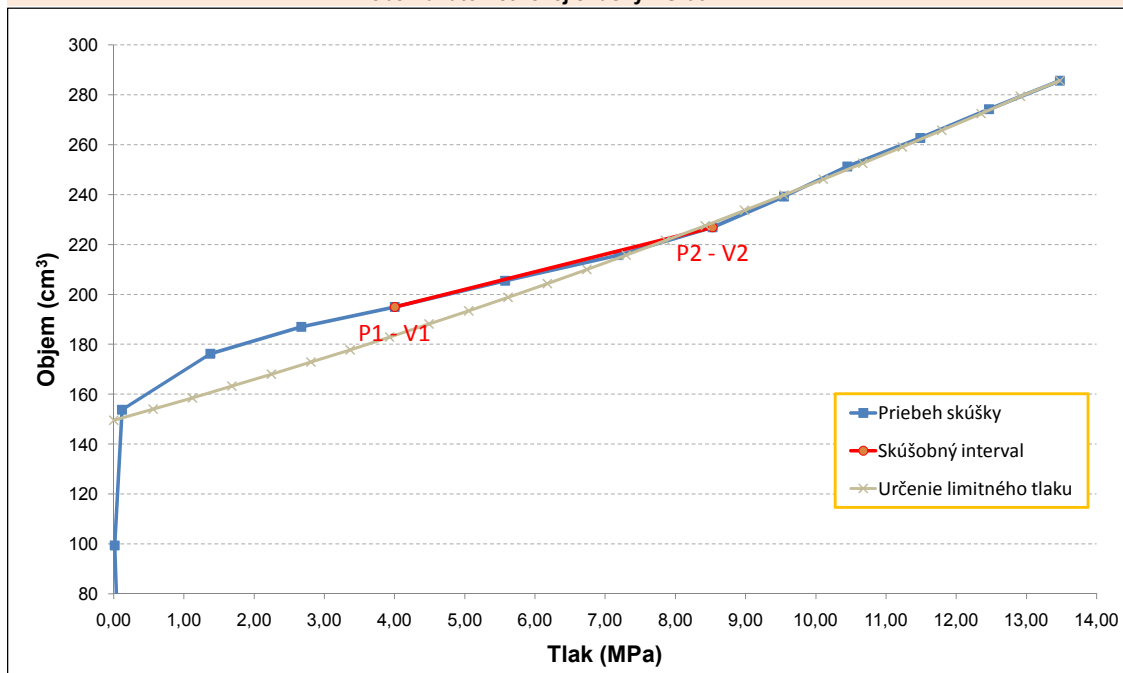
$V_2 = 226.77 \text{ cm}^3$

$$E_{def} = 797,52 \text{ MPa}$$

$p_l = 95,12 \text{ MPa}$

Poznámky:

Priebeh dilatometrickej skúšky DS-037



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy: **6.1.37**

Označenie skúšky: **DS-038**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**

Poissonovo číslo: **0,30**

Hĺbka skúšky (m): **19,00**

Skúšaná hornina: vápenec, dosah silného rozpukania masívu

Typ sondy: **PROBEX**

Dátum realizácie: **18.8.2017**

Povlak sondy: **Nylon**

Začiatok skúšky: **10:35**

[illegible]

Výsledky:

P1 = 0,92 MPa

P2 = 1,63 MPa

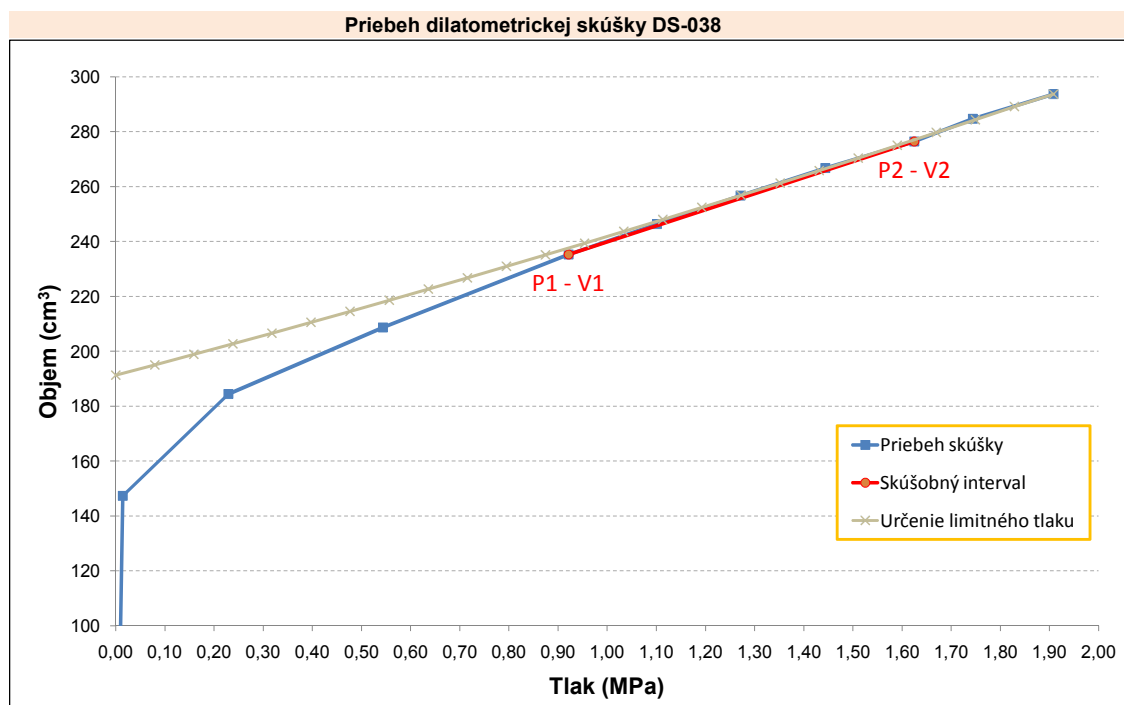
V1 = 235,25 cm³

$$V_2 = 276.35 \text{ cm}^3$$

$E_{def} = 98,21 \text{ MPa}$

$p_l = 20,01 \text{ MPa}$

Poznámky:



Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**

Číslo úlohy: **207/2017/ZA**

Realizoval: Šimek, Borovský, Konkolovský

Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo přílohy: **6.1.38**

Označenie skúšky: **DS-039**

Hladina podz. vody (m p.t.): -

Označenie vrtu: **NT-20**Poissonovo číslo: **0,23**Hĺbka skúšky (m): **17,00**Skúšaná hornina: **vápenec**Typ sondy: **PROBEX**Dátum realizácie: **18.8.2017**Povlak sondy: **Nylon**Začiatok skúšky: **11:00**

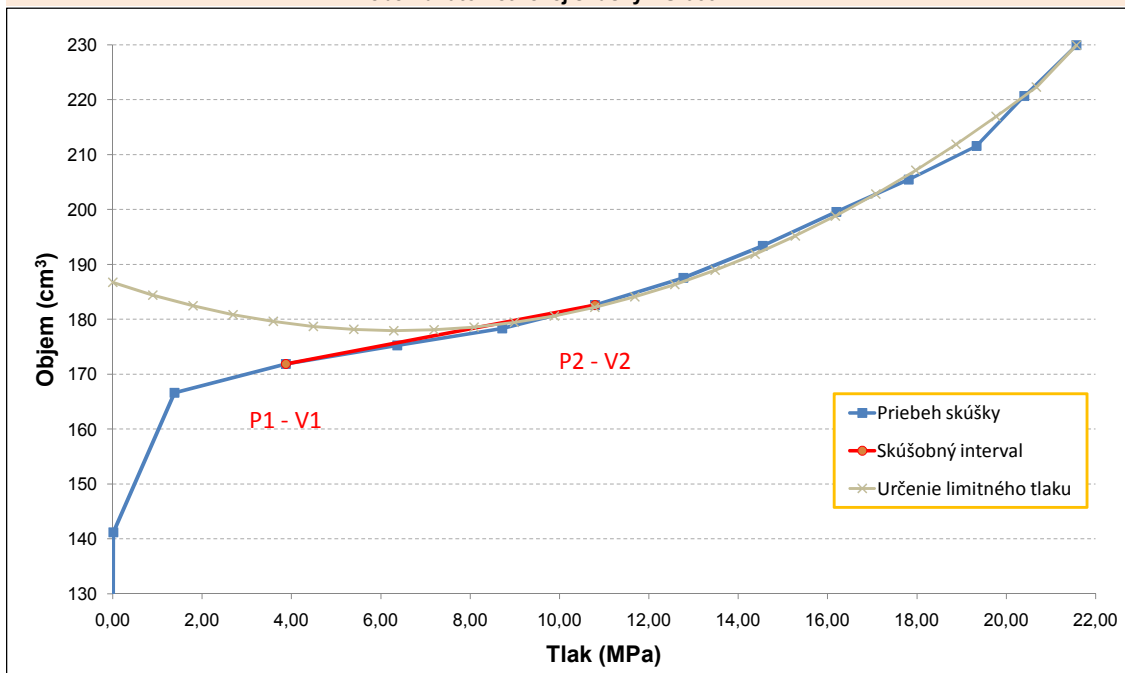
Hrubé čítanie		Korigované čítanie		
Tlak	Objem	Tlak	Objem	$\Delta R/R_0$
MPa	cm ³	MPa	cm ³	%
0,073	4,300	0,167	4,2	0,10
0,214	80,323	0,002	80,1	1,91
0,521	141,756	0,017	141,2	3,34
2,009	168,783	1,387	166,6	3,97
4,533	176,753	3,877	171,9	4,15
7,049	182,835	6,369	175,2	4,29
9,426	188,471	8,723	178,3	4,42
11,529	195,024	10,801	182,6	4,57
13,531	202,108	12,777	187,5	4,74
15,334	209,926	14,551	193,4	4,92
17,009	217,900	16,199	199,6	5,10
18,652	225,548	17,816	205,4	5,27
20,200	233,319	19,340	211,5	5,45
21,295	243,613	20,403	220,6	5,68
22,497	254,184	21,574	229,9	5,92

Výsledky:

P1 = **3,88** MPaP2 = **10,80** MPaV1 = **171,86** cm³V2 = **182,59** cm³E_{def} = **3378,44** MPap_L = **108,29** MPa

Poznámky:

Pribeh dilatometrickej skúšky DS-039

Názov úlohy: **Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa variant V2**Číslo úlohy: **207/2017/ZA**Realizoval: **Šimek, Borovský, Konkolovský**Vyhodnotil: **Kuvik, Bohyník**

Číslo prílohy:

6.1.39

VÝSLEDKY SKÚŠOK DYNAMICKEJ PENETRÁCIE

DYNAMICKÉ PENETRAČNÉ SKÚŠKY

Na úlohu „**Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2**“, podrobný inžinierskogeologický prieskum pre overenie geologických pomerov v predmetnom území sme realizovali **8 ks** dynamických penetračných sond s celkovou dĺžkou **65 m**.

Cieľom dynamických penetračných sond bolo v nadväznosti na jadrové vrty overiť deformačno-pevnostné parametre prevažne deluviálnych zemín. Penetračné sondy boli situované tak, aby poskytli priestorový obraz o geotechnických podmienkach záujmového územia, na základe čoho bol stanovený ich hĺbkový dosah od 5,0 do 10,0 m. Sondy dynamickej penetrácie vykonali pracovníci CAD-ECO a.s., Bratislava M. Šimek, Š. Konkolovský a Mgr. M. Borovský 17. 8. 2017 až 18. 8. 2017 ťažkou dynamickou penetračnou súpravou **DPH od fy STITZ GmbH**.

Tabuľka 1 Prehľad sond dynamickej penetrácie

Označenie sondy	Dátum realizácie	Hĺbka (m)	Poznámka
DPS-STR-03	17.8.2017	5,00	
DPS-STR-04	17.8.2017	8,50	
DPS-STR-05	17.8.2017	9,50	
DPS-STR-06	17.8.2017	6,20	
DPS-STR-07	17.8.2017	10,00	
DPS-STR-08	17.8.2017	8,00	
DPS-JTR-03	18.8.2017	8,50	
DPS-JTR-04	18.8.2017	9,30	

Predmetom dynamickej penetračnej skúšky je stanovenie **mernej** (špecifickej) **hodnoty dynamického penetračného odporu** q_{dyn} , ktorý vyjadruje počet úderov na vnik normou stanovenej hĺbky (v našom prípade 10 cm) baranom zarážaného sondovacieho sútyčia ukončeného penetračným hrotom do zeminy, tak v prirodzenom uložení ako aj v zhutnených, prípadne nezhutnených sypaninách vyťažených z horninového prostredia alebo vzniknutých ako odpadový materiál z priemyselnej výroby, respektíve úpravy nerastných surovín. Hmotnosť barana, výška jeho pádu, frekvencia jeho úderov za minútu ako aj rozmery penetračného hrotu sú normované.

Na základe korelačných vzťahov viacerých autorov a v zmysle **STN 72 1032 „Dynamická penetračná skúška“** a **STN EN ISO 22476-2: 2005 (Dynamic probing)** je možné z q_{dyn} vypočítať viaceré geotechnické charakteristiky.

U nesúdržných zemín (hlavne - uľahnutosť, modul pretvárnosti a uhol vnútorného trenia) a u súdržných zemín (hlavne – konzistencia, modul pretvárnosti a neodvodnená pevnosť).

Zistené charakteristiky by mali poskytnúť predovšetkým reálny priebeh stupňa konsolidácie v mieste realizácie sondy dynamickej penetrácie.

Skúšobné zariadenie – pre realizáciu sondy ťažkej dynamickej penetrácie od fy STITZ GmbH tvorí:

- pneumatický baran S – 100,
- prídavné zariadenie,

- vzduchový agregát S – 200,
- úderník ,
- spriahnuté tri podpory pre fixáciu pneumatického barana,
- sondážne tyče,
- pevné a tzv. sondážne hroty „na stratené“
- a ako doplňujúci prvok - odberný vzorkovač

Príprava realizácie sondy ťažkej dynamickej penetrácie spočíva v osadení troch spriahnutých podpier pre fixáciu pneumatického barana nad vytýčeným skúšobným miestom. Po montáži úvodnej sondážnej tyče s uchytením hrotu a úderníka nasleduje jej centrácia s podmienkou zabezpečenia osovosti pôsobiaceho pneumatického barana s prídavným zariadením (spolu 50 kg) na úderník úvodnej sondážnej tyče. Po splnení týchto podstatných kvalitatívnych podmienok sa vykoná prepojenie tlakovej hadice zo vzduchového agregátu (s motorom Honda) na pneumatický baran a naštartovanie motora s následnou realizáciou sondy dynamickej penetrácie.

Parametre použitého prístroja :

- priemer hrotu 43,70 mm
- vrcholový uhol hrotu 90°
- hmotnosť pneumatického barana s prídavným zariadením 50 kg
- výška pádu barana 50 cm, ± 3 cm
- priemer tyčí 32 mm
- dĺžka tyčí 1 m
- počet úderov za 1 min: 26 až 40 krát
- použitý hrot "na stratené"

Postup prác :

Pri kontinuálnom zarážaní skúšobného hrotu sa zaznamenával počet úderov barana (v sérii) potrebný k zarazeniu hrotu o každých 10 resp. 20 cm (N_{10} resp. N_{20}). Z počtu úderov potrebných na zarazenie sondy o 10 cm (N_{10}) a z parametrov prístroja bol vypočítaný merný dynamický penetračný odpor q_{dyn} podľa tzv. holandského vzorca:

$$q_{dyn} = Q^2 \times h / A \times s \times (Q + q) \quad [\text{kPa}] \quad [1]$$

kde :

Q = tiaž barana [kN]

h = výška pádu barana [m]

q = tiaž penetračnej sondy [kN] = hrot + sútyčie + kovadlina + kôš

A = prierezová plocha hrotu [m²]

N = počet úderov na vnik hrotu o 10 resp. 20 cm

s = vnik hrotu o 10 resp. 20 cm

V rovnici [1], ktorá je v súlade s čl.5.5 STN 72 1032 sú pre určitý parameter veličiny Q, h, s, A konštantné, pričom q rastie skokom v pravidelných intervaloch (1 m) pri pridávaní novej tyče. Rovnicu [1] možno potom zjednodušiť na tvar:

$$q_{dyn} = a \cdot N \quad [2]$$

kde:

$$a = Q^2 \times h / A \times s \times (Q + q)$$

Hodnoty súčiniteľa "a" sú pre jednotlivé hĺbkové intervaly dané dĺžkou tyčí a boli vypočítané vopred (zostavené do tabuľky). Dynamický odpor "N" bol dosadený do vzorcov a zmenšený o vplyv parazitného trenia sútyčia. Trenie na sútyči bolo merané momentovým kľúčom typu Drehmomentschlüssel S-350, pričom z hodnôt nameraného krútiaceho momentu M_v je možné určiť počet úderov barana potrebný na prekonávanie plášťového trenia tzv. hodnotu "N" plášťové. Pre dynamický penetrometer je možné podľa švédskych experimentov redukovať počet úderov o vplyv trenia podľa vzťahu:

$$N_{10} = x \cdot M_v \quad [3]$$

kde:

M_v = krútiaci moment [Nm]

x = parameter podľa DIN, $x = 0,04$

Pri výpočte a vykreslení grafu výsledkov penetračných skúšok sme využili rovnice a vzťahy uvedené v STN 72 1032. Obdobne pre interpretáciu a určenie fyzikálno-mechanických vlastností, pričom na základe priebehu krivky merného dynamického odporu q_{dyn} sme pre odčítané štatisticky priemerné hodnoty určovali jednotlivé parametre geotechnických vlastností v zmysle literatúry 2, 3 a 4 (pozri priložené skúšobné protokoly 6.2.1 – 6.2.8).

Vyhodnotenie dynamických penetračných skúšok možno zhrnúť nasledovne:

- deluviálne sute ílovite až kamenito – ílovité prevažne charakteru ílu štrkovitého F2/CG majú rozsah odvodeného modulu pretvárnosti $E_{DPS} = 6,6 - 32,2$ MPa, v priemere $E_{DPS} = 20$ MPa;
- deluviálne sute ílovito – kamenité charakteru štrku ílovitého a siltovitého G5/GC, G4/GM až štrku zle zrneného G2/GP majú rozsah odvodeného modulu pretvárnosti $E_{DPS} = 15,7 - 140,1$ MPa, v priemere $E_{DPS} = 60$ MPa.

Zoznam použitej literatúry:

- | | |
|---|---|
| 1. STN 72 1032: | Dynamická penetračná skúška |
| 2. STN 72 1001: | Pomenovanie a opis hornín v inžinierskej geológii |
| 3. STN 73 1001: | Základová pôda pod plošnými základmi |
| 4. STN EN ISO 22476-2: | Dynamic probing |
| 5. Matys, M. - Ťavoda, O.- Cuninka, M.: | Polné skúšky |

V Žiline 30. 8. 2017

Ing. Sinak Martin

Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

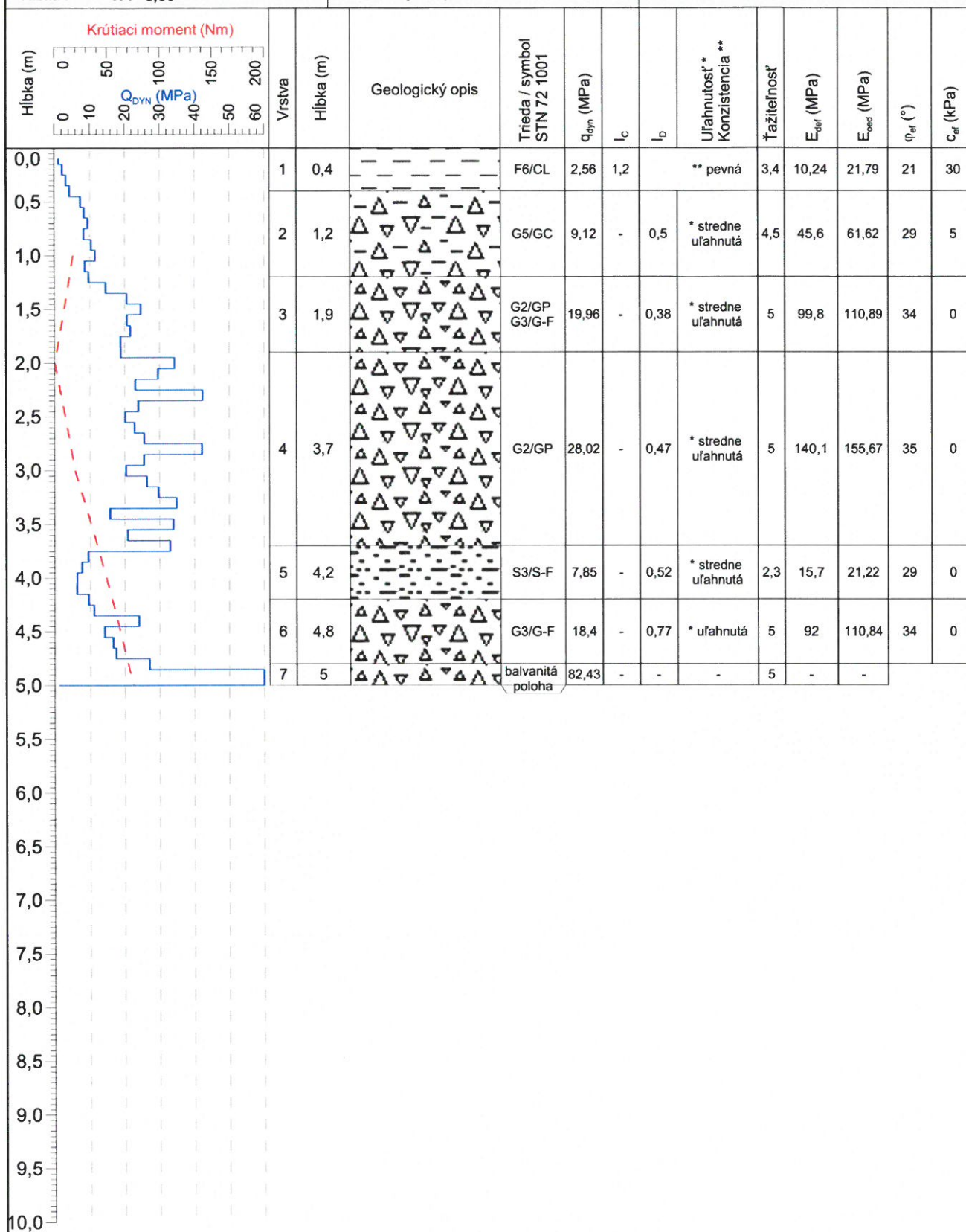
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : **X** : -407681,95
Y : -1187459,24
Z : 517,05 m
Hĺbka : **H** : 5,00 m

Realizoval : Stolarík, Borovský
Súprava : Stitz
Dátum zahájenia prác : 8/17/2017
Čas zahájenia prác : 9:00

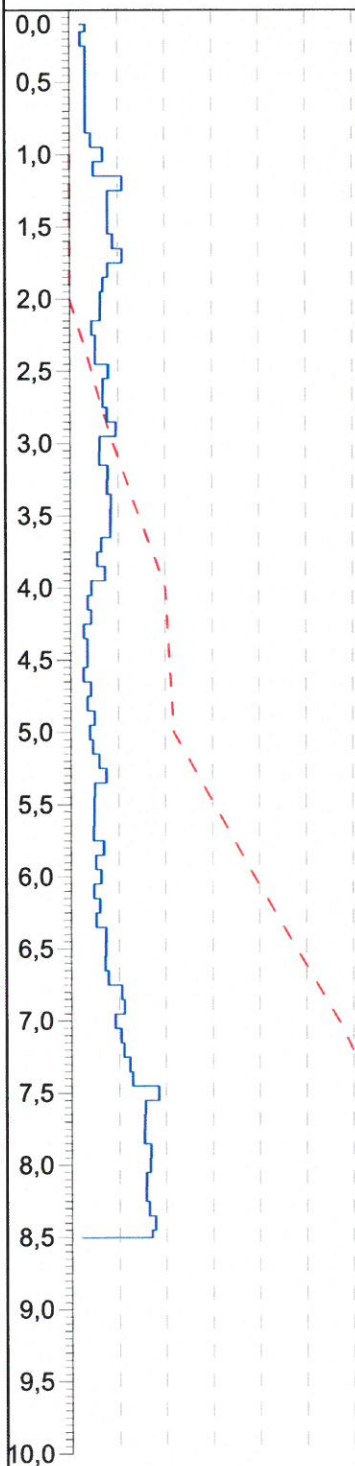
Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-STR-03



Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

DPS-STR-04



Vrstva	Hĺbka (m)	Geologický opis	Trieda / symbol STN 72 1001	q_{dyn} (MPa)	I_c	I_b	Uľahnutosť * Konzistencia **	Ťažiteľnosť	E_{def} (MPa)	E_{mod} (MPa)	ϕ_{def} (°)	c_{ef} (kPa)
1	0,8		F2/CG	3,08	0,76	-	** tuhá	3,4	12,32	19,87	27	12
2	2,2		F2/CG G5/GC	7,36	1,32	-	** veľmi pevná až tvrdá	3,4	29,44	47,48	30	18
3	3,9		G5/GC F2/CG	7,23	-	0,34	* kyprá	4,5	36,15	48,85	28	5
4	5,1		F2/CG	3,81	0,87	-	** tuhá	3,4	15,24	24,58	27	13
5	6,3		F2/CG	5,68	1,22	-	** pevná	3,4	22,72	36,65	29	27
6	6,7		F2/CG G5/GC	7,41	1,32	-	** veľmi pevná až tvrdá	3,4	29,64	47,81	30	18
7	7,4		G5/GC	11,11	-	0,87	* veľmi uľahnutá	4,5	55,55	75,07	31	6
8	8,5		G2/GP	16,4	-	0,39	* stredne uľahnutá	5	82	91,11	33	0

Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

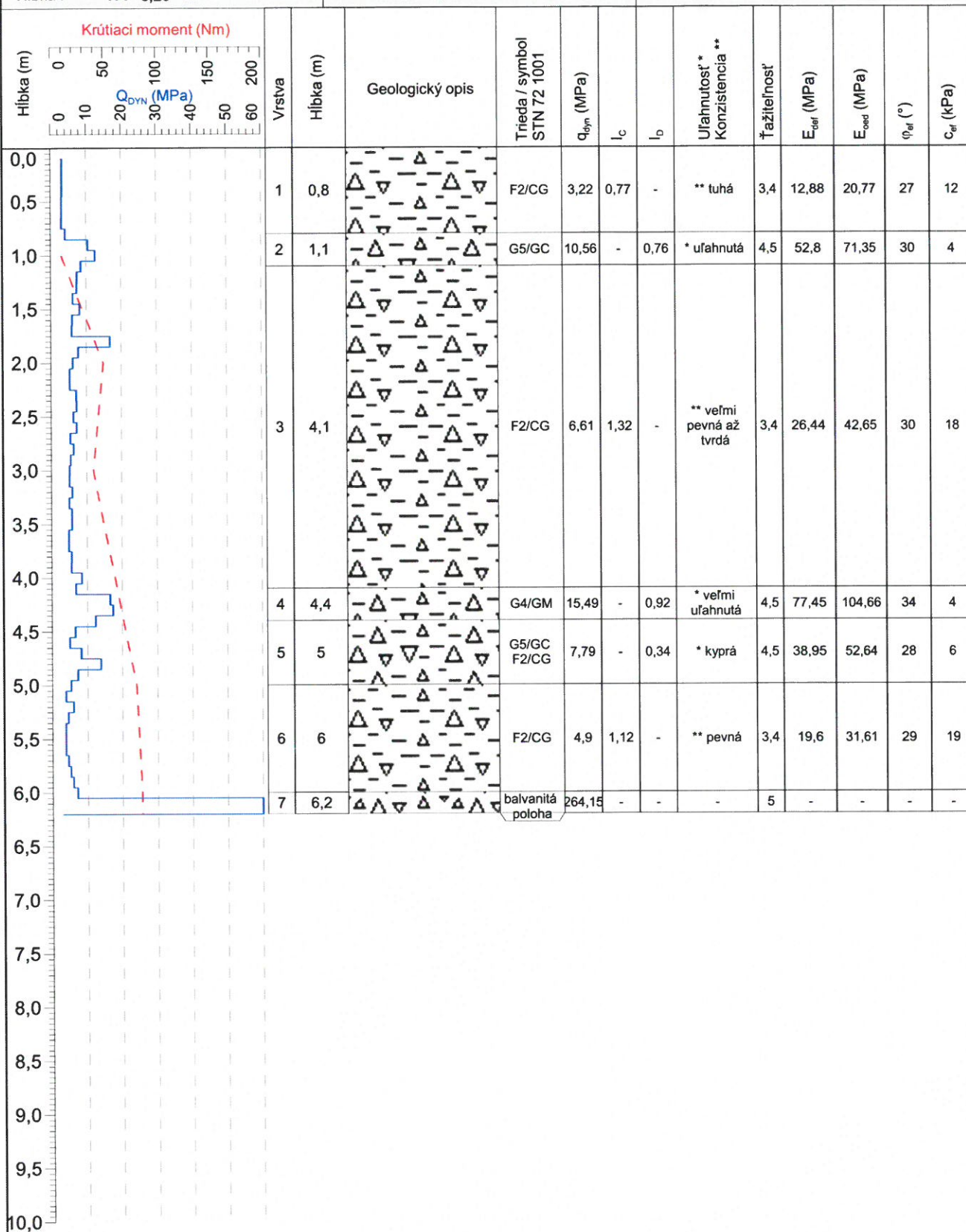
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : X : -407606,92
Y : -1187506,05
Z : 526,70 m
Hĺbka : H : 6,20 m

Realizoval : Šimek, Konkolovský, Vavřík
Súprava : Stütz
Dátum zahájenia prác : 8/17/2017
Čas zahájenia prác : 9:00

Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-STR-06



Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

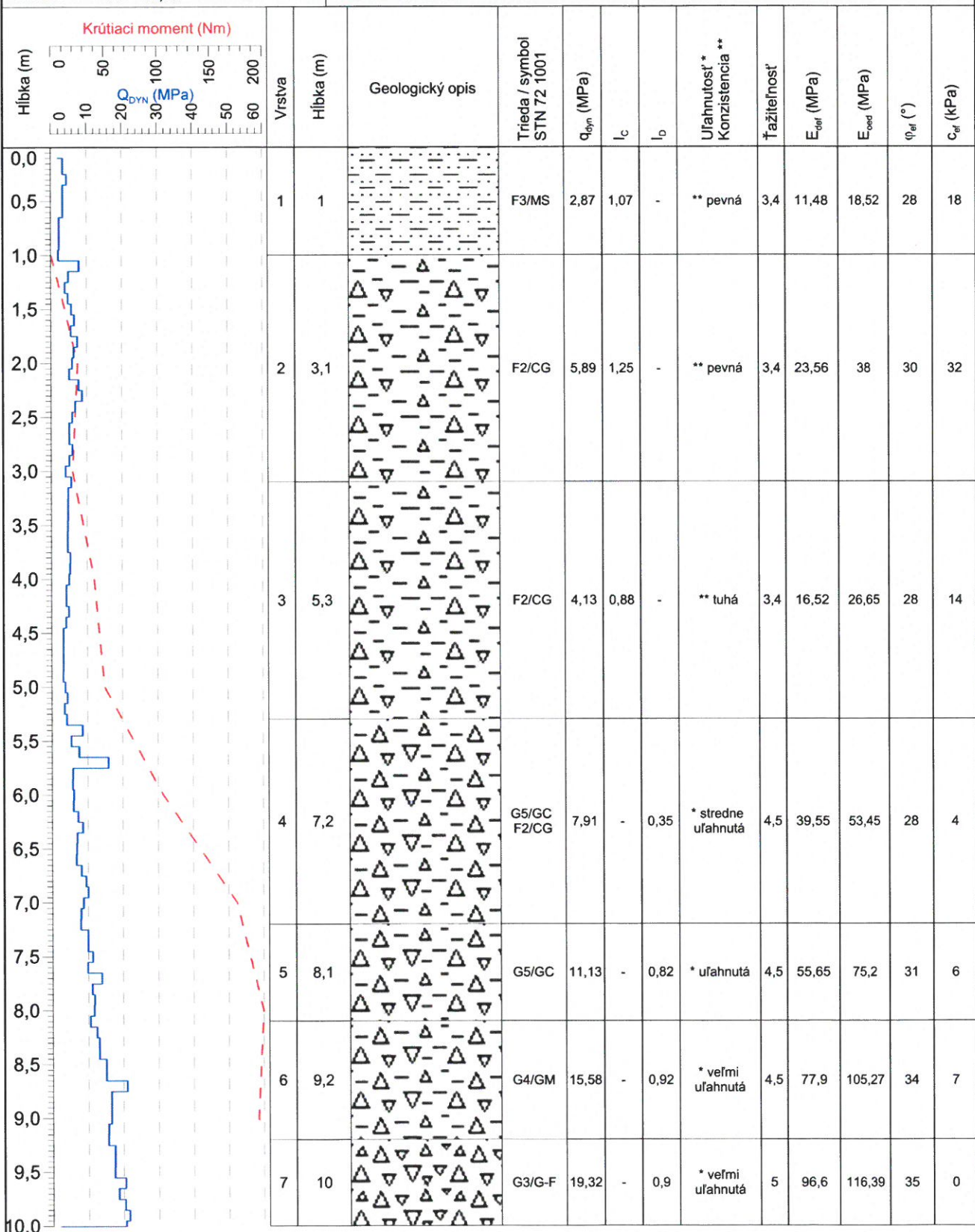
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : **X** : -407552,98
Y : -1187479,78
Z : 537,56 m
Hĺbka : **H** : 10,00 m

Realizoval : Šimek, Konkolovský, Vavrik
Súprava : Stitz
Dátum zahájenia prác : 8/17/2017
Čas zahájenia prác : 10:55

Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-STR-07



CAD ECO

Vyhodnotil : Sinak
Spracoval : Kuvik

Číslo prílohy : **6.2.5**

Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

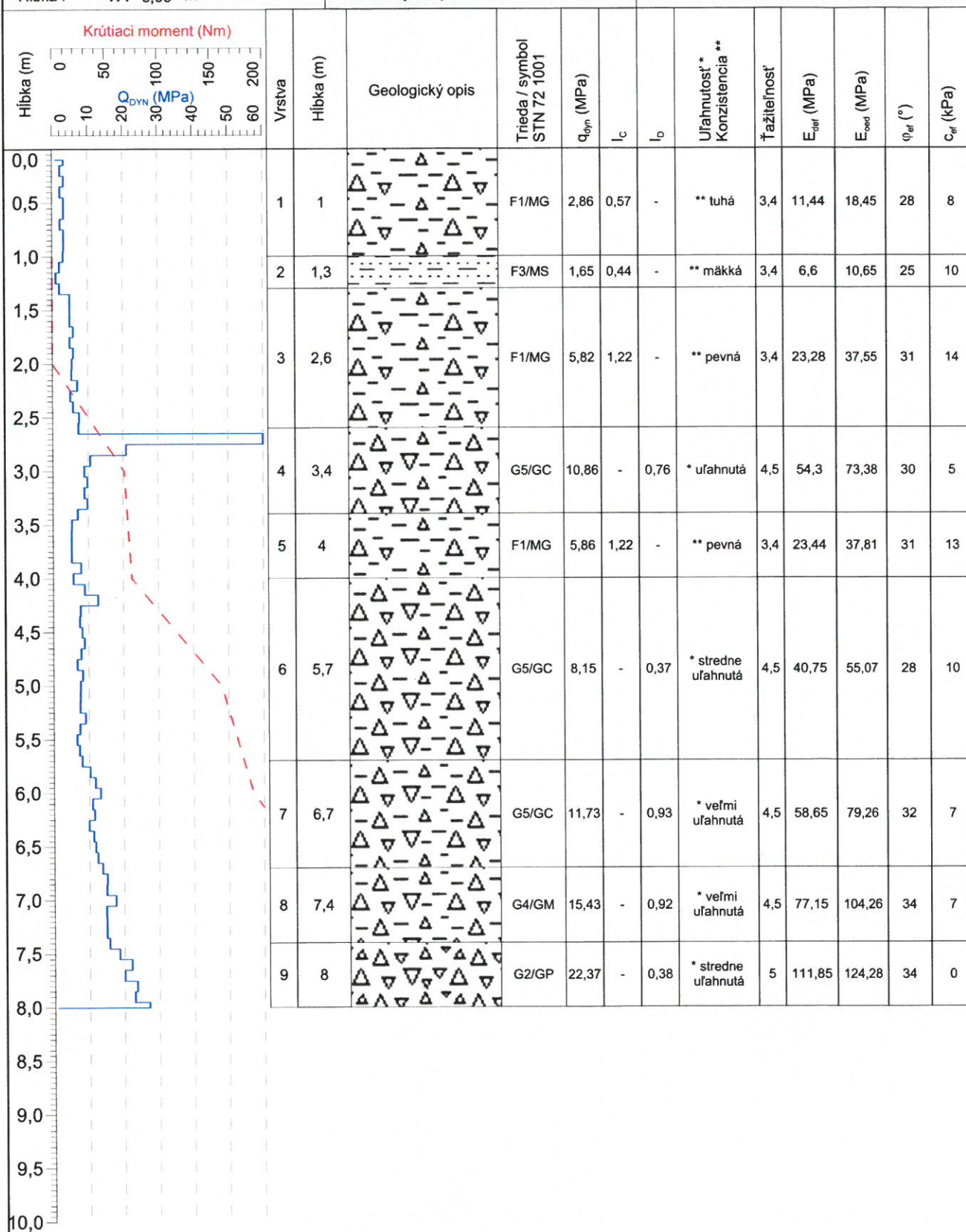
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : X : -407520,08
Y : -1187479,29
Z : 543,60 m
Hĺbka : H : 8,00 m

Realizoval : Šimek, Konkolovský, Vavrik
Súprava : Stitz
Dátum zahájenia prác : 8/17/2017
Čas zahájenia prác : 9:45

Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-STR-08



Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

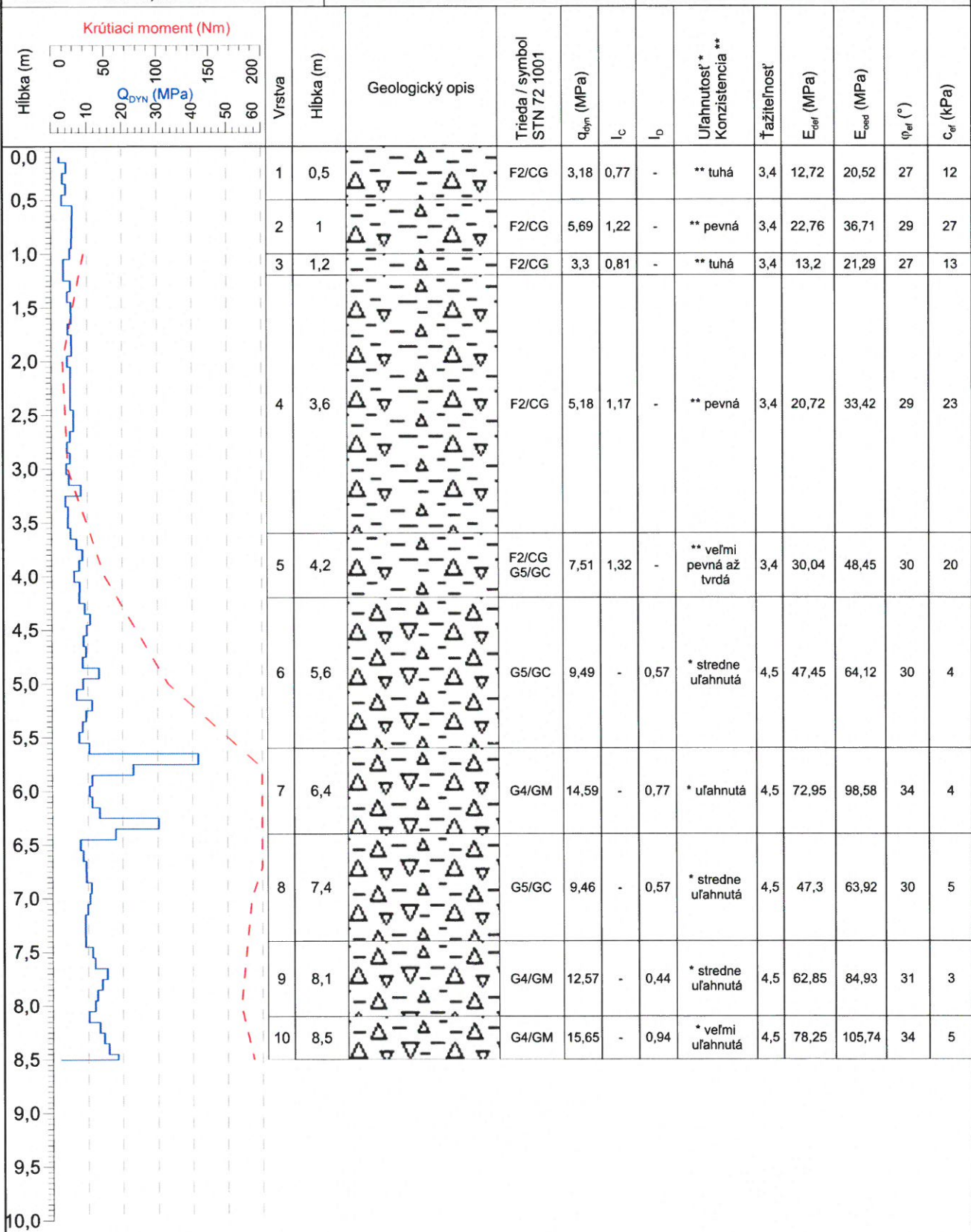
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : **X** : -407695,56
Y : -1187539,22
Z : 509,75 m
Hĺbka : **H** : 8,50 m

Realizoval : Šimek, Vavřík
Súprava : Stitz
Dátum zahájenia prác : 8/18/2017
Čas zahájenia prác : 8:00

Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-JTR-03



Názov geologickej úlohy :

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

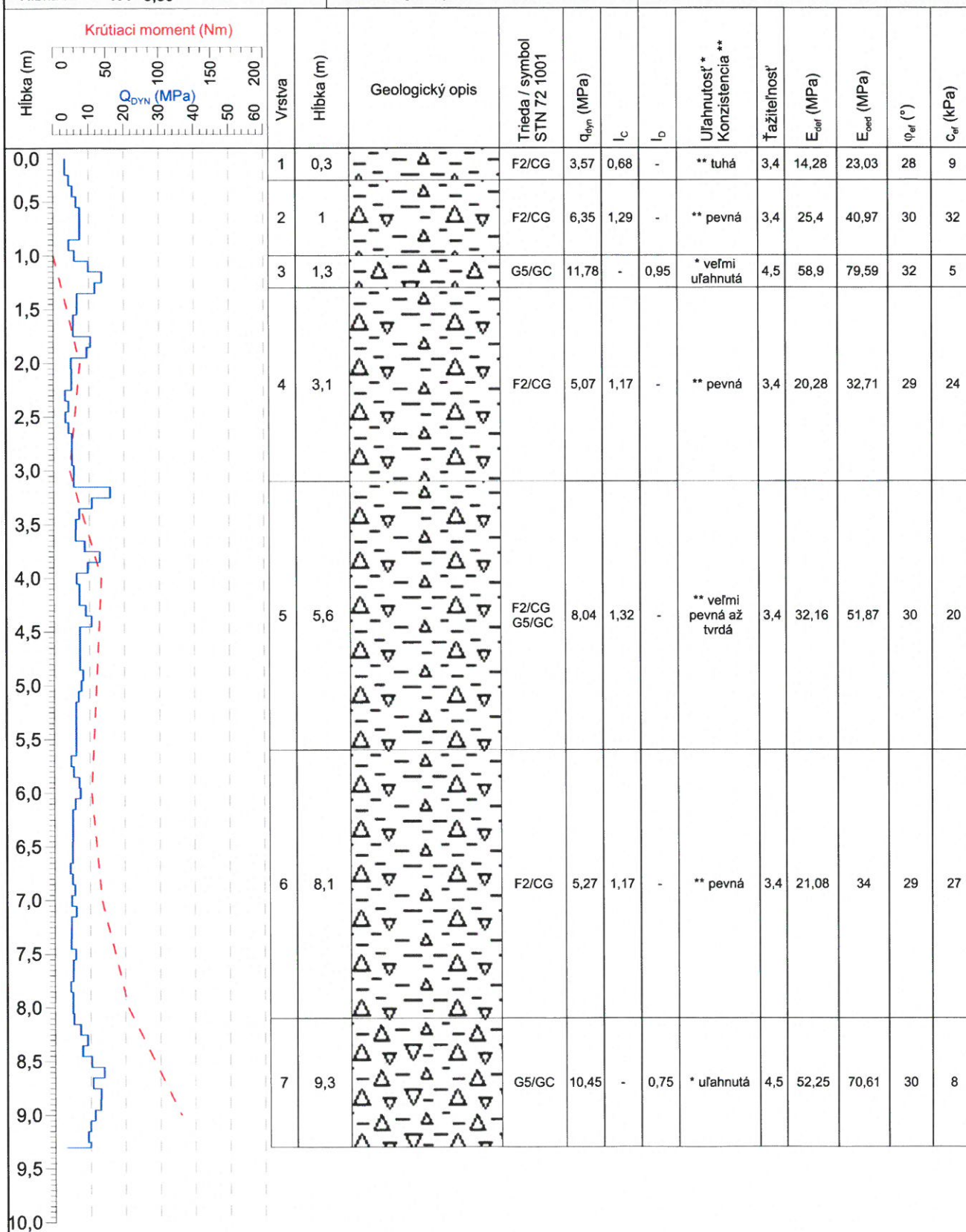
Zhotoviteľ : **CAD-ECO a.s.**
Svätoplukova 28
821 08 Bratislava

Súradnice : **X** : -407636,35
Y : -1187530,83
Z : 520,36 m
Hĺbka : **H** : 9,30 m

Realizoval : Šimek, Vavřík
Súprava : Stitz
Dátum zahájenia prác : 8/18/2017
Čas zahájenia prác : 10:00

Vyhodnotenie penetračnej sondy :

DPS-JTR-04



CAD-ECO

Vyhodnotil : Sinak
Spracoval : Kuvik

Číslo prílohy : **6.2.8**

VÝSLEDKY HYDRODYNAMICKÝCH SKÚŠOK VO VRTOCH

1. ÚVOD

V rámci úlohy „Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2, podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum“ bolo požiadavkou objednávateľa overiť priepustnosť horninového masívu v oblasti situovania západného portálu tunela Čebrať vo variante V2 posunutého o cca 40 m severne oproti pôvodnému návrhu. V zmysle normy STN EN ISO 22282-1 až 22282-6 je odporúčané testovať priepustnosť skalného horninového masívu v nasýtenej i nenasýtenej zóne vodnými tlakovými skúškami podľa STN EN ISO 22282-3.

2. ROZSAH A METODIKA

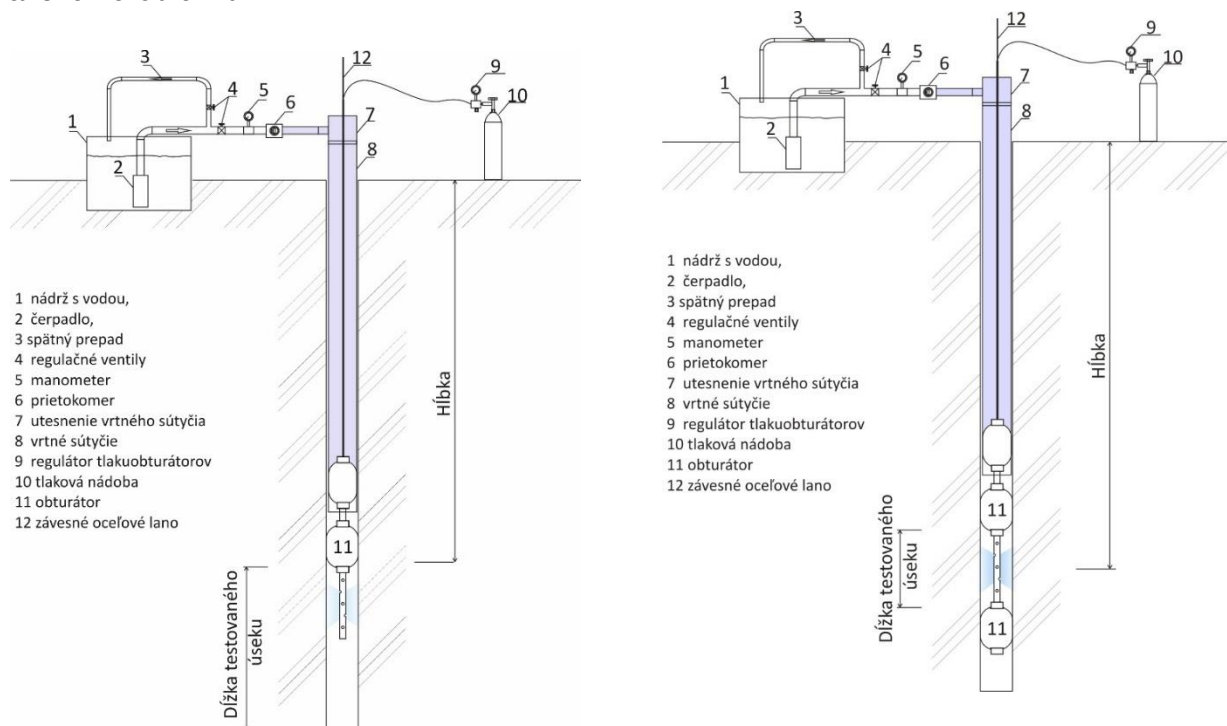
Na predmetnej úlohe bola použitá zostava obturátorov WirelineSystemPacker spoločnosti BIMBAR priemeru NQ (78 mm). Na realizáciu skúšok vo vrtoch bol použitý jednoduchý aj dvojitý obturátor. Dvojitý obturátor bol použitý pre testovanie skúšobného úseku s dĺžkou 2 m, jednoduchý obturátor bol použitý v skúšobnej etáži po dno vrtu.

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.

Na transport vody do skúšobného vrtu bolo použité čerpadlo E-TECH VS 4/18 s max. prietokom 100 l.min⁻¹ a max. výtlakom 114 m (1,12 MPa).

Schéma zariadenia a vykonávania vodnej tlakovej skúšky s jednoduchým obturátorom je zobrazená na obrázku 1.



Obrázok 1 Schéma zariadenia a vykonávania vodnej tlakovej skúšky s jednoduchým (vľavo) a dvojitým (vpravo) obturátorom

Vodnej tlakovej skúške predchádzali prípravné úkony – nastavenie hĺbky vrtnej kolóny,

prečistenie vrtu výplachom čistej vody, zapustenie obturátora, zistenie hladiny vody, utesnenie zhlavia vrtu.

Vodné tlakové skúšky boli realizované v troch vzostupných a troch zostupných tlakových stupňoch. Tlak vody vyvođený čerpadlom pri skúške bol regulovaný škrtiacou klapkou a regulačnými ventilmi. Pribeh skúšky, čítanie prietokomera a tlaku na mernej kolóne bolo vykonávané v intervale 1 minúta, dĺžka trvania každého tlakového stupňa bola 10 minút. Záznam nameraných hodnôt bol podkladom pre výpočet hydraulických parametrov skalného masívu.

Pre výpočet hydraulických parametrov skalného masívu z výsledkov vodnej tlakovej skúšky bol použitý výpočet podľa postupu (Rusnák et al. 1991), pri ktorom je závislosť straty vody na zmene tlaku vyjadrená podľa rovnice :

$$p = \alpha Q + \beta Q^2$$

kde Q = merná strata vody ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ m}^{-1}$)
 p = skúšobný tlak (MPa)
 α, β = regresné koeficienty

regresný koeficient α bol stanovený pomocou regresnej analýzy zo strát vody Q dosiahnutých pri jednotlivých tlakových stupňoch.

Koeficient filtrácie pomocou parametra α :

$$k_f = \frac{1}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-8} \alpha} \ln \frac{L}{r}$$

kde Q = merná strata vody ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ m}^{-1}$)
 r = polomer skúšobného vrtu (m)
 L = dĺžka skúšobného úseku (m)
 α = regresný koeficient

Koeficient filtrácie podľa Dupita in Verfel (1985):

$$k_f = \frac{Q \ln \frac{R}{r}}{2\pi L p}$$

kde Q = merná strata vody ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ m}^{-1}$) pri skúšobnom tlaku
 r = polomer skúšobného vrtu (m)
 L = dĺžka skúšobného úseku (m)
 p = skúšobný tlak (MPa)

Polomer dosahu vplyvu skúšky R podľa Sichardta :

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k} \quad [\text{m}]$$

Koeficient filtrácie podľa Verigina in Verfel (1985)

$$k_f = \frac{Q \ln \left(1,47 \frac{1}{\xi_r r} \right)}{2\pi L \cdot 10p}$$

kde $\xi_r = 2$
 Q = merná strata vody ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \text{ m}^{-1}$) pri skúšobnom tlaku
 r = polomer skúšobného vrtu (m)
 L = dĺžka skúšobného úseku (m)
 p = skúšobný tlak (MPa)

Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok je uvedený v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok

Vrt	Dátum realizácie skúšky	Skúšobný úsek	Zloženie obturátora
NT-20	18.8.2017	18,0 – 20,0 m	dvojitý obturátor
NT-20	18.8.2017	22,0 – 24,0 m	dvojitý obturátor
NT-20	18.8.2017	30,0 – 36,0 m	jednoduchý obturátor
NT-25	8.8.2017	27,0 – 29,0 m	dvojitý obturátor
NT-25	8.8.2017	33,0 – 35,0 m	dvojitý obturátor
NT-25	8.8.2017	39,0 – 45,2 m	jednoduchý obturátor
NT-26	23.5.2017	38,0 – 40,0 m	dvojitý obturátor
NT-26	31.5.2017	46,0 – 50,0 m	jednoduchý obturátor
NT-27	26.5.2017	67,0 – 69,0 m	dvojitý obturátor

O výsledkoch vodnotlakových skúšok a ich vyhodnotení bola vyhotovená skúšobná správa. Skúšobné správy sú uvedené v prílohách 1 až 9 za textovou časťou.

3. VYHODNOTENIE VODNÝCH TLAKOVÝCH SKÚŠOK

Vodné tlakové skúšky boli realizované vo vrtoch pod hladinou podzemnej vody, tlak vyvođený čerpadlom meraný v mernej a regulačnej zostave bol opravený o hydrostatický tlak nalievanej vody vrtu po úroveň hladiny vody pred skúškou.

Vodné tlakové skúšky boli zamerané na zistenie priepustnosti skalných hornín v skúšobných úsekoch. Výsledky vodných tlakových skúšok pri tlakových stupňoch sú spracované v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Výsledky vodnotlakových skúšok pri jednotlivých tlakových stupňoch

Vrt	Skúšobný úsek [m]	Skúšobný tlak [MPa]	Merná strata vody na bm [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
NT-20	18,0 – 20,0	0,21	6,900	3,99.10 ⁻⁵	4,72.10 ⁻⁵
		0,50	15,000	8,68.10 ⁻⁵	4,31.10 ⁻⁵
		0,76	24,680	1,43.10 ⁻⁴	4,72.10 ⁻⁵
		0,50	20,115	1,16.10 ⁻⁴	5,77.10 ⁻⁵
		0,25	11,280	6,53.10 ⁻⁵	6,48.10 ⁻⁵
NT-20	22,0 – 24,0	0,10	24,700	1,43.10 ⁻⁴	3,55.10 ⁻⁴
		0,20	28,590	1,65.10 ⁻⁴	2,05.10 ⁻⁴
		0,30	35,500	2,05.10 ⁻⁴	1,70.10 ⁻⁴
		0,20	31,9667	1,85.10 ⁻⁴	2,29.10 ⁻⁴
		0,10	25,700	1,49.10 ⁻⁴	3,69.10 ⁻⁴
NT-20	30,0 – 36,0	0,10	3,000	5,21.10 ⁻⁵	1,29.10 ⁻⁴
		0,20	4,500	7,81.10 ⁻⁵	9,69.10 ⁻⁵
		0,30	6,6567	1,16.10 ⁻⁴	9,55.10 ⁻⁵
		0,20	4,8611	8,44.10 ⁻⁵	1,05.10 ⁻⁴
		0,10	3,0083	5,22.10 ⁻⁵	1,30.10 ⁻⁴
NT-25	27,0 – 29,0	0,48	2,35	1,36.10 ⁻⁵	7,09.10 ⁻⁶
		0,78	8,56	4,95.10 ⁻⁵	1,58.10 ⁻⁵
		1,11	10,83	6,27.10 ⁻⁵	1,42.10 ⁻⁵
		0,78	6,13	3,55.10 ⁻⁵	1,14.10 ⁻⁵
		0,48	3,16	1,83.10 ⁻⁵	9,53.10 ⁻⁶
NT-25	33,0 – 35,0	0,43	5,26	3,04.10 ⁻⁵	1,75.10 ⁻⁵
		0,68	8,79	5,09.10 ⁻⁵	1,88.10 ⁻⁵
		0,94	13,62	7,88.10 ⁻⁵	2,10.10 ⁻⁵
		0,68	7,68	4,45.10 ⁻⁵	1,63.10 ⁻⁵
		0,43	4,82	2,79.10 ⁻⁵	1,63.10 ⁻⁵

Vrt	Skúšobný úsek [m]	Skúšobný tlak [MPa]	Merná strata vody na bm [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
NT-25	39,0 – 45,2	0,48	0,935	1,68.10 ⁻⁵	8,75.10 ⁻⁶
		0,79	1,970	3,53.10 ⁻⁵	1,12.10 ⁻⁵
		1,11	3,149	5,65.10 ⁻⁵	1,28.10 ⁻⁵
		0,79	2,574	4,62.10 ⁻⁵	1,47.10 ⁻⁵
		0,48	1,061	1,90.10 ⁻⁵	9,92.10 ⁻⁶
NT-26	38,0 – 40,0	0,29	16,77	9,71.10 ⁻⁵	8,45.10 ⁻⁵
		0,49	19,54	1,13.10 ⁻⁴	5,78.10 ⁻⁵
		0,69	25,45	1,47.10 ⁻⁴	5,33.10 ⁻⁵
		0,49	17,25	9,98.10 ⁻⁵	5,10.10 ⁻⁵
		0,29	10,92	6,32.10 ⁻⁵	5,50.10 ⁻⁵
NT-26	46,0 – 50,0	0,39	0,396	4,58.10 ⁻⁷	2,95.10 ⁻⁷
		0,69	0,506	5,86.10 ⁻⁷	2,12.10 ⁻⁷
		0,99	0,586	6,78.10 ⁻⁷	1,71.10 ⁻⁷
		0,69	0,328	3,79.10 ⁻⁷	1,37.10 ⁻⁷
		0,39	0,217	2,51.10 ⁻⁷	1,62.10 ⁻⁷
NT-27	67,0 – 69,0	0,43	0,0107	6,20.10 ⁻⁸	3,65.10 ⁻⁸
		0,73	0,0622	3,60.10 ⁻⁷	1,24.10 ⁻⁷
		1,03	0,1695	9,81.10 ⁻⁷	2,38.10 ⁻⁷
		0,73	0,0550	3,18.10 ⁻⁷	1,09.10 ⁻⁷
		0,43	0,0200	1,16.10 ⁻⁷	6,81.10 ⁻⁸

Výsledné hodnotenie priepustnosti skalného masívu podľa vodných tlakových skúšok sú sumarizované v tabuľkách 3 a 4.

Tabuľka 3 Výsledky vodnotlakových skúšok v tektonicky porušenom horninovom prostredí

Vrt	Skúšobný úsek [m]	Litologický typ	Koeficient filtrácie [m.s ⁻¹]	Priepustnosť prostredia Trieda priepustnosti
NT-20	18,0 – 20,0	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s častými prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóny silného rozpukania sú v úrovniach 17,3 - 18,5m ; 19,7 - 20,1m	2,284.10 ⁻⁵	mierne priepustné trieda priepustnosti IV.
NT-20	22,0 – 24,0	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s častými prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóna silného rozpukania je úrovni 22,6 - 23,0 m	1,097.10 ⁻⁴	dost' silno priepustné trieda priepustnosti III.
NT-20	30,0 – 36,0	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s častými prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóny silného rozpukania sú v úrovniach 31,6 - 32,0 m (strata výplachu) a 32,4 - 33,4 m.	8,128.10 ⁻⁵	mierne priepustné trieda priepustnosti IV.
NT-25	27,0 – 29,0	Súvrstvie tvorené viac či menej porušenými siltovcami (ílovcami), s laminami až preplástkami pieskovca max. do 15 cm. Tektonicky porušené polohy či otvorené pukliny až úlomkovitá poloha s preplástkami zbridičnatého ílovca	9,470.10 ⁻⁶	dost' slabo priepustné trieda priepustnosti V.
NT-25	33,0 – 35,0	Súvrstvie tvorené viac či menej porušenými siltovcami (ílovcami), s laminami až preplástkami pieskovca max. do 15 cm. Tektonicky porušené polohy či otvorené pukliny až úlomkovitá poloha s preplástkami zbridičnatého ílovca	1,167.10 ⁻⁵	mierne priepustné trieda priepustnosti IV.
NT-25	39,0 – 45,2	Súvrstvie tvorené značne kalcifikovanými vápencami s ojedinelými preplástkami siltovca (aspoň sa tak makroskopicky javí). Vápenec dost' rozpukaný, vrstevné plochy sklonu 40 - 45°, pričom sa na nich občas objavujú aj laminy (do 3 mm) ílovca. Pukliny otvorené zväčša do 1 mm	1,004.10 ⁻⁵	mierne priepustné trieda priepustnosti IV.

Tabuľka 4 Výsledky vodnotlakových skúšok v slabo porušenom až zdravom horninovom prostredí

Vrt	Skúšobný úsek [m]	Litologický typ	Koeficient filtrácie [m.s ⁻¹]	Priepustnosť prostredia Trieda priepustnosti
NT-26	38,0 – 40,0	Kvalitný masívny siltovec až ílovec, s občasnými polohami jemnozrnného pieskovca, s ojedinelými 5 - 10 cm zbridičnatými až brekciovitými polohami.	5,025.10 ⁻⁵	mierne priepustné trieda priepustnosti IV.
NT-26	46,0 – 50,0	Kvalitný masívny siltovec až ílovec, s občasnými polohami jemnozrnného pieskovca, s ojedinelými 5 - 10 cm zbridičnatými až brekciovitými polohami. Od 48,0 m tektonicky porušené a zbridičnaté ílovce s preplástkami úlomkovitých siltovcov.	5,237.10 ⁻⁷	slabo priepustné trieda priepustnosti VI.
NT-27	67,0 – 69,0	Relatívne dobré prostredie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými ílovcami s laminami pieskovcov. V tomto relatívne dobrom ílovci je niekoľko medzivrstevných porúch, jedná sa o zbridičnatý, šupinatý ílovec	1,843.10 ⁻⁷	slabo priepustné trieda priepustnosti VI.

4. ZÁVER

Účelom hydrodynamických skúšok bolo overenie priepustnosť horninového masívu v oblasti situovania západného portálu tunela Čebrať vo variante V2 posunutého o cca 40 m severne oproti pôvodnému návrhu novej trasy.

Realizáciou vodných tlakových skúšok bola overená priepustnosť ílovcov, brekcií, vápencov a slienitých vápencov mráznického a porubského súvrstvia mladšej jury a staršej kriedy. Z výsledkov vodnotlakových skúšok vyplýva, že horninové prostredie sa v závislosti od jeho porušenia vyznačuje vysokou variabilitou priepustnosti vyjadrenou hodnotami koeficienta filtrácie v rozsahu $k_f = 1,843 \cdot 10^{-7}$ až $1,097 \cdot 10^{-4}$ m.s⁻¹ s geometrickým priemerom $k_f = 1,010 \cdot 10^{-5}$ m.s⁻¹.

Hodnoty koeficienta filtrácie v rozsahu $k_f = 1,843 \cdot 10^{-7}$ až $5,237 \cdot 10^{-7}$ m.s⁻¹ charakterizujú podľa klasifikácie priepustnosti hornín (Jetel. J. 1982) **slabo porušené až zdravé horninové prostredie** slienitých vápencov, ílovcov, siltovcov s polohami pieskovcov ako **slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti VI**. V slabo porušenom až zdravom horninovom prostredí sa vyskytujú zbridičnaté až brekciovité polohy, ktorých priepustnosť bola overená napr. vrtom NT-26 v úseku 38,0 – 40,0 m s hodnotou koeficienta filtrácie až $k_f = 5,025 \cdot 10^{-5}$ m.s⁻¹ zodpovedajúcemu **mierne priepustnému prostrediu s triedou priepustnosti IV**.

Porušené až silno tektonicky porušené súvrstvie ílovcov, brekcií, vápencov a slienitých vápencov charakterizované hodnotami koeficienta filtrácie v rozsahu $k_f = 9,470 \cdot 10^{-6}$ až $1,097 \cdot 10^{-4}$ m.s⁻¹ s geometrickým priemerom $Gk_f = 2,468 \cdot 10^{-5}$ m.s⁻¹ tvoria podľa klasifikácie priepustnosti hornín (Jetel. J. 1982) **mierne priepustné až dosť slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti IV až VI**.

Vypracoval : Mgr. Marián Coplák
Ján Gábor
Štefan Konkolovský

ZOZNAM LITERATÚRY:

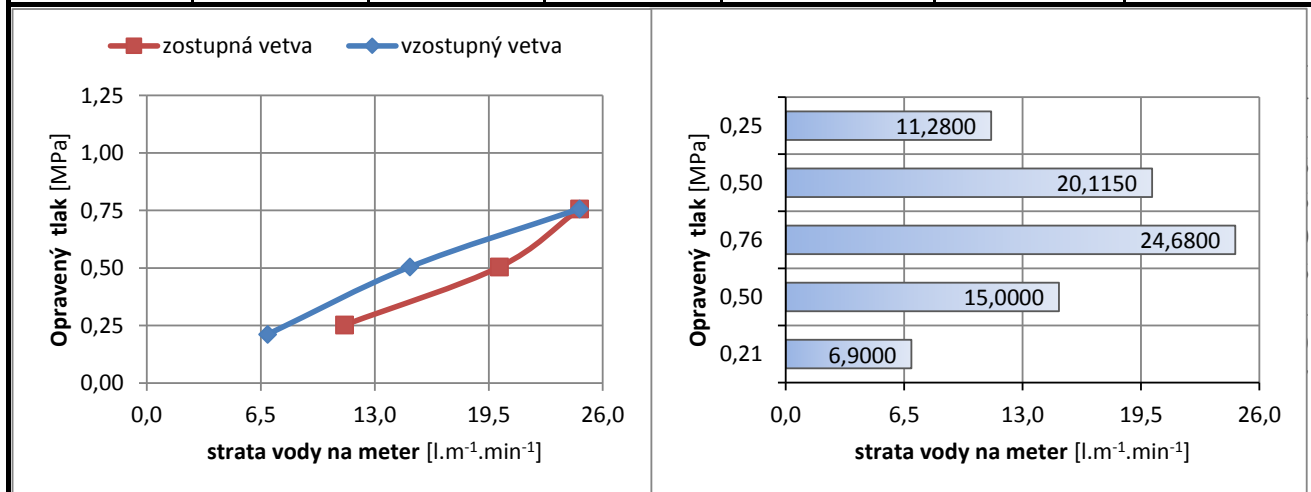
- Ingr, M.: Vodné tlakové skúšky – Metodická príručka, IGHP n.p. Žilina, 1978
- Jetel, J.: Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech, ÚÚG Praha, 1982
- Rusnák, M., Matejček M.: Výsledky VTS a výpočet hydraulických parametrov skalného masívu z výsledkov vodných tlakových skúšok vo vrtoch z predbežného prieskumu, Príl. č. 23.1, IGHP Žilina, 1991, GEOFOND 78 650
- Verfel, J.: Injektování hornin a výstavba podzemních stěn, SNTL Praha, 1983, 404 s.
- 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: Čerpace skúšky (ISO 22282-4:2012) (72 1040);

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-20
Dátum merania :	18.8.2017		
Skúšobný úsek :	18,0 - 20,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	36
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	2,20	Hladina vody [m]:	34
Horninové prostredie :	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s časťami prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóny silneho rozpukania sú v úrovniach 17,3 - 18,5m ; 19,7 - 20,1m		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,21	20,958	0,21	13,8000	6,9000
P2	10	0,50	49,9	0,50	30,0000	15,0000
P3	10	0,75	74,85	0,76	49,3600	24,6800
P2	10	0,50	49,9	0,50	40,2300	20,1150
P1	10	0,25	24,95	0,25	22,5600	11,2800



Poznámka : *hladina vody - výplach*

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,2		3,99E-05	4,72E-05
P2	0,5		8,68E-05	4,31E-05
P3	0,8		1,43E-04	4,72E-05
P2	0,5		1,16E-04	5,77E-05
P1	0,3		6,53E-05	6,48E-05

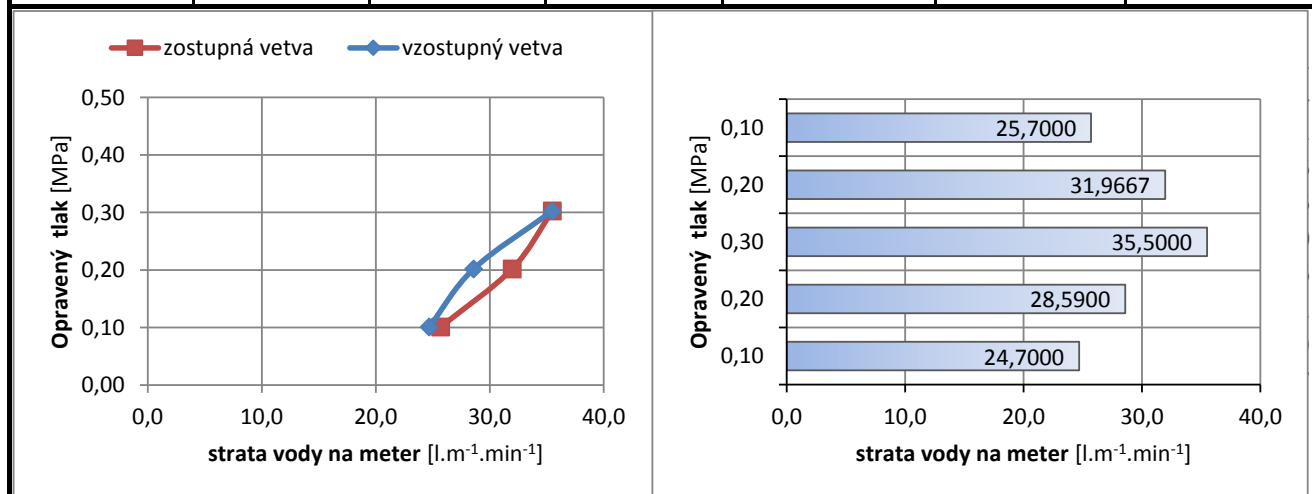
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991 **2,284E-05**

* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B
 Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-20
Dátum merania :	18.8.2017		
Skúšobný úsek :	22,0 - 24,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	36
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	2,20	Hladina vody [m]:	34,1
Horninové prostredie :	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s častými prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóna silneho rozpukania je úrovni 22,6 - 23,0 m		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,10	9,98	0,10	49,4000	24,7000
P2	10	0,20	19,96	0,20	57,1800	28,5900
P3	10	0,30	29,94	0,30	71,0000	35,5000
P2	10	0,20	19,96	0,20	63,9333	31,9667
P1	10	0,10	9,98	0,10	51,4000	25,7000



Poznámka : hladina vody - výplach

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,1		1,43E-04	3,55E-04
P2	0,2		1,65E-04	2,05E-04
P3	0,3		2,05E-04	1,70E-04
P2	0,2		1,85E-04	2,29E-04
P1	0,1		1,49E-04	3,69E-04
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				1,079E-04

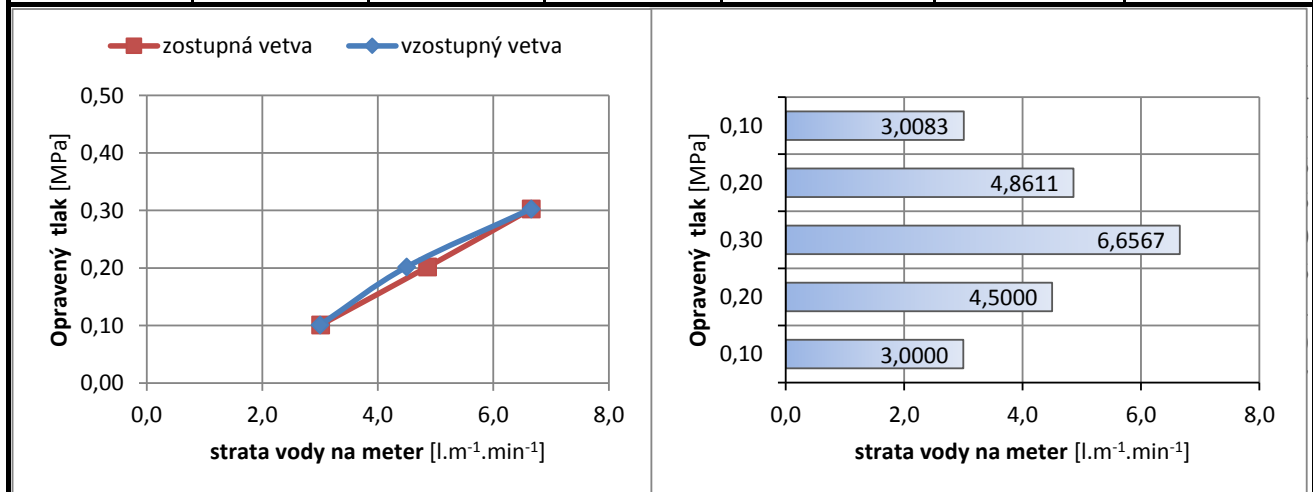
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-20
Dátum merania :	18.8.2017	Hĺbka vrtu* [m]:	36
Skúšobný úsek :	30,0 - 36,0 m	Priemer vrtu [m]:	0,078
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Hladina vody [m]:	34,2
Tlak v obturátore [MPa]:	1,50		
Horninové prostredie :	Jaseninské súvrstvie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými vápencami. Súvrstvie je značne rozpukané, porušené, taktiež s časťami prejavmi ťahových, tlakových a strižných puklín. Zóny silneho rozpukania sú v úrovniach 31,6 - 32,0 m (strata výplachu) a 32,4 - 33,4 m.		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,10	9,98	0,10	18,0000	3,0000
P2	10	0,20	19,96	0,20	27,0000	4,5000
P3	10	0,30	29,94	0,30	39,9400	6,6567
P2	10	0,20	19,96	0,20	29,1667	4,8611
P1	10	0,10	9,98	0,10	18,0500	3,0083



Poznámka : *hladina vody - výplach*

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	6		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,1		5,21E-05	1,29E-04
P2	0,2		7,81E-05	9,69E-05
P3	0,3		1,16E-04	9,55E-05
P2	0,2		8,44E-05	1,05E-04
P1	0,1		5,22E-05	1,30E-04
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				8,128E-05

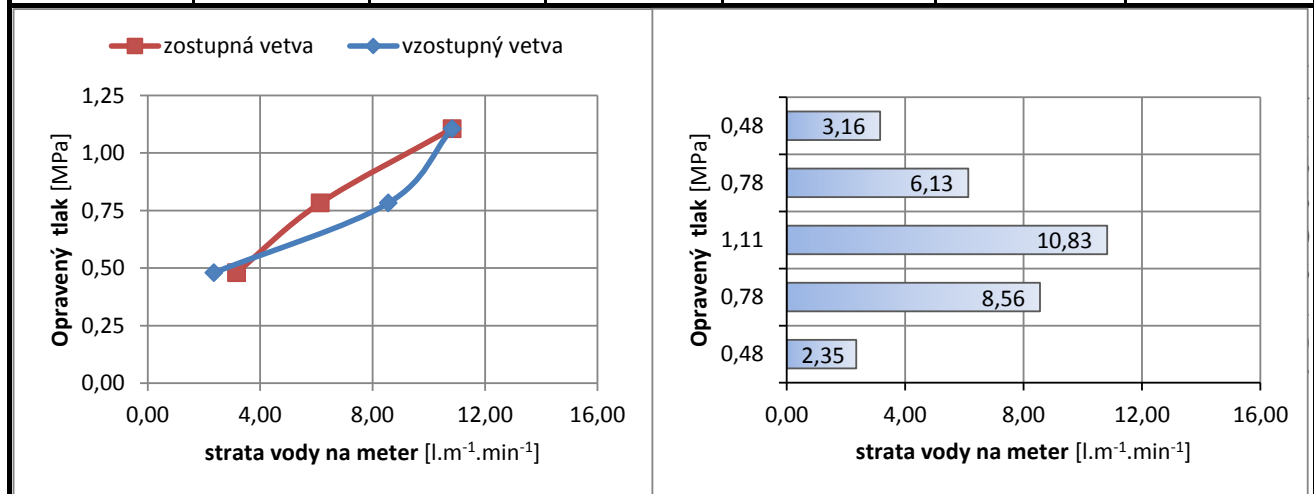
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-25
Dátum merania :	8.8.2017		
Skúšobný úsek :	27,0 - 29,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	45,2
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	2,00	Hladina vody [m]:	17,5
Horninové prostredie :	Súvrstvie tvorené viac či menej porušenými siltovcami (ílovcami), s laminami až preplástkami pieskovca max. do 15 cm. Tektonicky porušené polohy či otvorené pukliny až úlomkovitá poloha s preplástkami zbridličeného ílovca		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,30	47,44	0,48	4,70	2,35
P2	10	0,60	77,38	0,78	17,11	8,56
P3	10	0,92	109,316	1,11	21,65	10,83
P2	10	0,60	77,38	0,78	12,27	6,13
P1	10	0,30	47,44	0,48	6,31	3,16



Poznámka : hladina vody - výplach

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietočnosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,5		1,36E-05	7,09E-06
P2	0,8		4,95E-05	1,58E-05
P3	1,1		6,27E-05	1,42E-05
P2	0,8		3,55E-05	1,14E-05
P1	0,5		1,83E-05	9,53E-06

Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991 **9,470E-06**

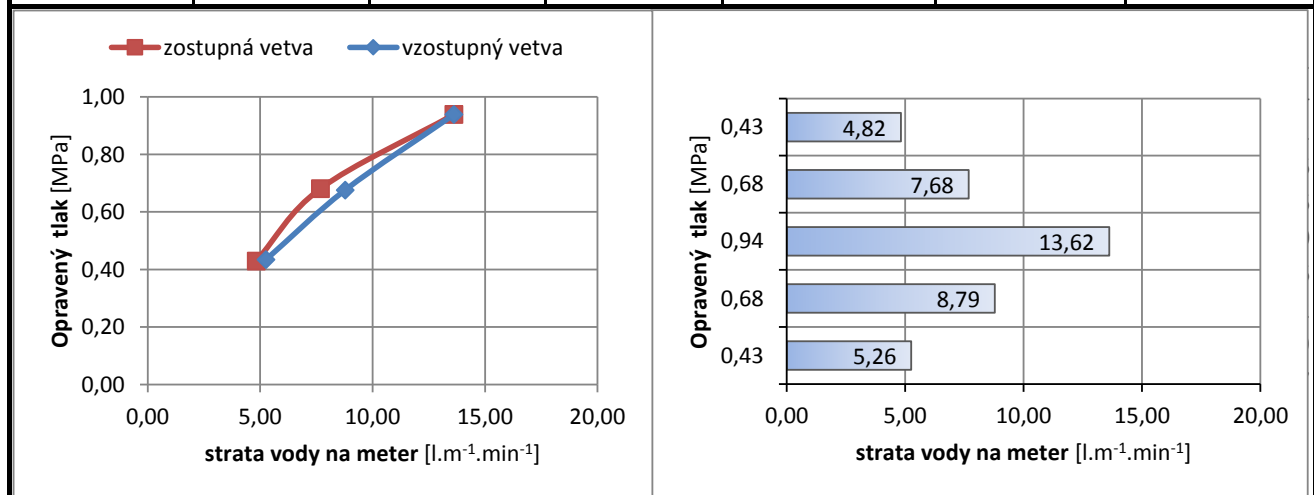
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-25
Dátum merania :	8.8.2017		
Skúšobný úsek :	33,0 - 35,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	45,2
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	1,80	Hladina vody [m]:	17,5
Horninové prostredie :	Súvrstvie tvorené viac či menej porušenými siltovcami (ílovcami), s laminami až prepláskami pieskovca max. do 15 cm. Tektonicky porušené polohy či otvorené pukliny až úlomkovitá poloha s prepláskami zbridlčeného ílovca		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,26	42,949	0,43	10,51	5,26
P2	10	0,50	66,901	0,68	17,57	8,79
P3	10	0,76	92,849	0,94	27,24	13,62
P2	10	0,50	67,4	0,68	15,37	7,68
P1	10	0,25	42,45	0,43	9,65	4,82



Poznámka : hladina vody - výplach

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,4		3,04E-05	1,75E-05
P2	0,7		5,09E-05	1,88E-05
P3	0,9		7,88E-05	2,10E-05
P2	0,7		4,45E-05	1,63E-05
P1	0,4		2,79E-05	1,63E-05
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				1,167E-05

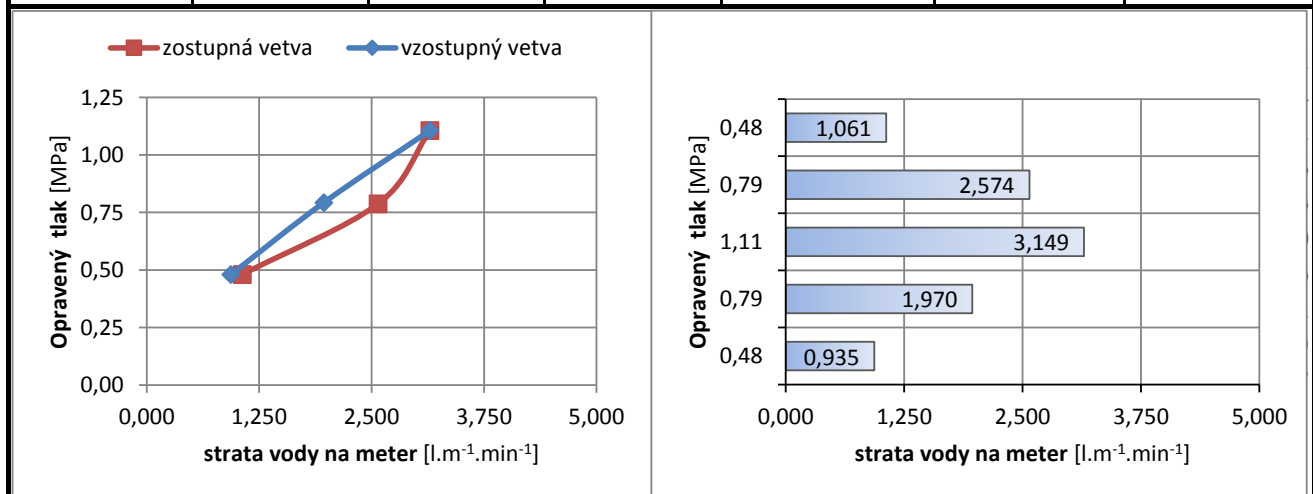
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-25
Dátum merania :	8.8.2017		
Skúšobný úsek :	39,0 - 45,2 m	Hĺbka vrtu* [m]:	45,2
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	2,40	Hladina vody [m]:	17,56
Horninové prostredie :	Súvrstvie tvorené značne kalcifikovanými vápencami s ojedinelými preplástkami siltovca (aspoň sa tak makroskopicky javí). Vápenec dosť rozpukaný, vrstevné plochy sklonu 40 - 45°, pričom sa na nich občas objavujú aj laminy (do 3 mm) ílovca. Pukliny otvorené zväčša do 1 mm		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,30	47,5	0,48	5,80	0,935
P2	10	0,61	78,438	0,79	12,21	1,970
P3	10	0,92	109,376	1,11	19,52	3,149
P2	10	0,61	77,939	0,79	15,96	2,574
P1	10	0,30	47,5	0,48	6,58	1,061



Poznámka : hladina vody - výplach

Strata vody [l.min⁻¹] pri tlaku 1 MPa

LUGEON

Dĺžka skúšanej etáže [m]

6,2

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,5		1,68E-05	8,75E-06
P2	0,8		3,53E-05	1,12E-05
P3	1,1		5,65E-05	1,28E-05
P2	0,8		4,62E-05	1,47E-05
P1	0,5		1,90E-05	9,92E-06
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				1,004E-05

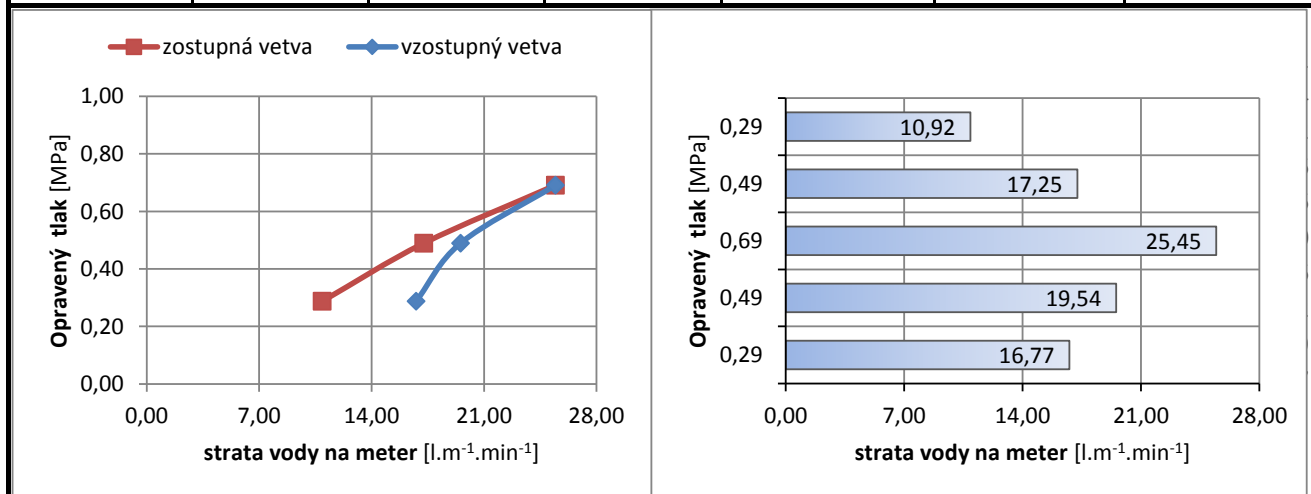
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-26
Dátum merania :	31.5.2017		
Skúšobný úsek :	38,0 - 40,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	50
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	3,00	Hladina vody [m]:	8,47
Horninové prostredie :	Kvalitný masívny siltovec až ílovec, s občasnými polohami jemnozrnného pieskovca, s ojedinelými 5 - 10 cm zbridičnatými až brekciovitými polohami.		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,20	28,43	0,29	33,54	16,77
P2	10	0,40	48,39	0,49	39,07	19,54
P3	10	0,60	68,35	0,69	50,90	25,45
P2	10	0,40	48,39	0,49	34,49	17,25
P1	10	0,20	28,43	0,29	21,84	10,92



Poznámka : hladina vody - výplach

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

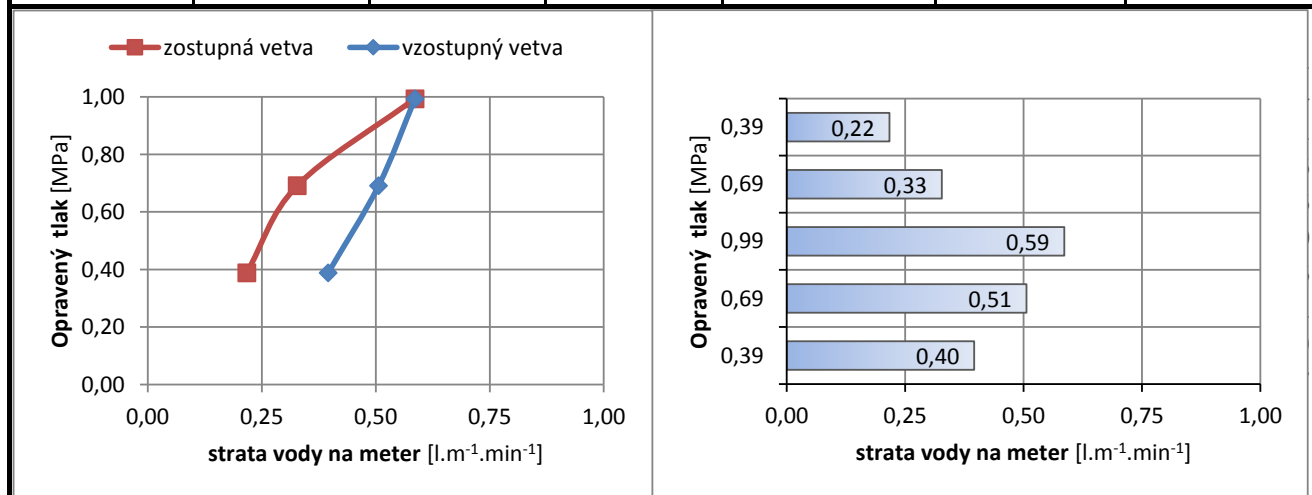
Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietočnosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,3		9,71E-05	8,45E-05
P2	0,5		1,13E-04	5,78E-05
P3	0,7		1,47E-04	5,33E-05
P2	0,5		9,98E-05	5,10E-05
P1	0,3		6,32E-05	5,50E-05
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				5,025E-05

* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B
 Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-26
Dátum merania :	31.5.2017		
Skúšobný úsek :	46,0 - 50,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	50
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	3,00	Hladina vody [m]:	8,47
Horninové prostredie :	Kvalitný masívny siltovec až ílovec, s občasnými polohami jemnozrnného pieskovca, s ojedinelými 5 - 10 cm zbridičnatými až brekciovitými polohami, Od 48,0 m tektonicky porušené a zbridičnaté ílovce s prepláškami úlomkovitých siltovcov.		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,30	38,41	0,39	1,58	0,40
P2	10	0,60	68,35	0,69	2,03	0,51
P3	10	0,90	98,29	0,99	2,34	0,59
P2	10	0,60	68,35	0,69	1,31	0,33
P1	10	0,30	38,41	0,39	0,87	0,22



Poznámka : *hladina vody - výplach*

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	4		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietoknosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,4		4,58E-07	2,95E-07
P2	0,7		5,86E-07	2,12E-07
P3	1,0		6,78E-07	1,71E-07
P2	0,7		3,79E-07	1,37E-07
P1	0,4		2,51E-07	1,62E-07
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				5,237E-07

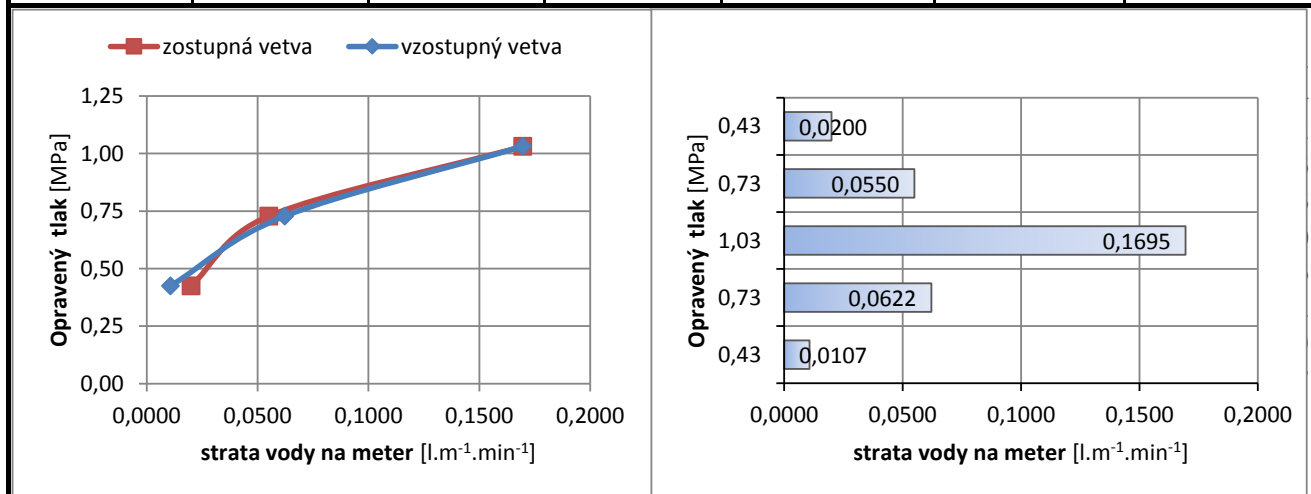
* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky

Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa - časť B

Podrobný inžinierskogeologický prieskum

Vodná tlaková skúška podľa ISO 22282-3			
Lokality :	Hrboltová - Tunel Čebrať, západný portál	Označenie vrtu :	NT-27
Dátum merania :	26.5.2017		
Skúšobný úsek :	67,0 - 69,0 m	Hĺbka vrtu* [m]:	75,5
Dĺžka obturátora [m]:	1,00	Priemer vrtu [m]:	0,078
Tlak v obturátore [MPa]:	2,80	Hladina vody [m]:	12,1
Horninové prostredie :	Relatívne dobré prostredie tvorené tenkodoskovitými až doskovitými ílovcami s laminami pieskovcov. V tomto relatívne dobrom ílovci je niekoľko medzivrstevných porúch, jedná sa o zbridlíchnatený, šupinatý ílovec		

Tlakový stupeň	Trvanie [min]	Meraný tlak [MPa]	Výška vodného stĺpca [m]	Opravený tlak [MPa]	Strata vody v úseku [l.min ⁻¹]	Strata vody na meter [l.min ⁻¹ .m ⁻¹]
P1	10	0,30	42,04	0,43	0,0214	0,0107
P2	10	0,60	71,98	0,73	0,1243	0,0622
P3	10	0,90	101,92	1,03	0,3390	0,1695
P2	10	0,60	71,98	0,73	0,1100	0,0550
P1	10	0,30	42,04	0,43	0,0400	0,0200



Poznámka : *hladina vody - výplach*

Strata vody [l.min ⁻¹] pri tlaku 1 MPa		LUGEON	
Dĺžka skúšanej etáže [m]	2		

Tlakový stupeň	Tlak [MPa]	Prietočnosť T [m ² .s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Dupuita [m.s ⁻¹]	Koeficient filtrácie podľa Verigina [m.s ⁻¹]
P1	0,4		6,20E-08	3,65E-08
P2	0,7		3,60E-07	1,24E-07
P3	1,0		9,81E-07	2,38E-07
P2	0,7		3,18E-07	1,09E-07
P1	0,4		1,16E-07	6,81E-08
Výsledný koeficient filtrácie podľa metodiky Rusnák et. al. 1991				1,843E-07

* v čase realizácie vodnotlakovej skúšky skúšky

VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD



Prvá modelovacia v.o.s.

Kordíky 128, 976 34 TAJOV

Súradnice sídla :

N : 48° 46' 40,7''

E : 19° 01' 45,8'' , 821 m n.m.

IČO : 36018376

IČ DPH/DIČ : SK 2020090996

Obch.register Okr. súdu v B.Bystrici

Oddiel : Sr, vložka č. : 206/S

Tel. : 048/4197886

0905/656201

E-mail : hydros@prvmodel.com

Stránka : www.prvmodel.com

Štatutári :

1. spoločník :

prof. Ing. Karel Kovářík, CSc.

2.spoločník :

RNDr. Miroslav Drahoš

**PRIESTOROVÉ NUMERICKÉ MODELOVANIE
PRÚDENIA PODZEMNEJ VODY SO SIMULOVANÍM
ZNEPRIEPUSTNENIA CESTNÉHO TUNELA
ČEBRAŤ V URČENOM RIZIKOVOM ÚSEKU PRE
ÚČELY OCHRANY VODÁRENSKÉHO ZDROJA
STARÁ HRBOLTOVÁ**

KORDÍKY 15.09.2017

A. ÚVOD

Priestorový numerický model prúdenia podzemnej vody bol urobený na základe objednávky spoločnosti CAD-ECO a.s., č. objednávky 071/207/2017/ZA zo dňa 4.9.2017.

Hlavným cieľom numerického modelovania bola prognóza zmien hladiny podzemnej vody, prognóza prítoku podzemnej vody do dvojúrovňového diaľničného tunela Čebrať v jeho rizikovom a znepriepustňovanom úseku zlomu č.1 a prognóza jeho vplyvu na blízky vodárenský zdroj Stará Hrboltová.

Numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody je súčasťou podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu geologickej úlohy: "Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, variant V2, podrobný IG prieskum, č.ú. 207/2017/ZA.

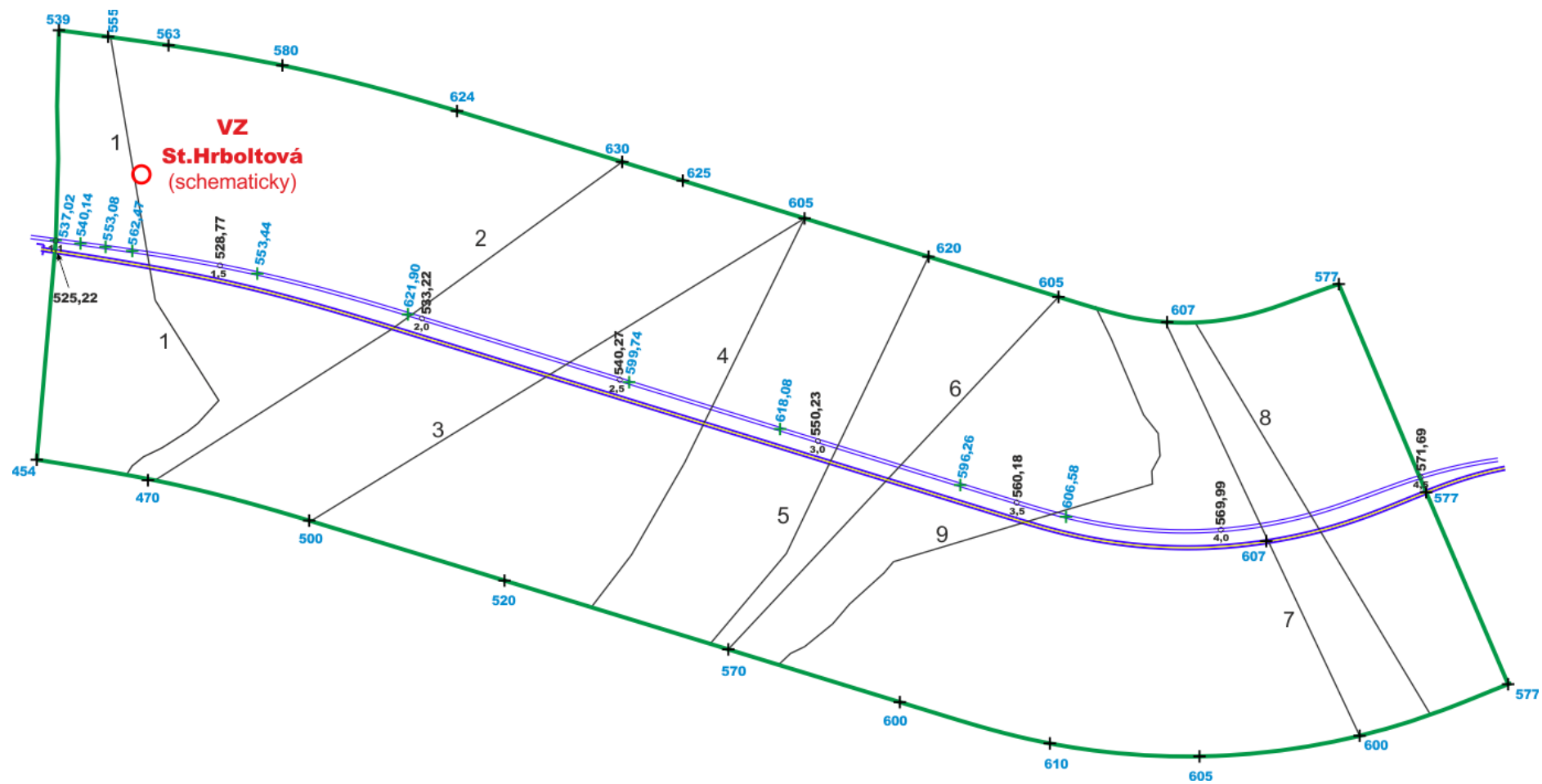
Prognóza zmien hladiny podzemnej vody, prognóza prítoku podzemnej vody do dvojúrovňového diaľničného tunela Čebrať v jeho rizikovom a znepriepustňovanom úseku zlomu č.1 a prognóza jeho vplyvu na blízky vodárenský zdroj Stará Hrboltová sa robila pomocou jedného trojrozmerného numerického modelu v kombinácii s deviatimi dvojrozmernými numerickými modelmi aplikovaných na deviatich charakteristických zlomoch. Táto hybridná metóda numerického modelovania metódou hraničných prvkov v puklinovom horninovom prostredí bola použitá v predchádzajúcej geologickej úlohe č.166/2016/ZA (**lit.1**). Numerický model zostavený v tejto úlohe sa použil aj v predmetnej geologickej úlohe s tým rozdielom, že sa simuloval znepriepustňovaný rizikový úsek tunela (tunelov) s cieľom minimalizovať vplyvy na vodárenský zdroj Stará Hrboltová.

Autorom použitých počítačových programov je prof. Ing. Karel Kovářík, CSc. Štandardný 3D model hraničných prvkov bol adaptovaný na puklinové prostredie podľa **lit.2**.

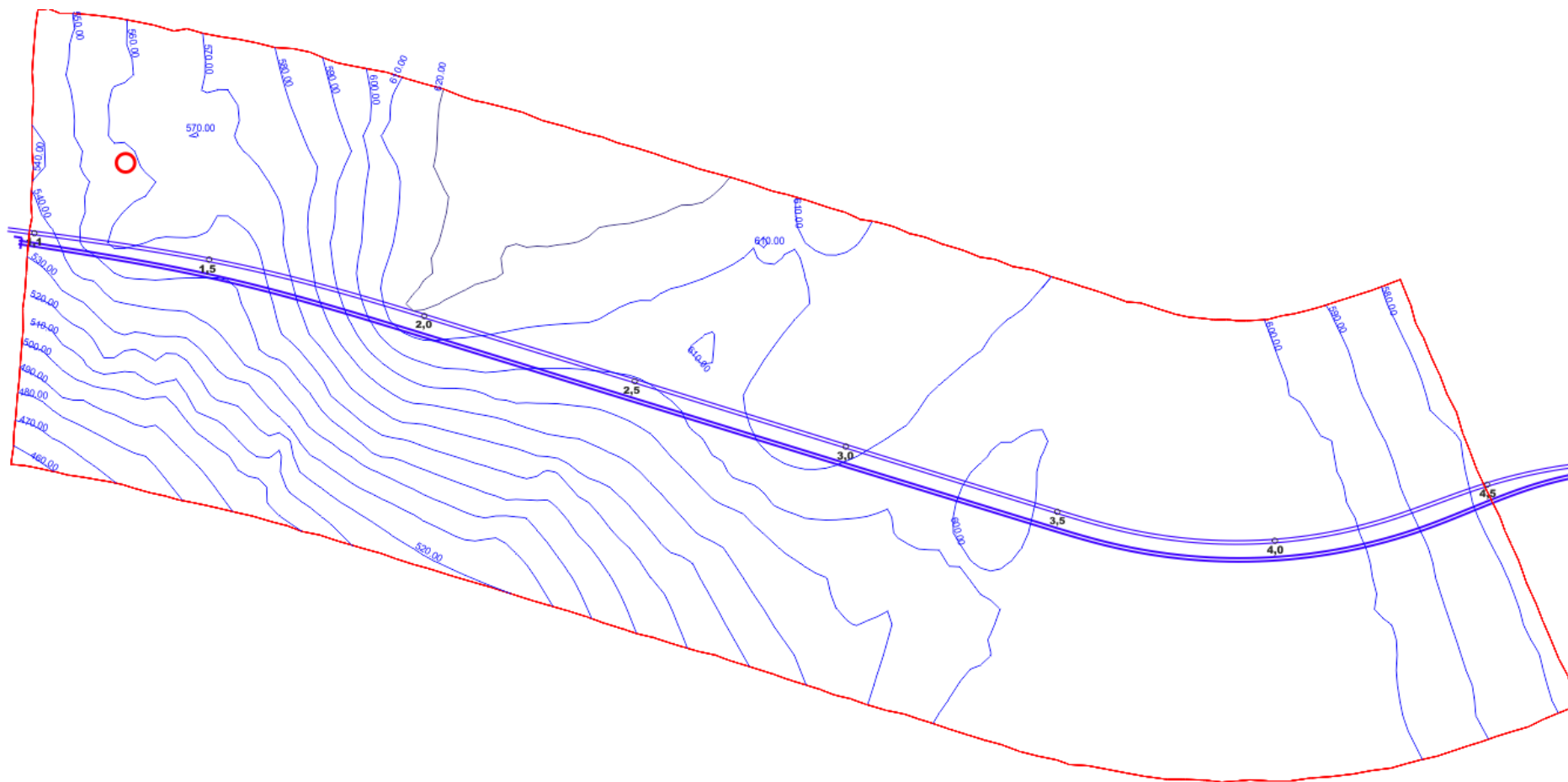
B. Koncept modelovania, modelovaná filtračná oblasť, zostavenie modelu a vstupné údaje do modelu

Numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody sa robilo v modelovanej filtračnej oblasti - v modelovanom filtračnom priestore, ktorého pôdorys je znázornený na **Obr.1**. Mierka Obr.1 je určená staničením severnej tunelovej rúry (STR). Modeloval sa len priestor od trvalej hladiny podzemnej vody (p.v.) po referenčnú kótu 400 m n.m. Priestorový numerický model je jednovrstvový. Na kóte 400 m n.m. sa uvažuje nepriepustné podložie, alebo nulový vertikálny prietok p.v.

Prieskumnými vrtmi zistené úrovne hladiny p.v. (**lit.1**) sú číselne uvedené na Obr.1 v priemetoch do severnej tunelovej rúry. Po obvodu modelovanej filtračnej oblasti a tiež v jednom mieste južnej tunelovej rúry sú na Obr.1 číselne uvedené a do modelu zadane kóty hladiny podzemnej vody (HPV) zohľadňujúce priebeh kriedového súvrstvia pod terénom a predstavu riešiteľov o HPV.



Obr.1 Modelovaná filtračná oblasť - modelovaný filtračný priestor (pôdorys)



Obr.2 Zistená a predpokladaná súčasná úroveň hladiny podzemnej vody bez existencie tunelov

Aj tieto zadané bodové HPV boli podkladom pre zostrojenie hydroizohýps (**Obr.2**), ktoré budú porovnávacou úrovňou pre HPV ovplyvnené tunelmi.

Horninový priestor nad znázornenou hladinou podzemnej vody (**Obr.2**) sa považuje za trvalo nezvodnený, resp. len za čiastočne zvodnený, a to predovšetkým v líniiach zlomov, ktoré sú znázornené na **Obr.1** aj so svojim číslaním (9 očíslovaných významnejších zlomov).

Modelovaný filtračný priestor tvorí kriedové súvrstvie ílovcov, slieňovcov, slienitých a piesčitých vápencov, ktoré je síce z hydrogeologického hľadiska regionálnym izolátorom, ale v tomto prípade sa súvrstvie považuje za "zvodnenú vrstvu".

Občasne dokumentovaná vrchná podpovrchová zvodnená vrstva v modeli nie je zahrnutá (je to nesúvislá zvodnená vrstva a nie je v nej situovaný tunel (tunelové rúry).

Na predchádzajúcom **Obr.1** sú veľmi schematicky znázornené línie charakteristických vertikálnych zlomov (vertikálnych zlomových porúch). Zlomy sú očíslované. Hrúbka všetkých zlomov sa v modeli uvažuje 5 m. Ich priepustnosť je podľa výsledkov prieskumu charakterizovaná koeficientom filtrácie $k_y = k_z = 8,1 \text{ E-6 m/s}$.

Vertikálne zlomové poruchy členia modelovaný filtračný priestor na **medzizlomové bloky**. Koeficient filtrácie vlastného kriedového masívu, alebo medzizlomových blokov kriedového masívu je $k_x = k_y = k_z = 2,076 \text{ E-7 m/s}$.

Zadanie okrajových podmienok bolo v modeli urobené v dvoch alternatívach:

Alternatíva 1 (tzv. malé prítoky do tunelov): do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok p.v. z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy, ktorý je sumárne len 6,56 l/s (akoby zrážky, tento prítok bol vypočítaný z predpísaných HPV - **Obr.2** pri zadanej priepustnosti masívu a bez uvažovania tunelov) a zároveň príslušný plošný prítok (akoby zo zrážok) bol zadávaný aj do stropu zlomov.

Alternatíva 2 (tzv. veľké prítoky do tunelov): do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok p.v. z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy (ako v **Alt.1**) a zároveň do stropu zlomov bola zadávaná okrajová podmienka 1. druhu $H = \text{konštanta}$ (t.j. na strope zlomov sa vždy udrží počiatočná kóta HPV a v prípade drénovania p.v. tunelmi sa bude udržiavať jej rovnaká úroveň zväčšovaním prítoku p.v. z nadložia).

Do obvodových bočných vertikálnych stien modelovaného filtračného priestoru boli v obidvoch alternatívach zadávané okrajové podmienky 1. druhu ($H = \text{konštanta}$) podľa uvažovaných kót HPV uvedených na **Obr.1**. Pritom sa predpokladala rovnaká hodnota kóty HPV po príslušnej zvislici.

V Alternatíve 1 i v Alternatíve 2 sa simulovalo utesňovanie tunelových rúr v miestach, kde tunelové rúry prechádzajú zlomom 1 (zlomovým pásmom 1). V ďalšom texte sa tieto miesta budú nazývať rizikové miesta.

Utesňovanie tunelových rúr v rizikových miestach sa simulovalo iba pre hornú (stropnú) časť tunelových rúr a tiež pre hornú i dolnú časť tunelových rúr (úplne kruhové utesňovanie tunelových rúr).

Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 3 m a 6 m a pre stupeň utesňovanie s koeficientom filtrácie $k = 1\text{E-}7 \text{ m/s}$ a tiež pre $k = 1\text{E-}8 \text{ m/s}$.

V Alternatíve 1 sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo **z hodnoty poklesu hladiny** podzemnej vody pri utesňovaní tunelov v rizikovom mieste.

V Alternatíve 2 sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo **z hodnoty prítoku** podzemnej vody do tunelov pri ich utesňovaní v rizikovom mieste.

C. Výsledky numerického modelu

C.1 Výsledky numerického modelu v Alternat.1 (s utesňovaním s **$k = 1\text{E-}7 \text{ m/s}$**)

V súčasnosti (bez existencie tunelov) je približne v mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová priemerná kóta HPV podľa modelu cca **557,25 m n.n.** Po vybudovaní tunelov bude v tomto mieste *bez utesňovania tunelov v rizikovom úseku zlomovej poruchy č.1* priemerná kóta HPV cca 541,415 m n.m. Pri neutesňovaných tuneloch teda **klesne HPV** v posudzovanom mieste a v ustálených pomeroch prúdenia p.v. o cca **15,84 m**.

Pokiaľ budú v rizikovom úseku utesňované tunely len v hornej (stropnej) polovici v hĺbke 3 m (s utesňovacími návrtmi 3 m), tak nepriaznivý pokles HPV cca 15,84 m sa nezmenší. Ba naopak, mierne sa zväčší, podľa číselných výsledkov modelu na hodnotu cca 16,01 m. Utesňovanie stropnej polovice tunelov presmeruje len prítok podzemnej vody do spodnej polovice tunelov. Prítok p.v. sa však nezmenší. Táto istá zásada platí aj pre utesňovacie návrty dĺžky 6 m.

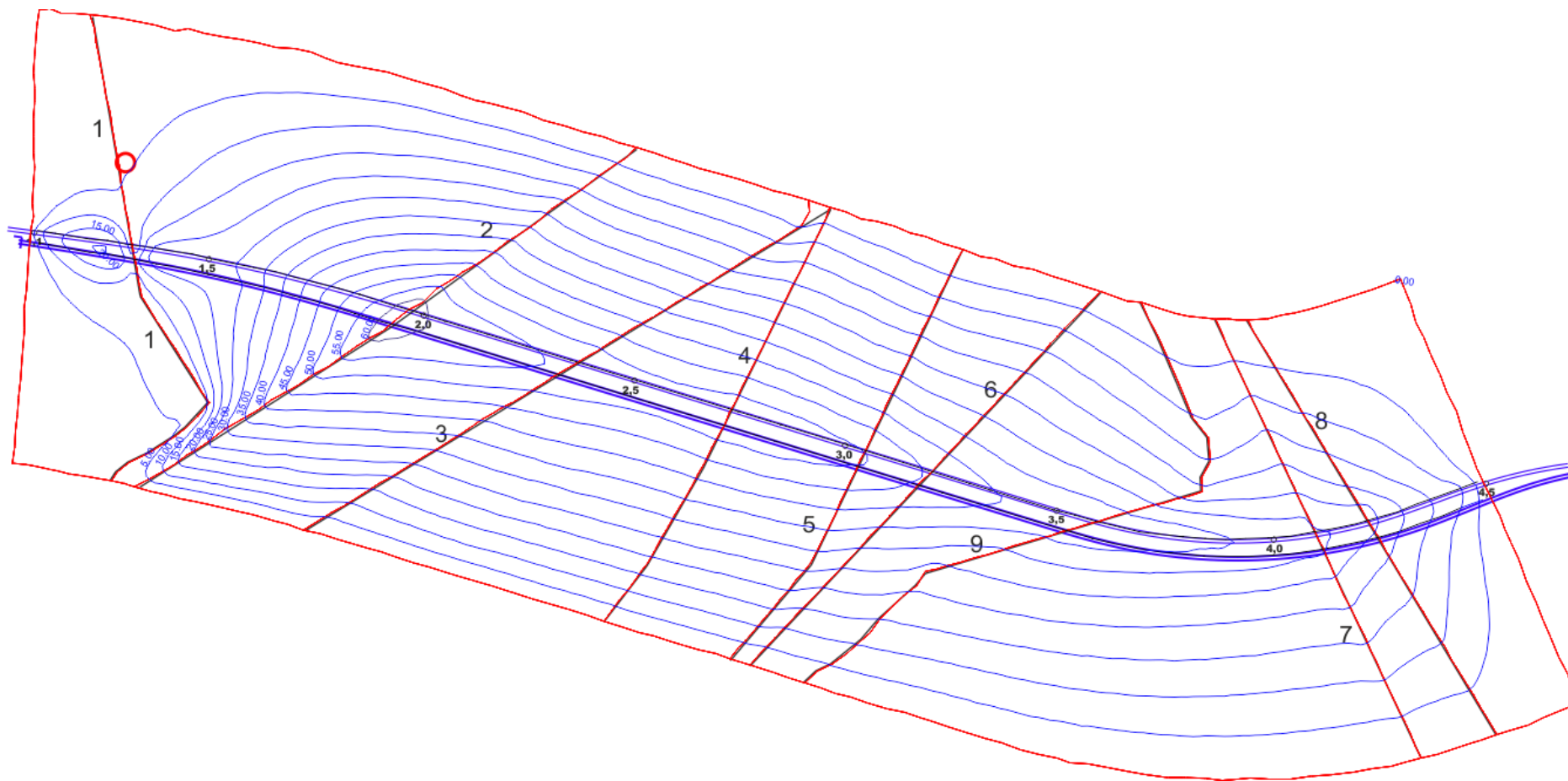
Pokiaľ budú v rizikovom úseku utesňované tunely v hornej (stropnej) aj v dolnej polovici v hĺbke 3 m (s utesňovacími návrtmi **dĺžky 3 m**), tak nepriaznivý pokles HPV cca 15,84 m sa zreteľne zmenší na poklesovú hodnotu v posudzovanom mieste cca 6,245 m. **Pokiaľ budú utesňovacie návrty robené v dĺžke 6 m, tak sa poklesová hodnota HPV ešte viac zmenší na cca 4,43 m.**

Plošný pokles HPV pri utesňovaní tunelov v rizikovom úseku zlomovej línie č.1, s utesňovacími návrtmi 6 m, pri tesnení s $k = 1\text{E-}7 \text{ m/s}$ je znázornený na **Obr.3.**

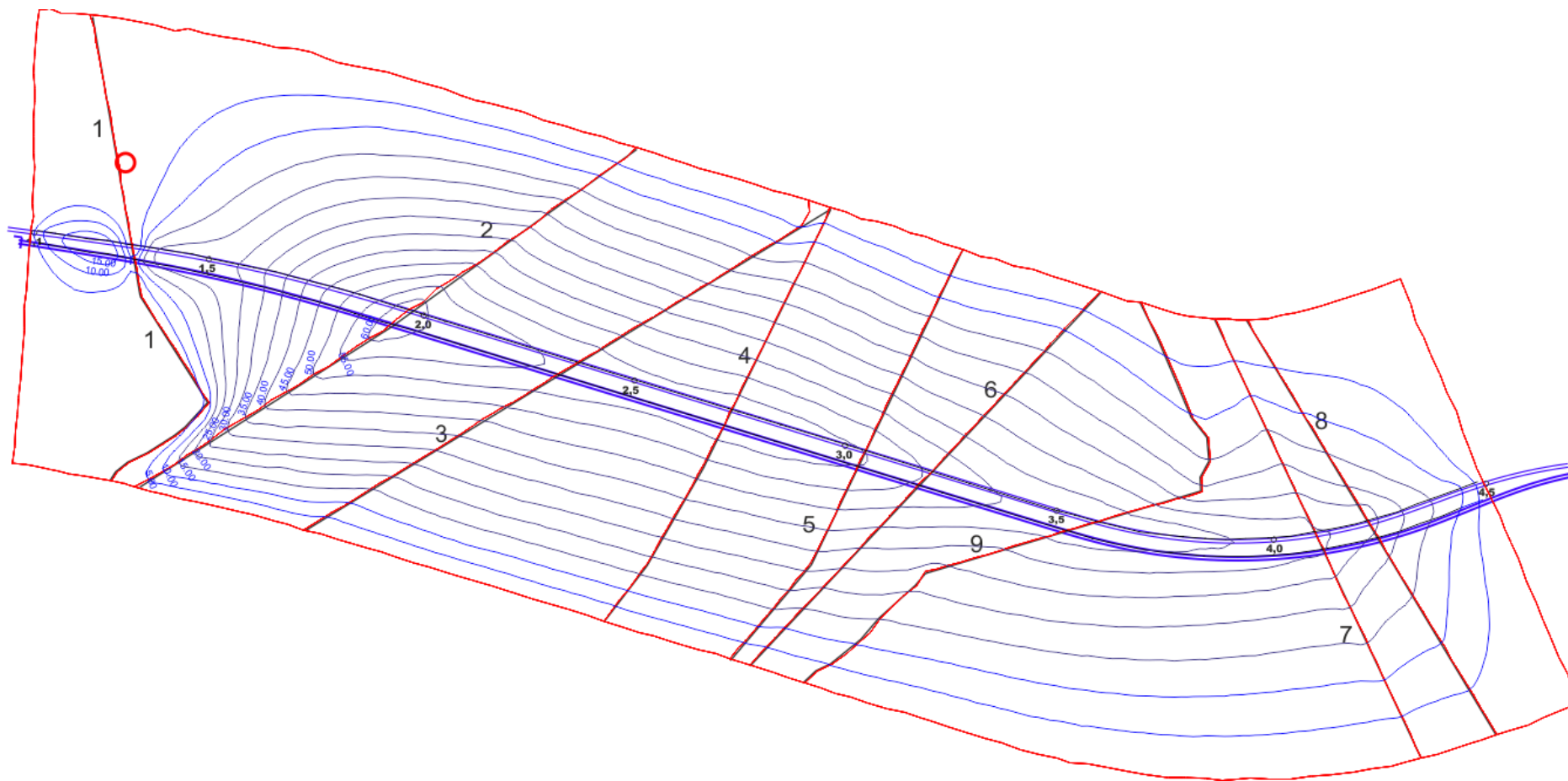
C.2 Výsledky numerického modelu v Alternat.1 (s utesňovaním s **$k = 1\text{E-}8 \text{ m/s}$**)

Pokiaľ budú utesňovacie návrty robené v dĺžke 6 m v stupni nepriepustnosti **$k = 1\text{E-}8 \text{ m/s}$** , tak bude priemerná poklesová hodnota HPV 15,84 m prakticky eliminovaná a bude podľa číselných výsledkov modelu iba cca 0,03 m.

Plošný pokles HPV pri utesňovaní tunelov v rizikovom úseku zlomovej línie č.1, s utesňovacími návrtmi 6 m, pri tesnení s $k = 1\text{E-}8 \text{ m/s}$ je znázornený na **Obr.4.**



Obr.3 Plošný pokles HPV pri utesňovaní tunelov v rizikovom úseku zlomovej línie č.1,
s utesňovacími návrtni 6 m, pri utesňovaní s $k = 1\text{E-}7$ m/s



Obr.4 Plošný pokles HPV pri utesňovaní tunelov v rizikovom úseku zlomovej línie č.1,
s utesňovacími návrtni 6 m, pri utesňovaní s $k = 1E-8$ m/s

C.3 Výsledky numerického modelu v Alternat.2 (s utesňovaním s $k = 1E-7$ m/s)

Podľa lit.1 v mieste zlomovej línie č.1 pritečie **bez tesnenia** tunelov do obidvoch tunelov v ustálených pomeroch prúdenia p.v. spolu cca **4,83 l/s** podzemnej vody.

Pokiaľ budú tunely v rizikovom úseku úplne (horná i dolná časť) tesnené na nepriepustnosť $k = 1E-7$ m/s s utesňovacími návrtni 6 m, tak v mieste zlomovej línie č.1 do nich pritečie spolu len 0,170 l/s v ustálených pomeroch prúdenia p.v.

C.4 Výsledky numerického modelu v Alternat.2 (s utesňovaním s $k = 1E-8$ m/s)

Pokiaľ budú tunely v rizikovom úseku úplne (horná i dolná časť) tesnené na nepriepustnosť $k = 1E-8$ m/s s utesňovacími návrtni 6 m, tak v mieste zlomovej línie č.1 do nich pritečie spolu len **0,026 l/s** v ustálených pomeroch prúdenia p.v.

D. ZÁVER

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej **Alternatíve 1** preukázalo, že utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrtni dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1E-8$ m/s prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody 15,84 m v posudzovanom mieste vodárenského zdroja, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov. Utesňovanie musí byť však úplne, t.j. kruhové, v hornej i v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie poklesu hladiny p.v. pomocou úplneho kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 1 **nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený** v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej **Alternatíve 2** preukázalo, že utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrtni dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1E-8$ m/s temer úplne eliminuje sumárny prítok 4,83 l/s p.v. do tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov, na sumárny prítok 0,026 l/s. Utesňovanie musí byť však úplne, t.j. kruhové, v hornej i v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie výrazného poklesu sumárneho prítoku p.v. do tunelových rúr v rizikovom mieste pomocou úplneho kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 2 **nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený** v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Vypracovali : prof. Ing. Karel Kovářík, CSc
RNDr. Miroslav Drahoš



E. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1.

Prognóza prítoku podzemnej vody do dvojrúrového diaľničného tunela Čebrať a prognóza jeho vplyvu na vodárenské zdroje pre geologickú úlohu: "Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, severný variant, podrobný IG a HG prieskum, časť B", č.ú. 166/2016/ZA.

2.

Andres Peratta, Viktor Popov: A new scheme for numerical modelling of flow and transport processes in 3D fractured porous media, Advances in Water Resources 29 (2006) 42–61.

TABUĽKA ZMIEN

č.	TEXT ZMENY – ODOVODNENIE	DÁTUM	PODPIS
a			
b			
c			

SÚRADNICOVÝ SYSTÉM: S-JTSK

VÝŠKOVÝ SYSTÉM: Bpv

NÁZOV STAVBY DIAĽNICA D1 HUBOVÁ - IVACHNOVÁ			
VEREJNÝ OBSARÁVATEĽ  NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ	NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ, a.s. Dúbravská cesta 14 841 04 BRATISLAVA	HLAVNÝ INŽINIER STAVBY: ING. L. PEMČÁK PODPIS:	
NEZÁVISLÝ STAVEBNÝ DOZOR 	AECOM Polska Sp z o.o. Organizačná zložka A. BERNOLÁKA 6 034 01 RUŽOMBEROK	STAVEBNÝ DOZOR: JANUSZ UBOWSKI PODPIS:	
ZHOTOVITEĽ STAVBY  	ZDRUŽENIE ČEBRAŤ FURMANSKÁ 6 841 03 BRATISLAVA	RIADITEĽ VÝSTAVBY: ING. J. POLLÁK PODPIS:	
VEDÚCI ČLEN ZDRUŽENIA: OHL ŽS, a.s. Burešová 938/14 662 02 Brno	ČLEN ZDRUŽENIA: VÁHOSTAV – SK, a.s. Hlínská 40 011 18Žilina		

Zodpovedný riešiteľ úlohy:	Mgr. M. Borovský	Vypracoval:	RNDr. M. Kuvik	 Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava	
Koordinátor:	RNDr. M. Kuvik				
Miesto stavby:	Hubová - Ružomberok - Ivachnová	Okres:	Ružomberok (508)		
Investor - stavebník:	Národná diaľničná spoločnosť a.s. Dúbravská cesta 14 841 04 Bratislava	 NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ	Riaditeľ: Ing. Rozália Gergelyová		
Objednávateľ:	Združenie ČEBRAŤ Furmanská 6 841 03 Bratislava	 	Číslo geol. úlohy:	207/2017/ZA	
Názov stavby: Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2 Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum				Etapa prieskumu:	podrobný
				Dátum:	09.11.2017
				Reg. č. GEOFOND	208/2017
				Mierka:	-
				Číslo prílohy:	-
Názov prílohy: Záverečná správa				Časť:	Exemplár: 1



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

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov geologickej úlohy: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

Číslo geologickej úlohy: 207/2017/ZA

Reg. číslo GEOFOND: 208/2017

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 Sinák
Ing. Ladislav Stolárik
Mgr. Marian Coplák
RNDr. Štefan Holeša
RNDr. Marian Kuvik
RNDr. Katarína Vrábľová
RNDr. Emília Žabková
Martin Šimek
Štefan Konkolovský

Dátum vyhotovenia: 9.11.2017

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	2
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	6
1.3.5	Tektonická stavba	8
1.3.6	Inžinierskogeologické pomery	11
1.3.7	Geodynamické javy	12
1.4	Hydrogeologická charakteristika	13
1.5	Hydrologická charakteristika a hydrografia	14
1.5	Geologická preskúmanosť územia	16
1.6	Ložiská nerastných surovín	18
1.7	Legislatívna ochrana územia	19
1.8	Metodika prác	19
1.8.1	Jadrové vrty	19
1.8.2	Polné skúšky	21
1.8.3	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky zemín	23
1.8.4	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky hornín	24
1.8.5	Laboratórne a vzorkovacie práce chémie vôd	24
1.8.5	Geofyzikálne povrchové merania	25
1.8.6	Karotážne merania vo vrtoch	26
1.8.7	Práce geologickej služby	26
2	PODROBNÁ ČASŤ	29
2.1	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika zemín a hornín	29
2.1.1	Kvartér	29
2.1.2	Mezozoikum	33
2.2	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia	39
2.2.1	Úsek 1,550 – 1,750 most 203	39
2.2.2	Úsek 1,750 – 1,850 zárez	41
2.2.3	Úsek 1,850 – 2,000 most 204	42
2.2.4	Portálový zárez v km 2,000 – 2,061 a portál	45

2.2.5	Razený tunel Čebrať v km 2,061– 3,000	50
2.3	Hydrogeologické pomery územia	61
2.3.1	Úsek diaľnice v km 1,500 – 2,000	61
2.3.2	Oblasť západného portálu tunela Čebrať vo variante V2	63
2.3.3	Úsek novej trasy tunela Čebrať vo variante V2	67
2.3.4	Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje a okolité vodné toky	69
2.4	Kategorizácia a využiteľnosť zemín a hornín	78
2.4.1	Kategorizácia zemín a hornín	78
2.4.2	Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín	79
2.5	Zoznam súradníc prieskumných diel	80
3	ZÁVER	81
	Sumarizácia výsledkov a odporúčaní	81
3.1	Trasa variantu V2 vedená na povrchu	81
3.2	Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V2	82
3.3	Trasa variantu V2 vedená tunelom Čebrať	84
3.3.1	Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať	85
3.3.2	Vplyv razenia tunela Čebrať na podzemné a povrchové vody	86
3.4	Návrh prác ďalšej etapy prieskumu a monitoringu	87
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	89
	ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM	91

Zoznam obrázkov

Obrázok 1	Situácia trasy diaľnice vo variante V2 v úseku km 1,500 – 3,000.	1
Obrázok 2	Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava)	6
Obrázok 3	Interpretované priebehy hlavných zlomových línií v oblasti.	10
Obrázok 4	Výrez z vodohospodárskej mapy so znázornením siete vodných tokov.	15
Obrázok 5	Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.	25
Obrázok 6	Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín - tektonická brekcia.	34
Obrázok 7	Rozpukané navetrané ílovce s lamínami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti.	35
Obrázok 8	Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s lamínami siltovca.	35
Obrázok 9	Tektonicky porušené a zvetrané slienité vápence s preplástkami zbridlíchnatých vápnitých ílovcov (vypláchnuté počas vŕtania)	36
Obrázok 10	Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápnitých ílovcov.	37
Obrázok 11	Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.	39
Obrázok 12	Pohľad na údolie Kamenného potoka v miestnej časti Záskanie.	41
Obrázok 13	Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.	43
Obrázok 14	Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka.	46
Obrázok 15	Situovanie stabilitných profilov v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2.	47
Obrázok 16	Stabilitný profil 1 – 1'.	48
Obrázok 17	Stabilitný profil 2 – 2'.	48
Obrázok 18	Plošná mapa merných elektrických odporov z výsledkov geofyzikálnych povrchových meraní a schematická interpretácia tektonických porúch v okolí západného portálu tunela Čebrať.	57
Obrázok 19	Očakávané prítoky do tunelovej rúry (okamžité a po ustálení) a graf kumulatívneho odtoku z oboch tunelových rúr pri razení od západného portálu tunela Čebrať.	69
Obrázok 20	Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok.	70
Obrázok 21	Situovanie vodného zdroja Stará Hrboltová vo vzťahu k pozícii tunela a realizovaným geofyzikálnym profilom.	71
Obrázok 22	Ročná sumárna výdatnosť prameňa 1 a 2 vodárenského zdroja Hrboltová (Stará Hrboltová).	72
Obrázok 23	Systematizačný graf chemizmu podzemných vôd – porovnanie vodných zdrojov a vrtov v trase tunela.	74
Obrázok 24	Graf nasýtenia vody vodárenských zdrojov a vrtov v trase tunela.	74
Obrázok 25	Situovanie vodných zdrojov Staré Lazy a nových geofyzikálnych profilov.	75
Obrázok 26	Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy.	76

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Geomorfologické členenie (celá trasa D1 Hubová - Ivachnová)	2
Tabuľka 2	Klimatické charakteristiky podľa Quitta	4
Tabuľka 3	Priemerné mesačné teploty v rokoch 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok	5
Tabuľka 4	Mesačné zrážkové úhrny rokoch 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok	5
Tabuľka 5	Zoznam najbližších vodomerných staníc v okolí oblasti prieskumu	16
Tabuľka 6	Priemerné mesačné a extrémne prietoky ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) na sledovaných vodných tokoch	16
Tabuľka 7	Ložiská nevyhradených nerastov	18
Tabuľka 8	Ložiská vyhradených nerastov s chráneným ložiskovým územím	18
Tabuľka 9	Ložiská s určeným dobývacím priestorom	18
Tabuľka 10	Prehľad realizovaných vrtných prác	20
Tabuľka 11	Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch	22
Tabuľka 12	Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie	22
Tabuľka 13	Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok	23
Tabuľka 14	Prehľad odberu vzoriek hornín a realizácie laboratórnych prác mechaniky hornín	24
Tabuľka 15	Prehľad geotechnických parametrov deluviálnych (proluviálnych) zemín	31
Tabuľka 16	Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského príkrovu	38
Tabuľka 17	Prehľad výsledkov orientačných stabilitných výpočtov v oblasti portálu	47
Tabuľka 18	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch	62
Tabuľka 19	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v realizovaných vrtoch v oblasti západného portálu vo variante V2	64
Tabuľka 20	Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodenej hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku	66
Tabuľka 21	Prehľad stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností podzemných vôd na oceľ podľa STN 03 8372 (tab. 1 a tab. 2 hodnotiacej normy) a na betón podľa STN EN 206-1/NA	66
Tabuľka 22	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch	68
Tabuľka 23	Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodenej hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku	68
Tabuľka 24	Ročné výdatnosti prameňov 1 a 2 vodného zdroja Stará Hrboltová za roky 2007 – 2016	72
Tabuľka 25	Ročné výdatnosti prameňov 1-10 vodného zdroja Staré Lazy za roky 2007 – 2016	76
Tabuľka 26	Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti	80
Tabuľka 27	Zoznam súradníc prieskumných diel	80

Zoznam príloh**PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000****PRÍLOHA 2 SITUÁCIAPRIESKUMNÝCH DIEL M 1 : 4000****PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA A FOTODOKUMENTÁCIA VRTOV****PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY**

Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,600

Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,780

Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 2,068

Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 2,148

Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,229

Príloha 4.6 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS - PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 1,500 - 3,000 (V2)

Príloha 4.7 Pozdĺžny geologicko-geotechnický rez GT - GT` trasou severnej tunelovej rúry tunel Čebrať vo variante V2 v km 2,000 - 3,000

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

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

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

Príloha 5.3 Výsledky laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)

PRÍLOHA 6 POĽNÉ SKÚŠKY

Príloha 6.1 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch

Príloha 6.2 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie

Príloha 6.3 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ (GEOPAS s.r.o., Žilina)****PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 10 VÝSLEDKY MERANÍ HLADÍN PODZEMNEJ VODY (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 11 TECHNICKÁ SPRÁVA**

Príloha 11.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtoch (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)

Príloha 11.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtoch (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 12 MERAČSKÁ SPRÁVA (GEOSMART s.r.o., Žilina)

1 VŠEOBECNÁ ČASŤ

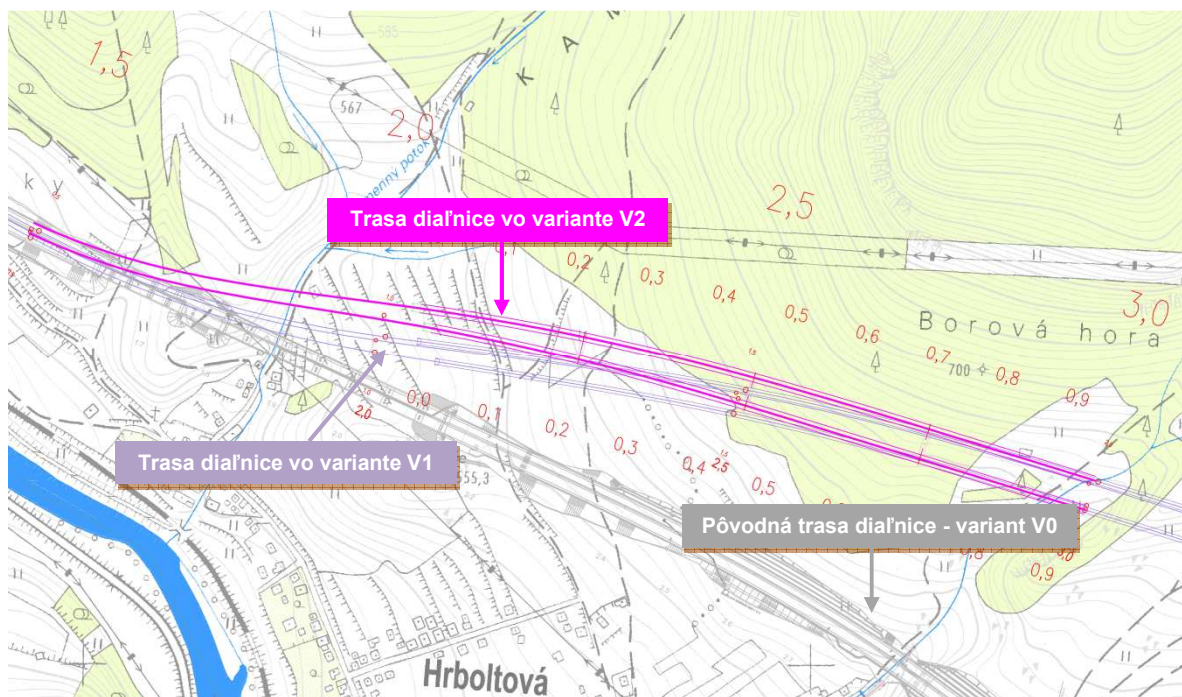
1.1 Hospodársko – administratívne údaje

Predkladaná záverečná správa geologickej úlohy

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2 (oblasť posunutého západného portálu) podrobný inžinierskogeologický prieskum

je vypracovaná na základe Zmluvy č. W221113/36787957/00/DOD00103911 medzi Zhotoviteľom – spoločnosťou CAD-ECO a.s. Bratislava a Objednávateľom – Združením Čebrať, zastúpeným spoločnosťou OHL ŽS a.s., Brno. Práce boli zahájené na základe Pokynu Objednávateľa č. 14861/AA.01/17-989/2017 zo dňa 10.3.2017. Geologická úloha bola u zhotoviteľa prác, spoločnosti CAD-ECO a.s. Bratislava, zaregistrovaná pod číslom 207/2017/ZA. Na odbore informatiky GEOFONDu bola úloha zaregistrovaná pod číslom 208/2017.

Úloha bola riešená v etape podrobného prieskumu, pričom priamo nadväzovala na predchádzajúci orientačný inžinierskogeologický prieskum (Borovský et al., 2016) pre variant V1 a podrobný inžinierskogeologický prieskum časť A (Borovský et al., 2017), ktorý bol zameraný na celú trasu tunela Čebrať vo variante V1. Predkladaná záverečná správa sa venuje len úseku trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová vo variante V2, v ktorom sa výrazne líši od variantu V1 (v úseku najväčšieho odklonu v oblasti západného portálu tunela Čebrať), tj. v úseku diaľnice cca km 1,500 – 3,000 (viď obrázok 1). Zároveň boli využité geofyzikálne práce na dopresnenie geologickej informácie v okolí vodných zdrojov Stará Hrboltová a Staré Lazy v zmysle požiadaviek NDS a.s. k správe EIA.



Obrázok 1 Situácia trasy diaľnice vo variante V2 v úseku km 1,500 – 3,000.

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: 36 787 957
IČ DPH: SK2022394077
Bankové spojenie: VÚB, a.s. Bratislava, č.ú.: 2315926456/0200
IBAN: SK43 0200 0000 0023 1592 6456

1.3 Stručná charakteristika prírodných pomerov

Záujmové územie predstavuje okolie novej trasy diaľnice D1 v úseku Hubová – Likavka vo variante V2 (približne km 1,5 – 3,0). Územie sa nachádza v Žilinskom samosprávnom kraji, v okrese Ružomberok (508) v katastrálnom území obcí Hrboltová (IČZÚJ 510998, IČÚTJ 819221).

Nová trasa začína v km 1,5 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 vo variante V2 vstupuje diaľnica do tunela Čebrať, pričom oproti pôvodne zamýšľanému umiestneniu portálu (variant V1) je trasa odsunutá na sever ešte cca 40 m. Tunelom prechádza popod južné svahu kóty Radičiná a cca v km 3,0 sa opäť spája s variantom V1 novej trasy tunela Čebrať.

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 rozbrázdenie 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 kryh. 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 **seismicity** 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 príľahlých dolín. V zmysle starších klasifikácií podľa Quitta (1971) je skúmaná oblasť zatriedená do klimatických oblastí MT1 a príľahlé 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.

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

Mesačné zrážkové úhrny za obdobie rokov 2001 až 2017 namerané na meteorologickej stanici v Ružomberku sú spracované v nasledujúcej tabuľke 3, priemerne mesačné teploty za rovnaké sledované obdobie sú spracované v tabuľke 4. V oboch prípadoch sú uvedené i dlhodobé normálové hodnoty (normál) za obdobie 1951 – 1980.

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

Tabuľka 3 Priemerné mesačné teploty rokov 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok

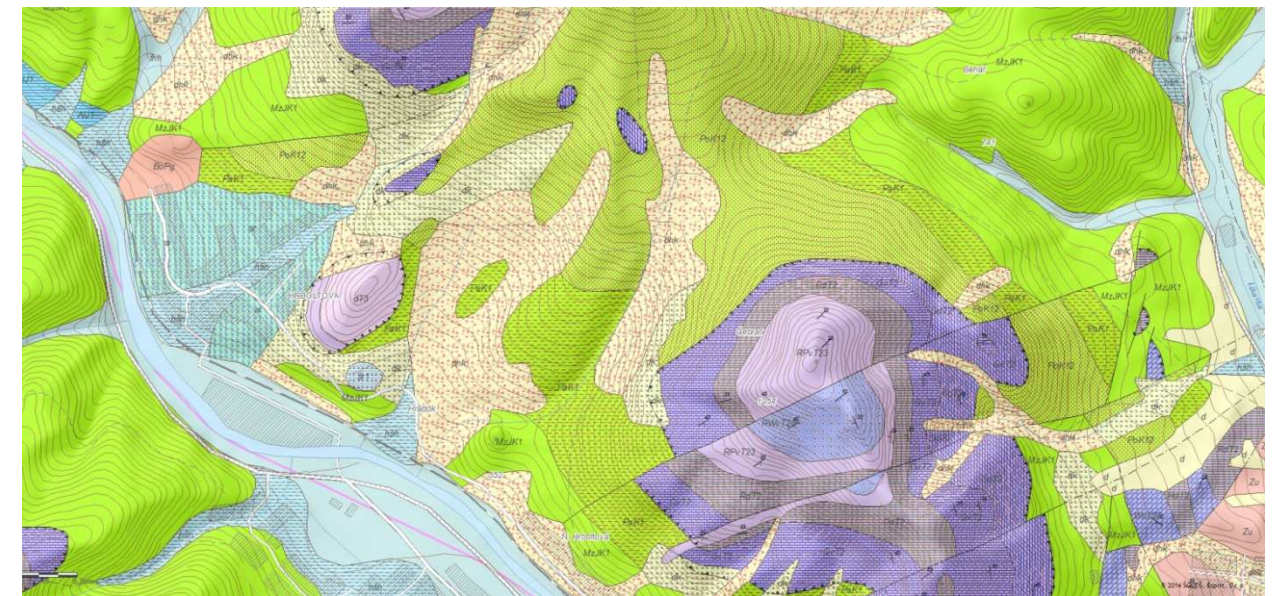
	normál	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Január	-3,90	-1,60	-3,00	-2,70	-4,10	-2,36	-8,29	2,84	1,22	-3,91	-3,57	-1,92	-2,01	-2,79	0,97	0,17	-3,53	-8,91
Február	-2,10	-0,80	2,80	-4,80	-0,10	-4,26	-3,30	2,31	1,73	-1,00	-1,23	-1,08	-6,54	-1,44	2,85	-2,33	2,96	0,99
Marec	1,90	3,80	4,50	2,80	2,70	0,18	0,51	6,00	3,69	2,26	2,56	5,04	4,26	0,00	5,72	3,19	4,22	5,35
Apríl	7,30	7,50	8,10	7,10	9,60	9,24	9,22	10,86	9,55	11,87	7,97	10,71	9,66	8,56	9,08	6,89	8,98	6,83
Máj	12,10	13,70	15,50	16,10	12,20	14,56	13,19	15,55	14,30	13,72	12,94	13,86	15,24	12,73	12,29	11,94	12,80	
Jún	15,50	15,00	17,20	18,90	16,30	16,72	17,04	18,26	18,01	15,41	17,36	17,09	18,26	17,01	14,97	16,57	17,95	
Júl	16,80	18,60	19,00	18,90	17,70	19,39	21,16	19,54	18,33	19,90	20,08	17,33	18,97	18,23	17,92	19,29	18,45	
August	16,10	19,40	17,60	19,50	18,60	16,93	16,30	18,38	17,69	18,13	17,34	19,31	17,82	18,10	15,74	20,21	16,17	
September	12,40	11,60	11,50	13,30	12,80	14,29	15,24	11,48	12,59	14,34	11,85	15,74	14,17	11,22	13,97	14,32	14,64	
Október	7,90	10,60	6,50	5,90	10,20	8,90	10,07	7,57	9,62	6,41	5,73	7,91	8,33	9,59	9,51	7,99	7,11	
November	3,10	1,40	5,70	5,20	3,40	2,07	5,34	1,68	5,18	4,09	6,16	1,72	5,60	3,99	5,86	4,19	3,41	
December	-1,50	-5,70	-3,40	-0,70	-0,50	-1,57	1,82	-2,02	0,81	-1,18	-4,56	1,04	-2,74	0,12	0,83	1,99	-2,22	

Tabuľka 4 Mesačné zrážkové úhrny rokov 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok

	normál	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Január	39	14,8	47,1	40,8	27,3	56,3	21,3	144,6	31,9	22,3	23,7	12,1	77,3	59,4	15,3	53,3	32,5	16,1
Február	38	67,7	84,6	13,1	46,9	37,8	29,9	47,7	31,4	20,1	27,0	6,3	25,4	47,8	35,4	18,4	94,0	34,7
Marec	35	54,5	41,3	11,1	39,6	19,6	56,7	72,2	88,8	94,1	17,7	12,5	10,4	57,8	45,4	53,7	11,5	33,8
Apríl	46	75,1	15,4	41,9	39,4	56,9	48,4	8,4	49,1	4,5	51,8	23,6	33,4	23,9	46,1	30,9	59,4	94,1
Máj	61	24,9	55,7	112,4	77,4	78,9	85,7	61,4	62,9	59,5	235,1	128,8	39,7	131,6	131,5	121,9	77,4	
Jún	99	81,6	41,9	40,9	131,6	70,4	60,6	105,0	53,5	91,1	128,7	117,1	115,0	111,0	70,4	12,7	48,6	
Júl	94	237,6	103,2	115,7	68,7	124,6	15,1	46,7	135,0	95,0	162,4	116,4	128,8	4,5	181,7	90,8	142,3	
August	76	22,9	114,3	26,7	71,5	117,6	103,0	92,8	97,0	49,6	165,6	32,0	42,3	46,3	126,9	8,8	92,3	
September	59	104,2	75,4	38,0	58,6	52,9	13,5	111,2	47,6	30,6	95,0	16,4	42,3	86,3	106,8	93,6	71,5	
Október	52	12,5	121,7	57,9	54,5	5,6	37,2	29,2	49,1	76,0	13,7	31,5	119,4	33,5	51,6	57,9	94,1	
November	51	49,9	38,6	36,4	74,0	37,8	68,2	42,8	36,2	60,4	88,7	0,4	37,9	68,9	24,8	71,7	34,6	
December	46	52,8	45,3	42,1	15,0	97,7	14,2	20,3	79,6	70,1	51,0	58,6	21,3	12,8	27,5	14,0	25,3	
Rok	696	798,5	784,5	577,0	704,5	756,1	553,8	782,3	762,1	673,3	1060,4	555,7	693,2	683,8	863,4	627,7	783,5	178,7

1.3.4 Geologické pomery

Geologická stavba územia v trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v oblasti severne posunutého portálu (variant V2) tunela Čebrať je komplikovaná. Z geologického hľadiska budujú územie v širšom okolí variantu V2 trasy diaľnice horniny mezozoika, paleogénu a kvartéru. V úseku Hubová – Hrboltová patria podložné horniny do mezozoického komplexu krížňanského príkrovu jadrového pohoria Veľká Fatra (Šípska Fatra), len ojedinele sa vyskytujú zvyšky paleogénnych hornín (lokalita Skálie), resp. vo vyšších partách svahov vo vrcholovej časti pohoria sú zachované trosky hornín hronika (karbonáty chočského príkrovu). Výrez s geologickej mapy je na obrázku 2, pričom upozorňujeme, že mapa je generalizovaná a v detailoch nepresná a neaktuálna. Nie je však cieľom tejto správy aktualizovať základnú geologickú mapu.



Obrázok 2 Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava)

Najmä v údolných častiach územia a v dolných partiách svahov 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** (Maheľ et al., 1967) je širšie územie budované horninami geotektonickej jednotky Centrálne 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 hrástovou 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 priradujeme 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 podľa základnej geologickej mapy algäuským súvrstvom, ktoré vystupuje na pravej strane doliny Váh medzi Hubovou a Hrboltovou. Algäuské súvrstvie je tvorené sivými škvrnitými slienitými vápencami, slieňovcami a vložkami bridlíc, s výraznou lavicovitou až doskovitou vrstevnatosťou. Na základe výsledkov petrografických a stratigrafických rozborov v predchádzajúcej etape inžinierskogeologického prieskumu časť A (Borovský et al., 2017) ide však skôr o súvrstvie jaseninské (titón). Úložné pomery hornín tohto súvrstvia sú generálne orientované v smere SZ-JV so sklonom 30° k SV. Tento komplex sa v trase vyskytuje na začiatku riešeného úseku po údolie Kamenného potoka.

Horniny kriedy majú prevládajúce zastúpenie. Vystupujú v úseku od údolia Kamenného potoka až po Likavku. Úložné pomery vrstiev krížňanského príkrovu sú takmer v celom priestore podobné. Smer vrstiev je hlavne V-Z, menej SZ-JV so sklonmi 10 - 30° k severu resp. SV resp. aj k JZ. V miestach tektonických zlomových porúch bývajú vrstvy až vztýčené. Medzi súvrstvia krížňanského príkrovu, ktoré sa vyskytujú v širšej oblasti, patria:

- **porubské súvrstvie** (alb - cenoman) – ide o flyšové súvrstvie ílovitých bridlíc, siltovcov, piesčitých vápencov a jemnozrnných pieskovcov.
- **slienité bridlice párnických vrstiev** (barém - alb) – súvrstvie tmavosivých slienitých bridlíc a piesčitých a organodetritických vápencov.
- **mráznické súvrstvie resp. lučivnianske 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 zbridličnatené, s nerovnými plochami vrstevnatosti. Bridlice tvoria polohy do hrúbky 2 m. Časté sú železité povlaky na plochách v zóne zvetrania.
- **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 zbridličnatené. Obsahuje vložky slienitých bridlíc. V spodnej časti sa vyskytujú polohy červených hľuznatých vápencov. V skúmanej lokalite sme vrtmi overili skôr sivé variety týchto hornín.
- **rádiolárové vápence** (vrchný kelovej – oxford) predstavujú jedno z najvýraznejších súvrství krížňanského príkrovu. Je budované pestrými (fialové, zelené, červené, sivé) rádiolárovými vápencami s hľuzami a polohami rádiolaritov. Sú lavicovité až doskovité so zvlnenými 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;
- **algäuské 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.

Z uvedených súvrství v skúmanom úseku (okrem už spomenutých jurských sekvencií jaseninského súvrstvia) sú zastúpené len súvrstvie porubské, párnické a mráznické. Osnické súvrstvie bolo istené len v hlbších častiach masívu v trase tunela Čebrať. 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 alebo Radičinej. 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. Pre presnejšie overenie hranice chočských hornín v teréne boli realizované geofyzikálne merania, ktoré sú súčasťou tejto záverečnej správy. Do trasy tunela ani do priestoru portálu vo variante V2 horniny hronika nezasahujú, nebudeme ich teda ďalej bližšie špecifikovať.

1.3.4.2 Pokryv územia

Kvartérne sedimenty na území zahŕňujú 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 dnovej akumulácie nív sú súvisle vyvinuté v dolinách Váhu a Likavky. Majú charakter štrkov s prímiesou jemnozrnej 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 prekrývajú 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 úpätí svahov, skalných zrázov a na vyrovnannejších 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 Tektonická stavba

Tektonická stavba širšieho okolia skúmanej trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová je značne komplikovaná. Je výsledkom dlhodobého a viacetapového vývoja, počas ktorého vznikali v širšej oblasti sedimentárne, magmatogénne i metamorfované horniny a počas

ktorého sa menila ich vzájomná relatívna i absolútna poloha. V súčasnosti nejestvuje úplná zhoda v názoroch na tektonický vývoj a stavbu Šípskej Fatry (resp. širšej oblasti severnej časti Veľkej Fatry s.l.) a vo veľkej miere sú dostupné informácie len v polohe dohadov.

Severnú oblasť Veľkej Fatry (Šípsku Fatru) a príslušnú časť Liptovskej kotliny a údolia rieky Váh budujú horniny tektonických jednotiek veporika, hronika a centrálneokarpatského paleogénu. Klasická príkrovová stavba pohoria je výrazne ovplyvnená neskoršími horotvornými pohybmi, počas ktorých vznikali najmä poklesové zlomové poruchy, prešmyky, a taktiež geodynamickými javmi, hlavne eróziou a svahovými pohybmi.

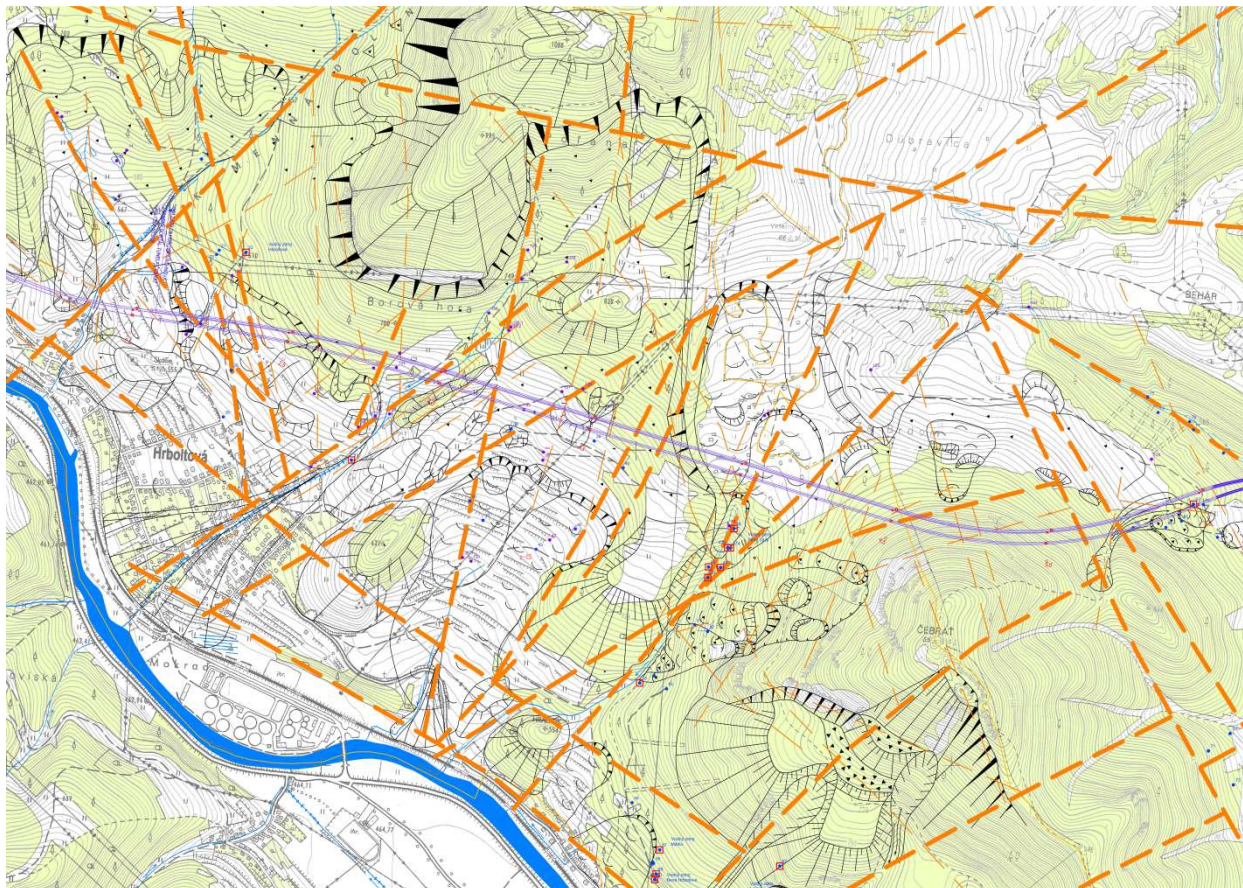
Vo veporiku Veľkej Fatry dominuje krížňanský príkrov. Základnou kostrou krížňanského príkrovu, nasunutého pravdepodobne na tatrikum, sú v skúmanej oblasti súvrstvia porubské, párnické, lučivnianske, mráznické a osnické. Deformácie horninových komplexov krížňanského príkrovu prekopírovali deformácie podložného tatrika. Plastickejšie súvrstvia v rámci príkrovu predstavovali sekundárne presunové plochy, pozdĺž ktorých došlo v niektorých súvrstviach k zdvojeniu príkrovovej stavby (duplexy), t.j. nasunutie hornín toho istého komplexu na seba dvakrát (lokálne i viackrát). Tento jav bol počas prieskumných prác pre tunel Čebrať (Borovský et al., 2017) dokumentovaný v niektorých vrtoch. V týchto členoch došlo zároveň v okolí prešmykových plôch k detailnému prevrášneniu a intenzívnemu porušeniu hornín. Vrstevné sledy v skúmanej časti Veľkej Fatry sú v normálnej pozícii.

Hronikum v severnej časti Veľkej Fatry je zastúpené dominantne chočským príkrovom a to najmä vo forme viac či menej izolovaných tektonických trosiek – v danej oblasti je to výrazný masív Čebrate, masív Radičinej a masív Kečiek. Masív Čebrate tvorí troska rigidných karbonátov (dolomitov a vápencov) s temer subhorizontálnym rozhraním medzi veporikom a hronikom, pričom jednotlivé tektonicky a gravitačne odseparované bloky hornín majú túto plochu mierne sklonenú rozličným smerom, prevažne v smere sklonu terénu. Takisto vertikálna poloha násunovej plochy hronika na veporikum je rozličná pri jednotlivých blokoch (vplyvom poklesov jednotlivých blokov). Podobná situácia je i v masíve Radičinej a Kečiek. Tektonické porušenie komplexov hronika je výsledkom alpínskej fázy vrásnenia a neoalpínskej tektoniky i kvartérnych gravitačných pohybov a následných geodynamických javov (svahové pohyby, zemetrasenia, krasovatenie).

Fáza neotektoniky predstavuje obdobie od vrchného miocénu až po súčasnosť a z hľadiska geotechnických, hydrogeologických a inžinierskogeologických pomerov má najväčší vplyv. V tomto období došlo pozdĺž jestvujúcich zlomov k výrazným tektonickým pohybom, najmä vertikálnym, počas ktorých sa voči okolitým tektonickým vkleslinám diferencovali pohoria Malá a Veľká Fatra a ostatné pohoria v širšom regióne. Tieto pohyby pokračujú až do súčasnosti. V období od konca pliocénu a počas kvartéru prevládli geodynamické javy ako erózia a akumulácia sedimentov na úpätí vo forme prolúviálnych kužeľov a delúvií a na dne údolí akumuláciou fluviálnych sedimentov, ktoré boli neskôr v dôsledku zahlbovania koryt erodované. V mezozoických komplexoch sa uplatnila selektívna erózia za vzniku charakteristických skalných brál a skalných stien vo vápencovo-dolomitickom komplexe. Výrazné sú najmä skalné trosky vápencov a dolomitov chočského príkrovu. K najvýraznejším vertikálnym, diferencovaným pohybom došlo na systéme pozdĺžnych zlomov v smere údolia Váhu rozhraní Veľkej Fatry a Šípskej Fatry.

Systém zlomov v skúmanej oblasti má dva hlavné smery: systém paralelný s údolím Váhu s orientáciou približne SZ – JV a systém priečných zlomov smeru S – J a SV – JZ. Sklon zlomových štruktúr je cca 50 – 80°. Tento systém zlomov rozčleňuje horninový masív na jednotlivé bloky s rozličným relatívnym výškovým posunom. Pozdĺž zlomov, ktoré tvoria preddefinované smery posunov, zaklesávajú jednotlivé bloky gravitačne do údolia Váhu resp. údolia Likavky. 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 deformácií a uplatnila sa na nich erózia a vývoj svahových pohybov, takže sú v reliéfe veľmi výrazné. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a po štruktúrnej a geomorfologickej analýze bola zostrojená schematická mapa zlomovej tektonickej porušenia (Obrázok 3). Táto mapa predstavuje vstupný podklad pre hodnotenie geotechnických pomerov v trase tunela Čebrať ako aj pre aktualizovaný matematický model prúdenia podzemných vôd v okolí vodných zdrojov.



Obrázok 3 Interpretované priebehy hlavných zlomových línií v oblasti.
 Hrubšou čiarou sú zobrazené zlomy vyššieho a tenkou nižšieho rádu.

Systém zlomov a k nim prislúchajúce puklinové systémy predstavujú faktory, ktoré najvýraznejšie ovplyvňujú jednak geotechnické a inžinierskogeologické, ale hlavne hydrogeologické pomery územia v trase navrhovaného tunela Čebrať ale aj v oblasti západného portálu a mosta 204. V zlomových poruchách sú horniny porušené a pevnejšie komplexy sú rozpadnuté na drobné bloky, pričom tento jav podporuje i prirodzená litologická nerovnorodosť, ktorá v niektorých prípadoch zvyrazňuje účinky gravitačnej tektoniky. Oslabené zóny predstavujú i privilegované cesty zvetrávacích procesov. Puklinové systémy zároveň vytvárajú charakteristickú blokovitosť horniny, ktorá bude dôležitým faktorom počas realizácie podzemného diela a bude výstavbu podstatným spôsobom ovplyvňovať (vypadávanie blokov z kaloty, stien, či čelby, spôsob razenia, nestabilita portálových oblastí a pod.).

V miestach, kde bol kontakt rigidnejších a plastickejších členov súvrství odkrytý eróziou, došlo k odľahčeniu masívu a následne k vzniku plazivých deformácií s vytvorením skalných blokov a blokových polí. Na okraji blokových polí vyvierajú bariérové resp. vrstevné

pramene, čo ešte zhoršuje stabilitné pomery na takto postihnutých svahoch.

Zlomy a puklinové systémy majú zásadný vplyv na hydrogeologické vlastnosti horninových komplexov, spôsob prúdenia podzemnej vody i tvorbu jej chemizmu. Na hlbokých zlomoch dochádza k prúdeniu vôd hlbšieho obehu, ktoré pri výstupe na povrch územia vytvárajú charakteristické pramenitové (penovcové) kopy (prameň Hubová).

1.3.6 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 ílovce a siltovce, slieňovce, bridlice, menej vápencové horniny. Vytvárajú rajóny vápencových hornín (Sv) a rajón ílovcovovo-vápencových hornín (Ss);
- **flyšová formácia** je zastúpená v oblasti Liptovskej kotliny. Najčastejšie sa vyskytujúcimi horninami tejto formácie v danej oblasti sú ílovce, vápnité ílovce, siltovce a pieskovce (prípadne lokálne až mikrozlepenec). Horniny tejto formácie vytvárajú rajón flyšoidných hornín (Sf) a rajón ílovcovovo-prachovcových hornín (Si);
- **formácia kvartérnych pokryvných útvarov** je reprezentovaná v okolí posudzovanej trasy 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 fluvialne sedimenty zachovaných terasových stupňov rieky Váh. Ide prevažne o štrkovité a ílovité 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 deluviálnych sedimentov - D** - svahové jemnozrnné zeminy, kamenito-hlinité sutiny hlinito-kamenité sutiny, balvanité a kamenité sute 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 ílovitých sutí a ílovito kamenitých sutí, 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.

1.3.7 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 ílovcy, 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 križňanského 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, v hlbokých častiach masívu na základe vrtných prác nebolo identifikované vôbec. Čiastočne povrchovo skrasovatené sú skalné odkryvy vápencov jaseninského a osnického súvrstvia.

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 fluviálnej genézy (eróznou činnosťou potokov), pričom v súčasnosti ich už možno radiť do zosuvného delúvia. V blokovom poli v oblasti Čebrate sa v zúžených eróziálnych úvalinách medzi mohutnými vápencovými blokmi až kryhami vyskytujú tiež relikt kamenných 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 dolín do hlavného údolia vodného toku Na úpätiach skalných stien a hrebienkov dochádza k akumulácii suťového materiálu a vzniku dejekčných kužeľov 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 kotlina 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 deformácií a uplatnila sa na nich erózia a vývoj svahových pohybov, takže sú v reliéfe veľmi výrazné.

1.4 Hydrogeologická charakteristika

Hydrogeologické a hydrologické pomery v trase diaľnice D1 v úseku Hubová - Likavka sú odrazom geologicko-tektonickej stavby územia a z nej vyplývajúcej prevládajúcej puklinovej resp. aj puklinovo-krasovej priepustnosti podloží, hlavne mezozoických hornín a medzizrnovej priepustnosti v prípade sedimentov kvartéru. Zároveň veľký vplyv má aj rozvrstvenie zrážok v čase i priestore v tejto oblasti, geomorfologické pomery a vegetačný pokryv územia. Od týchto faktorov závisí, aký podiel zrážok pripadá na výpar a povrchový odtok, aké množstvo zrážkových vôd dopĺňa množstvá podzemných vôd v geologických štruktúrach a aké sú fyzikálno-chemické vlastnosti povrchových i podzemných vôd. Na základe geologickej stavby, odlišných hydrofyzikálnych vlastností zastúpených hornín, ako aj obehu a režimu podzemných vôd je možné v predmetnom území vyčleniť:

- územie budované horninami mezozoika
- územie budované sedimentami kvartéru

Pri hodnotení hydrogeologických pomerov možno vychádzať z doteraz realizovaných a publikovaných prác z tejto oblasti a výsledkov podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu časť A (Borovský et al., 2017). Hodnotenú územie zasahuje do hydrogeologického rajónu M 019 - Mezozoikum západnej časti Chočských vrchov.

V aluviálnej nive Váhu patria podzemné vody v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do útvaru **Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Váhu a jeho prítokov S. časti oblasti povodia Váh (kód útvaru SK 1000500P)**. Kolektorskými zeminami sú v uvedenej oblasti štrky korytovej fácie výplne alúvia rieky Váh a jeho prítokov. Tento útvar nebude výstavbou diaľnice v hodnotenom úseku vôbec ovplyvnený.

Podzemné vody v trase tunela Čebrať patria v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z. z., prílohy č. 2 do útvaru **podzemných vôd s dominantnými krasovo-puklinovými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váhu** (kód útvaru **SK 200270KF**). Kolektorskými horninami v útvare sú vápence a dolomity s krasovo-puklinovou priepustnosťou a ílovce, siltovce a slieňovce s puklinovou priepustnosťou.

Mezozoický karbonátový komplex má v skúmanom území najvýznamnejšiu úlohu. Mezozoikum je zastúpené v širšom okolí v geologických celkoch veporika a hronika, teda križňanského a chočského príkrovu.

V území budovanom mezozoickými **karbonatickými horninami** hronika býva hladina podzemnej vody vďaka veľkej priepustnosti zvyčajne zaklesnutá hlboko pod terén až na

prípadné podložné nepriepustné rozhranie (v tejto oblasti typicky kontakt hronikum – veporikum) alebo do blízkosti lokálnej eróznej bázy (vápencové členy veporika – osnické súvrstvie, čiastočne mráznické súvrstvie), ktorou je v tomto prípade rieka Váh resp. jej významnejšie prítoky. Hlavnými kolektormi sa stávajú horizonty viazané na zónu rozvoľnenia, dezintegrácie a skrasovania, prípadne zóny tektonického porušenia a naviazané kvartérne sedimenty. Hladina býva zvyčajne voľná, pri nižšej priepustnosti aj napätá. Stupeň transmisivity je $T \geq 1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, s udávanou hodnotou špecifickej výdatnosti $q \geq 1 \cdot 10 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Na tento významný karbonatický komplex sú viazané viaceré lokálne vodné zdroje a pramene, ktoré sa využívajú pre zásobovanie pitnou vodou. Prúdenie podzemnej vody je viazané najmä na tektonické línie a vody vyvierajú prevažne na kontakte s nepriepustnými sedimentami kriedy križňanského príkrovu, ktoré ležia v podloží dolomitov. Tohto pôvodu sú aj využívané podzemné vody vodného zdroja Stará Hrboltová.

V oblasti tvorenej **flyšovými, najmä ílovcovými horninami** veporika (porubské, párnické a mráznické súvrstvie) je puklinová priepustnosť slabá, v prípade väčšieho plošného zastúpenia slieňov a ílovcov môže byť súvrstvie až relatívne nepriepustné (regionálny hydrogeologický izolátor). Stupeň transmisivity je nízky, s hodnotou koeficienta prietochnosti $T < 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Jednotková špecifická výdatnosť $q < 0,1 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Najdôležitejšími cestami prúdenia podzemných vôd v takomto prostredí sú najmä tektonické zlomové línie, pozdĺž ktorých môže podzemná voda vystupovať na povrch, resp. zóna pripovrchového rozvoľnenia (zvetrania). V prípade hlbokých obehov vody po takýchto líniách je potom výstup podzemnej vody sprevádzaná vznikom travertínových a penovcových kôp v miestach výverov (viď prameň 10 neďaleko Hubovej).

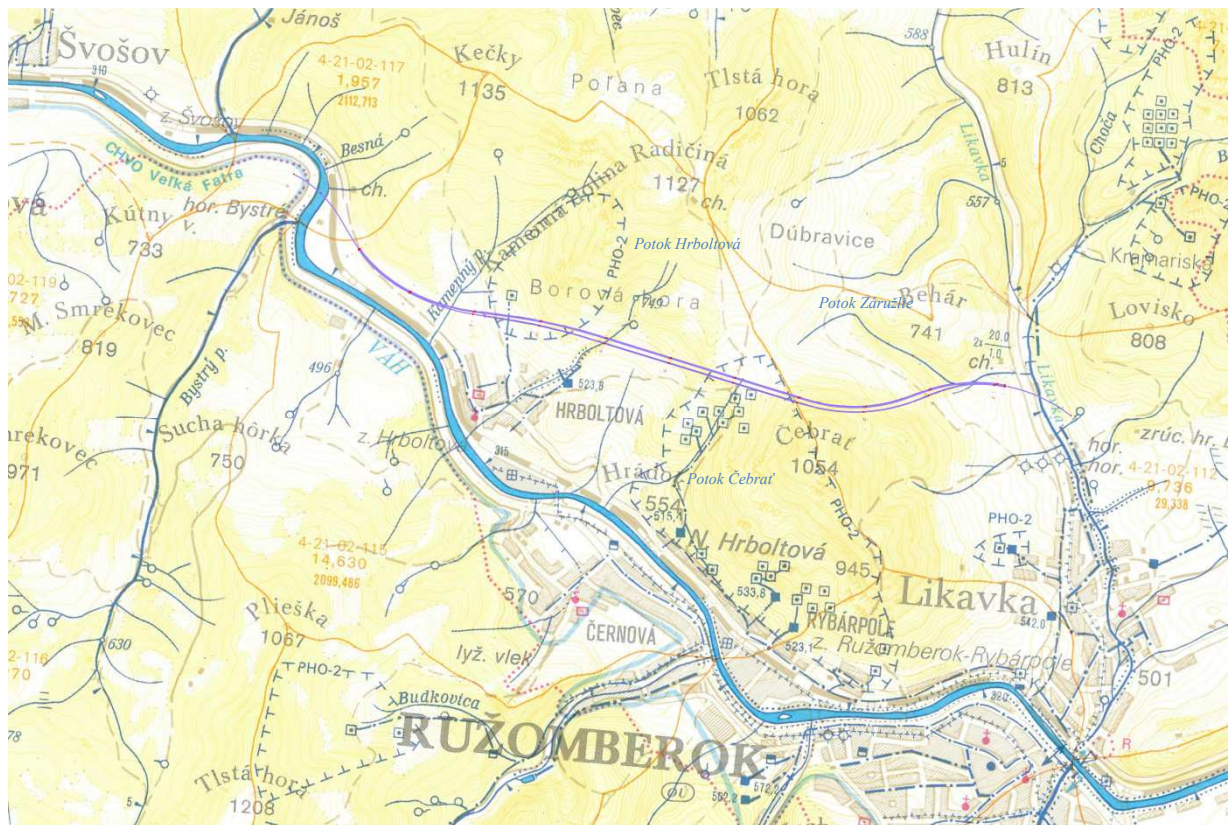
Z **kvartérnych sedimentov** sú vyššou medzizrnovou priepustnosťou charakterizované fluviálne a terasové štrky a proluviálne štrkovité sedimenty. Ich hydrogeologická funkcia je závislá najmä od hrúbky, ako aj stupňa zahĺbenia a situovania kolektoru v teréne. Dominantné zastúpenie majú v úseku Lisková – Ivachnová, kde trasa prechádza aluviálnou nivou. V oblasti medzi Likavkou a Hrboltovou nadobúdajú na dôležitosť hlavne deluviálne sute rozličného zloženia, ktoré sú na svahoch s podložíom tvoreným horninami veporika hlavným kolektorom podzemnej vody. Výraznejšie akumulácie sa nachádzajú hlavne v pätách svahov. Priepustnejším kolektorom sú sute ílovito- a hlinito-kamenité, kamenité a balvanité, ktoré v najspodnejšej časti komplexu prechádzajú do silne zvetraných hornín podložia. Tieto komplexy predstavujú privilegované cesty prúdenia podzemnej vody plytko pod povrchom a sú aktivizované najmä v čase intenzívnych zrážok. Zároveň do nich skryte prestupujú podzemné vody z mezozoických karbonátových komplexov.

Trasa variantu V1 diaľnice D1 v úseku Hubová – Ivachnová prechádza pásom hygienickej ochrany vodného zdroja Stará Hrboltová a združeným ochranným pásom vodného zdroja Staré Lazy, Malho atď. Na základe výskumov **sa nepredpokladá, že uvedené vodné zdroje budú zásadne ovplyvnené** vybudovaním podzemného diela a to najmä z hľadiska kvantitatívneho.

1.5 Hydrologická charakteristika a hydrografia

Z hľadiska **hydrografie a hydrológie** celá oblasť patrí do povodia rieky Váh (číslo hydrologického poradia 4 - 21) a úmoriu Čierneho mora. Najvýznamnejším vodným tokom v širšom okolí je rieka Váh, je to najdlhšia slovenská rieka. Vzniká sútokom Bieleho a Čierneho Váhu, Biely Váh pramení na svahoch Kriváňa vo Vysokých Tatrách a Čierny Váh pod Kráľovou hoľou v Nízkych Tatrách. Jeho celková dĺžka je 403 km. Priemerný prietok Váhu v ústí je $196 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, maximálny $1825 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimálny $22,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Priemerný prietok na Váhu pod prítokom Revúcej je $37,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Rieka Váh ale i jej hlavné prítoky Ľubochňanka, Orava a Revúca na základe základných hydrologických charakteristík sú zaradené do stredohorskej oblasti, pre ktoré je typický typ režimu odtoku snehovo-dažďový, akumulácia vôd prebieha v mesiacoch november až marec, vysoká vodnosť v marci, apríli až júni, najvyššie prietoky recipienty dosahujú v máji ($VI < IV$), najnižšie prietoky sa vyskytujú v januári až februári, podružné zvýšenie vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy je nevýrazné. Režim povrchových vôd významne ovplyvňujú umelé vodné nádrže Liptovská Mara, Bešeňová a Orava.



Obrázok 4 Výrez z vodohospodárskej mapy so znázornením siete vodných tokov.
 Fialovou čiarou je znázornená trasa diaľnice D1.

Najbližšia vodomerná stanica je na rieke Váh v Hubovej, ďalej na rieke Orava v Dierovej a na potoku Ľubochňanka v Ľubochni (viď tabuľka 5). Pre ilustráciu, priemerné mesačné prietoky na vodných tokoch v rokoch 2008 až 2010 na hlavných vodomerných staniciach v skúmanom území sú spracované v tabuľke 6.

Skúmané územie je odvodňované lokálnymi vodnými tokmi (zvyčajne bezmenné vodné toky okrem Kamenného potoka, potoka Hrboltová, potoka Čebrať a potoka Záružlie), ktoré tvoria pravostranné prítoky rieky Váh, resp. ľavostranné prítoky potoka Likavka, ktorý je tiež pravostranným prítokom Váhu. Schéma siete vodných tokov je znázornená na obrázku 4. V rámci prieskumných prác boli aj na vybraných lokálnych vodných tokoch vybudované merné priepady, ktoré umožňujú kontinuálne meranie prietokov na povrchových vodných tokoch a presnejšie vyhodnotenie hydrologickej bilancie (príloha 11).

Tvar a rozsah siete vodných tokov je výsledkom erózo-denudačných procesov v priebehu neogénu a kvartéru, pričom podmieňujúcim faktorom boli najmä litologická charakteristika hornín a ich tektonické porušenie. V zásade možno povedať, že riečna sieť (tok Váhu a tok Likavky) korešponduje s hlavnými nadregionálnymi zlomovými systémami, doplnková sieť menších vodných tokov má prevažne orientáciu v smere doplnkových

regionálnych resp. lokálnych zlomov a iných geologických rozhraní. Možno tiež predpokladať, že stavbou nebude riečna sieť a sieť menších vodných tokov narušená.

Tabuľka 5 Zoznam najbližších vodomerných staníc v okolí oblasti prieskumu

Tok	Stanica	Hydrol. číslo	Riečný km	Plocha povodia (km ²)	Nadm. výška (m n.m.)
Váh	Hubová	1-4-21-02-119-01	308,60	2133,20	444,70
Orava	Dierová	1-4-21-04-079-01	6,00	1 966,75	439,05
Ľubochňanka	Ľubochňa	1-4-21-02-131-01	0,30	118,48	442,00

Zdroj: SHMÚ

Tabuľka 6 Priemerné mesačné a extrémne prietoky (m³.s⁻¹) na sledovaných vodných tokoch

Tok: Váh Stanica: Hubová riečný kilometer308,60													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	20,29	24,00	27,75	37,28	41,36	41,04	29,60	38,00	36,17	32,00	25,66	23,68	31,40
Qm 2009	23,56	21,85	27,38	54,15	52,99	39,36	37,73	36,39	27,16	23,35	21,95	45,29	34,35
Qm 2010	31,69	30,09	34,47	32,85	99,22	101,0	49,40	77,99	91,86	47,39	43,03	35,97	56,35
	2008	2009	2010										
Qmax	97,60	128,8	291,2										
Qmin	17,16	17,17	17,96										
Qmax 1921-2009840,00					Qmin 1921-20097,70								
Tok: Orava Stanica: Dierová riečný kilometer 6,00													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	31,23	35,71	55,75	49,39	21,90	14,80	30,67	21,84	15,28	16,65	14,67	20,13	27,33
Qm 2009	30,59	27,75	35,98	77,16	20,61	29,53	31,29	24,31	18,04	20,58	29,63	30,70	31,30
Qm 2010	31,69	25,80	25,33	24,89	136,7	106,0	40,05	35,03	111,5	24,39	19,41	36,30	51,48
	2008	2009	2010										
Qmax	248,0	199,8	194,9										
Qmin	8,755	9,161	2,674										
Qmax 1931-2009 1120,0					Qmin 1931-2009 2,300								
Tok: Ľubochňanka Stanica: Ľubochňa riečný kilometer 0,30													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	2,247	1,817	3,835	3,890	2,656	1,714	2,558	2,000	1,212	1,087	1,488	3,136	2,308
Qm 2009	1,536	1,959	3,536	6,655	2,956	2,380	2,369	1,577	1,247	1,193	1,961	2,140	2,457
Qm 2010	2,002	1,349	2,665	3,017	5,960	4,919	3,760	4,365	5,425	3,078	2,704	3,157	3,546
	2008	2009	2010										
Qmax	16,70	13,56	18,01										
Qmin	0,797	0,861	1,247										
Qmax 1931-2009 43,29					Qmin 1931-2009 0,320								

Zdroj: SHMÚ (Hydrologická ročenka 2008 - 2010)

Podľa prílohy č. 1 vyhlášky MŽP SR č. 211/2005 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam vodohospodárskych významných tokov sa v dotknutom území nachádzajú vodný tok Likavka (4-21-02-110) a vodný tok Váh (4-21-01-038). Vodárensky významné toky sa v skúmanom území nenachádzajú.

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: štúdia 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;
- Máľuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 1996. GEOFOND 80482;
- Máľuš, 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 a podrobný inžinierskogeologický prieskum pre oblasť západného portálu tunela Čebrať v novej pozícii a pre celú trasu tunela (Borovský, 2016, 2017).

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 7 sú ložiská nevyhradených nerastov, v tabuľke 8 ložiská vyhradených nerastov s ložiskovým územím a v tabuľke 9 ložiská vyhradených nerastov s určeným dobývacím priestorom.

Tabuľka 7 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 8 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 9 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

Je potrebné upozorniť, že významným zdrojom nerastných surovín (najmä stavebného kameňa resp. násypového materiálu) je v prípade variantu V2 diaľnice aj samotný tunel Čebrať. Vyrúbaný materiál však musí byť posúdený geológom z hľadiska vhodnosti zariadenia do zemných konštrukcií a upravená jeho frakcia. Spôsob využitia rúbaniny a orientačný výpočet jej kubatúry je spracovaný v samostatnej kapitole 2.4.

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.

Medzi vysoko cenené a ŠOP hodnotené lokality bez legislatívnej ochrany patrí i penovcové pramenisko cca v km 2,900 - 3,000, neďaleko vrtu NT-13.

1.8 Metodika prác

Po poskytnutí základných podkladov od generálneho projektanta stavby, po fyzickej rekognoscácii predmetného úseku diaľnice, po prehodení 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 variant V2 novej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová pozostávali z realizácie štruktúrnych jadrových vrtných dvojitoú jadrovkou za pomoci vodného výplachu a z vrtných nasucho jednoduchou jadrovkou. Spolu bolo navrhnutých v projekte geologickej úlohy realizovať 9 ks vrtných v celkovej metráži 345 m. Skutočne realizované technické prieskumné práce zahŕňali celkom 7 ks jadrových vrtných.

Z celkového počtu 7 ks vrtných boli 2 ks vrtných realizované technológiou nasucho (TK – tvrdokovová korunka), pričom následne boli tieto dva vrty (50 m) zabudované ako hydrogeologické pozorovacie vrty. Jadrové vrty nasucho boli zrealizované v období 10.5.2017 – 12.5.2017 pod vedením vrtmajstra p. Burdeja súpravou UGB–50M na podvozku Praga 66 (Ing. Jozef Hajčík, Geologicko–prieskumné práce, Brvnište).

Ďalších 5 ks vrtných z celkového počtu všetkých vrtných bolo realizovaných technológiou s dvojitoú jadrovkou (systém WireLine) za pomoci vodného výplachu v skalných a poloskalných horninách, vo zvetranom podloží a v kvartérnom komplexe vrtním nasucho. Z

tohoto počtu 3 ks vrtov (130 m) bolo zabudovaných ako inklinometrické monitorovacie vrty, pričom vo dvoch z nich boli zároveň inštalované piezometrické snímače pre sledovanie pórových tlakov podzemnej vody. Jeden vrt (30 m) bol zabudovaný ako otvorený hydrogeologický pozorovací vrt a jeden vrt (75 m) bol zabudovaný ako piezometrický pozorovací vrt s uzatvoreným systémom. Prehľad navrhovaných a realizovaných vrtov s dvojitou jadrovkou uvádza nasledovná tabuľka 10. Dva vrty NT-05 a NT-22 sa nerealizovali z dôvodu, že počas prieskumných prác nebolo zrejmé technické riešenie mosta 204, ktoré vyplynie až z posudzovania vplyvov na životné prostredie (EIA). Tieto vrty bude potrebné dobudovať buď ako inklinometrické (v prípade presypaného mosta) alebo ako piesometrické prieskumné (v prípade betónového mosta). Vrty boli realizované v dňoch 20.5.2017 – 17.8.2017 technológiou WireLine, s vodným výplachom a dvojitou resp. trojitou jadrovkou. Vrtné 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 vrtné súpravy HanJin D&B 100 a Fraste MITO 40 na pásových podvozkoch a sprievodné vozidlá Praga V3S a Mitsubishi L200. 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.

Tabuľka 10 Prehľad realizovaných vrtných prác

Názov vrtu	Hĺbka (m)		Staničenie (km)	Typ vrtu, poznámka
	plánovaná	skutočná		
NT-05	30,0			Nerealizovaný
NT-20	35,0	36,0	1,766	štruktúrny, inklinometrický
NT-21	25,0	25,0	2,026	hydrogeologický
NT-22	30,0			Nerealizovaný
NT-23	25,0	25,0	1,948	hydrogeologický
NT-24	30,0	30,0	1,958	štruktúrny, hydrogeologický
NT-25	45,0	45,0	2,061	štruktúrny, inklinometrický, piezometrický
NT-26	50,0	50,0	2,148	štruktúrny, inklinometrický, piezometrický
NT-27	75,0	75,0	2,316	štruktúrny, piezometrický
	spolu	286,0		
	Inklino	131,0		dva vrty s piezometrami
	piezo	75,0		
	HG	80,0		

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, a tiež aj geomorfológia a vegetačný pokryv (minimalizácia zásahov do pôdneho a vegetačného krytu).

Štruktúrne vrty boli vŕtané dvojitou (trojitou) jadrovnicou systémom WireLine s vodným výplachom. Metóda WireLine (resp. dvojitá jadrovka) bola zvolená pre dosiahnutie maximálneho výnosu kvalitného jadra a minimalizáciu vplyvu vŕtania na stenu vrtu. Vrtné 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 vrtov 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 vrtov, odobratí vzoriek zemín a hornín, bolo vrtné jadro vyskartované.

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 vrtom v trase tunela a vrtom v miestach mostných objektov bolo potrebné vybudovať nové prístupové cesty, resp. budovať nové cesty. Po dohode s užívateľmi a správcami dotknutých pozemkov boli poškodené lesné cesty upravené do pôvodného stavu.

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.

1.8.2 Poľné skúšky

Vzhľadom na požiadavku získať komplexný prehľad o geotechnických parametroch zemín a hornín, ktoré sa vyskytujú v oblasti tunelového portálu vo variante V2, bolo navrhnuté realizovať poľné skúšky. Z použitých metód boli navrhnuté sondy dynamickej penetrácie a dilatometrické skúšky vo vrtoch. Okrem geotechnických skúšok boli vo vybraných vrtoch realizované i vodnotlakové skúšky pre overenie priepustnosti horninového masívu.

1.8.2.1 Dilatometrické skúšky

Dilatometrické skúšky boli navrhnuté pre overenie deformačných parametrov hornín v mieste plánovaného portálu tunela Čebrať v posunutej pozícii a v okolí tunelovej rúry tunela Čebrať vo variante V2. 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 32 ks dilatometrických skúšok v 4 vrtoch. V skutočnosti bolo realizovaných 39 skúšok v 4 ks vrtov do 75 m. Prehľad počtov realizovaných skúšok a rozsah hĺbok je spracovaný v tabuľke 11. Prehľad výsledkov skúšok a detailné vyhodnotenie je spracované v samostatnej prílohe 6.1.

Vrty, v ktorých boli navrhnuté dilatometrické skúšky, boli realizované vŕtaním technológiou WireLine s vodným výplachom. Dĺžka návrtu priemeru NQ (76 mm) bola v rozsahu 15 – 40 m. Skúšky boli prednostne realizované v oblasti nivelety budúcej tunelovej rúry (pod niveletou počvy tunela, v úrovni tunelovej rúry a v oblasti nad kalotou tunela), resp. v prípade vrtu NT-20 v nivelete diaľnice. 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.

Tabuľka 11 Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch

Vrt	Skúšaný úsek (m)	Počet skúšok		Dátum realizácie skúšok	Poznámky
		navrhovaný	realizovaný		
NT-20	17,0 – 36,0	0	10	18.8.2017	
NT-24	-	8	0	-	Skúšky sa nerealizovali
NT-25	29,7 – 44,7	8	8	7.8.2017	
NT-26	23,0 – 49,5	8	10	30.5.2017	
NT-27	44,5 – 73,0	8	11	25.5.2017	
Spolu		32	39		

Výsledky dilatometrických skúšok predstavujú základné vstupné geotechnické parametre horninového masívu pre projektovanie tunela Čebrať vo variante V2. Sú zahrnuté do celkovej geotechnickej charakteristiky jednotlivých horninových typov v kapitole 2.1 ako aj pri charakteristike kvázihomogénnych úsekov tunela v kapitole 2.2.

1.8.2.2 Dynamické penetračné skúšky

Sondy dynamickej penetrácie boli realizované s prihliadnutím na požiadavky projektanta a špecifiká skúmanej oblasti. Boli využité ako náhrada prieskumných vrtoch v zarastených a ťažko prístupných častiach územia, resp. na zahustenie informácie o geologickej stavbe medzi priamymi prieskumnými dielami (vrtmi) a dopresnenie geotechnických parametrov zemín v mieste vrtoch.

Tabuľka 12 Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie

Označenie	Dátum realizácie	Dosiahnutá hĺbka (m)	Staničenie (km)	Poznámka
DPS-STR-03	17.8.2017	5,00	1,896	
DPS-STR-04	17.8.2017	8,50	1,958	
DPS-STR-05	17.8.2017	9,50	2,018	
DPS-STR-06	17.8.2017	6,20	1,976	
DPS-STR-07	17.8.2017	10,00	2,028	
DPS-STR-08	17.8.2017	8,00	2,062	
DPS-JTR-03	18.8.2017	8,50	1,893	
DPS-JTR-04	18.8.2017	9,30	1,950	
		65,00		

Zároveň sondy umožnili aj overenie uľahnutosti zemín v miestach plánovaných mostných objektov v trase diaľnice mimo tunela a tiež v oblasti budúcej jamy západného portálu tunela Čebrať.

Navrhnutých bolo realizovať 6 ks penetračných sond celkovej dĺžky 60 m. V skutočnosti bolo realizovaných 8 ks sond dynamickej penetrácie celkovej dĺžky 65,0 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 17.8.2017 a 18.8.2017. Prehľad realizovaných skúšok je spracovaný v tabuľke 12. Prehľad nameraných priebehov dynamických penetračných skúšok a ich vyhodnotenie sú spracované v samostatnej prílohe 6.2. Výsledky dynamických penetračných skúšok sú v plnej miere zohľadnené pri hodnotení geotechnických parametrov zemín a hornín a pri návrhu zakladania jednotlivých stavebných konštrukcií.

1.8.2.3 Vodné tlakové skúšky a vsakovacie skúšky (hydrodynamické skúšky)

V zmysle schváleného Projektu geologickej úlohy 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 skúšky v 5 ks vrtoch. 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, pričom zvyčajná dĺžka skúšaného úseku bola 5 m. Tento druh skúšky bol využívaný prednostne, nakoľko v danom horninovom prostredí je na overovanie hydraulických parametrov dlhší skúšaný úsek vhodnejší. Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok je uvedený v tabuľke 13.

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.

O výsledkoch vodnotlakových skúšok a ich vyhodnotení bola vyhotovená pre každú skúšobnú etáž skúšobná správa. Výsledky vodnotlakových skúšok predstavujú základný vstupný parameter pre matematický model prúdenia podzemnej vody. Spolu bolo realizovaných 9 vodnotlakových skúšok v 4 vrtoch. Detailné spracovanie priebehu a výsledkov hydrodynamických skúšok je v prílohe 6.3.

Tabuľka 13 Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok

Vrt	Dátum realizácie skúšky	Skúšobný úsek	Zloženie obturátora
NT-25	08.08.2017	25,0 – 27,0 m	dvojité obturátor
NT-25	08.08.2017	33,0 – 35,0 m	dvojité obturátor
NT-25	08.08.2017	39,0 – 45,2 m	jednoduchý obturátor
NT-26	31.05.2017	38,0 – 40,0 m	dvojité obturátor
NT-26	31.05.2017	46,0 – 50,0 m	jednoduchý obturátor
NT-27	26.05.2017	67,0 – 69,0 m	jednoduchý obturátor
NT-20	18.08.2017	18,0 – 20,0 m	dvojité obturátor
NT-20	18.08.2017	22,0 – 24,0 m	dvojité obturátor
NT-20	18.08.2017	30,0 – 36,0 m	jednoduchý obturátor
Spolu	4 vrty / 9 skúšok		

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 10 ks neporušených vzoriek a 12 ks porušených vzoriek a z toho 2 ks vzoriek technologických.

V skutočnosti bolo odobraných 7 ks neporušených vzoriek a 4 ks porušených vzoriek zemín (z toho 1 ks technologických). 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, namrzavosti a vodného režimu. Výsledky laboratórnych skúšok mechaniky zemín sú uvedené v prílohe 5.1.

Prehľad vykonaných skúšok:

- granulometrický rozbor	11 ks
- medza tekutosti	11 ks
- medza plasticity	11 ks
- vlhkosť	11 ks
- objemová hmotnosť	7 ks
- zdanlivá hustota	7 ks
- Proctor štandard	1 ks
- CBR	1 ks
- prostý tlak	2 ks
- priepustnosť v triaxiáli	1 ks
- reziduálna šmyková pevnosť	2 ks

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 spolu 105 ks vzoriek hornín, z toho počtu 60 ks vzoriek na Point Load Test (PLT), 20 ks vzoriek na stanovenie pevnosti v prostom tlaku, 20 ks vzoriek na stanovenie fyzikálnych vlastností hornín a 5 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. Odoberatých bolo spolu 115 ks vzoriek. Vykonaných bolo 30 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 laboratórnych skúšok mechaniky hornín sú uvedené v samostatnej prílohe 5.2.

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

Typ vzorky	Počet vzoriek		Počet realizovaných skúšok
	návrh	skutočnosť	
Point Load Test	60	13	30
Pevnosť v prostom tlaku	20	3	3
Fyzikálne vlastnosti hornín	20	3	3
Deformačné parametre hornín	5	3	3
Spolu	105	21	

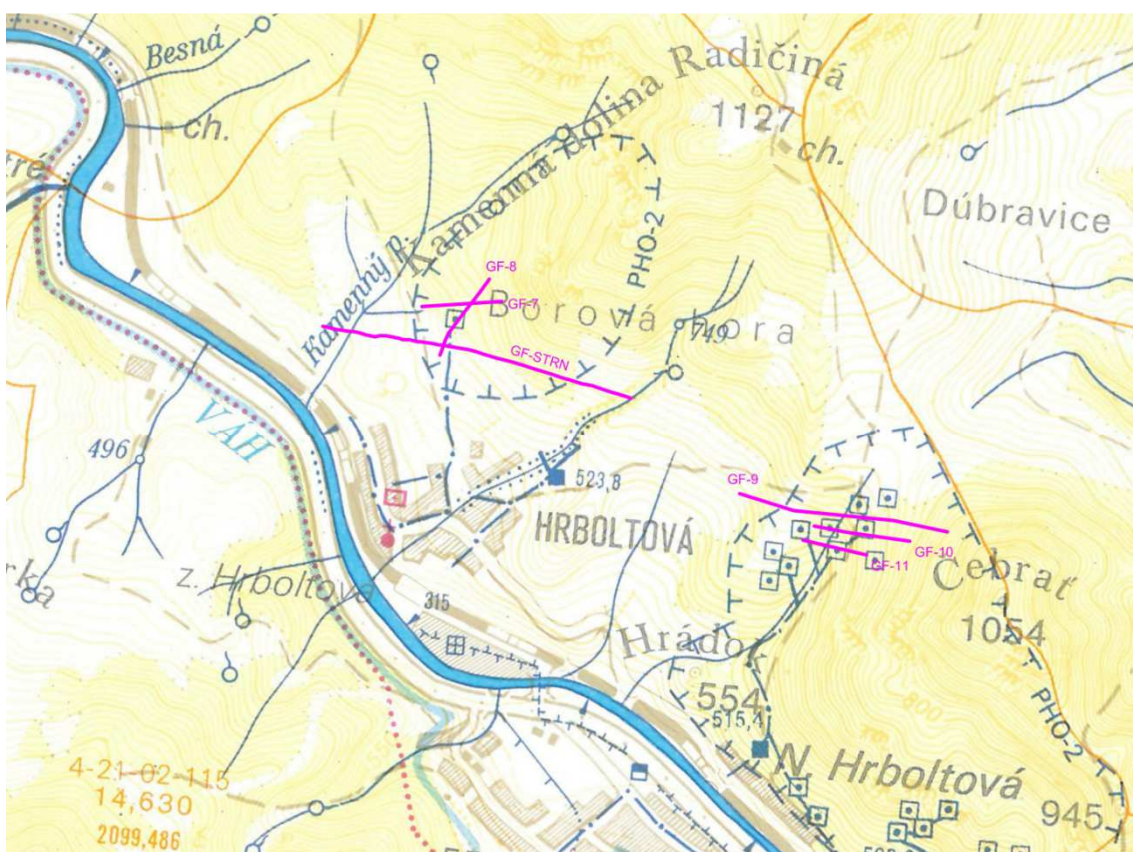
1.8.5 Laboratórne a vzorkovacie práce chémie vôd

Pre posúdenie chemického zloženia podzemných vôd, agresívnych vlastností vôd a genézy boli z vybraných novovybudovaných geologických prieskumných vrtov jednorazovo odobraté vzorky podzemných vôd. Navrhnutých bolo odobrať 8 ks vzoriek podzemných vôd. Sumárne bolo odobratých 5 ks vzoriek podzemných vôd z prameňov a z geologických diel

v trase tunela. Terénne stanovenie základných fyzikálno-chemických ukazovateľov vôd bolo realizované v piatich prípadoch. Výsledky laboratórnych prác sú spracované v prílohe 5.3 a v prílohe 10.

1.8.5 Geofyzikálne povrchové merania

V zmysle Projektu geologickej úlohy bolo naplánované realizovať 1000 m povrchových geoelektrických meraní (multikábel – odporová tomografia, SOP+VES). Na základe výsledkov podrobného IGHP časť A ako aj zohľadnením požiadaviek JASPER a investora stavby NDS a.s. boli geofyzikálne práce doplnené o realizáciu 5 ks nových profilov v oblasti vodných zdrojov Stará Hrboltová a Staré Lazy. Sumárne teda k profilu GF-STRN v trase severnej vetvy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v posunutom variante V2 boli ešte doplnené profily GF-7 až GF-11. Spolu bolo v skutočnosti realizovaných 3748 m geoelektrických meraní, pričom profil v osi severnej tunelovej rúry vo variante V2 (označený GF-STRN, dĺžka 1348 m) bol fyzicky realizovaný na základe požiadaviek projektanta už počas podrobného inžinierskogeologického prieskumu časť A (Borovský et al, 2017), kde tvorí samostatnú prílohu, fakturačne však bude vysporiadaný až v rámci predkladaného prieskumu. Ďalších 2500 m profilov bolo realizovaných v oblasti vodných zdrojov.



Obrázok 5 Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.

Geofyzikálne merania pomocou multielektrodového systému (merania SOP, VES a merania elektrickej odporovej tomografie) realizovala spoločnosť GEOPAS s.r.o., Žilina v období mesiaca júl 2017.

Geoelektrické odporové merania mali za cieľ charakterizovať geologické prostredie na základe nameraných hodnôt zdanlivých (merných) geoelektrických odporov zemín a hornín v

rámci prieskumných profilov v horizontálnom aj vertikálnom smere. Tieto merania umožňujú rozčleniť geologické prostredie do zhruba rovnorodých (kvázihomogénnych) úsekov s približne konštantnými odporovými vlastnosťami, ako aj vyčlenenie poruchových zón. Výsledky multielektródových meraní sú spracované v samostatnej prílohe 8. Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní podľa jednotlivých metód je znázornená na obrázku 5.

1.8.6 Karotážne merania vo vrtoch

Karotážne merania boli realizované v štruktúrnych vrtoch (zväčša účelových piezometrických a inklinometrických) situovaných v zmysle požiadaviek Projektu geologickej úlohy. Celkovo bolo karotovaných 5 ks vrtov s celkovou metrážou 216 m.

Karotážne metódy zahŕňali kontinuálne merania kavernometrie (zmeny priemeru vrtu), prirodzenej gama aktivity, inklinometrie (zmeny orientácie vrtu), termometrie, konduktivity, ako aj geoelektrické merania. Tento komplex geofyzikálnych meraní bol doplnený optickým záznamom steny vrtov pomocou kamerovej sondy. Karotážne merania vykonali pracovníci spoločnosti CAD-ECO a.s. Bratislava. Výsledky karotážnych meraní vo vrtoch sú spracované v prílohe 7.

Karotážne merania vo vrtoch boli realizované po ukončení vrtných prác. Nestabilné polohy vrtov, prevažne kvartérne zeminy, prípadne silno zvetrané, či porušené horniny vo vrchných polohách vrtov zostávali aj počas karotážnych meraní prepažené, aby sa eliminovalo, či aspoň obmedzilo riziko zavalenia alebo čiastočného obmedzenia priechodnosti vrtu. Hlbšie štruktúrne vrty boli merané etapovito, v závislosti na dokončenom úseku príslušného vrtu. Z dôvodu intenzívneho zakalenia vody (neprieľadnosť vody) boli niektorých vrtoch redukované rozsahy kamerovej sondáže. Hlboko zaklesnutá hladina podzemnej vody spôsobila v niektorých vrtoch skrátenie úsekov meraných pomocou geoelektrických metód, nakoľko voda vo vrte predstavuje médium, ktoré je použité k vedeniu elektrických impulzov.

Karotážne merania vykonali pracovníci firmy CAD-ECO a. s. Bratislava, Mgr. Martin Borovský a Ing. Ladislav Stolarík, v období od 25.5.2017 do 18.8.2017 karotážnou aparátúrou firmy Advanced Logic Technology. Podrobné informácie o karotážných meraniach a ich interpretovaných výsledkoch sú uvedené v prílohe 7.

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. 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. Okrem toho boli v rámci geologickej služby realizované rekultivačné úpravy lesných ciest a vrtných pracovísk. Záverečná správa obsahuje nasledujúce prílohy:

PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000**PRÍLOHA 2 SITUÁCIAPRIESKUMNÝCH DIEL M 1 : 4000****PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA A FOTODOKUMENTÁCIA VRTOV****PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY**

- Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,600
- Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,780
- Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 2,068
- Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 2,148
- Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,229
- Príloha 4.6 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS - PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 1,500 - 3,000 (V2)
- Príloha 4.7 Pozdĺžny geologicko-geotechnický rez GT - GT` trasou severnej tunelovej rúry tunel Čebrať vo variante V2 v km 2,000 - 3,000

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

- Príloha 5.1 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., 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 laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)

PRÍLOHA 6 POĽNÉ SKÚŠKY

- Príloha 6.1 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch
- Príloha 6.2 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie
- Príloha 6.3 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ (GEOPAS s.r.o., Žilina)****PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 10 VÝSLEDKY MERANÍ HLADÍN PODZEMNEJ VODY (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 11 TECHNICKÁ SPRÁVA**

- Príloha 11.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtoch (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)
- Príloha 11.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtoch (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 12 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 podloží hornín. S ohľadom na realizované merania inklinometrie v oblasti nového 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. Fluviálne terasové zeminy, ktoré sa nachádzajú v západnej časti trasy diaľnice vo variante V2 nebudeme v tejto správe hodnotiť, nakoľko v danom zeminovom komplexe nebolo nové priame prieskumné dielo a je tak možné plne využiť už publikované parametre týchto zemín (viď Záverečná správa pIGHP, Borovský et al., 2017).

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 podloží 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. 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 ($m = 27,0 - 50,7 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 8,7 - 43,9 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 0,1 - 40,8 \%$). V oblasti výverov podzemnej vody a na kontakte s priepustnejšími nasýtenými zeminami je konzistencia tuhá až mäkká. Úlomky sú prevažne ostrohranné až na hranách opracované, tvorené najmä karbonátmi, menej sa vyskytujú pieskovce, siltovce alebo zlepenec. 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 (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 18,5 - 22,5 \text{ kN.m}^{-3}$	$21,3 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 25,3 - 29,8^\circ$	$25,3^\circ$
	$\varphi_{ef} = (18,3 - 29,9^\circ)$	
	$c_{ef} = 0 - 3 \text{ kPa}$	3 kPa
	$c_{ef} = (0 - 14 \text{ kPa})$	

– parametre rez. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{rez}} = 21,5 - 24,4^\circ$	21,5°
	$\varphi_{\text{rez}} = (13,4 - 26,1^\circ)$	
	$c_{\text{rez}} = 0 - 1 \text{ kPa}$	1 kPa
	$c_{\text{rez}} = (0 - 5 \text{ kPa})$	
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = 7,2 - 31,50 \text{ MPa}$	17,46 MPa
– modul pretvárnosti z DPS**:	$E_{\text{def}} = 6,60 - 32,16 \text{ MPa}$	20,00 MPa
	$E_{\text{def}} = (6,28 - 43,00 \text{ MPa})$	
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 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 **podložie komunikácií** 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 odlišné sú hodnotené íly s veľmi vysokou plasticitou (F8/CH), ktoré sú tak pre **podložie** komunikácií, ako aj pre budovanie **násypu nevhodné**.

Laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorkách číslo 620, 617, 547 a 703 pre íly štrkovité (F2/CG) z vrtov M-204-08 (hĺbka 2,5 – 4,0 m), M-204-07 (hĺbka 1,5 – 3,0 m), NT-19 (hĺbka 2,0 – 4,0 m) a NT-04 (hl. 2,0 – 4,0 m) z predchádzajúcej etapy prieskumu predstavoval hodnotu 2,0 – 5,0 % (priemerne 3,75%) pri $w_{\text{opt}} = 13,9 - 16,3 \%$ (priemerne 15,23%) a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,85 - 1,95 \text{ g.cm}^{-3}$ (v priemer 1,91 g.cm^{-3}).

Dynamické penetračné sondy realizované v skúmanom úseku v polohách ílovitých sutí charakteru F2/CG, s ojedinelým zastúpením ílov (F6/CI, F4/CS) až štrkov ílovitých (G5/GC) preukázali, že sú prevažne pevnej konzistencie s $I_c = 0,71 - 1,30$, v priemere $I_c = 1,04$, prípadne až tvrdej konzistencie ($I_c = 1,31$). Odvodený modul deformácie dosahuje $E_{\text{def}} = 6,60 - 32,16 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 20,00 \text{ MPa}$, čo je v súlade s výsledkami presiometrických skúšok z predchádzajúcej etapy prieskumu. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia, pričom obsah štrkovej frakcie podstatne vplyva 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 a deluviálno-proluviálne 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 zlepené a pieskovce), zvrstvené z vyšších partií svahov. Úlomky sú prevažne ostrohranné, len na hranách opracované. Ojedinele sa v komplexe nachádzajú aj rozmerné bloky skalných hornín, skotúľané z vyšších partií svahov. Tieto budú predstavovať problém pri vŕtaní veľkopriemerových pilót, preto je potrebné očakávať vyššiu triedu vŕtateľnosti pilót. 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 G4 so symbolom označenia GM s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 20,5 - 22,8 \text{ kN.m}^{-3}$	21,8 kN.m ⁻³
– parametre efekt. šmyk. Pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 25,5 - 32^\circ$	30°
	$c_{\text{ef}} = 0 - 10 \text{ kPa}^*$	5 kPa*
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = 48,32 - 585,63 \text{ MPa}$	221,18 MPa
– modul pretvárnosti z DPS*:	$E_{\text{def}} = 15,70 - 140,10 \text{ MPa}$	65,00 MPa
	$E_{\text{def}} = (35,45 - 671,20 \text{ MPa})$	
– únosnosť (b = d = 1,0 m):	$R_{\text{dt}} = (200 - 400 \text{ kPa})$	(300 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	I. – III.	II.

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso. pozemných komunikácií, uvedené nesúdržné zeminy (G4/GM) **sú mierne namrzavé**. Podľa kritérií vhodnosti **pre podložie komunikácií a telesa násypov** v zmysle uvedenej normy sú tieto zeminy **vhodné**. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia.

Laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorke číslo 2383 pre íl štrkovitý (F2/CG) z vrtu NT-24 (hĺbka 9,0 – 10,0 m) predstavuje hodnotu 5,0 % pri $w_{\text{opt}} = 12,9 \%$ a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,98 \text{ g.cm}^{-3}$, ktorý je v relácii s výsledkami z predchádzajúcej etapy prieskumu, kde laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorkách číslo 512 a 509 pre štrky ílovité (G5/GC) z vrtov M-204-06 (hl. 2,0 – 4,0 m) a M-204-05 (hĺbka 6,0 – 7,8 m) predstavoval hodnotu 2,0-5,0 (v priemere 3,0 % pri $w_{\text{opt}} = 11,7 - 15,8 \%$ (priemerne 13,75 %) a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,91 - 2,03 \text{ g.cm}^{-3}$ (v priemere 1,97 g.cm⁻³).

Dynamické penetračné sondy v úsekoch so zastúpením kamenitých sutí charakteru štrkov ílovitých a hlinitých (G5/GC, G4/GM) resp. piesku s prímiesou jemnozrnej zeminy (S3/S-F) s ojedinelým zastúpením prepláštikov sutí ílovitých (F2/CG) preukázali, že sú prevažne stredne uľahnuté až veľmi uľahnuté s $I_D = 0,34 - 0,94$ v priemere $I_D = 0,59$ stredne uľahnuté. Veľmi zriedkavo sa vyskytujú i polohy málo uľahnuté. Odvodený modul deformácie z dynamických penetračných skúšok predstavuje $E_{\text{def}} = 15,70 - 140,10 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 65,00 \text{ MPa}$. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia, pričom obsah piesčitej a štrkovej frakcie má podstatný vplyv aj na ich únosnosť a priepustnosť.

Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 4,00 \cdot 10^{-4} - 6,92 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ 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 **dosť slabo priepustné**.

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

Tabuľka 15 Prehľad geotechnických parametrov deluviálnych (proluviálnych) zemín

CHARAKTERISTIKA		Symbol [Rozmer]	DELUVIÁLNO-PROLUVIÁLNE SEDIMENTY (Zosuvné delúvium)			
			Deluviálne a polygenetické sute a íly		Deluviálne sute balvanité, kamenité a ílovito-kamenité	
			Rozsah	Odp. hodn.	Rozsah	Odp. hodn.
Prirodzená vlhkosť		w_n [%]	9,6 – 15,2 (8,00 – 30,60)	14,70	12,4 – 13,6 (6,50 – 14,50)	12,60
Prirodzená objemová hmotnosť		ρ_n [g.cm ⁻³]	1,96 – 2,24 (1,85 – 2,25)	2,13	2,05 – 2,28	2,18
Suchá objemová hmotnosť		ρ_d [g.cm ⁻³]	1,79 – 2,02 (1,45 – 2,02)	1,86	1,91 – 2,00	1,95
Hustota		ρ_s [g.cm ⁻³]	2,70 – 2,73 (2,64 – 2,75)	2,71	2,74 – 2,75	2,75
Pórovitosť		n [%]	25,50 – 31,30 (24,80 – 46,40)	31,80	29,70 – 30,40	30,1
Stupeň nasýtenia		S_r [%]	50,8 – 91,00 (59,40 – 95,70)	85,20	42,10 – 91,10	66,60
Obsah organických látok		I_{om} [%]	3,0	3,0	-	-
Medza tekutosti		w_L [%]	26 – 40 (30 – 80)	41	23 – 37	29
Číslo plasticity		I_p [%]	10 – 21 (12 – 44)	21	9 – 20	14
Číslo konzistencie LMZ		I_c	1,13 – 1,45 (1,01 – 1,48)	1,29	-	-
Obsah zŕn	$\phi < 0,002\text{mm}$	c [%]	6,9 – 16,4 (3,3 – 52,1)	17,0	4,8 – 6,9 (3,2 – 7,6)	5,0
	$0,002 < \phi < 0,06\text{mm}$	m [%]	27,0 – 40,3 (27,8 – 50,7)	38,0	22,6 – 28,6 (44,2 – 30,5)	20,0
	$0,06 < \phi < 2\text{mm}$	s [%]	14,8 – 21,5 (8,7 – 43,9)	18,0	21,3 – 26,4 (18,8 – 31,3)	27,0
	$\phi > 2\text{mm}$	g [%]	23,1 – 40,8 (0,1 – 36,4)	27,0	44,1 – 45,3 (36,7 – 61,1)	48,0
Pevnosť v prostom tlaku		σ [kPa]	169 (153 – 186)	170	-	-
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti z LMZ		φ_{ef} [°]	25,3 – 29,8 (18,3 – 29,9)	25,3	25,5 – 32,0	30
		c_{ef} [kPa]	0 – 3 0 – 14	3	0 – 10	5
Parametre reziduálnej šmykovej pevnosti		φ_r [°]	21,5 – 24,4 (13,4 – 26,1)	21,5	-	-
		c_r [kPa]	0 – 1 (0 – 5)	2	-	-
Parametre zhutnenia Proctor Standard		$w_{opt.}$ [%]	12,9 (11,70 – 14,10)	12,90	9,9	9,9
		$\rho_{d\ max.}$ [g.cm ⁻³]	1,98 (1,85 – 1,95)	1,91	2,03	2,03
Pomerná únosnosť		CBR [%]	5,0 (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 DPS***		E_{def} [MPa]	6,60 – 32,16 (6,28 – 43,00)	20,00	15,70 – 140,10 (34,45 – 671,20)	65,00
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	GM
			F2,F4,F8	F2,F4	F2,G5,G4	G4
		STN 73 6133	2–6–14–15	2–6	2 – 26–25	25
		STN 73 3050	3–4	3–4	4–5	4–5

Poznámky : v zátvorkách sú hodnoty odvodené z predch. etapy prieskumu alebo z STN a z odbornej literatúry; únosnosť je uvádzaná ako tabuľková výpočtová únosnosť R_{dt} podľa STN 73 1001 (platná do roku 2010) pre súdržné zeminy pri $b \leq 3\text{ m}$, $d = 0,8\text{--}1,5\text{ m}$ a pre nesúdržné zeminy pri $b = d = 1\text{ m}$; PS* – presiometrické skúšky STN 72 1004, DPS*** - dynamické penetračné skúšky STN EN ISO 22476-2

2.1.2 Mezozoikum

V podloží kvartérnych sedimentov sa v skúmanom území v trase variantu V2 vyskytujú mezozoické súvrstvia kriedového a jurského veku, pričom jednotlivé súvrstvia sú súčasťou veporickej tektonickej jednotky (krížňanský príkrov). Jurské prevažne vápencové členy patria do jaseninského súvrstvia a nachádzajú sa najmä v západnej časti trasy cca od údolia Kamenného potoka. Naopak, od tohto údolia smerom na východ podložie tvoria flyšové kriedové horniny porubského, párnického až mráznického súvrstvia. Porubské súvrstvie tvoria dominantné ílovce s preplástkami pieskovcov a siltovcov. Podložné párnické vrstvy sú zastúpené slieňovcami, slienitými vápencami, karbonatickými pieskovcami, siltovcami. Mráznické resp. lučivnianske súvrstvie je charakterizované najmä zastúpením slieňovcami a slienitými kalovými vápencami, podobne aj osnické súvrstvie v jeho podloží, čiže prechod z flyšového charakteru na karbonatický. Presné rozhranie medzi jednotlivými súvrstviami vzhľadom na rozsah vzorkovania a časový rámec prieskumu nebolo možné v profiloch vyčleniť. Navyše, jednotlivé súvrstvia sú v skúmanej lokalite často zdvojené (duplexy) ako čiastkové príkrovové šupiny. Charakter podložných mezozoických hornín bol overený vrtnými i mapovacími prácami, 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 rozpušťať pozdĺž plôch laminácie a vrstevnatosti. Vytvárajú doskovité bloky, v zónach tektonického porušenia sú až tenkodoštičkovité.

Vzhľadom na pomerne malú pevnosť hornín krížňanského príkrovu vo flyšovej časti 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 klzné plochy pri presunoch nadložných príkrovov ako aj pri neskoršej tektonickej aktivite v tejto oblasti (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 (karbonatický komplex) sú prevažne doskovité až lavicovité, s pozvoľnými vzájomnými prechodmi do slieňovcov až vápnitých ílovcov. Predstavujú zvyčajne najpevnejšie členy celého súvrstvia. Častokrát polohy ílovcov sú v prostredí vápencov "vyvalcované" do tenkých zbridičnatých vrstvičiek s lesklými zvlnenými plochami odlučnosti. V oblasti tektonických zlomových porúch sú vápencové horniny detailne zvrásnené, úlomkovité a nadobúdajú miestami charakter štrkovitej zeminy. V

skúmanom úseku diaľnice boli vápence zastúpené jurským jaseninským súvrstvom, ktoré v pripovrchovej časti je rozvoľnené, prestúpené pomerne hustým systémom diskontinuit a čiastočne skrasovatené. Napriek tomu horninové úlomky a bloky dosahujú strednú až vysokú pevnosť.

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



Obrázok 6 Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín – tektonická brekcia

rozbreďovanie. Vzhľadom na svoju porušenosť a citlivosť na vodu tieto horniny podmieňujú vznik zosuvov a blokových deformácií v oblasti východných až južných svahov kóty Radičiná (1127,2 m n.m.), tj. v oblasti pôvodnej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová. V oblasti nového portálu tunela Čebrať (variant V2) sú veľmi hojné.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov

boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-25 (DS-25 až DS-29), NT-26 (DS-01, DS-05, DS-07, DS-08 a DS-10) a NT-27 (DS-16 a DS-17), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{def} = 10,46 - 261,05$ MPa, v priemere $E_{def} = 114,07$ MPa.

V zmysle STN 72 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 (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 21,4 - 24,4 \text{ kN.m}^{-3}$	$22,7 \text{ kN.m}^{-3}$
– 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:	$\sigma_c = 2,05 - 11,88 \text{ MPa}$	$6,20 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (2,40 - 11,83 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH a LMZ:	$\sigma_c = (0,094 - 9,86 \text{ MPa})$	$(4,59 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 10,46 - 261,05 \text{ MPa}$	$140,00 \text{ MPa}$
	$E_{def} = 3,95 - 395,51 \text{ MPa}$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{dt} = (150 - 400 \text{ kPa})$	(250 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	I. – II.	II.

B) Zvetrané alebo čiastočne porušené ílovce až siltovce majú charakter poloskalných hornín s pomerne hustým rozpukáním 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, zvlnené. 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-26 (DS-02, DS-09) a NT-27 (DS-11, DS-12, DS-14,



Obrázok 7 Rozpukané navetrané ílovce s laminami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti

DS-20 a DS-21), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{\text{def}} = 412,60 - 1168,20$ MPa, v priemere $E_{\text{def}} = 755,19$ MPa. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R4 – R2 a celkovo charakterizovať nasledovnými hodnotami základných

geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu, PS* sú hodnoty z presiometrických skúšok):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 24,8 - 26,5 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,2 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 34 - 44^\circ$	40°
	$c_{\text{ef}} = \tau_0 = 250 - 500 \text{ kPa}$	400 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 10,45 - 41,26 \text{ MPa}$	$20,00 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (9,40 - 37,96 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = (10,54 - 30,57 \text{ MPa})$	$(16,04 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = (450,64 - 1851,11 \text{ MPa})$	$(813,98 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 412,60 - 1168,20 \text{ MPa}$	$800,00 \text{ MPa}$
	$E_{\text{def}} = (450,64 - 1851,11 \text{ MPa})$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (500 - 2000) \text{ kPa}$	$(1250) \text{ kPa}$
– trieda vrtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

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-26 (DS-03, DS-04 a DS-06) a NT-27 (DS-13, DS-15, DS-18 a DS-19).



Obrázok 8 Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s laminami siltovca

Hodnoty modulov pretvárnosti pre zdravé ílovce až siltovce boli v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71$ MPa, v priemere $E_{\text{def}} = 2654,64$ MPa. Horniny sú citlivé na zmeny vlhkosti a napätosti a po odvrtní sa veľmi rýchlo rozpadávajú pozdĺž plôch primárnej nespojitosti – laminácie a vrstevnatosti. Majú charakter poloskalných až skalných hornín

a v zmysle STN 72 1001 ich možno zaradiť do triedy pevnosti R3 – R2. Celkovo možno komplex s dominanciou zdravých ílovcov až siltovcov charakterizovať nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z

predchádzajúcej etapy podrobného prieskumu, PS* sú hodnoty z presiometrických skúšok, DS** sú hodnoty z dilatometrických skúšok):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 25,3 - 26,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,5 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 42 - 46^\circ$	44°
	$\tau_0 = 500 - 800 \text{ kPa}$	600 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 18,42 - 135,91 \text{ MPa}$	$20,00 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (13,22 - 69,97 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = (22,76 - 67,68 \text{ MPa})$	$(35,09 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = (780,51 - 1091,44 \text{ MPa})$	$(920,26 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$	$2700,00 \text{ MPa}$
	$E_{\text{def}} = 2107,04 - 12726,05 \text{ MPa}$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (800 - 4000 \text{ kPa})$	(2000 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

D) Tektonicky porušené resp. zvetrané slienité vápence jaseninského súvrstvia sú lavicovité až doskovité, pričom vytvárajú pozvoľné prechody do slienitých ílovcov alebo obsahujú tenké "vyvalcované" preplástky zbridlčnených ílovcov. Vyskytujú sa najmä v



Obrázok 9 Tektonicky porušené a zvetrané slienité vápence s preplástkami zbridlčnených vápenných ílovcov (vypláchnuté počas vŕtania)

predportálovej oblasti tunela Čebrať (variant V2) a to v úseku od začiatku mosta 203 po koniec mosta 204. V tomto úseku je súvrstvie vápencov postihnuté jednak tektonickými, ale aj zvetrávacím procesmi a skrasovatením. Masív je teda značne rozpukaný a rozvoľnený,

čomu zodpovedajú i hodnoty zistených modulov deformácie. V zónach porušenia nadobúdajú charakter úlomkovitej horniny resp. lokálne až kamenitej sute s určitým ale nie výrazným obsahom ílovej zložky. Geotechnické parametre hornín boli testované terénnymi i laboratórnymi skúškami. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-20 (DS-31, DS-32, DS-35, DS-36 a DS-38) boli stanovené pre porušené súvrstvie vápencov v rozsahu $E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 623,57 \text{ MPa}$. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R2 – R3. Na základe laboratórnych aj terénnych skúšok odporúčame používať nasledovné geotechnické parametre (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 26,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,8 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 38 - 46^\circ$	40°
	$\tau_0 = 400 - 500 \text{ kPa}$	450 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 28,22 - 53,05 \text{ MPa}$	$38,80 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 27,91 - 54,60 \text{ MPa}$	$40,80 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05 \text{ MPa}$	$650,00 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (600 - 2500 \text{ kPa})$	(1500 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

E) Navetrané až zdravé slienité vápence jaseninského súvrstvia s preplástkami bridlíc sú



Obrázok 10 Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápnitých ílovcov

lavicovité až doskovité, vytvárajú pozvoľné vzájomné prechody do vápnitých ílovcov až slieňovcov, v skúmanom úseku variantu V2 (v oblasti medzi mostami 203 a 204) sú čiastočnetektonizované prevažne medzivrstevnou ale aj zlomovou tektonikou a sú rozvoľnené a pozdĺž puklín zvetrané. Taktiež na vrstevných plochách sa často vyskytujú tenké vyvalcovanévrstvičky ílovca. Vápence patria do jaseninského súvrstvia (jura). Geotechnické parametre boli stanovené na

základe laboratórnych i terénnych skúšok. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok, ktoré boli realizované vo vrte NT-20 (DS-39) a vrte NT-25 (DS-23, DS-24, DS-25), boli stanovené v rozsahu $E_{def} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere $E_{def} = 3899,39$ MPa. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R2 – R1. Na základe laboratórnych aj terénnych skúšok odporúčame používať nasledovné geotechnické parametre (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúč. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 25,9 - 27,0 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,6 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 52 - 58^\circ$	55°
	$\tau_0 = 500 - 1000 \text{ kPa}$	700 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 67,00 - 91,92 \text{ MPa}$	$81,50 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 87,39 \text{ MPa}$	$87,39 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 2963,85 - 5238,53 \text{ MPa}$	$3900,00 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{dt} = (800 - 5000 \text{ kPa})$	(2500 kPa)
– trieda vŕtatelnosti pilót:	III.	III.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov pre všetky vyčlenené litologické a inžinierskogeologické typy hornín sú prehľadne spracované v tabuľke 16.

Tabuľka 16 Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského príkrovu

CHARAKTERISTIKA		Symbol [Rozmer]	MEZOZOIKUM – križňanský príkrov									
			Tektonicky silno porušené až rozložené ílovce a siltovce, tektonické brekcie (A)		Porušené rozpukané, stredne zvetrané až zdravé ílovce a siltovce (B)		Kompaktné zdravé ílovce až siltovce (C)		Tektonicky porušené jaseninské slieňovce a vápence (D)		Navetrané a zdravé rozpukané jaseninské slieňovce a vápence (E)	
			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	0,22	0,22	0,13 – 0,26	0,20
Prirodzená objemová hmotnosť		ρ _n [g.cm ⁻³]	2,14 – 2,44	2,27	2,48 – 2,65	2,62	2,53 – 2,68	2,65	2,68	2,68	2,59 – 2,70	2,66
Suchá objemová hmotnosť		ρ _d [g.cm ⁻³]	1,85 – 2,33	2,04	-	-	-	-	-	-	-	-
Hustota		ρ _s [g.cm ⁻³]	2,67 – 2,76	2,74	2,67- 2,72	2,69	2,69 – 2,73	2,70	2,73	2,73	2,71 – 2,72	2,72
Pórovitosť		n [%]	12,80 – 32,30	25,40	2,81 – 5,40	4,02	1,28 – 1,72	1,50	1,21	1,21	1,33 – 4,57	2,90
Stupeň nasýtenia		S _r [%]	61,80 – 94,90	87,10	54,34 – 81,39	66,94	37,70 – 49,76	43,73	49,19	49,19	52,57 – 64,06	58,30
Nasiakavosť		N[%]	-	-	0,81 – 2,56	1,87	0,26 – 0,73	0,50	0,31	0,31	0,43 – 0,65	0,54
Medza tekutosti		w _L [%]	26 - 38	33	-	-	-	-	-	-	-	-
Číslo plasticity		I _p [%]	11 - 17	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Číslo konzistencie		I _c	1,31 – 1,94	1,85	-	-	-	-	-	-	-	-
Relatívna hutnosť (uľahnutosť)		I _D	(0,70)	(0,70)	-	-	-	-	-	-	-	-
Obsah zŕn	φ<0,002mm	c [%]	4,0 – 24,1	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,002<φ<0,06mm	m [%]	15,7 – 54,7	32,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,06<φ<2mm	s [%]	12,8 – 33,8	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	φ>2mm	g [%]	8,5 – 56,6	35,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Pevnosť v prostom tlaku z PLT		σ [MPa]	2,05 – 11,88 (2,40 – 11,83)	6,20	10,45 – 41,26 (9,40 – 37,96)	20,00	18,42 – 135,91 (13,22 – 69,97)	65,00	28,22 – 53,05	38,80	67,00 – 91,92	81,50
Pevnosť v prost. tlaku z LMH a LMZ		σ [MPa]	0,094 – 9,89	4,59	10,54 – 30,57	16,04	22,76 – 67,68	35,09	27,91 – 54,60	40,80	87,39	87,39
Parametre totálnej šmykovej pevnosti		φ _u [°]	11,2	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		c _u [kPa]	84	84	-	-	-	-	-	-	-	-
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti		φ _{per} [°]	23 – 32	28	(34 – 44)	(40)	(42 – 46)	(44)	(38 – 46)	(40)	(52 – 58)	(55)
		c _{ef} = τ ₀ [kPa]	0 – 100	40	(250 – 500)	(400)	(500 – 800)	(600)	400 – 500	(450)	(500 – 1000)	(700)
Modul pretvárnosti z LMH		E _{def} [MPa]	-	-	-	-	4260	4260	6 667	6 667	13 466	13 466
Modul pretvárnosti z PS* in situ		E _{def} [MPa]	(20,18 – 356,26)	(222,30)	(291,92 – 893,65)	(608,76)	(780,51 – 1091,44)	(920,26)	-	-	-	-
Modul pretvárnosti zo DS** in situ		E _{def} [MPa]	10,46 – 261,05 (3,95 – 395,51)	140	412,60 – 1168,20 (450,64 – 1851,11)	800	1765,48 – 3420,71 (2107,04 – 12726,05)	2700	98,21 – 1315,05	650	2963,85 – 5238,53	3900
Poissonovo číslo		ν	(0,30 – 0,35)	(0,30)	(0,20 – 0,30)	(0,25)	(0,18 – 0,25)	(0,22)	(0,18 – 0,28)	(0,24)	(0,10 – 0,20)	(0,17)
Koeficient filtrácie		k _f [m.s ⁻¹]	8,54.10 ⁻⁹ až 3,35.10 ⁻⁶	1,01.10 ⁻⁶	puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť	
Únosnosť		R _{dt} [kPa]	(150 – 400)	(250)	(500 – 2000)	(1 250)	(800 – 4000)	(2 000)	(600– 2500)	(1500)	(800– 5000)	(2500)
Zatriedenie podľa STN	STN 72 1001		GC,CS,CG	GC,CG	GP	-	-	-	-	-	-	-
			G5-F4-F2-R6-R5	G5-F2-R5	G2-R4-R3	R4	R4-R1	R3-R2	R4-R2	R3	R2	R2
	STN 73 6133		26-5-2	26-2	23	-	-	-	-	-	-	-
	STN 73 3050		3-5	3-5	5-6	5-6	5-6	5-6	6	6-7	7	7

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 ≤ 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 hornín.

2.2 Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia

V nasledujúcich podkapitolách charakterizujeme jednotlivé úseky diaľnice D1 podľa charakteristických stavebných objektov v tých častiach, kde dochádza k výraznejšiemu odklonu variantu V2 od variantu V1.

2.2.1 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 predchádzajúcej etapy podrobného prieskumu (časť A, Borovský et al., 2017) sme realizovali prieskumné vrty M-203-01 až M-203-06 a sondy dynamickej penetrácie DPS-203-01 až DPS-203-03A. Posun mosta 203 vo variante V2 oproti variantu V1 je cca 15 – 30 m severným smerom.

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 prímесou jemnozrnej 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 vo variante V1 – presné podklady pre variant V2 neboli k dispozícii).

Podložie kvartéru je budované čiastočne skrasovatenými a rozvoľnenými slienitými vápencami jaseninského súvrstvia (R1 – R2) s vložkami ílovitých bridlíc (R2 – R4). Kým na pravej strane údolia je skalné podložie v hĺbke až 30 m, na ľavej strane postupne vystupuje a vynára sa spod deluviálnych sutí až na povrch a vytvára výrazný skalný hrebienok medzi mostami 203 a 204. V mieste opory mosta na ľavom svahu úvaliny sa však podložie ešte stále nachádza v hĺbke asi 15 m.



Obrázok 11 Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.

Geotechnické parametre boli overené v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 sute rozličného zloženia. Deformačné parametre pre ílovité sute (F2/CG) dosahovali hodnoty v rozmedzí $E_{\text{def}} = 48,3 - 137,9$ MPa, v priemere 64,4 MPa, deformačné parametre pre prevažujúce ílovito-kamenité a balvanité sute (G5/GC, G2/GP) dosahovali hodnoty $E_{\text{def}} = 86,3 - 1111,2$ 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.

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 na betónové konštrukcie.

Územie nevykazuje známky nestability ani nie je predpoklad významného zhoršenia stabilitných pomerov počas realizácie prác. Vzhľadom na hlboko zaklesnutú hladinu podzemnej vody nepredpokladáme aktivizáciu svahových pohybov ani počas intenzívnych zrážok, samozrejme za dodržania technologickej disciplíny počas výstavby.

Opory mosta 203 je možné založiť hĺbkovo na veľkopriemerových pilótach votknutých do vrstvy stredne uľahnutých ílovito-kamenitých až kamenito-ílovitých deluviálnych sutí. Vhodné by bolo využiť plášťové trenie pilót, nakoľko päť pilóty nebude v západnej opore pravdepodobne možné z dôvodu veľkej hrúbky kvartérnych sedimentov oprieť o skalné podložie. Východná opora umožňuje opretie pilót o únosné skalné podložie. Obdobne zakladanie pilierov mosta predpokladáme hĺbkové na veľkopriemerových pilótach, 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. Alternatívne je možné realizovať tryskovú injeckciu podložných sutí na vytvorenie vhodnej základovej pôdy pre piliere mosta. Je potrebné upozorniť na zhoršenie vŕtateľnosti pilót, vzhľadom na výskyt veľkých balvanov až blokov vápencov v deluviálnej suti. V prípade realizácie presypaného mosta je základové prahy možno založiť plošne na prehutnenej vrstve deluviálnych sutí, resp. v prípade potreby je možné podložie prahov zlepšiť tryskovou injeckciou.

Príľahlé 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.

2.2.2 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 v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 vrtý J-56 až J-58 (Fussgänger, 2006), ďalej vrtmi S3/204/2P, S3/203/5L (Šamaj, 2010) a V-9 (Mihál' - Máťuš, 2001). Počas aktuálnej etapy pre variant V2 sme realizovali len jeden inklinometrický vrt NT-20 do hĺbky 36,0 m, ktorý by mal v prípade realizácie tohto variantu nahradiť dvojicu vrtov NT-01 (inklinometrický) a NT-02 (hydrogeologický), ktoré budú zlikvidované.



Obrázok 12 Pohľad na údolie Kamenného potoka v miestnej časti Záskanie.

Na obrázku 12 je pohľad na údolie Kamenného potoka. Skalný hrebeň s vyznačením dokumentačného bodu DB-16-16 (slienité vápence jaseninského súvrstvia) bude trasa diaľnice prekonávať zárezom medzi mostami 203 a 204 (ponad Kamenný potok).

Hrebienok je tvorený súvrstvom kalových slienitých vápencov jaseninského súvrstvia sivej farby, ktoré sú čiastočne prevrstvené zbridlčnatými ílovcami tmavosivej farby. Miestami je súvrstvie detailne prevrstvené, 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 bridlíc a tektonizované polohy majú pevnosť strednú až veľmi nízku R3 – R5.

Geotechnické parametre boli overené jednak laboratórnymi testami, ale aj skúškami in-situ. V predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 rozpučaný vápenec dosahovali $E_{\text{def}} = 956,8 - 1766,3$ MPa, v priemere 1455,8 MPa, deformačné parametre pre porušené husto rozpučané vápence dosiahli hodnoty $E_{\text{def}} = 43,8 - 322,5$ MPa, v priemere 183,15 MPa, čo zodpovedá kamenitej suti charakteru G5/GC až G2/GP. V aktuálnej etape prieskumu sme realizovali vo vrte NT-20 dilatometrické skúšky. Pre kompaktné lavicovité vápence sme zistili moduly $E_{\text{def}} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere 3900,00 MPa, pre rozpukanejšie a tektonicky viac porušené úlomkovité úseky masívu boli hodnoty modulov v rozsahu $E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05$ MPa, v priemere 650,00 MPa. Pridilatometrických skúškach boli dosiahnuté podstatne vyššie obory zaťaženia ako počas presiometrických skúšok.

Pokryv územia tvoria deluviálne sute premenlivej hrúbky, prevažne však charakteru sutí ílovito-kamenitých až kamenitých (G5/GC, G2/GP), menej sa vyskytujú sute kamenito-ílovitéresp. deluviálne íly (F2/CG). Hrúbka pokryvu je výrazná najmä na západných svahoch hrebienkasmerom do úvaliny (k mostu 203), kde dosahuje postupne až 17 m. Smerom k vrcholu sa hrúbka znižuje až lokálne delúvium úplne vyклиňuje 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 bola počas prieskumných prác zistená až v hĺbke 31,9 m pod terénom, tj. temer na úrovni Kamenného potoka. Horninový masív je na základe realizovaných vodnotlakových skúšok (Príloha 6.3) hodnotený ako veľmi priepustný, 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 výraznejších 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 a vôd z topenia snehu.

2.2.3 Úsek 1,850 – 2,000 most 204

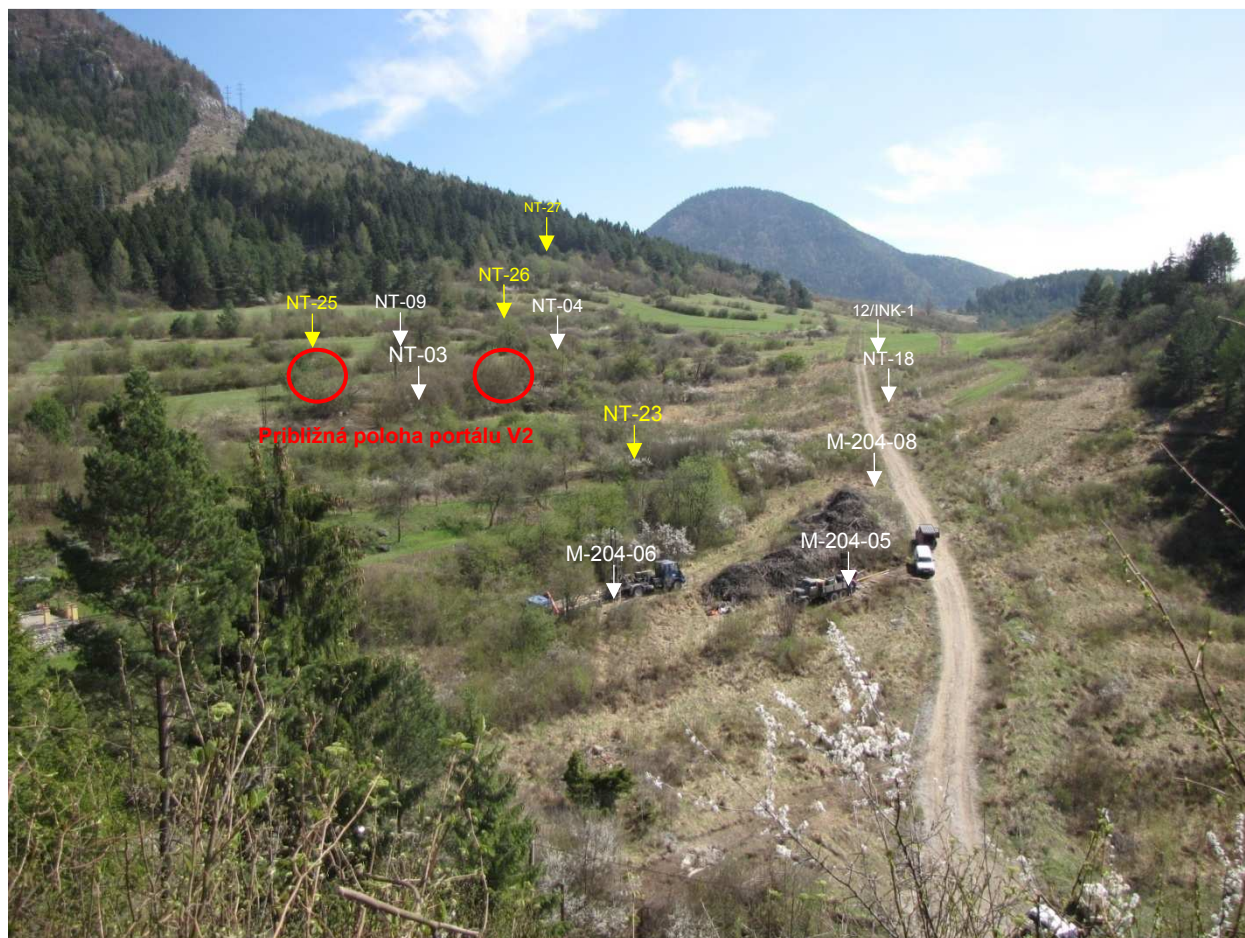
Plánovaný most 204 vo variante V2 preklenuje výrazné údolie Kamenného potoka, pričom priamo nadväzuje na predchádzajúci skalný zárez na pravom brehu potoka a končí v oblasti portálového zárezu tunela Čebrať na ľavobrežných svahoch údolia.

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 podrobnej etapy prieskumu (Borovský et al., 2017) boli realizované 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. Počas aktuálnej etapy prieskumných prác sme realizovali len geofyzikálne merania na profile GF-STRN a boli odvrtné dva hydrogeologické vrty NT-23 a NT-24. Vzhľadom na skutočnosť, že v čase spracovania predkladanej záverečnej správy nebola jasná definitívna koncepcia mosta 204 (konštrukcia mosta bude predmetom posudzovania vplyvov na životné prostredie EIA), upustili sme od realizácie plánovaných vrtov NT-05 a NT-22, ktoré navrhujeme doplniť až po definitívnom určení druhu mostnej konštrukcie.

Územie v trase mosta je na ľavom brehu Kamenného potoka pokryté mohutným prolúviálno-delúviálnym komplexom, ktorý v trase variantu V2 dosahuje hrúbku 5 – 20 m. Ide pravdepodobne o starý prolúviálno-delúviálny kužeľ, ktorý bol následne eróziou Kamenného potoka čiastočne zredukovaný. Zahĺbením koryta potoka došlo i k čiastočnej destabilizácii svahu a k rozvoju svahových pohybov. Rigidný vápencový hrebienok na západnej strane údolia však tvorí stabilizačný prvok, o ktorý sa celá akumulácia kvartérnych sedimentov opiera. Hrúbka komplexu sa postupne znižuje smerom proti prúdu Kamenného potoka (v línii potoka z 15 – 20 m v mieste južného pásu diaľnice po 5 – 12 m v mieste severného pásu diaľnice) ako aj smerom do východných svahov údolia. 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.



Obrázok 13 Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.
 V popredí mostík cez Kamenný potok.

Pravobrežný svah údolia predstavuje skalný hrebeň, opisovaný v predchádzajúcej podkapitole. V mieste zaviazania mosta 204 do tohoto 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 rozvolnené, rozblokové a čiastočne zvetrané (najmä tektonicky porušené partie masívu a bridličnaté polohy). Pevnosť hornín dosahuje triedu prevažne R2 – R3. Deformačné parametre overil prieskumný vrt NT-20 na vrchole hrebienka.

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. V predchádzajúcej etape prieskumných prác (Borovský et al., 2017) 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. V aktuálnej etape prieskumu sme doplnili sondy dynamickej penetrácie, ktoré overili charakter kvartérnych zemín. Na základe ich vyhodnotenia možno povedať, že zeminy sú prevažne stredne až veľmi uľahnuté, resp. sú pevnej až tuhej konzistencie. Z penetračných skúšokodvodené moduly deformácie pre ílovité sute (F6/CI, F2/CG) dosahujú hodnoty $E_{def} = 6,60 - 32,16$ MPa, v priemere 20,00 MPa, pre kamenité až balvanité sute (G5/GC, G4/GM, G2/GP) deformačný modul dosahuje hodnoty v rozsahu $E_{def} = 29,64 - 140,10$ MPa, v priemere 65,00MPa. Je potrebné uviesť, že sondy dynamickej penetrácie.

Hydrogeologické pomery v trase mosta sú komplikované a vyplývajú z vrstevnatého charakteru sedimentov, tj. proluviálno-deluviálneho kužela. 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 výnimkou úsekov, kde sa vyskytujú vápence. Hladina podzemnej vody v predchádzajúcich etapách prieskumu bola ustálená v hĺbkach 7,40 – 18,40 m p.t., teda na úrovni 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 konštatovať, že podzemné vody sú bez nebezpečenstva chemického pôsobenia na betón aj na oceľ. Z výsledkov meraní vodivosti však vyplýva veľmi vysoká agresivita na oceľ so stupňom koróznej agresivity IV, 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 vrto v trase mosta 204 charakterizované ako veľmi nízko až stredne agresívne na ocel so stupňom koróznej agresivity I. a II..

Pravobrežnú (západnú) oporu mosta 204 je možné založiť plošne na skalnom vápencovom podloží, ktoré je v prípade potreby možné zmonolitniť mikropilótami (preinjektovanie otvorených diskontinuit). Piliere mosta a východnú oporu je možné zakladať na veľkopriemerových pilótach alebo mikropilótach, ktoré budú opreté alebo votknuté do predkvartérneho podložia, tvorené vápencami (R2 – R1) resp. tektonicky porušenými ílovcami a siltovcami (R3 – R5). Alternatívne je možné realizovať tryskovú injektáž podložných sutí na vytvorenie vhodnej základovej pôdy pre piliere mosta. Počas realizácie stavebných jám je potrebné dbať na zabezpečenie svahov proti rozvoju svahových pohybov. Zároveň je potrebné zabezpečiť odvodnenie stavebných jám, nakoľko deluviálne zeminy sú náchylné na rozbreďanie.

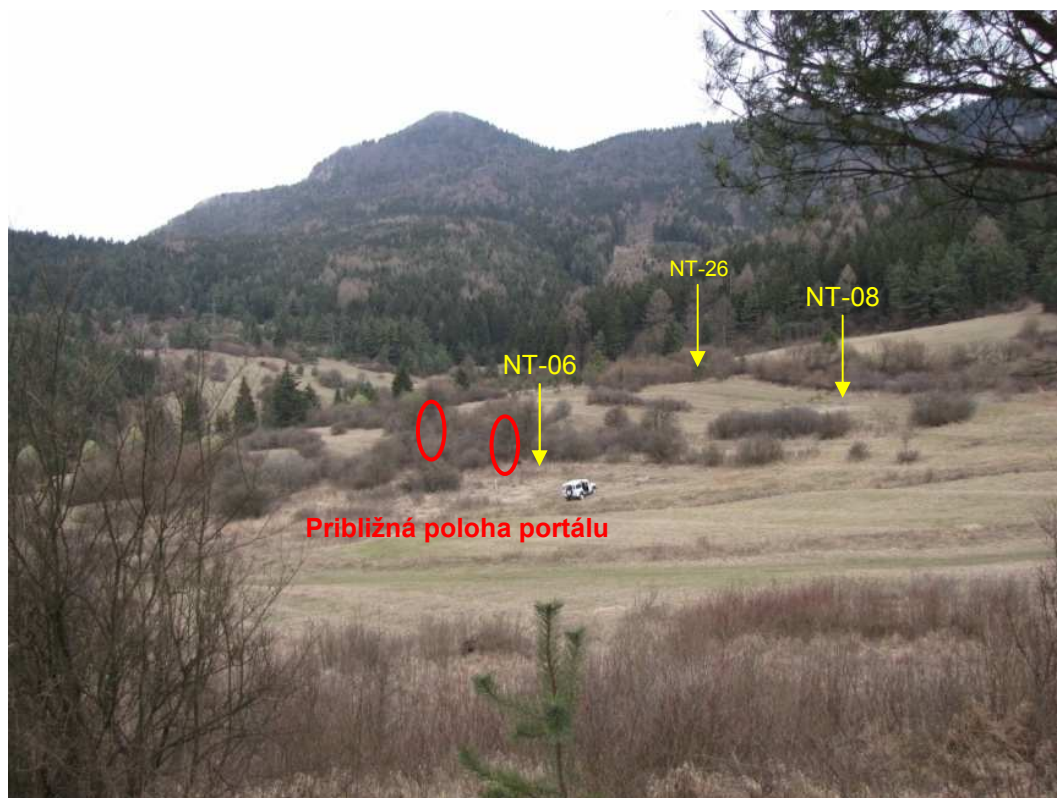
Priľahlé násypy mosta je potrebné vrstviť na zazubenej zemnej pláni po odstránení povrchovej humusovitej vrstvy, ktorá po vytvorení zazubenia bude zhutnená.

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. V prípade, že most 204 bude realizovaný ako presypaná konštrukcia, je potrebné pred realizáciou násypu vybudovať v jeho päte dva inklinometrické vrty resp. použiť horizontálny inklinometer na sledovanie sadania násypu a prípadnej aktivizácie svahových pohybov (po prítlačení pôvodného terénu). V prípade budovania betónového mosta je vhodné doplniť vrty pre presiometrické alebo dilatometrické skúšky pod piliere mosta v potrebnej polohe podľa pokynov projektanta mosta.

2.2.4 Portálový zárez v km 2,000 –2,061 a portál

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), podloží ktorých vystupujú jurské jaseninské vápence. 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.

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. Ďalšie prieskumné práce boli realizované pre variant V1 (Borovský et al., 2017), pričom šlo predovšetkým o 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. Počas aktuálneho prieskumu pre variant V2 boli realizované vrty NT-21, NT-23 až NT-27, ktoré boli doplnené sondami dynamickej penetrácie DPS-JTR-03, DPS-JTR-04, DPS-STR-03 až DPS-STR-08. V trase osi severnej vetvy diaľnice bol realizovaný geofyzikálny profil GF-STRN.



Obrázok 14 Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka

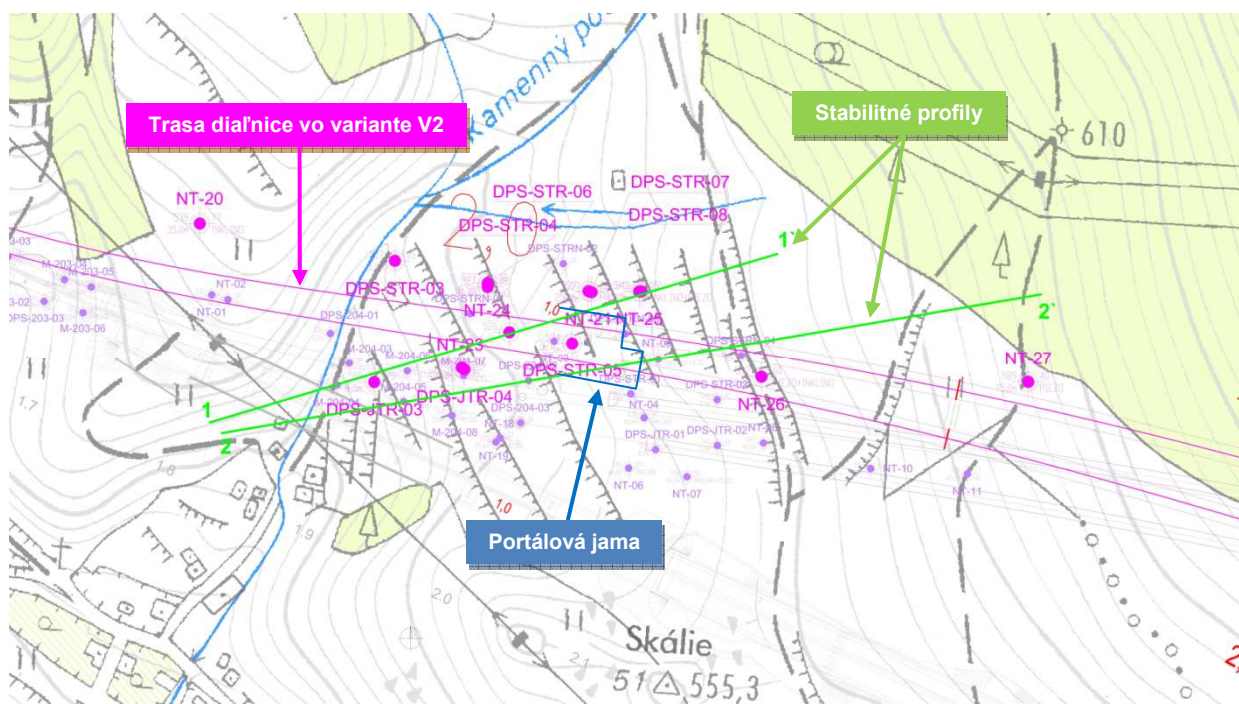
Pokryv územia tvoria deluviálno-proluviálne sedimenty, ktoré sa v rámci kvartérneho komplexu striedajú a nie je možné ich presne od seba odlíšiť. Celý kvartérny komplex radíme v oblasti portálového zárezu do zosuvného delúvia s nízkou aktivitou. Hrúbka delúvia je premenlivá. Generálne možno povedať, že hrúbka sa zväčšuje smerom ku dnu údolia Kamenného potoka, pričom v úseku od konca mosta 204 po portálovú stenu razeného portálu hrúbka dosahuje cca 11 - 13 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 vyklíňuje.

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).

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. Na základe vyhodnotenia dlhodobého monitoringu vrtu 12/INK-1 odhadujeme že najaktívnejšia zóna sa nachádza v hĺbke cca 4 m pod terénom, pričom doterajší celkový posun za celé sledované obdobie 2010 – 2017 v tejto úrovni je cca 10 mm s orientáciou na juhovýchod. Náznak šmykovej plochy je i v hĺbke cca 10,5 m. Z novozabudovaných vrtov v rámci tejto etapy prieskumu treba spomenúť vrt NT-26, kde sa po prvom kontrolnom meraní ukazuje možnosť hlbšej šmykovej plochy v hĺbke 17 m (už v rámci podložia) a plytšej plochy v hĺbke 6,5 m.

Pre overenie stability územia sme vykonali orientačný stabilitný výpočet v programe GEO5 na dvoch charakteristických rezoch. Na základe výsledkov výpočtu možno povedať, že územie v mieste portálu je v súčasnosti stabilné a to aj za použitia reziduálnych šmykových parametrov a vplyvu podzemnej vody. Pre zjednodušenie sme uvažovali, že celý kvartérny

komplex je tvorený deluviálnymi ílovitými suťami charakteru ílu štrkovitého až ílu piesčitého (F2/CG, F4/CS) – tj. v danom území najhoršími očakávanými zeminami. Hladina podzemnej vody bola vo výpočtoch uvažovaná cca 2 – 4 m pod terénom, čo predstavuje predpokladanú úroveň počas zrážkových anomálií. Pri uvažovaní reziduálnych šmykových parametroch (tabuľka 15), boli v schematických stabilitných profiloch 1 – 1' a 2 – 2' namodelované a optimalizované 3 šmykové plochy s priebehom v deluviálnych sutiach. Stupne bezpečnosti stanovené pre dané šmykové plochy boli v rozsahu $F = 1,23 - 1,36$. Podmienke $F_{min} > 1,30$ v zmysle STN 73 6101, nevyhovuje iba jedna šmyková plocha. Výpočtový model žiaľ zatiaľ nebolo možné kalibrovať výsledkami inklinometrických meraní, vzhľadom na momentálne prerušený geotechnický monitoring trasy diaľnice a krátku dobu monitorovania od zabudovania vrtov. Trasovanie stabilitných profilov je znázornené na obrázku 15.



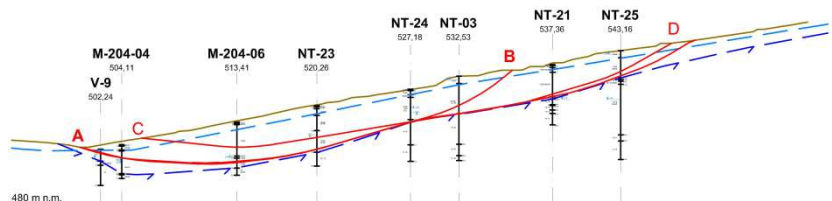
Obrázok 15 Situovanie stabilitných profilov v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2

Prehľad výsledkov výpočtov poskytuje nasledujúca tabuľka 17. Znázornenie priebehu namodelovaných šmykových plôch je zobrazené na obrázkoch 16 a 17. Po upresnení technického riešenia portálovej jamy a na základe vyhodnotenia dlhšie trvajúceho monitoringu stability svahov bude možné tento model aktualizovať a spresniť.

Tabuľka 17 Prehľad výsledkov orientačných stabilitných výpočtov v oblasti portálu

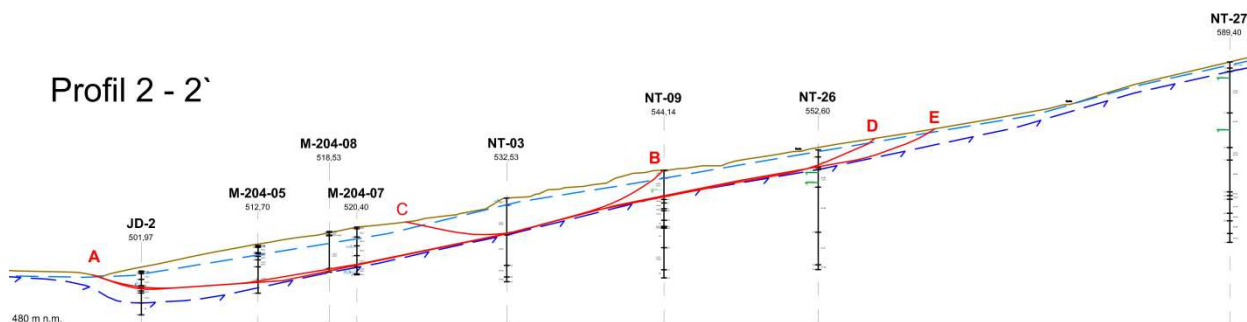
Profil	Označenie výpočtu v GEO 5	Šmyková plocha	Dĺžka šmykovej plochy	Výpočtová metóda s uvažovaním reziduálnych šmykových parametrov		
				Sarmas HPV /bez HPV	Spencers HPV /bez HPV	Priemer s HPV/bez HPV
Profil 1 - 1'	1	AB	188	1,35 / 2,04	1,35 / 2,04	1,35 / 2,04
	2	CD	227	1,36 / 2,04	1,36 / 2,04	1,36 / 2,04
	3	AD	265	1,32 / 1,99	1,34 / 2,06	1,33 / 2,03
Profil 2 - 2'	1	AB	247	1,32 / 1,98	1,32 / 1,99	1,32 / 1,98
	2	CD	202	1,23 / 1,82	1,31 / 2,01	1,27 / 1,91
	3	AE	361	1,33 / 1,98	1,35 / 2,06	1,34 / 2,02

Profil 1 - 1`



Obrázok 16 Stabilitný profil 1 – 1`

Profil 2 - 2`



Obrázok 17 Stabilitný profil 2 – 2`

Podložie pod kvartérnymi sedimentami je tvorené v oblasti portálového zárezu horninami križňanského príkrovu. Smerom zo západu (od línie Kamenného potoka) sa v podloží nachádzajú jurské vápence jaseninského súvrstvia, ktoré sa postupne ponárajú pod komplex ílovcov porubského súvrstvia. V oblasti portálu sa križuje niekoľko výrazných zlomových porúch a teda horniny sú prevažne viac či menej tektonicky porušené. Vápence sú prevažne vysokej pevnosti (R2), ale sú silne rozpukané a zvetrané. Ílovce sú prevažne strednej až nízkej pevnosti (R3 - R4). V komplexe ílovcov 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 križovaní niekoľkých tektonicky výrazných línií a s ohľadom na morfológické pomery v komplikovanej doline Váhu je podložie tektonicky značne porušené najmä medzivrstevnou tektonikou, ale 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/C1), alebo pevnosti nízkej až extrémne nízkej (R4 - R6). Na základe dokumentácie vrtov 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. Prípadne blokové pohyby bude možné dokumentovať po dlhšom sledovacom období pomocou zabudovaných hlbokých inklinometrických vrtov. V súčasnosti zatiaľ nie je možné jednoznačne definovať polohy potenciálnych bazálnych šmykových plôch v predkvartérnom komplexe.

Dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-25 a NT-26 boli overené deformačné parametre podložných hornín v rozličnom stupni porušenia. Vo vrte NT-25 boli 3 skúškami zastihnuté vápence, ktoré majú deformačný modul v rozsahu $E_{def} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere 3900,00 MPa. Ostatnými skúškami v uvedených vrtach boli otestované prevažne tektonicky porušené ílovce, ktoré mali hodnoty deformačného modulu v rozsahu $E_{def} = 10,46 - 261,05$ MPa, v priemere 140,00 MPa. Naopak, kompaktné málo porušené ílovce dosahovali modul pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 1765,48 - 3420,71$ MPa, v priemere $E_{def} = 2700,00$ MPa. Hodnoty deformačných modulov ako aj pevnosti horniny výrazne závisia na stupni

porušenia a zvetrania.

Celý kvartérny komplex je nasýtený podzemnou vodou, ktorá využíva na svoje prúdenie kamenitejšie polohy sutí a rozvoľnený podložný masív. V oblasti portálu vďaka striedaniu priepustnejších a nepriepustných vrstiev zemín vytvára napäté horizonty a v miestach, kde voda vyviera na povrch vznikajú zamokrené oblasti. Vzhľadom na použitú technológiu vŕtania nebolo možné pri všetkých vrtoch 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 sytená podzemnou vodou z vyššie položených partií svahu.

V prílohách 4.1 a 4.3 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:

- Po dobudovaní monitorovacej siete hydrogeologických vrtoch na sledovanie hladiny podzemnej vody je potrebné okamžite začať kontinuálne monitorovanie;
 - Svah stavebnej jamy portálu dosiahne výšku takmer 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 pilótovou stenou, pričom pilóty budú previazané v potrebných úrovniach kotvenými železobetónovými prahmi. V prípade, že nebude možné realizovať pilótovú 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 z dôvodu minimalizácie zásahov do svahu a zníženia rizika jeho nestability je možné realizovať razenie úvodných metrov tunela pod ochrannou klenbou tzv. korytnačky, v prípade severnej tunelovej rúry v úseku cca km 2,008 – 2,061. V prípade južnej tunelovej rúry približne v úseku 2,020 – 2,065;
 - V prípade potreby je možné doplniť monitorovaciu sieť pre sledovanie podpovrchových deformácií a následne je potrebné vykonávať inklinometrické merania na jestvujúcich i novozabudovaných inklinometrických vrtoch. 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 prívalových 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.
- Dĺžka a smer odvodňovacích vrtoch by mali byť navrhnuté tak, aby zabezpečovali len bezprostrednú stabilitu stavebnej jamy ale neovplyvňovali blízky vodný zdroj Stará**

Hrboltová ! Túto skutočnosť je potrebné počas vŕtania horizontálnych vrtov mať na zreteli a detailne sledovať v danom období prietoky na VZ, vodných tokoch a tiež úroveň hladiny vo vrtoch;

- 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 (po konzultácii so ŠOP);
- Orientáciu horninových kotiev je potrebné spresniť počas postupného odkopávania portálovej steny po prehodnotení geologických pomerov geológom;
- Počas vŕtania pilót (mikropilót) aj kotiev je potrebné sledovať režim vŕtania, aby koreň kotvy resp. báza mikropilóty nebola osadená v tektonicky porušenej zóne charakteru zeminy;
- Zážezy 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 zanášaniam organickým materiálom.
- Tubus hĺbenej časti tunela odporúčame v portálovej oblasti presypať a v okolí vysadiť hlbokokoreniace stromy pre zlepšenie stabilných 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 vyhlbenia 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 sute 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 lepší štrkopiesčitý (základový vankúš alebo geosyntetická doska).

2.2.5 Razený tunel Čebrať v km 2,061– 3,000

Trasa tunela Čebrať vo variante V2 je od pôvodne riešeného variantu V1 posunutá severným smerom cca 40 m v mieste západného portálu, pričom od tohoto miesta smerom na východ sa postupne trasa vracia do koridoru variantu V1 a v km cca 3,000 s ním splýva. Pri hodnotení trasy sme vychádzali z geofyzikálnych meraní a dvoch prieskumných štruktúrnych

vrto. Z hľadiska informácií je najvýraznejší 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, ako aj výsledky podrobného prieskumu pre tunel Čebrať vo variante V1 (Borovský et al., 2017). Počas aktuálneho prieskumu boli realizované vrty NT-26 a NT-27 a pozdĺžny geofyzikálny profil GF-STRN v osi severného diaľničného pásu. Os južnej tunelovej rúry sa len nepatrne líši od osi severnej tunelovej rúry pre variant V1, preto pre hodnotenie pomerov v južnej tunelovej rúre možno vychádzať plne z výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu pre variant V1 (Borovský et al., 2017), kde pozdĺžny geologicko-geotechnický profil bol vytvorený práve pre severnú tunelovú rúru.

Trasa tunela vchádza do masívu v mieste nového západného portálu, ktorý sa nachádza v lokálnej terénnej depresii na ľavobrežných svahoch údolia Kamenného potoka, severne od obce Hrboltová, miestnej časti Záskaľie, 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 lokálne údolie bezmenného potoka, kde sa napája na pôvodnú trasu variantu V1 a ďalej na východ je s ním totožná.

Trasa tunela prechádza horninovými komplexami križňanského príkrovu, pričom odseparované trosky nadložného chočského príkrovu (tvoriace výrazné terénne útvary) nezasahujú do nivelety tunela. Horninový masív je budovaný niekoľkými súvrstviami križňanského príkrovu, pričom sekvencia začína od porubského a párnického súvrstvia, pokračuje lučivnianskym, mráznickým a osnickým súvrstvím a čiastočne aj jaseninským súvrstvím. Vrstevný sled je v normálnej polohe. V hodnotenom úseku tunela však dominuje porubské a párnické súvrstvie, ktoré má flyšový charakter s dominanciou siltovcov a ílovcov, s menším podielom pieskovcov a vápencov. Orientácia vrstevnatosti celého komplexu je veľmi variabilná, generálne však súvrstvia upadajú smerom na sever a severovýchod, miestami je vrstevnatosť orientovaná až na juhovýchod, pričom sklon vrstiev je v priemere cca 15 – 30°. 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). Svahy na okraji pohoria sú postihnuté blokovými svahovými deformáciami a zosuvmi.

Tektonické pomery územia i celého okolia sú zložité, pretože sú podmienené príkrovovou stavbou s výrazným nasunutím chočskej tektonickej jednotky z JJV na SSZ vo viacerých fázach na križňanskú jednotku. Nerovnaká úroveň presunovej plochy 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 S – J 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 súvrství (v ílovcoch až slieňovcoch križňanského príkrovu). Charakteristickým rysom v tejto oblasti je výskyt tektonických duplexov, tj. zdvojenia (až strojenia) rovnakého vrstevného sledu v rámci určitej vrstevnej sekvencie (identifikované najmä v porubskom a párnickom súvrství).

Na základe výsledkov prieskumných prác možno konštatovať, že **geologicko-tektonické pomery v hodnotenej trase tunela sú zložité**. Horninový masív je tvorený horninami niekoľkých súvrství križňanského príkrovu. Sklon vrstevnatosti je všeobecne

relatívne mierny, v rozmedzí 10 - 35°, pričom však orientácia sklonu vrstiev značne varíruje vo vertikálnom i horizontálnom smere.

Na základe výsledkov prieskumných prác možno povedať, že tunel v úseku km 2,061 – 3,000 variantu V2 diaľnice D1, 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. Schematický geologicko-geotechnický rez GT-GT' trasou tunela Čebrať vo variante V2 v úseku km cca 2,000 – 3,000 je spracovaný v samostatnej grafickej prílohe 4.7. Od km 3,000 smerom na východ je trasa tunela vo variante V2 totožná s trasou variantu V1, preto platia výsledky publikované v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu pre variant V1 (Borovský et al., 2017) a je možné využiť pozdĺžny geologicko geotechnický profil z uvedeného prieskumu (Príloha 4.10 záverečnej správy).

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.

V úseku od km 2,061 po 2,148 bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia s prevládajúcim zastúpením ílovcov a siltovcov, s vysokým podielom tektonicky porušených hornín. Nadložie tunela bude dosahovať 8 – 22 m. Tento priportálový úsek bol overeným vrtní NT-25, NT-09 a NT-26. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 10 – 40° smerom na východ až severovýchod, smerom do hĺbky masívu (v úrovni tunelovej rúry) sa preklápa až na sever a sklon sa mierne zvyšuje až na 30 – 55°. 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 prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami, pričom sú prevažne zvetrané až navetrané. 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 resp. v jadrách neporušených blokov až zdravá, pomerne kompaktná, prevažne strednej pevnosti (R3). 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 diskontinuit. V úrovni tunelovej rúry budú najvýraznejšie systémy smeru SZ – JV so sklonom k SV aj JZ (protismerný systém s úklonom do údolia Váhu – možno podmieňuje vznik blokových svahových pohybov v celej oblasti Hrboltovej), a tiež systém S – J. Menej výrazný je systém Z – V so sklonom k S. Za systém porušenia tiež možno považovať smer vrstevnatosti, nakoľko najmä ílovcové polohy súvrstvia predstavujú predisponované šmykové plochy, po ktorých dochádzalo k medzivrstevným tektonickým pohybom počas vrásnenia a presunu príkrovov. 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-09, NT-26 a NT-25 a tiež laboratórnymi skúškami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 7,20 - 252,76 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 74,37 \text{ MPa}$, a to pri priemernom obore zaťaženia 0,6 – 1,3 MPa. Rozpukané ílovce v zónach v okolí zlomových porúch mali deformačné parametre v rozsahu $E_{\text{def}} = 335,49 - 1183,46 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 624,69 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 2,6 – 6,9 MPa. Menej sa vyskytujúce kompaktné a zdravé ílovce až siltovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 2478,35 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 4,6 – 12,6 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 hydrogeologických pomerov 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 výšky otvorených ťahových puklín, ktoré môžu predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemné vody v tomto úseku majú podľa prevzatých analýz podzemných vôd (Borovský et al. 2017) zvýšený obsah celkových rozpustených látok a sú slabo alkalické. Patria k dvom základným výrazným chemickým typom Ca-HCO_3 a Ca-Mg-HCO_3 . Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s vyšším kvantitatívnym účinkom uplatnili najmä rozpúšťanie karbonátov. Na základe poznatkov o izotopovom zložení vody ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -9,80 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}} = -70,61 \text{ ‰}$) možno potvrdiť predpokladaný meteorický (zrážkový) pôvod podzemnej vody (NT-08). Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -$

13,10 ‰) je veľmi podobné zloženiu vody v skupine zdrojov s vodou, ktorá sa formovala v prostredí dolomitov a vápencov hronika.

Podzemné vody z vrtov NT-08 a NT-10 sú svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na ocel' uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

V úseku od km 2,148 po cca 2,250 bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia, s prevládajúcim zastúpením zdravých ílovcov a siltovcov. Prostredie bude pravdepodobne menej tektonicky porušené ako predchádzajúci úsek. Nadložie tunela bude dosahovať 22 – 42 m. Vyčlenený úsek tunela bol čiastočne overeným prieskumným vrtom NT-26 a v predchádzajúcej etape prieskumu vrtmi NT-10 a NT-11, ako aj geofyzikálnymi prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 10 – 35° 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 ílovce a siltovce porubského súvrstvia, pričom budú dominantné skôr siltovce resp. kompaktné ílovce. Horniny sú prevažne doskovité až lavicovité, 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 zbídlíčnené, 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.

Deformačné parametre horninového masívu boli overené dilatometrickými skúškami vo vrte NT-26, ktorý je síce na okraji vyčleneného bloku ale deformačné parametre možno vzťahovať na celý hodnotený úsek na základe analógie. Kompaktné a zdravé ílovce až siltovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 2478,35 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 4,6 – 12,6 MPa. Laboratórne stanovené hodnoty pevnosti v prostom tlaku boli v rozsahu $\sigma_c = 27,91 - 54,60 \text{ MPa}$, čo zaraďuje horniny do nízkej až strednej triedy pevnosti (R2 – R3).

Z hydrogeologického hľadiska 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.

Meraním hladiny podzemnej vody (Príloha 10) vo vrte NT-11 bolo overené kolísanie hladiny podzemnej vody od 14,07 do 15,34 m pod terénom. Piezometrická výška (kóta hladiny) sa tak pohybovala od 561,43 až 562,70 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-11 medzi aprílom 2017 až septembrom 2017 bola 15,00 m pod terénom t.j. na kóte 561,77 m n.m.

Podľa predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová môže do tunelových rúr cez tektonické porušenie infiltrovať maximálne $4,8328 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a uvažovania hydraulického odporu ostenia tunela spôsobia teda 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 $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$ **može teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 % jeho kapacity za predpokladu, že sa nebudú realizované ochranné opatrenia.**

Účinnok zmierňujúcich opatrení v podobe **utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injekcie** bol simulovaný pomocou hydraulického modelovania (Príloha 9 a kapitola 2.3.4). Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 3 m a 6 m a pre stupeň utesňovania s koeficientom filtrácie $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Numerické modelovanie preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma s utesňovacími návrtní dĺžky 6 m a s dosiahnutím priepustnosti $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová resp. alternatívne eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom úseku na sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$.** Utesňovanie musí byť však úplne, t.j. kruhové, v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Podzemná voda v tomto vyčlenenom úseku podľa vzorky vody z vrtu NT-11 má strednú mineralizáciu a je slabo alkalická. Podľa genetickej klasifikácie patrí k vodám petrogénnym s karbonátogénnou mineralizáciou základného výrazného Ca-Mg-HCO₃ chemického typu, ktorá sa formovala aj v prostredí dolomitov a vápencov. Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s vyšším kvantitatívnym účinkom uplatnilo najmä rozpúšťanie karbonátov. Na základe izotopového zloženia možno jednoznačne potvrdiť meteorický (zrážkový) pôvod podzemnej vody NT-11. Napriek tomu, že voda bola zachytená v zóne rozvoľnenia ílovcov, brekcií porubského súvrstvia, radí sa k skupine podzemných vôd, ktoré sa formovali v prostredí vápencov a dolomitov hronika. To nasvedčuje faktu, že obehovými cestami podzemných vôd sú v tomto prostredí prevažne tektonicky porušené zóny.

Podzemná voda z vrtu NT-11 je svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón.** Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavuje podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S.cm}^{-1}$ prostredie **s veľmi vysokou agresivitou na ocel'** uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

V úseku od km 2,250 po cca 2,360 predpokladáme, že tunel bude pretínať pásmo niekoľkých tektonických zlomových porúch. Oblasť bola overovaná prieskumným vrtom NT-27

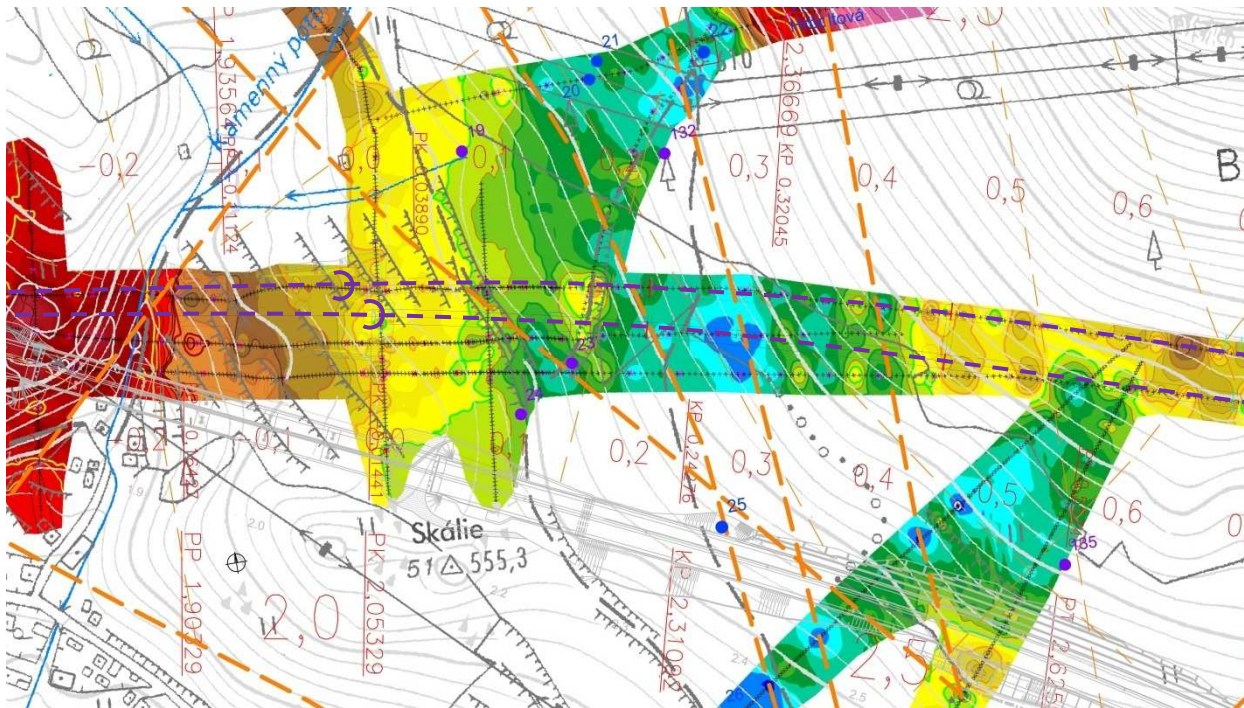
a v predchádzajúcej etape prieskumu aj vrtom NT-11. Na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní (viď obrázok 18) budú mať zlomové línie približne smer S – J (SZ – JV až SV – JZ) a budú sprevádzané viac porušeným horninovým masívom vo svojom okolí. Vzhľadom na blízkosť bázy trosky chočského príkrovu na sever od trasy tunela, očakávame, že tektonické línie budú saturované podzemnou vodou z uvedeného komplexu. Nadložie tunela bude dosahovať 40 – 80 m. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 10 – 35° smerom na sever až severovýchod, pričom pod úrovňou nivelety sa vrstevnatosť stáča až na severozápad. Len miestami v rámci tektonických porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená a zrotovaná (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy). Horniny tvoriace masív sú prevažne tektonicky čiastočne porušené medzivrstevnými prešmykmi, pevnosti strednej až nízkej (R3 - R4) alebo v zlomových zónach úplne podrvené, charakteru ílovitej brekcie (R5, G5/GC). V miestach zlomových porúch sú horniny zbridičnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Sú zvyčajne tenkodoskovité až lavicovité. Hornina tvorí pozvoľné prechody medzi ílovcami a siltovcami resp. až pieskovecami. Častá je rytmická sedimentácia a gradačné zvrstvenie hlavne siltovcových a pieskovcových lamín a dosiek. Horniny sú prevažne zdravé, s čiastočne otvorenými puklinami. 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;
- Pn** – pieskovec navetraný.

Geotechnické parametre boli otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-27, NT-26 a samozrejme boli využité aj archívne výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu (NT-10) a laboratórneskúšky. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce v zlomových poruchách mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 10,46 - 450,64 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 205,85 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 1,25 – 2,79 MPa. Mimo týchto zón nadobúda rozpučaný horninový masív ílovcov hodnoty modulov pretvárnosti $E_{def} = 412,60 - 1168,20 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 755,19 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 3,32 – 8,57 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). Pevnosť pieskovcov resp. vápencov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2). Tieto horniny ale nebudú v tomto úseku dominantné.

Z hydrogeologického hľadiska predstavuje úsek prostredie, kde budú tunelové rúry prechádzať niekoľkými výraznými zlomovými líniami generálne severojužného smeru. Masív bude v okolí porúch hustejšie rozpučaný a pravdepodobne čiastočne otvorený, čo dokumentuje priebeh meraných tlakov v dvojúrovňovom piezometri vo vrte NT-27. Vzhľadom na blízkosť vodného zdroja Stará Hrboltová a bázu komplexu hornín chočského príkrovu môžeme očakávať, že v tektonicky porušených zónach bude dochádzať ku prúdeniu podzemnej vody z vysokopriepustného prostredia triasových chočských dolomitov do prostredia podložných kriedových hornín. Horninové prostredie slabo porušených až zdravých hornín možno podľa výsledkov vodnotlakových skúšok vo vrte NT-27 (Príloha 6.3) s priemernou priepustnosťou vyjadrenou koeficientom filtrácie $k_f = 1,843 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ hodnotiť ako **slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti VI**. Upozorňujeme, že priepustnosť porušených hornín môže byť na základe analógie testovaného prostredia v portálovej oblasti rádo vyššia.

Meraním pórového tlaku v horninovom prostredí (Príloha 10) vo vrte NT-12 bola odvodená hladina podzemnej vody v rozsahu 85,11 až 87,18 m pod terénom, čo predstavuje piezometrickú výšku (kóta hladiny) 552,85 až 554,92 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-12 medzi februárom 2017 až septembrom 2017 bola 86,28 m pod terénom t.j. na kóte 553,75 m n.m.



Obrázok 18 Plošná mapa merných elektrických odporov z výsledkov geofyzikálnych povrchových meraní a schematická interpretácia tektonických porúch v okolí západného portálu tunela Čebrať. Trasa diaľnice je vyznačená fialovou prerušovanou čiarou.

Chemické zloženie podzemných vôd v tomto vyčlenenom bloku bolo overené vzorkou podzemnej vody z vrtu NT-27 a v predchádzajúcom prieskume vzoriek vody z vrtu NT-11.

Podzemná voda z vrtu NT-11 patrí k stredne mineralizovaným slabo alkalickým vodám. Na základe chemického zloženia má základný výrazný Ca-Mg-HCO₃, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A₂ zložka. Podzemná voda podľa z vrtu NT-27 podľa chemického zloženia je základného výrazného A₁ chemického typu, v kationovej oblasti prevládajú ióny Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, menej SO₄²⁻, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A1 zložka 74,21 c.z%.

Podzemné vody z vrtov NT-11 a NT-27 sú svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad 430 μS.cm⁻¹ **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na ocel' uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

Počas razenia tunela odporúčame overiť chemické zloženie podzemnej vody vzorkou vody z prítoku do tunela a overiť jej korozívne vlastnosti.

V úseku od km 2,360 po cca 3,050 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 80 – 135 m. Vyčlenený úsek tunela nebol v tejto etape overeným prieskumným vrtom, vzhľadom na minimálny posun medzi trasami variantu V1 a V2 však vychádzame z vyhodnotenia prieskumných vrtov NT-12 a NT-13 z predchádzajúcej etapy (Borovský et al., 2017) a z archívnych geofyzikálnych meraní.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 15 – 35° smerom na severovýchod až sever, pričom horninový komplex je zvrásnený, preto dochádza k zmene orientácie vrstevnatosti v laterálnom i vertikálnom smere. V úsekoch zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená. Najvýraznejšie interpretované zlomové poruchy sa nachádzajú ku koncu úseku, približne od km 2,800. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä ílovce, siltovce až slieňovce porubského a lučivnianskeho súvrstvia. Horniny majú prevažne doskovitú až lavicovitú vrstevnatosť, prípadne až hrubolavicovitú až masívnu vrstevnatosť, 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 zbridlčnené, 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 potoka Hrboltová. 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 potoka Hrboltová 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 vybieha smerom 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 medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV 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

vd'aka 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, zvlínené 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. v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 $E_{\text{def}} = 4124 - 12\,727 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 9041 \text{ MPa}$ pri obore zaťaženia 5,11 – 24,53 MPa. Odvodená priemerná hodnota modulu pretvárnosti pre rozsah zaťaženia 0,76 – 6,02 MPa je $E_{\text{def}} = 2093 \text{ MPa}$. Pevnosť ílovcov a siltovcov 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 až pieskovcov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2). Výsledky skúšok pevnosti v prostom tlaku ílovcov a siltovcov predstavovali zúžený rozsah hodnôt $\sigma_c = 16,94 - 65,46 \text{ MPa}$, v priemere 48,30 MPa.

Hydrogeologické pomery úseku sú podmienené geologickou a tektonickou stavbou, kde budú tunelové rúry prechádzať pomerne kompaktným masívom, len lokálne porušenými zlomovými tektonickými poruchami. Prítoky podzemnej vody možno očakávať najmä v úsekoch s tektonickým porušením (tektonických zónach). Podľa výsledkov predchádzajúceho prieskumu (Borovský et al. 2017) možno porušené horninové prostredie vo vrte NT-13 s priemernou priepustnosťou $k_f = 1,613 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ hodnotiť ako **dost' slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti V**.

Meraním hladiny podzemnej vody (Príloha 10) vo vrte NT-13 kolísala hladina podzemnej vody od 20,89 do 35,44 m pod terénom. Piezometrická výška (kóta hladiny) sa tak pohybovala od 620,46 až 635,01 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-13 medzi aprílom 2017 až septembrom 2017 bola 30,66 m pod terénom t.j. na kóte 625,24 m n.m.

Podzemná voda v tomto vyčlenenom bloku podľa vzorky vody z vrtu NT-13 patrí k stredne mineralizovaným s vysokou alkalickou reakciou. Podľa genetickej klasifikácie patrí k vodám prechodného silikátovo-sulfidogénneho podtypu základného nevýrazného Na-Mg-SO₄ typu chemického typu. Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s rôznou intenzitou uplatnil najmä proces hydrolytického rozkladu silikátových minerálov a iónovýmenné procesy, ktoré sú typické pre nehomogénne prostredie zastúpené karbonatickými aj silikátovými minerálmi. Vychádzajúc z izotopového zloženia vodíka a kyslíka vodu z vrtu NT-13 možno jednoznačne zaradiť k vodám zrážkového pôvodu. Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -17,20 \text{ ‰}$) je systematicky odlišné od ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} \sim 13,5 \text{ ‰}$) vôd hronika na sledovanom území. Odráža zložité hydrogeochemické (acidobázické, oxidačno-redukčné) deje prebiehajúce počas interakcie voda - hornina.

Podzemná voda z vrtu NT-13 je svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami ako je zvýšená hodnota reakcie vody pH = 9,69 (stredná agresivita so stupňom II) a najmä podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ predstavuje podzemná voda **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na oceľ uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov podľa STN EN 03 8372 je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

Na základe výsledkov prieskumných prác a po prehodnotení predchádzajúcich výsledkov v tomto úseku možno povedať, že hlavným **geologickým rizikom v celom úseku tunela**, ktorý sme hodnotili, je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložíom a v úsekoch s výraznejším tektonickým porušením, heterogenita vlastností litologických typov hornín (vápence, pieskovce a siltovce versus ílovce), ako aj vysoká citlivosť tektonicky porušených ílovitých hornín na styk s vodou.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi do tunelovej rúry okrem úsekov v zlomových poruchách. 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). Zároveň tieto zóny budú privádzať podzemnú vodu z nadložnej trosky vápencovo-dolomitického komplexu chočského príkrovu. Očakávaný sumárny prítok podzemnej vody do tunelovej rúry z celého úseku razeného od západného portálu počas razenia je $Q = 10 - 12 \text{ l.s}^{-1}$, pričom objem závisí najmä od intenzity zrážok v danej oblasti a na narazení na prípadný otvorený puklinový systém.

Na základe mineralogických a RTG analýz ílovcov a ílov horninových komplexov, realizovaných v predchádzajúcej etape prieskumu vo vyčlenenom bloku, možno konštatovať, že horniny ani tektonické íly neobsahujú významný podiel smektitov, tj. napúčavých minerálov.

Celkovo možno rizikové faktory z hľadiska budovania tunela v variante V2 v prostredí s prevahou ílovcových hornín krížňanského príkrovu (porubské súvrstvie a mráznické súvrstvie) charakterizovať nasledovne:

- degradácia geotechnických parametrov horniny až na úroveň zemín v dôsledku intenzívneho tektonického porušenia a v priportálovom úseku aj zvetrania 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;
- 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 variante V2 v úseku, kde sa trasa významnejšie líši od variantu V1, odporúčame aplikovať nasledovné opatrenia:

- zabezpečenie stability klenby tunela vhodnými technickými a technologickými opatreniami (mikropilóťový dáždnik,), najmä v priportálovom úseku a v zónach s výrazným tektonickým porušením, kde bude vhodné aplikovať aj protiklenbu;
- zabezpečenie stability portálovej steny a svahov zárezu stavebnej jamy;

- zredukovanie prítokov podzemnej vody do tunelovej rúry pomocou vhodných technických opatrení – vytvorenie vhodnej hydroizolácie. Vzhľadom k požiadavke na minimalizáciu drenážnych účinkov tunela na horninový masív je potrebné aplikovať v miestach sústredených prítokov podzemnej vody tesniace opatrenia vo forme chemickej injektáže. Na základe výsledkov matematického modelovania je potrebné dosiahnuť technickými opatreniami (injektážou) priepustnosť v oblasti tektonických porúch v rozsahu 10^{-7} až 10^{-8} m.s⁻¹;
- V priortálovom úseku realizovať úpravu povrchových vodných tokov do dláždených korýt 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.

2.3 Hydrogeologické pomery územia

Pri charakterizovaní hydrogeologických pomerov v okolí posunutej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová (variant V2) vychádzame z výsledkov predchádzajúcich prieskumov, výskumov a štúdií, ale najmä z aktuálne realizovaných prieskumných diel a geofyzikálnych meraní, realizovaných hydrodynamických skúšok, ako aj z výsledkov laboratórnych analýz podzemných a povrchových vôd. Hydrogeologické pomery trasy diaľnice sú zhodnotené podľa charakteristických úsekov.

V aluviálnej nive Váhu patria podzemné vody v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do útvaru **Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Váhu a jeho prítokov S. časti oblasti povodia Váh (kód útvaru SK 1000500P)**. Kolektorskými zeminami sú v uvedenej oblasti štrky korytovej fácie výplne alúvia rieky Váh a jeho prítokov. Tento útvar nebude výstavbou diaľnice v hodnotenom úseku vôbec ovplyvnený.

Podzemné vody v trase tunela Čebrať patria v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do **útvaru podzemných vôd s dominantnými krasovo-puklinovými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váhu (kód útvaru SK 200270KF)**. Kolektorskými horninami v útvare sú vápence a dolomity s krasovo-puklinovou priepustnosťou a ílovce, siltovce a slieňovce s puklinovou priepustnosťou. Vzhľadom na fakt, že tunel nebude fyzicky realizovaný vo vápencovo-dolomitovom komplexe hornín hronika (chočského príkrovu) a s prihliadnutím na pomerne mohutnú "izolačnú" vrstvu flyšového komplexu hornín veporika (krížňanského príkrovu), **nepredpokladáme výrazné ovplyvnenie tohoto útvaru podzemných vôd**. V prostredí flyšových a karbonatických súvrství veporika bude mať realizácia tunela drenážny účinok, ktorý vzhľadom na celkovú malú priepustnosť hornín krížňanského príkrovu bude ale malého dosahu a bude navyše cielene potláčaný navrhovanými opatreniami počas razenia. Vplyv razenia tunela bude počas výstavby aj po jej skončení monitorovaný systémom pozorovacích vrtov a merných prepádov, prípadne meracích zariadení na vodných zdrojoch.

2.3.1 Úsek diaľnice v km 1,500 – 2,000

Nová trasa diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v tomto úseku vedie prakticky v identickom koridore ako pôvodná trasa diaľnice resp. ako variant diaľnice V1, pričom k postupnému odklonu dochádza od začiatku hodnoteného úseku a v mieste nového portálu tunela Čebrať (V2) je odklon najväčší. 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 fluválne a deluviálne sedimenty kvartéru, antropogénne navážky a podložné horniny mezozoika.

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

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

Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v realizovaných vrtoch v trase diaľnice v predchádzajúcich etapách prieskumov mimo tunela počas prieskumu je uvedený v tabuľke 18.

Tabuľka 18 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		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 Škvrité vápence doskovité, miestami tektonicky porušené, prestúpené puklinami
230-02 491,72	12,0	0,88	11.4.2016	-	-	0,0 – 1,9 m Deluviálny íl s úlomkami 1,9 – 8,5 m Polygenetická suť (fluválno-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	0,73	12.4.2016	6,80 490,23	-	0,0 – 0,8 m Deluviálny íl piesčity s úlomkami 0,8 – 1,3 m Polygenetický íl stredne plastický s úlomkami 1,3 – 2,1 m Fluviálny štrk ílovitý 2,1 – 15,0 m Súvrstvie ílovcov a slieňovcov s polohami vápencov
231-03 496,42	15,0	-	11.4.2016	4,80 slzenie 491,62	6,34 490,08	0,0 – 0,5 m Deluviálny silt piesčity s úlomkami 0,5 – 4,5 m Polygenetická suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,5 – 15,0 m Škvrité slienité vápence, do 7,0 m zvetrané, hlbšie navetrané až zdravé
M-203-01 511,99	18,0	-	13.4.2016	11,5 slzenie 500,49	-	0,0 – 13,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 13,3 – 16,6 m Fluviálny 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 Fluviálny piesok siltovitý, od 14,0 m štrk s prímiesou jemnozrnnej zeminy
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 jemnozrnnej 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 jemnozrnnej 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 slzenie 497,02	-	0,0 – 18,7 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 18,7 – 20,0 m Fluviálny piesok s prímiesou jemnozrnnej zeminy

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
M-204-03 506,36	17,0	-	14.4.2016	5,50 500,86 Slzenie 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 slienité, 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 slienitých 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 slienité, silne tektonicky porušené

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

Počas aktuálneho prieskumu bol realizovaný len jeden vrt NT-20 na hrebeni medzi mostami 203 a 204, v ktorom hladina podzemnej vody bola zaklesnutá do hĺbky 34,5 m, tj. až do rozvolneného skalného podložia. Priepustnosť rozvolnenej časti horninového masívu tenkodoskovitých až doskovitých vápencov jaseninského súvrstvia na hrebeni medzi mostnými objektmi 203 a 204 je pomerne vysoká. Z výsledkov vodnotlakových skúšok (príloha 6.3) vo vrte NT-20 boli vypočítané priemerné hodnoty koeficienta filtrácie skúšobných úsekov v rozsahu $k_f = 2,284 \cdot 10^{-5}$ až $1,097 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, čo predstavuje podľa klasifikácie priepustností hornín (Jetel, 1982) **mierne priepustné až dosť silno priepustné prostredie s triedou priepustnosti IV až III.**

Chemické zloženie podzemných vôd a ich vlastnosti boli hodnotené na základe chemickej analýzy vzoriek vody z vrtov M-204-04, M-204-06 a M-204-07 hodnotených v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Podzemné vody boli podľa chemickej klasifikácie (Gazda, 1971) základného výrazného A_2 chemického typu. Podľa celkovej mineralizácie boli stredne mineralizované ($471 - 517 \text{ mg.l}^{-1}$), podľa reakcie vody patrili k slabo alkalickým ($\text{pH} = 7,6 - 7,7$) a celkovou tvrdosťou patrili k vodám dosť tvrdým v rozsahu celkovej tvrdosti od $4,44 - 5,52 \text{ mmol.l}^{-1}$. Vzorky podzemnej vody analyzované v predchádzajúcom prieskume boli podľa ich chemického zloženia **bez nebezpečenstva korózie a porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia vody na betón.** Vzorky vôd z vrtov M-204-04, M-204-06, M-204-07 predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – merná elektrická vodivosť nad $430 \mu\text{S.cm}^{-1}$ - **vysoko agresívne prostredie so stupňom IV., kedy je potrebné chrániť kovové materiály zosilnenou izoláciou.**

2.3.2 Oblasť západného portálu tunela Čebrať vo variante V2

Oblasť portálového zárezu sa nachádza 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 sútí 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. Počas výstavby tunelového portálu bude nutné znížiť tlak podzemnej vody v týchto sutiach zo stabilitných dôvodov.

V podloží kvartérnych zemín sa nachádzajú tektonicky porušené alebo kompaktné polohy mezozoických ílovcov s preplástkami pieskovcov (porubské súvrstvie), pričom smerom na západ (k toku Kamenného potoka) sa spod ílovcového komplexu vynára vápencový komplex jaseninského súvrstvia. Vďaka gravitačnej tektonike a blokovým pohybom je prostredie čiastočne otvorené pre prúdenie podzemnej vody. Z hľadiska hydrogeologického predstavujú mezozoické horniny porubského a mráznického súvrstvia relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi, naopak, jaseninské súvrstvie slienitých vápencov má pomerne vysokú priepustnosť a pôsobí ako drén. Lokálne sa v komplexe ílovcov vyskytujú predisponované cesty prúdenia vôd, najmä v miestach tektonického porušenia a v miestach s vyšším podielom rozpukaných pieskovcov.

Priepustnosť rozvoľnenej a porušenej časti ílovcového komplexu hornín v oblasti západného portálu bola overovaná vodnotlakovými skúškami na vrte NT-25 ako aj vodnotlakovými skúškami v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Z výsledkov vodnotlakových skúšok (príloha 6.3) vo vrte NT-25 boli vypočítané priemerné hodnoty koeficienta filtrácie skúšobných úsekov v porušenom horninovom prostredí v rozsahu $k_f = 9,470 \cdot 10^{-6}$ až $1,167 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. V predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017) boli pre porušené horniny overené hodnoty koeficienta filtrácie vodnotlakovými skúškami vo vrtoch NT-04, NT-06 a NT-09 v rozsahu $k_f = 3,749 \cdot 10^{-6}$ až $1,787 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Hodnotenú prostredie podľa klasifikácie priepustností hornín (Jetel, 1982) možno charakterizovať ako **dost' slabo priepustné až mierne priepustné prostredie s triedou priepustnosti V až IV**.

Menej porušené horninové prostredie bolo podľa výsledkov vodnotlakových skúšok v archívnych vrtoch NT-04 a NT-07 s vypočítanými hodnotami koeficienta filtrácie $k_f = 2,646 \cdot 10^{-7}$ a $4,192 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ **slabo priepustné s triedou priepustnosti VI**.

V dôsledku geologickej stavby a najmä tektonického porušenia hornín sa v horninovom prostredí striedajú priepustnejšie a menej priepustné časti súvrstvia. Vytvárajú sa tak viaceré zvodené kolektory s viacerými úrovňami hladiny podzemnej vody. Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v novo realizovaných vrtoch a v archívnych vrtoch je spracovaný v tabuľke 19.

Tabuľka 19 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v realizovaných vrtoch v oblasti západného portálu vo variante V2

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-21 537,36	25,0	0,70	11.5.2017	14,50 522,86	11,80 525,56	0,0 – 0,4 m Deluviálny silt až íl piesčitý 0,4 – 1,2 m Polygenetický íl s prímiesou piesčitej frakcie 1,2 – 3,2 m Suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 3,2 – 13,3 m Zosuvné delúvium charakteru sute kamenito-ílovitej, lokálne s prechodmi do ílovito-kamenitej 13,3 – 14,3 m Prechodová zóna, mix zóna, čiastočne prehlietene silno zvetrané ílovce s laminami pieskovca, s občasnými úlomkami karbonátov 14,3 – 25,0 m Podložné súvrstvie ílovcov, siltovcov a pieskovcov
NT-23 520,26	25,0	0,54	10. - 12. 5.2017	10,70 sizenie 509,56 12,30 507,96	12,14 508,12	0,0 – 0,5 m Deluviálny silt až íl strednej plasticity 0,5 – 1,2 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 1,2 – 4,0 m Deluviálno-proluviálna suť kamenito-ílovitá. 4,0 – 10,3 m Deluviálno-proluviálna suť kamenito-ílovitá až miestami ílovito-kamenitá 10,3 – 19,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá. 19,3 – 25,0 m Vápenec – pravdepodobne už podložie

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-24 527,08	30,0	0,81	24.- 25. 5.2017	7,90 519,18	9,70 517,38	0,0 – 0,6 m Deluviálna suť až hĺbka s úlomkami 0,6 – 2,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá 2,3 – 3,4 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 3,4 – 12,6 m Proluviálna suť kamenito-ílovitá až íl s úlomkami 12,6 – 23,1 m Pravdepodobne tektonicky porušené súvrstvie vápencov a ílovcov 23,1 – 30,0 m Súvrstvie doskovitých vápencov
NT-25 543,15	45,0	-	8.8.2017	-	I. 8,32 I. 534,83	0,0 – 3,0 m Deluviálna suť kamenito-siltovitá až ílovitá 3,0 – 11,2 m Zosuvné delúvium?, char. suť kamenito-ílovitej 11,2 – 12,0 m Šupinatý ílovec, silno zvetraný 12,0 – 12,7 m Poloha pieskovca s laminami ílovca 12,7 – 14,0 m Značne tektonicky porušený ílovec 14,0 – 35,0 m Súvrstvie siltovca s laminami pieskovca 35,0 – 37,5 m Silno tektonicky porušené zbrídlčnené siltovce 37,5 – 45,2 m Súvrstvie vápencov s ojedinelými preplástkami siltovca
Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd vo vrtoch z predchádzajúceho prieskumu						
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, nepravdepodobne rozlobovaných 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 tenkodokovité, 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec s preplástkami pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
NT-18 523,83	25,0	0,67	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 sriedajú 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 Ílovec s laminami tmavosivého vápna
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 Fluvialný íl piesčitý 3,0 – 5,8 m Fluvialný štrk s prímiesou jemnozrnnéj zeminy 5,8 – 11,0 m Vápence zdravé až navetrané

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

Hladina podzemnej vody v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2 bola v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu sledovaná vo vrtoch s otvoreným systémom merania NT-21, NT-23 a NT-24. V uzavretom piezometri vrtu NT-25 boli sledované hodnoty pórového tlaku v spodnej úrovni podloží hornín. Základné štatistické

údaje meraní hladiny podzemnej vody odvodené z meraní pórového tlaku a meraní teploty prostredia v uzavretých piezometroch vo vybraných vrtoch s uvedením sledovaného obdobia jespracované v tabuľke 20 spolu s meraním hladiny podzemnej vody vo vrtoch s otvoreným systémom merania.

Tabuľka 20 Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodené hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkyv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	
Ovodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku v piezometroch s uzavretým systémom merania							
NT-25 PZ1 (13.9 – 26.9.2017)	38,348	504,8,02	40,549	502,601	39,044	504,106	2,201
Hladina podzemnej vody v piezometroch s otvoreným systémom merania							
NT-21 (22.8 – 11.9.2017)	13,363	523,997	13,623	523,737	13,509	523,851	0,26
NT-23 (22.8 – 11.9.2017)	11,424	508,986	11,582	508,828	11,526	508,884	0,158
NT-24 (22.8 – 11.9.2017)	10,492	516,638	10,657	516,473	10,604	516,526	0,165

Chemické zloženie podzemných vôd a ich vlastnosti v oblasti západného portálu boli hodnotené na základe chemickej analýzy vzoriek vody z vrtov NT-21, NT-23 a NT-24 ako aj vzoriek vôd hodnotených v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Podzemné vody boli podľa chemickej klasifikácie (Gazda, 1971) základného výrazného A₂ chemického typu. Podľa celkovej mineralizácie boli stredne mineralizované (370 – 519 mg.l⁻¹), podľa reakcie vody patrili k slabo alkalickým (pH = 7,44 – 7,55) a celkovou tvrdosťou patrili k vodám dosť tvrdým v rozsahu celkovej tvrdosti od 4,40 – 5,64 mmo.l⁻¹.z.

Tabuľka 21 Prehľad stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností podzemných vôd na ocel' podľa STN 03 8372 (tab. 1 a tab. 2 hodnotiacej normy) a na betón podľa STN EN 206-1/NA

Zdroj	merná elektrická vodivosť	pH	Mg	NH ₄	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ +Cl ⁻	agresívny CO ₂ na železo / Hayer	agresivita prostredia na železo - stupeň agresivity STN 03 8372 (tabuľka1)	agresivita prostredia na železo - stupeň agresivity STN 03 8372 (tabuľka2)	agresivita prostredia na betón - stupeň agresivity STN EN 206-1/NA
	μS.cm ⁻¹		mg.l ⁻¹		mg.dm ⁻³ / mg.l ⁻¹					
NT-21	581	7,44	23,1	0,12	32,0	38,74	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-23	554	7,46	21,9	0,21	21,0	26,32	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-24	432	7,55	18,7	0,22	29,0	35,74	0 / 21,56	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	slabo agresívne chemické prostredie stupeň XA1
NT-27	620	8,79	5,59	1,49	33,2	<35,2	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	stredná II. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-30	997	7,97	13,6	110	112,7	44,04	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody

Analyzované vzorky vody z vrtov NT-21 a NT-23 boli podľa ich chemického zloženia **bez nebezpečenstva korózie a porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia vody na betón**. Vzorka podzemnej vody odobratá z vrtu NT-24 predstavuje pre analyzovaný obsah agresívneho CO₂ = 21,56 mg.l⁻¹ stavený Heyerovou skúškou **slabo agresívne chemické prostredie na betón s uhličitou agresivitou so stupňom XA1**. Všetky analyzované vzorky

vody predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – merná elektrická vodivosť nad $430 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabuľka 21) - **vysoko agresívne prostredie so stupňom IV., kedy je potrebné chrániť kovové materiály zosilnenou izoláciou.**

2.3.3 Úsek novej trasy tunela Čebrať vo variante V2

Nová trasa tunela Čebrať vo variante V2 prechádza južným okrajom masívu Radičiná a približne v km 3,000 splyva s pôvodným variantom V1, ktorý bol podrobne hodnotený v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017). Hydrogeologické pomery hodnotenej oblasti sú z hľadiska geologickej stavby len mierne komplikované.

V masíve Radičiná 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 karbonátov, ktoré v danej oblasti predstavuje komplex ílovcov, siltovcov a slieňovcov porubského a lučivnianskeho súvrstvia veporika (krížňanského príkrovu) a vyvierajú ako vrstvové 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 a komunikáciu medzi oboma tektonickými jednotkami (hronikom a veporikom) zohráva tektonika a hustá sieť puklín viazaná na zóny tektonického porušenia. Odkrytá plocha strednotriasových dolomitov a vápencov hronika, ktoré sa nachádzajú na vrcholovej pozícii nad málo priepustným podložíom tvoreným zväčša ílovcami a siltovcami resp. slieňovcami lučivnianskeho a porubského súvrstvia veporika, predstavuje menšiu časť plochy hodnotenej oblasti.

Horninové prostredie je odvodňované množstvom zostupných prameňov na uvedenom litologickom (tektonickom) 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-vrstvovým charakterom. Prirodzené vývery a pramene v hodnotenej hydrogeologickej štruktúre boli detailne zdokumentované v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017).

V trase tunela nebolo možné počas prieskumných prác spoľahlivo zistiť narazenú hladinu vzhľadom na použitú technológiu vŕtania Wireline s vodným výplachom. Ustálenú hladinu podzemnej vody je možné zistiť iba vo vrtoch vystrojených otvoreným piezometrom a s dostatočným časovým odstupom od ich zabudovania, aby bolo možné odfiltrovať vplyvy vodného výplachu počas vrtných prác. Tlak podzemnej vody je možné sledovať uzatvorenými meracími systémami. Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v realizovaných archívnych vrtoch v trase tunela v hodnotenom úseku spolu so stručnou geologickou charakteristikou je uvedený v tabuľke 22.

Hladina podzemnej vody v novej trase tunela Čebrať vo variante V2 bola v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu sledovaná vo vrtoch s otvoreným systémom merania NT-11, NT-13, NT-15 a NT-30. V jednoúrovňovom uzavretom piezometri NT-12 boli sledované hodnoty pórového tlaku v spodnej úrovni podložných hornín. Merania pórového tlaku boli v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu vo vrtoch s uzavretým systémom merania s dvojúrovňovým pozorovaním v archívnych vrtoch NT-14, NT-16, NT-17 a novo vybudovaných vrtoch NT-26 a NT-27.

Tabuľka 22 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-26 552,60	50,0	-	22.8.2017 až 11.9.2017	-	9,47 (PZ-1)* 543,13 13,63 (PZ-2)* 538,97	0,0 – 7,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 7,4 – 50,0 m ílovce a siltovce s preplástkami pieskovcov, lokálne silne tektonicky porušené
NT-27 589,40	75,0	-	21.7.2017 až 21.9.2017	Počas vrtania preliv	6,73 (PZ-1)* 582,67 28,43 (PZ-2)* 560,97	0,0 – 4,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,0 – 75,0 m ílovce s preplástkami siltovcov a pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd vo vrtoch z predchádzajúceho prieskumu						
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 vápenca, hlbšie ílovce málo porušené.
NT-13 655,87	145,0	1,00	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

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

* odvodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku - priemerná hodnota

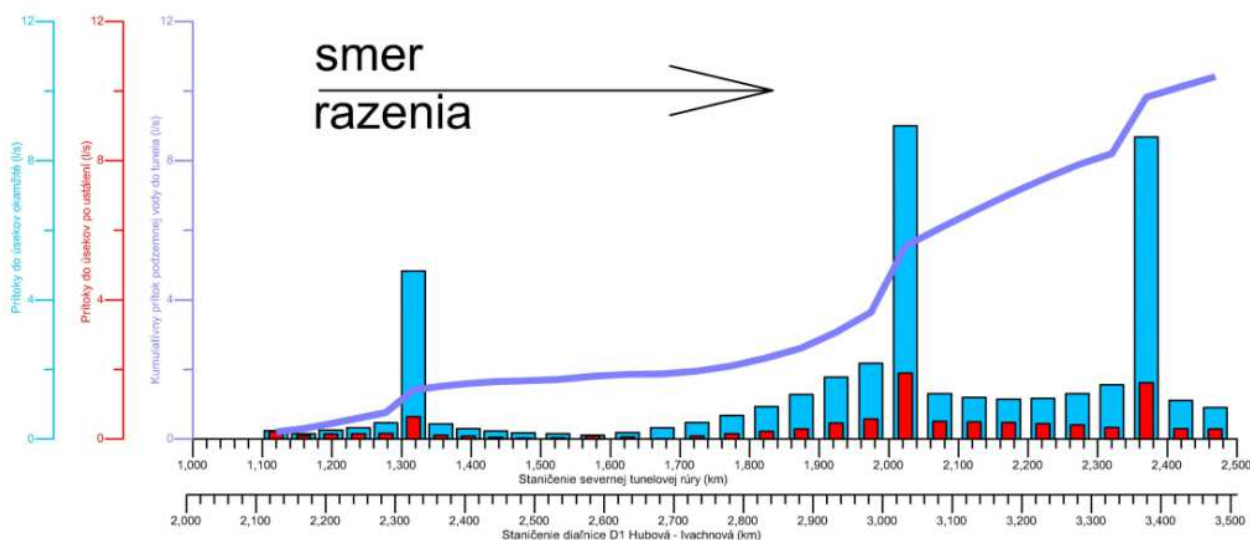
Základné štatistické údaje meraní hladiny podzemnej vody odvodené z meraní pórového tlaku a meraní teploty prostredia v uzavretých piezometroch vo vybraných vrtoch s uvedením sledovaného obdobia je spracované v tabuľke 23 spolu s meraním hladiny podzemnej vody vo vrtoch s otvoreným systémom merania.

Tabuľka 23 Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodené hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkyv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m]
Ovodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku v piezometroch s uzavretým systémom merania							
NT-12 (02 – 09.2017)	85,112	554,728	87,177	552,663	86,627	553,213	2,065
NT-14-PZ1 (02 – 09.2017)	13,720	668,62	14,401	667,939	14,068	668,272	0,681
NT-14-PZ2 (02 – 09.2017)	82,456	599,884	83,197	599,143	82,920	599,42	0,741
NT-16-PZ1 (03 – 09.2017)	15,534	751,786	19,081	748,239	17,803	749,517	3,546
NT-16-PZ2 (03 – 09.2017)	160,697	606,623	194,381	572,939	188,199	579,121	33,684
NT-17-PZ1 (02 – 09.2017)	28,511	768,419	29,124	767,806	28,179	768,751	0,613
NT-17-PZ2 (02 – 09.2017)	190,352	606,578	204,173	592,757	198,992	597,938	13,821
NT-26-PZ1 (08 – 09.2017)	9,442	543,158	9,531	543,069	9,471	543,129	0,089
NT-26-PZ2 (08 – 09.2017)	13,294	539,306	13,804	538,796	13,627	538,973	0,510
NT-27-PZ1 (07 – 09.2017)	6,418	582,982	6,984	582,416	6,759	582,641	0,566
NT-27-PZ2 (07. – 09.2017)	28,319	561,081	28,898	560,502	28,554	560,846	0,580
Hladina podzemnej vody v piezometroch s otvoreným systémom merania							
NT-11 (04. – 09.2017)	14,069	562,701	15,337	561,433	14,999	561,771	1,269
NT-13 (04. – 09.2017)	20,891	635,119	35,439	620,571	30,662	625,348	14,547

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkyv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	
NT-15 (03. – 09.2017)	123,952	625,928	133,645	616,235	128,185	621,695	9,693
NT-30 (06. – 09.2017)	174,317	566,463	174,847	565,933	174,552	566,228	0,53

Na obrázku 19 je znázornený predpokladaný prítok podzemných vôd do tunelových rúr počas razenia. Zo západného portálu sa predpokladá raziť cca 1400 m tunela, pričom sumárny kumulatívny odtok z oboch tunelových rúr podľa matematického modelu bude po ustálení na západnom portáli činiť cca 10,41 l/s bez započítania utesňovacích opatrení na zmiernenie vplyvu drenáže tunela.



Obrázok 19 Očakávané prítoky do tunelovej rúry (**okamžité** a **po ustálení**) a graf **kumulatívneho odtoku** z oboch tunelových rúr pri razení od západného portálu tunela Čebrať

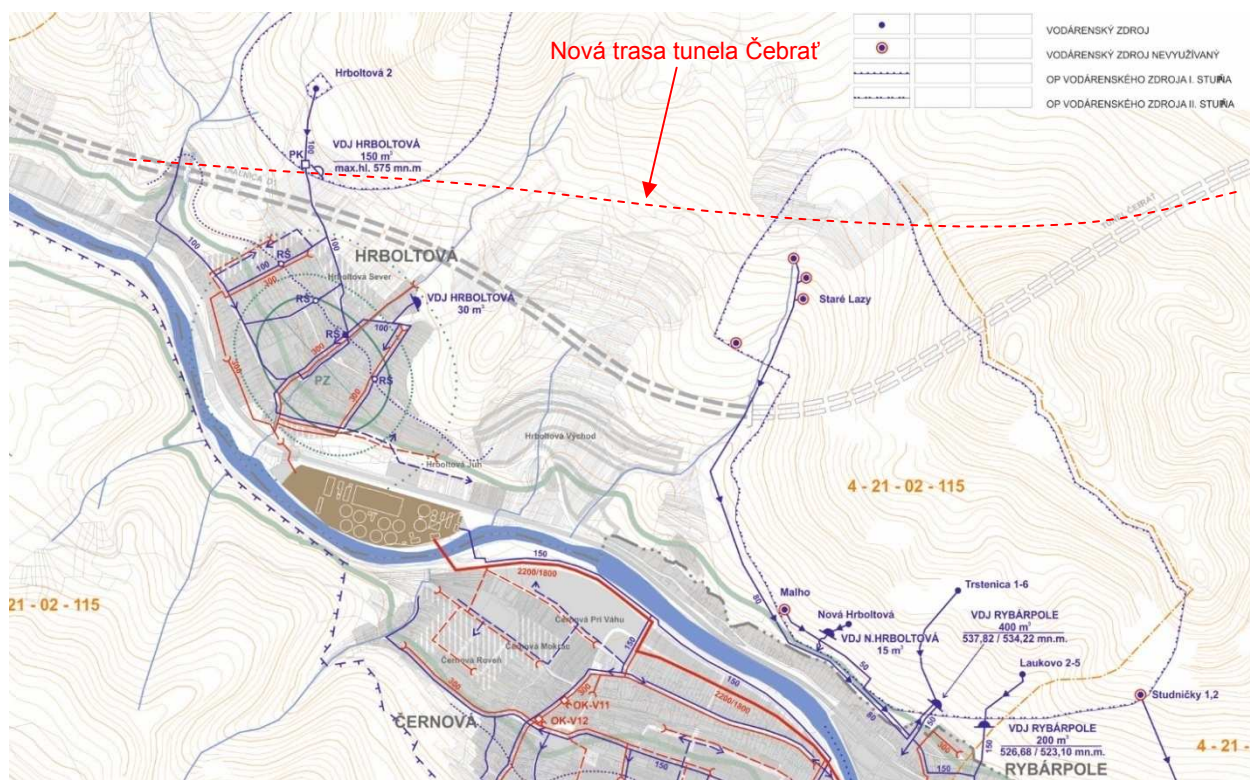
2.3.4 Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje a okolité vodné toky

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.

V nadväznosti na už realizované modelovacie práce a realizovanú vodnú bilanciou oblasti boli prehodnotené vplyvy razenia tunela Čebrať na okolité vodné zdroje, pričom špeciálne sme sa zamerali na vodný zdroj Stará Hrboltová a vodný zdroj Staré Lazy. Zároveň v oblasti týchto vodných zdrojov boli realizované doplnkové geofyzikálne merania na spresnenie lokálnej geologickej stavby.

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), Trstenica (62) a Studničky. Prehľadná situácia ochranných pásiem (z územného plánu mesta Ružomberok) je na obrázku 20. Podľa územno-plánovacej dokumentácie sú využívanými vodárenskými zdrojmi Stará Hrboltová (v územnoplánovacej dokumentácii označený ako Hrboltová 2), zo skupiny vodných zdrojov hydrogeologickej štruktúry Čebrať 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.



Obrázok 20 Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok
(Výkres riešenia verejného technického vybavenia – vodné hospodárstvo)

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

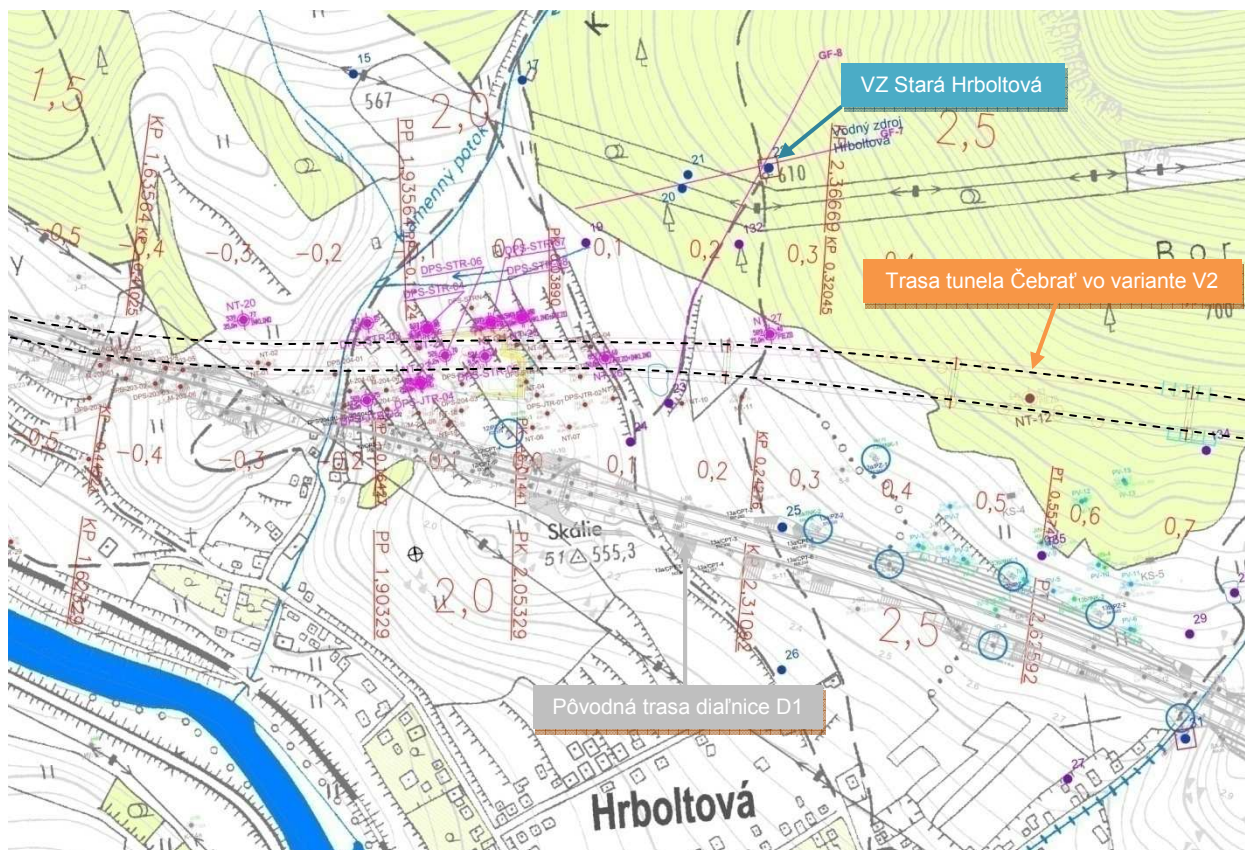
Vodárenský zdroj Stará Hrboltová tvorí záchyt dvoch prameňov vo svahu na kontakte karbonátov hronika a málo priepustného súvrstvia ílovcov a slieňovcov porubského súvrstvia veporika. Vodný zdroj Stará Hrboltová je situovaný len cca 200 m od severnej tunelovej rúry v nadmorskej výške 618,47 m n. Ide o vodárensky využívaný vodný zdroj, ktorým je obec Hrboltová zásobovaná pitnou vodou na ľudskú spotrebu. Geologické pomery v oblasti vodného zdroja boli overované v tejto etape dvojicou geofyzikálnych profilov GF-7 a GF-8, na základe vyhodnotenia ktorých bol skonštruovaný inžinierskogeologický rez 5 – 5` (Príloha 4.5). Pozícia vodného zdroja voči trase tunela je znázornená na obrázku 21.

Z interpretácie geologický pomerov vyplýva, že vo vodnom zdroj sú zachytené dva pramene, vyvierajúce na kontakte trosky hornín chočského príkrovu (hronikum) s podložným ílovcovým komplexom hornín krížňanského príkrovu (veporikum), pričom podzemná voda ďalej preteká skryte do mohutného sutinového komplexu, prekrywajúceho uvedený kontakt. Báza karbonatického komplexu hronika sa javí uklonená smerom cca na sever (tj. do svahu), v mieste kontaktu s nepriepustným podložím teda vzniká prelivová hrana.

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 22 a tabuľka 24).

Kedže tento vodný zdroj sa nachádza najbližšie k trase tunela, odporúčame pre jeho ochranu **aplikovať počas razenia zmierňujúce opatrenia**, najmä cielené **utesňovanie**

sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej inekťáže. Inekťáž by sa mala realizovať systematicky (tj. každý zistený výver) v úseku od západného portálu po km cca 2,500. Účinnosť inekťáže je potrebné overovať terénymi meraniami vo vrtoch (monitoring hladín a 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.



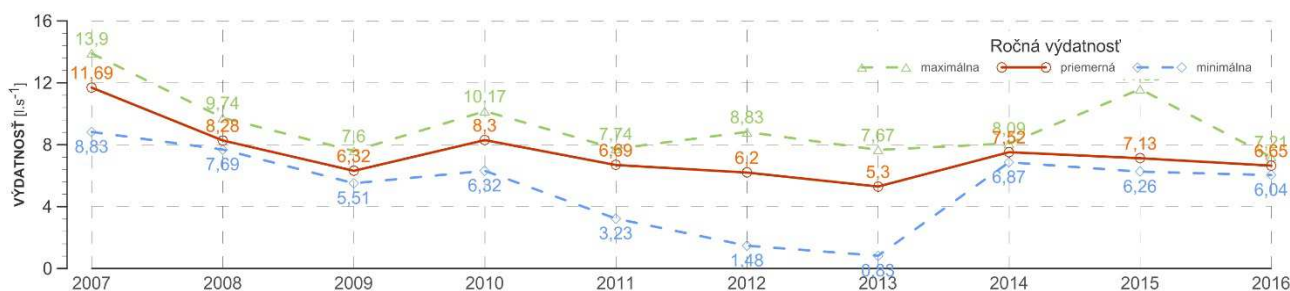
Obrázok 21 Situovanie vodného zdroja Stará Hrboltová vo vzťahu k pozícii tunela a realizovaným geofyzikálnym profilom

Podľa predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová v **súčasných 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 teda 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 **môže teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %**. Upozorňujeme, že ide o teoretický úbytok výdatnosti vodného zdroja, nakoľko modelové riešenie nezapočítavalo opatrenia na ochranu podzemných vôd (hydroizolácia, chemická inekťáž) ani hydraulický odpor na ostení tunela.

Ovplyvnenie výdatnosti vodného zdroja o max. 57% jeho kapacity teda predpokladáme

len v prípade, že nebudú realizované ochranné opatrenia.



Obrázok 22 Ročná sumárna výdatnosť prameňa 1 a 2 vodárenského zdroja Hrboltová (Stará Hrboltová)

Tabuľka 24 Ročné výdatnosti prameňov 1 a 2 vodného zdroja Stará Hrboltová za roky 2007 – 2016

ROK	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[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
Priemer	11,69	8,28	6,32	8,30	6,69	6,20	5,30	7,52	7,13	6,65

Účinnokzmiernujúcich opatrení v podobe utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injektáže bol simulovaný pomocou hydraulického modelovania. Výsledkom numerického modelovania bola prognóza zmien hladiny podzemnej vody, prognóza prítoku podzemnej vody do dvojrúrovňového diaľničného tunela Čebrať v jeho rizikovom a znepriepustňovanom - utesňovaní úseku modelovaného zlomu č.1 resp. tektonicky porušeným pásmom, ktorý uvažujeme za rizikový úsek, a tiež prognóza vplyvu razenia tunela na blízky vodárenský zdroj Stará Hrboltová. Utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku sa simulovalo variantne, tj. v prvom prípade iba pre hornú, stropnú časť tunelových rúr a v druhej variante tiež pre hornú i dolnú časť tunelových rúr - úplne kruhové utesňovanie tunelových rúr. Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 3 m a 6 m a pre stupeň utesňovanie s koeficientom filtrácie $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Riešenie modelu bolo vykonávané v dvoch alternatívach s rôznym zadaním okrajových podmienok.

Alternatíva 1 vyjadruje stav malých prítokov, kde do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy. Simuluje zrážky a zároveň príslušný plošný prítok bol do stropu zlomov. Tentoprítok bol vypočítaný z predpísaných hladín podzemnej vody pri zadanej priepustnosti masívu sumárne $6,56 \text{ l.s}^{-1}$. V Alternatíve vyjadrujúcej stav malých prítokov sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo z hodnoty poklesu hladiny podzemnej vody pri utesňovaní tunelov v rizikovom mieste.

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej Alternatíve 1 preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrtmi dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová**, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov. Utesňovanie musí byť však úplne, tj. kruhové, v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie poklesu hladiny podzemnej vody pomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 1 nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Alternatíva 2 vyjadruje stav veľkých prítokov do tunelových rúr, kdedo stropu

medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy (ako v Alt.1) a zároveň do stropu zlomov bola zadávaná okrajová podmienka 1. druhu $H = \text{konštanta}$. Na strope zlomov sa tak udržiava počiatočná kóta hladiny podzemnej vody a v prípade drénovania podzemných vôd tunelmi sa bude udržiavať jej rovnaká úroveň zväčšovaním prítoku podzemnej vody z nadložia. V tejto alternatíve vyjadrujúcej stav veľkých prítokov sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo z hodnoty prítoku podzemnej vody do tunelov pri ich utesňovaní v rizikovom mieste.

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej Alternatíve 2 preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrhmi dĺžky 6 m a s injecktážou dosiahnutou priepustnosťou $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ temer úplne eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom úseku** zlomového pásma č.1, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov, **na sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$** . Utesňovanie však musí byť úplne, t.j. kruhové, v hornej i v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie výrazného poklesu sumárneho prítoku podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom mieste pomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 2 nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Medzi vodným zdrojom a novou trasou tunela Čebrať bol realizovaný vrt NT-27 zabudovaný s dvojúrovňovým meraním pórového tlaku. Podľa geologickej dokumentácie vrtu, v podloží kvartérnych hornín neboli zachytené karbonáty chočského príkrovu (hronikum). Celý profil vrtu bol hĺbený v ílovcovom komplexe hornín krížňanského príkrovu (veporikum). V hĺbke 18,0 bol dokumentovaný prítok podzemnej vody, počas krátkeho obdobia vŕtania s nepatrným prelivom. Zaujímavým je tiež **odlišný chemizmus podzemnej vody vo vrte NT-27** nielen od ostatných vzoriek vôd z vrtov portálovej oblasti ale aj **chemizmu vody z vodného zdroja Stará Hrboltová**.

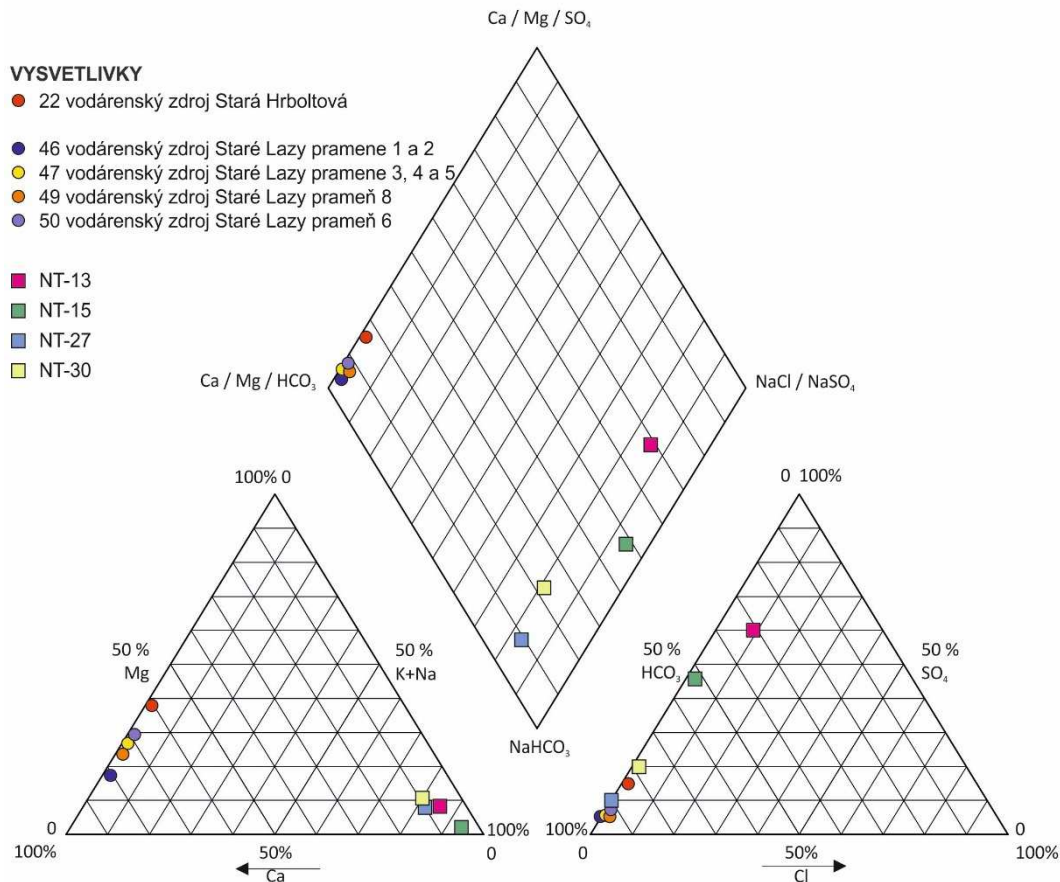
Podzemná voda z vodného zdroja Stará Hrboltová (Borovský et al. 2017) podľa chemického typu je základného výrazného Ca-Mg-HCO_3 typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , menej SO_4^{2-} (obrázok 23), medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A2 zložka 79,97 c.z%, charakterizačný koeficient $r_{\text{Mg/rCa}}$ bol 0,63. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty K_c , K_d a pre sadrovec K_s . Podľa empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda **presýtená voči kalcitu a je nasýtená dolomitom** (obrázok 24). 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, prevažne dolomitov chočského príkrovu**.

Izotopové zloženie kyslíka a vodíka vody ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -10,50 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}} = -71,70 \text{ ‰}$) svedčí o jednoznačne zrážkovom pôvode podzemnej vody. Voda prítomná v tomto zdroji patrí medzi izotopicky najľahšie vody. Vysoká prítomnosť ľahkých izotopov vodíka a kyslíka svedčí buď o väčšej nadmorskej výške infiltračnej oblasti zdroja, alebo o zvýšenom podiele zimných zrážok v tejto fáze režimu.

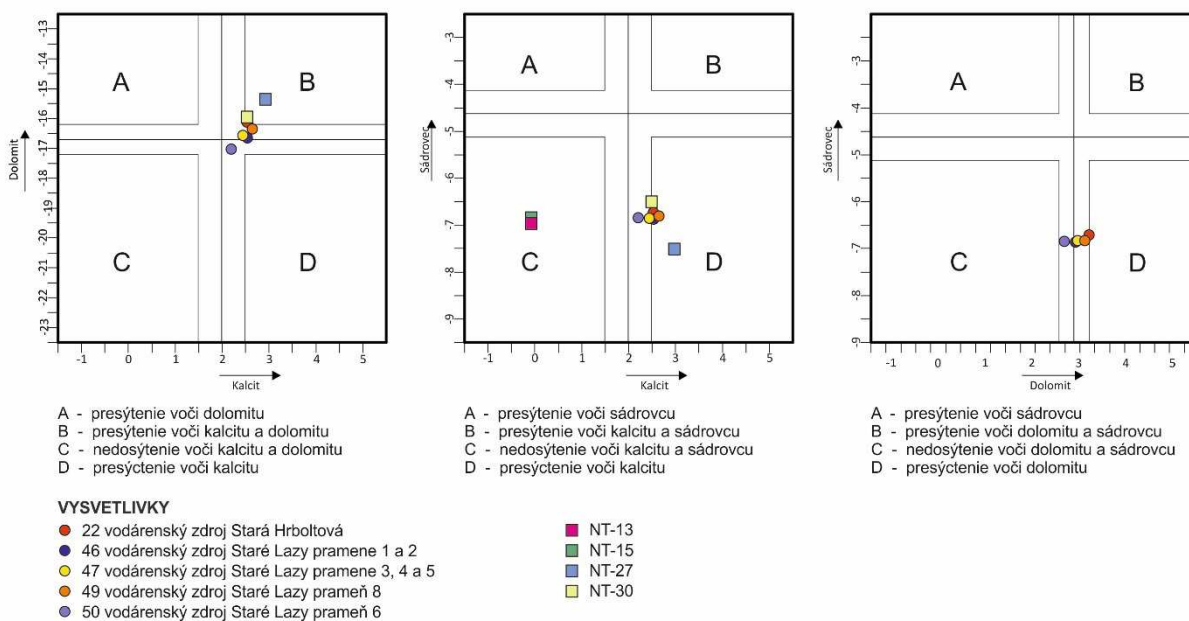
Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, alebo $\delta^{13}\text{C}_{\text{TIC}} = -10,23 \text{ ‰}$) tohto prameňa je odlišné od ostatných prameňov ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ od 12,29 ‰ do 14,72 ‰) a svedčí o rozdielnom stupni / charaktere interakcie s horninami prostredia.

Izotopové zloženie síry síranu ($\delta^{34}\text{S} = 4,80 \text{ ‰}$) odpovedá priemernému izotopovému zloženiu síry síranu snehových zrážok na Slovensku, (Malík et al. 1997, 2000) uvádzajú pre 23

vzoriek snehu z celého územia Slovenska hodnoty od $\delta^{34}\text{S} = 4,0 \text{ ‰}$ do $\delta^{34}\text{S} = 6,4 \text{ ‰}$. Prakticky identický síran len v menšej koncentrácii je prítomný vo vode zdroja, blízky je síran prítomný vo vode vrtu NT-08, ktorý má obohatený kyslík.



Obrázok 23 Systematizačný graf chemizmu podzemných vôd – porovnanie vodných zdrojov a vrtov v trase tunela



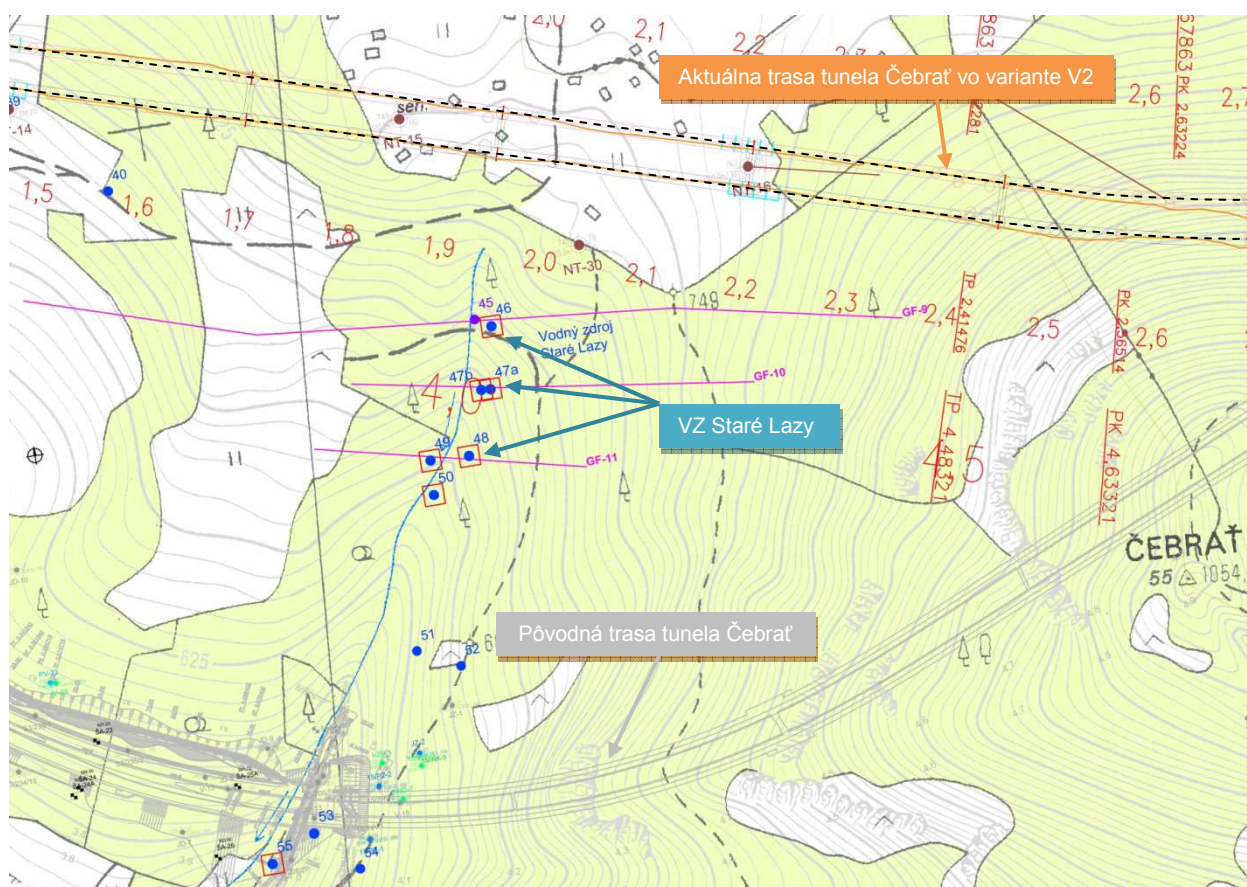
Obrázok 24 Graf nasýtenia vody vodárenských zdrojov a vrtov v trase tunela

Podzemná voda podľa z vrtu NT-27 podľa chemického zloženia je základného výrazného Na-Ca-HCO₃ typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, menej

SO_4^{2-} (obrázok 23), medzi Palmerovými indexami má **dominantné zastúpenie A1 zložka 74,21 c.z%**, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,698. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty K_c , K_d a pre sadrovec K_s . Podľa empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda **presýtená voči kalcitu a je presýtená voči dolomitu** (obrázok 24). Z uvedeného vyplýva, že **podľa genetickej príslušnosti ide o podzemnú vodu petrogénnu s karbonátogénnou mineralizáciou** (Gazda, 1974).

B) Vodárenský zdroj Staré Lazy pramene 1 až 10

Vodárenský zdroj Staré Lazy predstavuje záchyty 10 prameňov. Pramene sú situované v nadmorskej výške 646,74 (50) až 702,08 m n.m. (46) na ľavostrannom svahu údolia povrchového toku s názvom Čebrať. Výnimkou je záchyt prameňa č. 8, ktorého záchyt je na päte protiláhlého svahu. Situovanie vodných zdrojov bolo overené počas predchádzajúcej etapy prieskumných prác (Borovský et al., 2017), kedy bolo zistené že vodárenské objekty zachytených prameňov č.1 a 2 na mape dokumentácie (príloha 2.2) zobrazujeme pod č. 46, skupinu prameňov č. 3, 4, a 5 pod číslom 47a, prameň 6 pod číslom 48 a prameň 8 pod číslom 49. Pramene ležia vo výverovej 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.



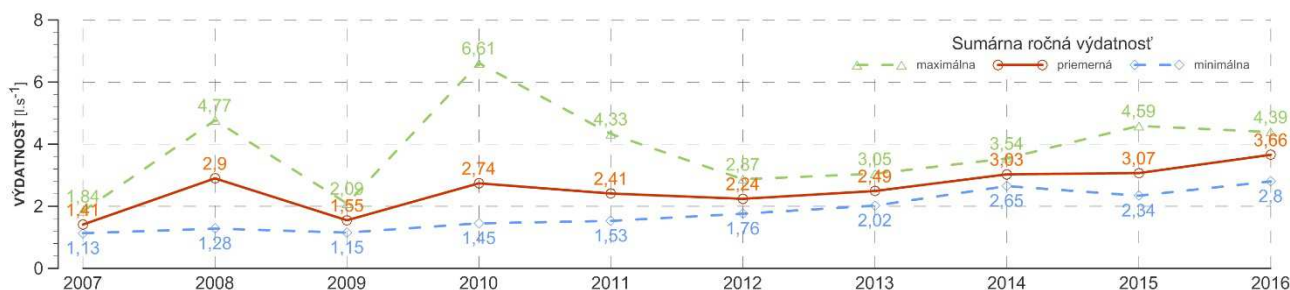
Obrázok 25 Situovanie vodných zdrojov Staré Lazy a nových geofyzikálnych profilov

Jednotlivé vývery sa nachádzajú v kvartérnych deluviálnych kamenito-hlinitých až kamenitých sutiach, v ktorých podloží ležia horninové komplexy krížňanského príkrovu. Na

základe vyhodnotenia geofyzikálnych profilov GF-9 až GF-11 (viď obrázok 25) možno povedať, že hlavný prítok podzemnej vody do zdroja je z ľavej strany údolia, kde okraj trosky chočského príkrovu resp. jeho kontakt s podložným mráznickým súvrstvom krížňanského príkrovu je situovaný v nadmorskej výške cca 815 m n.m. Od tohoto kontaktu prúdi podzemná voda z vápencovo-dolomitického komplexu cez sutinový pokryv svahu až k dnu údolia a vystupuje v sústave zachytených prameňov.

Na pravej strane údolia bola geofyzikálnymi meraniami overená cca 10 – 20 m hrubá šupina hornín chočského príkrovu (prevažne dolomitov), ktorej báza sa nachádza v nadmorskej výške cca 695 m n.m. Vzhľadom na malú hrúbku tohoto útvaru a jeho relatívnu izolovanosť nepredpokladáme významnejšiu akumuláciu podzemných vôd a teda ani výrazný prítok podzemnej vody z pravej strany údolia. Podzemná voda je teda formovaná prevažne v kvartérnych kamenito-hlinitých sedimentoch, čo poukazuje na výrazné kolísanie výdatnosti v závislosti od zrážok, pričom akumulácia vôd sa diala pravdepodobne vo vápencovo-dolomitickom komplexe hornín chočského príkrovu masívu Čebrate. Časť podzemných vôd je pravdepodobne okrem prestupu cez sutiny privádzaná aj plytkými obehovými cestami po priečných tektonických zlomoch SZ-JV až SSV-JJZ resp. v pripovrchovej zóne rozvoľnenia. Tektonické porušenie je v týchto miestach značne komplikované, kde okrem priečnej tektoniky sa uplatňuje aj príkrovová tektonika. Výdatnosti prameňov sú výrazne závislé od klimatických a hydrologických podmienok, preto predpokladáme, že majú plytký a rýchly obeh. **Významné ovplyvnenie vodných zdrojov Staré Lazy v súvislosti s razením prieskumného nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.**

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 26 a tabuľka 25).



Obrázok 26 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy

Tabuľka 25 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 pameň 6 [l.s ⁻¹]	49. pameň 8 [l.s ⁻¹]	prameň, 7, 9, 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
Priemer	0,63	0,69	0,07	0,41	0,76	2,55

Podzemná voda vodárenských zdrojov 46, 47, 48 a 49 patrí podľa reakcie vody pH 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-HCO_3 typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , menej SO_4^{2-} , medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A2 zložka 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 K_c , K_d . Podľa empiricky

vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda zo zdrojov 46, 47, 48 je nasýtená kalcitom a v rovnováhe až mierne nasýtená dolomitom (obrázok 24). Podzemná voda zo zdroja 49 je presýtená voči kalcitu a je mierne nasýtená dolomitom. 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 najmä dolomitov chočského príkrovu hronika.

Porovnaním chemického zloženia podzemných vôd z prameňov vodárenského zdroja Staré Lazy je zrejmý rozdiel v chemickom zložení s podzemnými vodami z vrtu NT-13 a NT-15 odobratých v predchádzajúcej etape prieskum a z vrtu NT-30.

V podzemných vodách z vrtu NT-13 a NT-15 (Borovský et al. 2017) 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^{2-} 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 iónovymenné procesy, ktoré sú typické pre nehomogénne prostredie zastúpené karbonátickými aj silikátovými minerálmi. Vo vzorke vody z vrtu NT-13 bol analyzovaný obsah síranov 111 mg.l^{-1} , kde tvorí na celkovej mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M=0,24$. Podobne vo vzorke z NT-15 bol analyzovaný obsah síranov 106 mg.l^{-1} , kde tvorí na celkovej mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M=0,09$. Podzemná voda z oboch vrtov je voči sadrovcu nedosýtená.

Podzemná voda z vrtu **NT-30** podľa obsahu všetkých rozpustených látok 930 mg.l^{-1} patrí k vodám s vysokou mineralizáciou, podľa reakcie vody pH 7,97 patrí k vodám slabo alkalickým. V jej chemickom zložení dominujú ióny Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- a HCO_3^- . Podľa chemickej klasifikácie Gazdu (1972) patrí k vodám nevýrazného Na-Ca- HCO_3 typu, medzi Palmerovými indexami prevláda zastúpenie A1 zložka 59,87 c.z%

Medzi tunelovou rúrou a prameňmi vodného zdroja Staré Lazy bol sledovaný vrt NT-30. Podľa výsledku monitoringu vo vrte NT-30 bola hladina podzemnej vody za obdobie júl – september 2017 zaklesnutá hlboko v masíve v hĺbke až 174,32 až 174,85 m pod terénom (Príloha 10) t.j. na piezometrickej úrovni 565,93 až 566,46 m n.m. Hlboko zaklesnutú hladinu podzemnej vody potvrdzujú výsledky meraní pórového tlaku druhej úrovne vo vrte NT-16 s priemernou odvodenou hladinou vody z pórového tlaku v hĺbke prepočítanej k zvislici vrtu 188,195 m t.j. na piezometrickej úrovni 579,125 m n.m. Relatívne vyššie je dokumentovaná hladina podzemnej vody vrtom NT-15 v hĺbke 123,952 až 133,645 m pod terénom t. j. na kóte 616,235 až 625,928 m n.m., napriek tomu je pozícia prameňov v nadmorskej výške od 646,78 po 720 m n.m, čo je podstatne vyššie, ako sú dokumentované ustálené hladiny (piezometrické výšky) v najbližších pozorovacích vrtoch.

Vzhľadom na reálne namerané úrovne hladín podzemných vôd vo vrtoch v trase tunela a z pozície výverov vodných zdrojov, ako aj z rozdielných podmienok tvorby chemického zloženia podzemných vôd, **predpokladáme oddelené podmienky obehu podzemných vôd v prípade vodných zdrojov a v prípade okolia tunelovej rúry. Významne 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 **cielené utesňovanie významnejších sústredených prítokov** podzemnej vody pomocou chemickej injektáže (približne do hĺbky 6 až 8 m).

Podľa výsledkov numerického modelovania realizovaného v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al. 2017) od výverovej oblasti, kde sú situované Vodárenské zdroje Staré Lazy, v **súčasných prírodných pomeroch (bez tunelov) zo stropu tohto zlomu infiltruje sumárne 0,3759 l.s⁻¹**. Pri razení tunelových rúr môže cez tento zlom infiltrovať maximálne 6,7800 l.s⁻¹. **Tunelové rúry bez opatrení a bez uvažovania hydraulického odporu ostenia spôsobia zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 5 o maximálne 6,4040 l.s⁻¹**. Predpokladáme tiež, že primárne bude zlom „sýtený“ vodou z bezmenného potoka, v ktorého údolí sa vodné zdroje nachádzajú.

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 silty a íly piesčité, terasové polygenetické íly a silty piesčité tr.3 – 4
- náplavové a terasové polygenetické íly, silty 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
- mezozoické pieskovce zvetrané a tektonicky porušené tr.5
- mezozoické pieskovce zdravé a navetrané tr.5 – 7

V zmysle TP 7/2008 Prílohy 1 radíme zeminy a horniny vyskytujúce sa v modifikovanej trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová do nasledujúcich tried vŕtateľnosti pilót:

- antropogénne navážky (koľajové kamenivo, násypy hrádzí a ciest) tr. I.
- náplavové silty a íly piesčité, terasové polygenetické íly a silty piesčité tr. I.
- náplavové a terasové polygenetické íly, silty a piesky tr. I.
- deluviálne a proluviálne sute kamenité a ílovito–kamenité tr. I.
- deluviálne a proluviálne sute balvanité tr. II. – III.
- deluviálne a proluviálne sute ílovité tr. I.
- štrky korytovej fácie, terasové štrky tr. II.
- mezozoické siltovce a vápence zvetrané a tektonicky porušené tr. II.
- mezozoické siltovce a vápence zdravé a navetrané tr. II. – III.
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zvetrané a tekton. porušené tr. I. – II.
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zdravé a navetrané tr. II. – III.
- mezozoické pieskovce zvetrané a tektonicky porušené tr. I. – II.
- mezozoické pieskovce zdravé a navetrané tr. II. – III.

2.4.2 Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín

V náväznosti na tabuľky 15a 16, ktoré uvádzajú prehľad geotechnických parametrov kvartérnych zemín a mezozoických hornín, vyskytujúcich sa v trase navrhovaného variantu V2 diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, uvádzame v nasledujúcej tabuľke 26 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 dvojúrovňového 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 – úvod tunela od západného portálu po km cca 2,300, km 2,950 – 3,050, km 5,100 – 5,200 a pod.) bude celkový vyťažený objem hornín z týchto úsekov $139\,380 \text{ m}^3$. Z dvojúrovňového 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 prepojek 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 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 ($\sigma_c = 20 - 50 \text{ MPa}$). Pri dlhodobom skládkovaní môže dôjsť k ich úplnej degradácii na zemínu. Tektonicky podrvené a zbridlčnené 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 môže nájsť uplatnenie aj pri návrhu konštrukčných vrstiev vozoviek.

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 depresíí, 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.

Tabuľka 26 Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti

CHARAKTERISTIKA			DELUVIÁLNE, POLYGENETICKÉ A FLUVIÁLNE SEDIMENTY A ELÚVIUM MEZOZOICKÝCH 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
	Zatriedenie	porad. číslo	2 – 1	3 – 5	9 – 11	18 – 21	24	22, 23, 25, 26
STN 73 6133	Vhodnosť do násypov		podmienečne vhodné	vhodné	podmienečne vhodné až nevhodné	vhodné	vhodné	vhodné
	Vhodnosť do podložia		podmienečne vhodné	podmienečne vhodné až nevhodné	nevhodné	podmienečne vhodné až vhodné	vhodné	vhodné až podmieneč ne vhodné
	Namŕzavosť		namŕzavé	nebezpečne namŕzavé	nebezpečne namŕzavé až vysoko namŕzavé	namŕzavé	mierne namŕzavé až nenamŕzavé	nenamŕzav é 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

2.5 Zoznam súradníc prieskumných diel

Prieskumné diela boli v teréne vytýčené 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 12. V nasledujúcej tabuľke 27 uvádzame iba zoznam súradníc prieskumných diel.

Tabuľka 27 Zoznam súradníc prieskumných diel

Označenie	Y	X	Z (terén)	Poznámka
NT-20	-407809,98	-1187434,83	539,77	
NT-21	-407554,96	-1187478,96	537,36	
NT-23	-407637,99	-1187529,60	520,26	
NT-24	-407621,10	-1187476,37	527,08	

NT-25	407521,68	1187479,29	543,15	
NT-26	407441,48	1187535,71	552,60	
NT-27	407266,37	1187539,11	589,40	

3 ZÁVER

Sumarizácia výsledkov a odporúčani

Predkladaná záverečná správa z podrobného inžinierskogeologického prieskumu sumarizuje výsledky prieskumných terénnych i laboratórnych prác v trase variantu V2 novej trasy diaľnice D1 v úseku Hubová - Ivachnová. Cieľom prieskumných prác bolo podrobné overenie inžinierskogeologických, hydrogeologických a geotechnických pomerov v trase variantu V2 v úseku, kde sa významne líši od už posudzovaného variantu V1, a poskytnúť relevantné podklady pre EIA, jednotlivé stupne projektovej dokumentácie 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 podloží 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 V2 vedená na povrchu

V **povrchovom úseku diaľnice** je geologická stavba zložitá. Trasa vedie po ploche terasového stupňa, budovaného najmä zeminami fluvialnej (terasové štrky a ich polygenetický pokryv) a deluviálnej (svahové sute) genézy. V ich podloží sa nachádzajú čiastočne skrasovatené vápence a ílovce jaseninského súvrstvia. Územie možno považovať za stabilné, bez vplyvov podzemnej vody. Prieskumné práce v tejto etape boli zamerané najmä na zistenie stability svahov v plánovanom záreze medzi mostami 203 a 204.

Medzi hlavné rizikové fenomény, ktoré sa vyskytujú v trase diaľnice mimo tunela a portálovej oblasti, patria zosuvy a erózia. Svahy priľahlé 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 203 a 204 je možné **zväčša zakladať hĺbkovo** na veľkopriemerových pilótach votknutých do predkvartérneho podložia alebo (vzhľadom na veľké hrúbky kvartéru) na plávajúcich pilótach, v kvartérnom komplexe. Upozorňujeme, že v deluviálnych sutiach, ktoré prekryli terasové sedimenty Váhu sa vyskytujú balvany až bloky karbonatických hornín, ktoré boli zvrstvené z vyšších partií svahov, ktoré budú sťažovať realizáciu veľkopriemerových pilót prípadne baranie štetovnic. Alternatívne je možné zlepšiť základové pomery tryskovou

injektážou a zakladať piliere a opory mostov plošne. Západnú oporu mosta 204 je možné založiť plošne na skalnom podloží.

3.2 Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V2

V **portálovom záreze** v príslušnom 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 hodnotenej oblasti portálu 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 vo variante V2) budované prevažne ílovcovými a siltovcovými 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 najmä tektonicky porušených úsekov horninového masívu) 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.

Pri hodnotení horninového prostredia sme sa opierali hlavne o údaje získané priamo v teréne, jednak z vrtných prác a najmä z realizovaných geotechnických skúšok. Pre overenie geotechnických parametrov horninového masívu sme využili najmä dilatometrické skúšky, ktoré umožňujú overiť deformačné parametre horninového prostredia priamo v nivelete plánovanej tunelovej rúry. Tieto geotechnické skúšky boli kombinované s karotážnymi 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 vo variante V2 ideálne, ale v porovnaní s inými navrhovanými polohami portálu (posunuté ešte viac na západ) sú vhodnejšie a za dodržania technologických podmienok realizovateľné**. 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 metre razeného tunela možné realizovať bez závažnejších problémov. Opatrenia na zlepšenie podmienok a bezpečnosti razenia by mali mať nasledujúci charakter:

- 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 zamedzilo 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;
- keďže hlavným geotechnickým rizikom v uvedenom úseku je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložíom a v úsekoch s tektonickým porušením, je potrebné realizovať zabezpečenie klenby tunela mikropilótoým dáždnikom a zároveň zabezpečovať uzatváranie profilu tunela protiklenbou prípadne aj dočasnou protiklenbou v čiastkových výruboch;
- je potrebné zabezpečiť odvádzanie priesakových vôd sústredeným odtokom tak, aby nedochádzalo k rozmokaniu počvy tunela pri pojazdoch mechanizmov;
- vzhľadom na blízkosť vodného zdroja Stará Hrboltová je potrebné realizovať opatrenia na minimalizáciu drenážneho účinku tunela. Opatrenia by mali pozostávať z utesňovania prítokov podzemných vôd do tunelovej rúry a to prstencovým spôsobom tak, aby priepustnosť horninového masívu dosiahla minimálne 10^{-7} až 10^{-8} m.s⁻¹. Hrúbka prstenca upravenej horniny by mala dosiahnuť 3 – 6 m.
- Po dobudovaní monitorovacej siete hydrogeologických vrtov na sledovanie hladiny podzemnej vody je potrebné okamžite začať kontinuálne monitorovanie;
- Svah stavebnej jamy portálu dosiahne výšku takmer 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 pilótoou stenou, pričom pilóty budú previazané v potrebných úrovniach kotvenými železobetónovými prahmi. V prípade, že nebude možné realizovať pilótoou stenu až do požadovanej hĺbky, je možné zväziť 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;
- Vzhľadom na fakt, že v časti trasy tunela bude do kaloty (najmä v južnej tunelovej rúre) zasahovať kvartérny deluviálny pokryv, navrhujeme v tomto úseku zlepšenie vlastností zemín v klenbe z povrchu (trysková injektáž z portálovej steny alebo z bezprostredného nadložia) alebo realizovať v tomto mieste razenie pod ochrannou klenbou (korytnačka);
- 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 portáloveho 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 nezámfzavým 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. Dĺžka a smer vrtov by mali byť navrhnuté tak, aby zabezpečovali len bezprostrednú stabilitu stavebnej jamy ale neovplyvňovali blízky vodný zdroj Stará Hrboltová;

- 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 vŕtania pilót (mikropilót) aj kotiev je potrebné sledovať režim vŕtania, aby koreň kotvy resp. báza mikropilóty nebola osadená v tektonicky porušenej zóne charakteru zeminy;
- Zážezy 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 hĺbenej časti tunela odporúčame v portálovej oblasti presypať a v okolí vysadiť hlbokokoreniace stromy pre zlepšenie stabilných pomerov deluviálnych sutí;
- Minimalizovať plochy, na ktorých bude obnažený pôdny pokryv a minimalizovať odlesnenie;
- 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 vyhlbenia 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 sute 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 lepší štrkopiesčitý (základový vankúš alebo geosyntetická doska).

3.3 Trasa variantu V2 vedená tunelom Čebrať

V úseku diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, vedenom tunelom Čebrať vo variante V2, možno **inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické pomery hodnotiť ako zložité**. Vzhľadom na pomerne malý rozdiel medzi variantom V1 a V2 možno vychádzať všeobecne z predchádzajúcej etapy prieskumných prác (Borovský et al., 2017).

Podmienky razenia jednotlivých úsekov tunela a výstavby príslušných objektov sú podrobne charakterizované v kapitole 2.2 a jej podkapitolách. Pri charakteristike geologických

pomerov sme vychádzali z výsledkov archívnych geofyzikálnych povrchových meraní, archívnych mapovacích prác, z obmedzeného rozsahu vrtných prác (predovšetkým štruktúrnych vrtní), 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 (vzhľadom na bodový charakter prieskumných diel) stanoviť s dostatočnou hustotou a presnosťou. Z toho bude vyplývať neistota v hodnotení podmienok realizácie tunela.

Trasa tunela bola detailne hodnotená v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017), pričom na základe výsledkov aktuálneho prieskumu možno povedať, že posunom trasy tunela severne (variant V2) nedôjde k významnej zmene v geologickej stavbe masívu a očakávaných geotechnických podmienkach realizácie tunela. V úseku odklonu dominujú horniny porubského a lučivnianskeho súvrstvia s dominanciou ílovcov a siltovcov. Je potrebné mať na zreteli deficit relevantných vstupných údajov pre detailné a zodpovedné hodnotenie prostredia, najmä z dôvodu absencie banského prieskumného diela. Klasifikácia charakteristických úsekov masívu tak mala len pravdepodobnostný charakter.

3.3.1 Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať

Z výsledkov realizovaných prieskumných prác vyplýva, že **podmienky pre razenie tunela Čebrať v úseku variantu V2, ktorý sme hodnotili, sú za dodržania technologickej disciplíny a aplikácie vhodných opatrení relatívne priaznivé.**

Dominujúcim litologickým a inžinierskogeologickým typom v trase tunela v úseku variantu V2 budú ílovce a siltovce flyšových súvrství križňanského príkrovu, najmä porubského, párnického (prípadne mráznického). Mimo tektonicky porušených zón predstavujú tieto horniny **uspokojivo kvalitné horninové prostredie** poloskalných hornín s minimálnym očakávaným prítokom podzemnej vody. Rizikovým faktorom je ich **nízka pevnosť a citlivosť na styk s vodou**. V tektonicky porušených zónach v tomto prostredí nadobúda hornina charakter súdržnej ílovej zeminy s úlomkami a **podmienky na razenie sú zlé**. Prítoky podzemnej vody v tomto komplexe očakávame najmä v zónach tektonického porušenia (zlomové pásma) prípadne z polôh s vyšším zastúpením siltovcov až pieskovcov (po otvorených puklinách).

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 bude vhodné počas razenia využívať služby geologického dozoru a možnosti doplnkového geologického prieskumu (prieskumné predvrtý). Opatrenia na zlepšenie podmienok razenia by mali zahŕňať:

- dôsledné dodržiavanie technologickej disciplíny;
- v úsekoch tvorených tektonitmi charakteru zeminy a v úsekoch tvorenými poloskalnými horninami je potrebné dôsledne utesňovať všetky prítoky podzemnej vody v zmysle vypracovaného HEC. Hlavné úseky, kde by sa mali aplikovať injektážne práce sú v úsekoch km 2,000 – 2,500, km 2,800 – 2,850, km 2,950 – 3,050, km 3,600 – 4,600 a km 5,100 – 5,200. V ostatných úsekoch je potrebné túto metódu aplikovať v prípade, že geologický dozor počas razenia identifikuje významný sústredený prítok podzemnej vody;
- pre zabránenie degradácie geotechnických parametrov hornín je potrebné zamedziť únikom

technologickéj vody do počvy tunela;

- je potrebné prijať opatrenia na zamedzenie vysýpania úlomkovitých hornín, najmä tektonicky porušených vápencov resp. slieňovcov a siltovcov – je možné uplatniť aplikáciu horninového piliera, ihlovanie, chemickú injeckciu klenby tunela, prikotvenú ochrannú sieť a podobne. Jedná sa najmä o drvené zlomové poruchy;
- 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;
- v úsekoch, kde sa očakávajú prechody významných zlomových porúch s možnými veľkými prítokmi (napríklad úseky km 5,100 – 5,200, km 2,950 – 3,050, km 2,000 – 2,500) odporúčame realizovať v predstihu prieskumné horizontálne predvrtý, ktoré budú následne vybavené zhlavím s meraním tlaku a možnosťou odoberania vzorky podzemnej vody. Utesňovanie by malo byť overené vodnotlakovou skúškou;
- V úsekoch budovaných dominantne ílovcami je riziko rozbreďania horniny pri styku s vodou a pojazdami mechanizmov – je potrebné prijať opatrenia na ochranu dna tunela (ochranná vrstva kameniva, dôsledné sústredené odváďzanie vôd).

3.3.2 Vplyv razenia tunela Čebrať na podzemné a povrchové vody

Najzásadnejším vplyvom navrhovaného tunela Čebrať je jeho drenážny účinok na okolitý horninový masív. Hydrogeologické pomery v širšom okolí trasy tunela sú extrémne zložitú. 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. Z hľadiska vplyvu tunela Čebrať na okolité najvýznamnejšie vodné zdroje Stará Hrboltová a Staré Lazy 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 oddelené 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 tunela nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.**

Napriek tomu pre zvýšenie bezpečnosti vodného zdroja odporúčame aj v tomto úseku tunela realizovať **cielené utesňovanie významnejších sústredených prítokov** podzemnej

vody pomocou chemickej iniektáže.

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 predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová môže do tunelových rúr cez tektonické porušenie infiltrovať maximálne $4,8328 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a hydraulického odporu ostenia tunela spôsobia zväčšenie infiltrácie** cez tektonické porušenie v úseku o maximálne $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$.

Sumárna priemerná ročná výdatnosť vodárenského zdroja je $Q_R = 7,41 \text{ l.s}^{-1}$, vypočítaný prírastok drenážnym účinkom tunela na rizikovom úseku o $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$ **môže teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %** jeho kapacity za predpokladu, že sa nebudú realizované ochranné opatrenia.

Vzhľadom na fakt, že vodný zdroj Stará Hrboltová sa nachádza najbližšie k trase tunela a je teda **potenciálne najviac ohrozeným vodným zdrojom**, odporúčame pre ochranu tohto vodného zdroja aplikovať počas razenia zmierňujúce opatrenia, najmä ciele **utesňovanie sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej iniektáže**. Tieto opatrenia odporúčame realizovať od západného portálu po km cca 2,500 systematicky (tj. každý sústredený výver), od km 2,500 do 2,850 ciele (tj. len každý významnejší výver nad $0,2 \text{ l.s}^{-1}$). Účinnosť iniektáže 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 predvrty** zo steny severnej tunelovej rúry do strany, ktorými by bola zachytená (prevŕtaná) 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.**

Účinnokzmierňujúcich opatrení v podobe **utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej iniektáže** bol simulovaný hydraulickým modelovaním (Príloha 9 a kapitola 2.3.4). Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 6 m a pre stupeň utesňovania s koeficientom filtrácie $k = 1.10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1.10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Numerické modelovanie preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma s utesňovacími návrtmi dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1.0^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová resp. eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom úsekuna sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$** . Utesňovanie musí byť úplne, t.j. v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie poklesu hladiny podzemnej vody resp. z eliminácie výrazného poklesu sumárneho prítoku podzemnej vody do tunelových rúrpomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v rizikovom úsekumožno nepriamo usudzovať, že vodárenský zdroj Stará Hrboltová nebude negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

3.4 Návrh prác ďalšej etapy prieskumu a monitoringu

V prípade, že výstavba diaľnice D1Hubová - Ivachnová bude realizovaná v predĺženom tunelovom variante, je navrhnuté realizovanie doplnkového inžinierskogeologického prieskumu formou banského prieskumného diela od východného portálu z už realizovanej časti tunela Čebrať v zmysle schválenej projektovej dokumentácie podrobného IGHP časť B zo dňa 16.1.2017. Tento postup by mal niekoľko výhod:

- overila by sa presnejšie geologická stavba masívu v miestach, kde je topografickým a vrtným prieskumom znemožnené konfiguráciou terénu a vysokým nadloží;
- overil by sa prípadný vplyv razenia na menší vodný zdroj Hubert v blízkosti východného portálu a možnosti a úspešnosť chemickej iniektáže. Na základe výsledkov takéhoto pokusu by bolo možné spresniť potrebné technologické opatrenia na elimináciu vplyvov razenia na vodné zdroje ďalej v trase;
- bola by možnosť systematicky dokumentovať prítoky podzemnej vody na čelbe prieskumného diela so stanovovaním základných fyzikálno-chemických ukazovateľov, v prípade intenzívneho prítoku odobrať vzorku vody na laboratórne stanovenie chemizmu a genézy podzemnej vody;
- využitie možnosti realizácie prieskumných predvrtov počas razenia v miestach, kde sa začne prejavovať blízkosť tektonicky porušenej zóny s rizikom vyšších prítokov vody;

Okrem týchto prác, viazaných na razenie podzemného diela z pohľadu doplnenia geologických informácií bude potrebné ďalej:

- zaradiť všetky novovybudované pozorovacie vrty a dočasné merné prepady na vodných tokoch do siete geotechnického monitoringu a začať s ich sledovaním;
- realizovať opakované odbory vzoriek podzemných vôd na stanovenie agresivity podzemnej vody z vrtov v trase tunela, nakoľko v súčasnosti realizované chemické analýzy mohli byť ovplyvnené technológiou vŕtania s vodným výplachom s použitím aditív na stabilizáciu stien vrtu;
- inštalovať dočasnú automatickú zrážkomernú resp. meteorologickú stanicu na vhodné miesto na lokalite, na spresnenie vstupných údajov do hydrologickej bilancie a zároveň pre možnosť presnejšie vyhodnocovať vplyv zrážok na aktivitu svahových pohybov;
- 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 sa malo 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;
- Borovský, M.: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum – časť A. CAD-ECO a.s., Bratislava, 2017;
- 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. Quarterly 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, L.: Posouzení stavu a stability podloží v míst změny trasy dálničního úseku D1 Hubová – Ivachnová, staničení 2,000. Geofyzikální měření. Kolej Consult & servis, s.r.o., Brno, 2015;
 - 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 dálničných 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;
- Vráběl, 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;

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 odberu 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 premfzania



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

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov geologickej úlohy: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

Číslo geologickej úlohy: 207/2017/ZA

Reg. číslo GEOFOND: 208/2017

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 Sinák
Ing. Ladislav Stolárik
Mgr. Marian Coplák
RNDr. Štefan Holeša
RNDr. Marian Kuvik
RNDr. Katarína Vrábľová
RNDr. Emília Žabková
Martin Šimek
Štefan Konkolovský

Dátum vyhotovenia: 9.11.2017

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	2
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	6
1.3.5	Tektonická stavba	8
1.3.6	Inžinierskogeologické pomery	11
1.3.7	Geodynamické javy	12
1.4	Hydrogeologická charakteristika	13
1.5	Hydrologická charakteristika a hydrografia	14
1.5	Geologická preskúmanosť územia	16
1.6	Ložiská nerastných surovín	18
1.7	Legislatívna ochrana územia	19
1.8	Metodika prác	19
1.8.1	Jadrové vrty	19
1.8.2	Polné skúšky	21
1.8.3	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky zemín	23
1.8.4	Laboratórne a vzorkovacie práce mechaniky hornín	24
1.8.5	Laboratórne a vzorkovacie práce chémie vôd	24
1.8.5	Geofyzikálne povrchové merania	25
1.8.6	Karotážne merania vo vrtoch	26
1.8.7	Práce geologickej služby	26
2	PODROBNÁ ČASŤ	29
2.1	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika zemín a hornín	29
2.1.1	Kvartér	29
2.1.2	Mezozoikum	33
2.2	Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia	39
2.2.1	Úsek 1,550 – 1,750 most 203	39
2.2.2	Úsek 1,750 – 1,850 zárez	41
2.2.3	Úsek 1,850 – 2,000 most 204	42
2.2.4	Portálový zárez v km 2,000 – 2,061 a portál	45

2.2.5	Razený tunel Čebrať v km 2,061– 3,000	50
2.3	Hydrogeologické pomery územia.....	61
2.3.1	Úsek diaľnice v km 1,500 – 2,000	61
2.3.2	Oblasť západného portálu tunela Čebrať vo variante V2.....	63
2.3.3	Úsek novej trasy tunela Čebrať vo variante V2	67
2.3.4	Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje a okolité vodné toky	69
2.4	Kategorizácia a využiteľnosť zemín a hornín	78
2.4.1	Kategorizácia zemín a hornín	78
2.4.2	Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín.....	79
2.5	Zoznam súradníc prieskumných diel.....	80
3	ZÁVER	81
	Sumarizácia výsledkov a odporúčaní	81
3.1	Trasa variantu V2 vedená na povrchu	81
3.2	Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V2.....	82
3.3	Trasa variantu V2 vedená tunelom Čebrať	84
3.3.1	Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať.....	85
3.3.2	Vplyv razenia tunela Čebrať na podzemné a povrchové vody.....	86
3.4	Návrh prác ďalšej etapy prieskumu a monitoringu	87
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	89
	ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM	91

Zoznam obrázkov

Obrázok 1	Situácia trasy diaľnice vo variante V2 v úseku km 1,500 – 3,000.	1
Obrázok 2	Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava)	6
Obrázok 3	Interpretované priebehy hlavných zlomových línií v oblasti.	10
Obrázok 4	Výrez z vodohospodárskej mapy so znázornením siete vodných tokov.	15
Obrázok 5	Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.	25
Obrázok 6	Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín - tektonická brekcia.	34
Obrázok 7	Rozpukané navetrané ílovce s lamínami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti.	35
Obrázok 8	Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s lamínami siltovca.	35
Obrázok 9	Tektonicky porušené a zvetrané slienité vápence s preplástkami zbridlíchnatých vápnitých ílovcov (vypláchnuté počas vŕtania)	36
Obrázok 10	Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápnitých ílovcov.	37
Obrázok 11	Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.	39
Obrázok 12	Pohľad na údolie Kamenného potoka v miestnej časti Záskanie.	41
Obrázok 13	Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.	43
Obrázok 14	Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka.	46
Obrázok 15	Situovanie stabilitných profilov v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2.	47
Obrázok 16	Stabilitný profil 1 – 1'.	48
Obrázok 17	Stabilitný profil 2 – 2'.	48
Obrázok 18	Plošná mapa merných elektrických odporov z výsledkov geofyzikálnych povrchových meraní a schematická interpretácia tektonických porúch v okolí západného portálu tunela Čebrať.	57
Obrázok 19	Očakávané prítoky do tunelovej rúry (okamžité a po ustálení) a graf kumulatívneho odtoku z oboch tunelových rúr pri razení od západného portálu tunela Čebrať.	69
Obrázok 20	Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok.	70
Obrázok 21	Situovanie vodného zdroja Stará Hrboltová vo vzťahu k pozícii tunela a realizovaným geofyzikálnym profilom.	71
Obrázok 22	Ročná sumárna výdatnosť prameňa 1 a 2 vodárenského zdroja Hrboltová (Stará Hrboltová).	72
Obrázok 23	Systematizačný graf chemizmu podzemných vôd – porovnanie vodných zdrojov a vrtov v trase tunela.	74
Obrázok 24	Graf nasýtenia vody vodárenských zdrojov a vrtov v trase tunela.	74
Obrázok 25	Situovanie vodných zdrojov Staré Lazy a nových geofyzikálnych profilov.	75
Obrázok 26	Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy.	76

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Geomorfologické členenie (celá trasa D1 Hubová - Ivachnová)	2
Tabuľka 2	Klimatické charakteristiky podľa Quitta	4
Tabuľka 3	Priemerné mesačné teploty v rokoch 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok	5
Tabuľka 4	Mesačné zrážkové úhrny rokoch 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok	5
Tabuľka 5	Zoznam najbližších vodomerných staníc v okolí oblasti prieskumu	16
Tabuľka 6	Priemerné mesačné a extrémne prietoky ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) na sledovaných vodných tokoch	16
Tabuľka 7	Ložiská nevyhradených nerastov	18
Tabuľka 8	Ložiská vyhradených nerastov s chráneným ložiskovým územím	18
Tabuľka 9	Ložiská s určeným dobývacím priestorom	18
Tabuľka 10	Prehľad realizovaných vrtných prác	20
Tabuľka 11	Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch	22
Tabuľka 12	Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie	22
Tabuľka 13	Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok	23
Tabuľka 14	Prehľad odberu vzoriek hornín a realizácie laboratórnych prác mechaniky hornín	24
Tabuľka 15	Prehľad geotechnických parametrov deluviálnych (proluviálnych) zemín	31
Tabuľka 16	Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského príkrovu	38
Tabuľka 17	Prehľad výsledkov orientačných stabilitných výpočtov v oblasti portálu	47
Tabuľka 18	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch	62
Tabuľka 19	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v realizovaných vrtoch v oblasti západného portálu vo variante V2	64
Tabuľka 20	Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodenej hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku	66
Tabuľka 21	Prehľad stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností podzemných vôd na oceľ podľa STN 03 8372 (tab. 1 a tab. 2 hodnotiacej normy) a na betón podľa STN EN 206-1/NA	66
Tabuľka 22	Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch	68
Tabuľka 23	Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodenej hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku	68
Tabuľka 24	Ročné výdatnosti prameňov 1 a 2 vodného zdroja Stará Hrboltová za roky 2007 – 2016	72
Tabuľka 25	Ročné výdatnosti prameňov 1-10 vodného zdroja Staré Lazy za roky 2007 – 2016	76
Tabuľka 26	Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti	80
Tabuľka 27	Zoznam súradníc prieskumných diel	80

Zoznam príloh**PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000****PRÍLOHA 2 SITUÁCIAPRIESKUMNÝCH DIEL M 1 : 4000****PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA A FOTODOKUMENTÁCIA VRTOV****PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY**

Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,600

Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,780

Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 2,068

Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 2,148

Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,229

Príloha 4.6 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS - PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 1,500 - 3,000 (V2)

Príloha 4.7 Pozdĺžny geologicko-geotechnický rez GT - GT` trasou severnej tunelovej rúry tunel Čebrať vo variante V2 v km 2,000 - 3,000

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

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

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

Príloha 5.3 Výsledky laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)

PRÍLOHA 6 POĽNÉ SKÚŠKY

Príloha 6.1 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch

Príloha 6.2 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie

Príloha 6.3 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ (GEOPAS s.r.o., Žilina)****PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 10 VÝSLEDKY MERANÍ HLADÍN PODZEMNEJ VODY (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 11 TECHNICKÁ SPRÁVA**

Príloha 11.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtoch (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)

Príloha 11.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtoch (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 12 MERAČSKÁ SPRÁVA (GEOSMART s.r.o., Žilina)

1 VŠEOBECNÁ ČASŤ

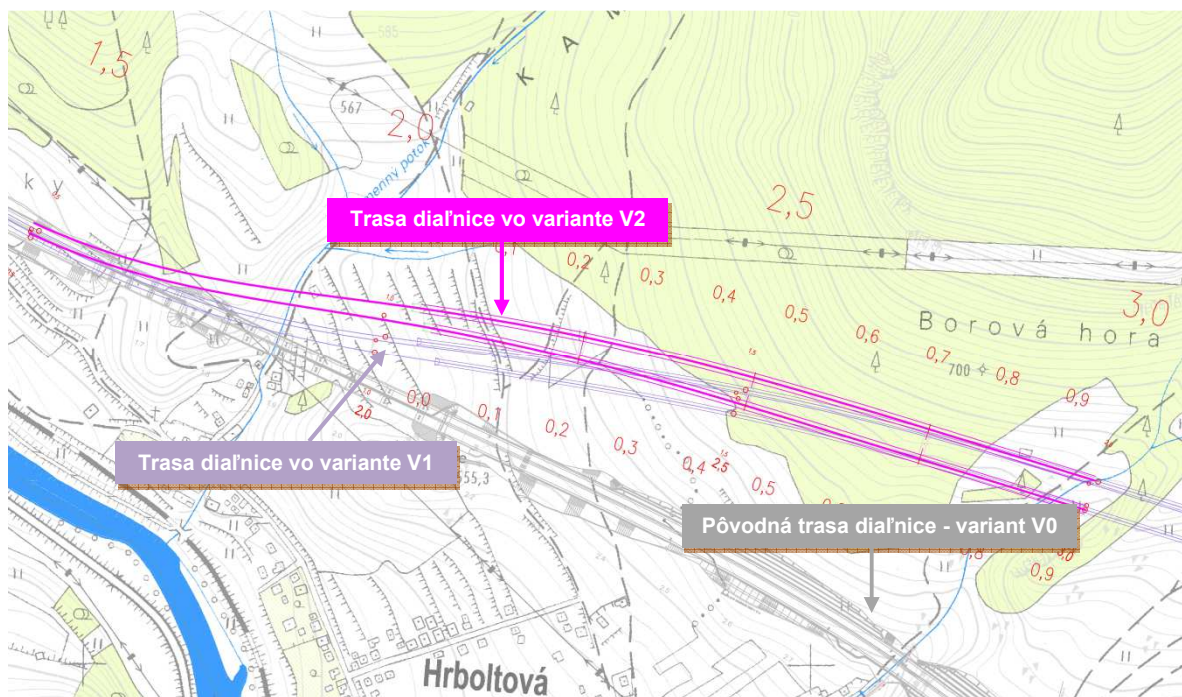
1.1 Hospodársko – administratívne údaje

Predkladaná záverečná správa geologickej úlohy

Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2 (oblasť posunutého západného portálu) podrobný inžinierskogeologický prieskum

je vypracovaná na základe Zmluvy č. W221113/36787957/00/DOD00103911 medzi Zhotoviteľom – spoločnosťou CAD-ECO a.s. Bratislava a Objednávateľom – Združením Čebrať, zastúpeným spoločnosťou OHL ŽS a.s., Brno. Práce boli zahájené na základe Pokynu Objednávateľa č. 14861/AA.01/17-989/2017 zo dňa 10.3.2017. Geologická úloha bola u zhotoviteľa prác, spoločnosti CAD-ECO a.s. Bratislava, zaregistrovaná pod číslom 207/2017/ZA. Na odbore informatiky GEOFONDu bola úloha zaregistrovaná pod číslom 208/2017.

Úloha bola riešená v etape podrobného prieskumu, pričom priamo nadväzovala na predchádzajúci orientačný inžinierskogeologický prieskum (Borovský et al., 2016) pre variant V1 a podrobný inžinierskogeologický prieskum časť A (Borovský et al., 2017), ktorý bol zameraný na celú trasu tunela Čebrať vo variante V1. Predkladaná záverečná správa sa venuje len úseku trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová vo variante V2, v ktorom sa výrazne líši od variantu V1 (v úseku najväčšieho odklonu v oblasti západného portálu tunela Čebrať), tj. v úseku diaľnice cca km 1,500 – 3,000 (viď obrázok 1). Zároveň boli využité geofyzikálne práce na dopresnenie geologickej informácie v okolí vodných zdrojov Stará Hrboltová a Staré Lazy v zmysle požiadaviek NDS a.s. k správe EIA.



Obrázok 1 Situácia trasy diaľnice vo variante V2 v úseku km 1,500 – 3,000.

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: 36 787 957
IČ DPH: SK2022394077
Bankové spojenie: VÚB, a.s. Bratislava, č.ú.: 2315926456/0200
IBAN: SK43 0200 0000 0023 1592 6456

1.3 Stručná charakteristika prírodných pomerov

Záujmové územie predstavuje okolie novej trasy diaľnice D1 v úseku Hubová – Likavka vo variante V2 (približne km 1,5 – 3,0). Územie sa nachádza v Žilinskom samosprávnom kraji, v okrese Ružomberok (508) v katastrálnom území obcí Hrboltová (IČZÚJ 510998, IČÚTJ 819221).

Nová trasa začína v km 1,5 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 vo variante V2 vstupuje diaľnica do tunela Čebrať, pričom oproti pôvodne zamýšľanému umiestneniu portálu (variant V1) je trasa odsunutá na sever ešte cca 40 m. Tunelom prechádza popod južné svahu kóty Radičiná a cca v km 3,0 sa opäť spája s variantom V1 novej trasy tunela Čebrať.

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 brnateľných častiach i nad 30°), mierne členitými svahmi. Typickým prvkom je rozbrázdenie 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 kryh. 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 **seismicity** 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 príľahlých dolín. V zmysle starších klasifikácií podľa Quitta (1971) je skúmaná oblasť zatriedená do klimatických oblastí MT1 a príľahlé 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.

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

Mesačné zrážkové úhrny za obdobie rokov 2001 až 2017 namerané na meteorologickej stanici v Ružomberku sú spracované v nasledujúcej tabuľke 3, priemerne mesačné teploty za rovnaké sledované obdobie sú spracované v tabuľke 4. V oboch prípadoch sú uvedené i dlhodobé normálové hodnoty (normál) za obdobie 1951 – 1980.

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

Tabuľka 3 Priemerné mesačné teploty rokov 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok

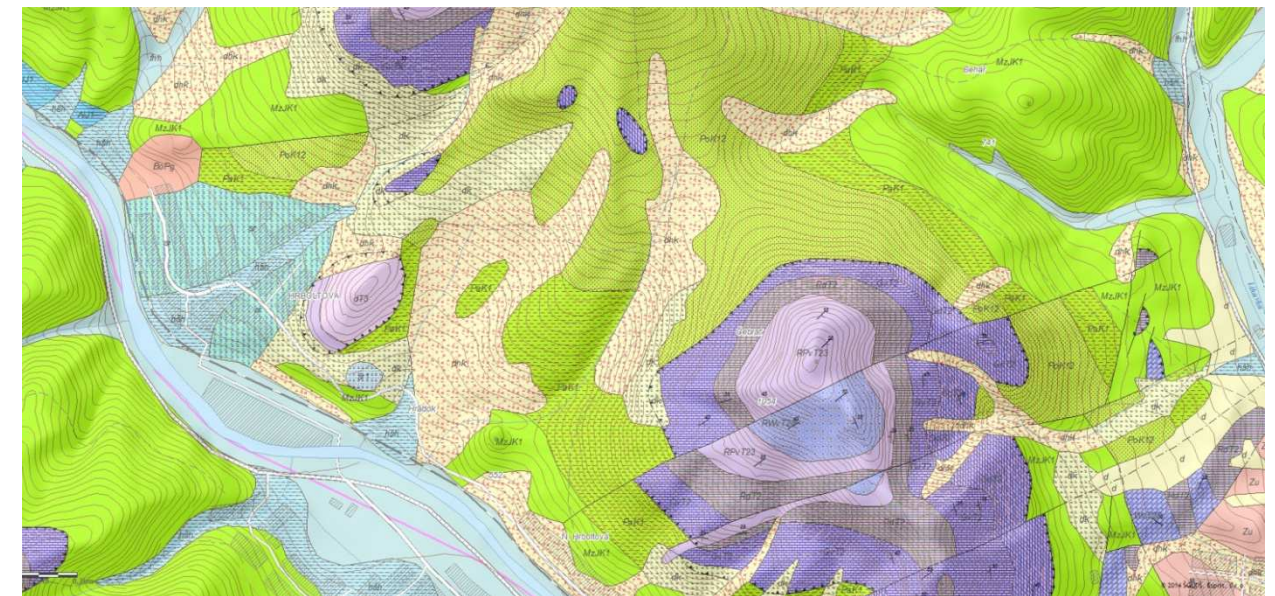
	normál	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Január	-3,90	-1,60	-3,00	-2,70	-4,10	-2,36	-8,29	2,84	1,22	-3,91	-3,57	-1,92	-2,01	-2,79	0,97	0,17	-3,53	-8,91
Február	-2,10	-0,80	2,80	-4,80	-0,10	-4,26	-3,30	2,31	1,73	-1,00	-1,23	-1,08	-6,54	-1,44	2,85	-2,33	2,96	0,99
Marec	1,90	3,80	4,50	2,80	2,70	0,18	0,51	6,00	3,69	2,26	2,56	5,04	4,26	0,00	5,72	3,19	4,22	5,35
Apríl	7,30	7,50	8,10	7,10	9,60	9,24	9,22	10,86	9,55	11,87	7,97	10,71	9,66	8,56	9,08	6,89	8,98	6,83
Máj	12,10	13,70	15,50	16,10	12,20	14,56	13,19	15,55	14,30	13,72	12,94	13,86	15,24	12,73	12,29	11,94	12,80	
Jún	15,50	15,00	17,20	18,90	16,30	16,72	17,04	18,26	18,01	15,41	17,36	17,09	18,26	17,01	14,97	16,57	17,95	
Júl	16,80	18,60	19,00	18,90	17,70	19,39	21,16	19,54	18,33	19,90	20,08	17,33	18,97	18,23	17,92	19,29	18,45	
August	16,10	19,40	17,60	19,50	18,60	16,93	16,30	18,38	17,69	18,13	17,34	19,31	17,82	18,10	15,74	20,21	16,17	
September	12,40	11,60	11,50	13,30	12,80	14,29	15,24	11,48	12,59	14,34	11,85	15,74	14,17	11,22	13,97	14,32	14,64	
Október	7,90	10,60	6,50	5,90	10,20	8,90	10,07	7,57	9,62	6,41	5,73	7,91	8,33	9,59	9,51	7,99	7,11	
November	3,10	1,40	5,70	5,20	3,40	2,07	5,34	1,68	5,18	4,09	6,16	1,72	5,60	3,99	5,86	4,19	3,41	
December	-1,50	-5,70	-3,40	-0,70	-0,50	-1,57	1,82	-2,02	0,81	-1,18	-4,56	1,04	-2,74	0,12	0,83	1,99	-2,22	

Tabuľka 4 Mesačné zrážkové úhrny rokov 2001 až 2017 na klimatickej stanici Ružomberok

	normál	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Január	39	14,8	47,1	40,8	27,3	56,3	21,3	144,6	31,9	22,3	23,7	12,1	77,3	59,4	15,3	53,3	32,5	16,1
Február	38	67,7	84,6	13,1	46,9	37,8	29,9	47,7	31,4	20,1	27,0	6,3	25,4	47,8	35,4	18,4	94,0	34,7
Marec	35	54,5	41,3	11,1	39,6	19,6	56,7	72,2	88,8	94,1	17,7	12,5	10,4	57,8	45,4	53,7	11,5	33,8
Apríl	46	75,1	15,4	41,9	39,4	56,9	48,4	8,4	49,1	4,5	51,8	23,6	33,4	23,9	46,1	30,9	59,4	94,1
Máj	61	24,9	55,7	112,4	77,4	78,9	85,7	61,4	62,9	59,5	235,1	128,8	39,7	131,6	131,5	121,9	77,4	
Jún	99	81,6	41,9	40,9	131,6	70,4	60,6	105,0	53,5	91,1	128,7	117,1	115,0	111,0	70,4	12,7	48,6	
Júl	94	237,6	103,2	115,7	68,7	124,6	15,1	46,7	135,0	95,0	162,4	116,4	128,8	4,5	181,7	90,8	142,3	
August	76	22,9	114,3	26,7	71,5	117,6	103,0	92,8	97,0	49,6	165,6	32,0	42,3	46,3	126,9	8,8	92,3	
September	59	104,2	75,4	38,0	58,6	52,9	13,5	111,2	47,6	30,6	95,0	16,4	42,3	86,3	106,8	93,6	71,5	
Október	52	12,5	121,7	57,9	54,5	5,6	37,2	29,2	49,1	76,0	13,7	31,5	119,4	33,5	51,6	57,9	94,1	
November	51	49,9	38,6	36,4	74,0	37,8	68,2	42,8	36,2	60,4	88,7	0,4	37,9	68,9	24,8	71,7	34,6	
December	46	52,8	45,3	42,1	15,0	97,7	14,2	20,3	79,6	70,1	51,0	58,6	21,3	12,8	27,5	14,0	25,3	
Rok	696	798,5	784,5	577,0	704,5	756,1	553,8	782,3	762,1	673,3	1060,4	555,7	693,2	683,8	863,4	627,7	783,5	178,7

1.3.4 Geologické pomery

Geologická stavba územia v trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v oblasti severne posunutého portálu (variant V2) tunela Čebrať je komplikovaná. Z geologického hľadiska budujú územie v širšom okolí variantu V2 trasy diaľnice horniny mezozoika, paleogénu a kvartéru. V úseku Hubová – Hrboltová patria podložné horniny do mezozoického komplexu krížňanského príkrovu jadrového pohoria Veľká Fatra (Šípska Fatra), len ojedinele sa vyskytujú zvyšky paleogénnych hornín (lokalita Skálie), resp. vo vyšších partách svahov vo vrcholovej časti pohoria sú zachované trosky hornín hronika (karbonáty chočského príkrovu). Výrez s geologickej mapy je na obrázku 2, pričom upozorňujeme, že mapa je generalizovaná a v detailoch nepresná a neaktuálna. Nie je však cieľom tejto správy aktualizovať základnú geologickú mapu.



Obrázok 2 Výrez z geologickej mapy 1 : 50 000 (zdroj: Mapový portál ŠGÚDŠ Bratislava)

Najmä v údolných častiach územia a v dolných partiách svahov 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** (Maheľ et al., 1967) je širšie územie budované horninami geotektonickej jednotky Centrálne 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 hrástovou 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 priradujeme 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 podľa základnej geologickej mapy algäuským súvrstvom, ktoré vystupuje na pravej strane doliny Váh medzi Hubovou a Hrboltovou. Algäuské súvrstvie je tvorené sivými škvrnitými slienitými vápencami, slieňovcami a vložkami bridlíc, s výraznou lavicovitou až doskovitou vrstevnatosťou. Na základe výsledkov petrografických a stratigrafických rozborov v predchádzajúcej etape inžinierskogeologického prieskumu časť A (Borovský et al., 2017) ide však skôr o súvrstvie jaseninské (titón). Úložné pomery hornín tohto súvrstvia sú generálne orientované v smere SZ-JV so sklonom 30° k SV. Tento komplex sa v trase vyskytuje na začiatku riešeného úseku po údolie Kamenného potoka.

Horniny kriedy majú prevládajúce zastúpenie. Vystupujú v úseku od údolia Kamenného potoka až po Likavku. Úložné pomery vrstiev krížňanského príkrovu sú takmer v celom priestore podobné. Smer vrstiev je hlavne V-Z, menej SZ-JV so sklonmi 10 - 30° k severu resp. SV resp. aj k JZ. V miestach tektonických zlomových porúch bývajú vrstvy až vztyčené. Medzi súvrstvia krížňanského príkrovu, ktoré sa vyskytujú v širšej oblasti, patria:

- **porubské súvrstvie** (alb - cenoman) – ide o flyšové súvrstvie ílovitých bridlíc, siltovcov, piesčitých vápencov a jemnozrnných pieskovcov.
- **slienité bridlice párnických vrstiev** (barém - alb) – súvrstvie tmavosivých slienitých bridlíc a piesčitých a organodetritických vápencov.
- **mráznické súvrstvie resp. lučivnianske 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 zbridličnatené, s nerovnými plochami vrstevnatosti. Bridlice tvoria polohy do hrúbky 2 m. Časté sú železité povlaky na plochách v zóne zvetrania.
- **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 zbridličnatené. Obsahuje vložky slienitých bridlíc. V spodnej časti sa vyskytujú polohy červených hľuznatých vápencov. V skúmanej lokalite sme vrtmi overili skôr sivé variety týchto hornín.
- **rádiolárové vápence** (vrchný kelovej – oxford) predstavujú jedno z najvýraznejších súvrství krížňanského príkrovu. Je budované pestrými (fialové, zelené, červené, sivé) rádiolárovými 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;
- **algäuské 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.

Z uvedených súvrství v skúmanom úseku (okrem už spomenutých jurských sekvencií jaseninského súvrstvia) sú zastúpené len súvrstvie porubské, párnické a mráznické. Osnické súvrstvie bolo istené len v hlbších častiach masívu v trase tunela Čebrať. 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 alebo Radičinej. 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. Pre presnejšie overenie hranice chočských hornín v teréne boli realizované geofyzikálne merania, ktoré sú súčasťou tejto záverečnej správy. Do trasy tunela ani do priestoru portálu vo variante V2 horniny hronika nezasahujú, nebudeme ich teda ďalej bližšie špecifikovať.

1.3.4.2 Pokryv územia

Kvartérne sedimenty na území zahŕňujú 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 dnovej akumulácie nív sú súvisle vyvinuté v dolinách Váhu a Likavky. Majú charakter štrkov s prímiesou jemnozrnej 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 prekrývajú 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 úpätí svahov, skalných zrázov a na vyrovnannejších 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 Tektonická stavba

Tektonická stavba širšieho okolia skúmanej trasy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová je značne komplikovaná. Je výsledkom dlhodobého a viacetapového vývoja, počas ktorého vznikali v širšej oblasti sedimentárne, magmatogénne i metamorfované horniny a počas

ktorého sa menila ich vzájomná relatívna i absolútna poloha. V súčasnosti nejestvuje úplná zhoda v názoroch na tektonický vývoj a stavbu Šípskej Fatry (resp. širšej oblasti severnej časti Veľkej Fatry s.l.) a vo veľkej miere sú dostupné informácie len v polohe dohadov.

Severnú oblasť Veľkej Fatry (Šípsku Fatru) a príľahlú časť Liptovskej kotliny a údolia rieky Váh budujú horniny tektonických jednotiek veporika, hronika a centrálno-karpatského paleogénu. Klasická príkrovová stavba pohoria je výrazne ovplyvnená neskoršími horotvornými pohybmi, počas ktorých vznikali najmä poklesové zlomové poruchy, prešmyky, a taktiež geodynamickými javmi, hlavne eróziou a svahovými pohybmi.

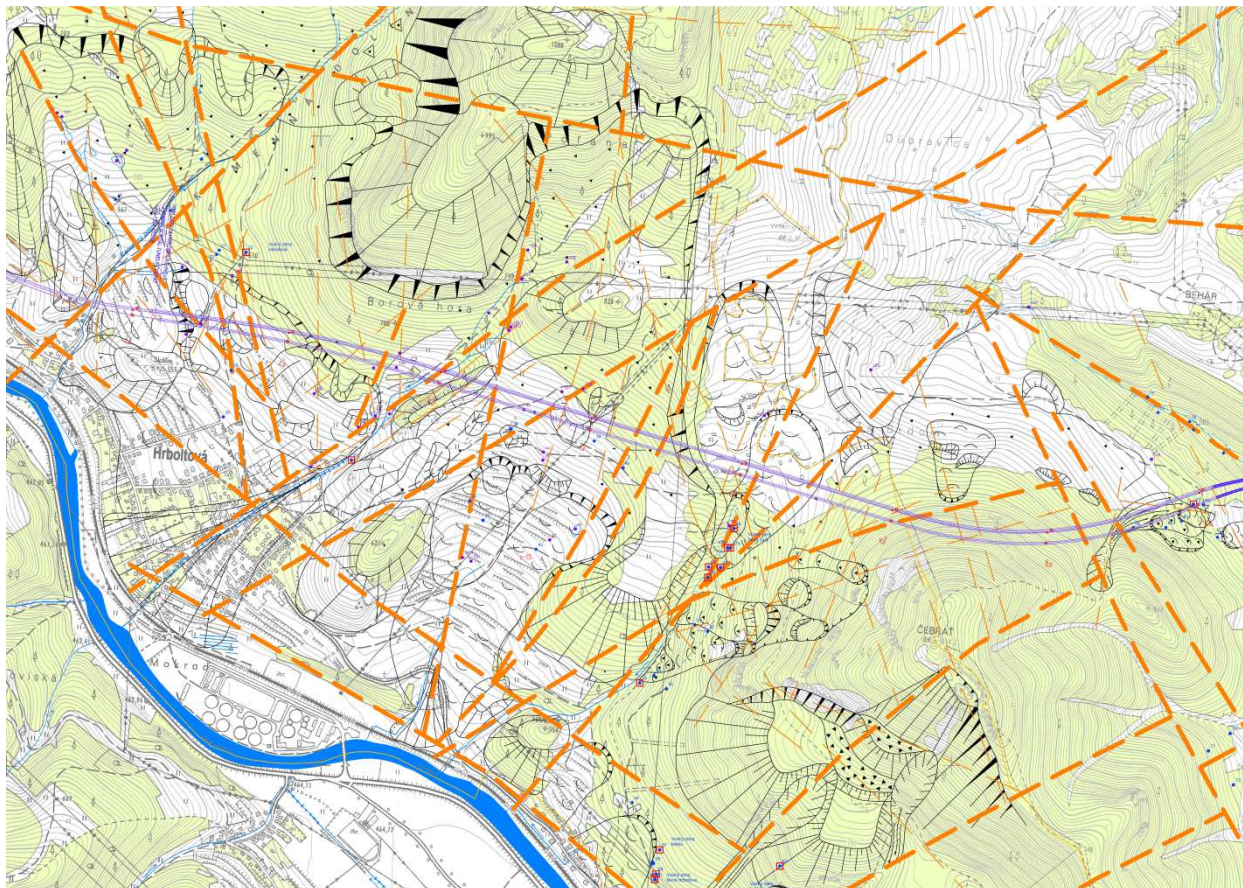
Vo veporiku Veľkej Fatry dominuje krížňanský príkrov. Základnou kostrou krížňanského príkrovu, nasunutého pravdepodobne na tatrikum, sú v skúmanej oblasti súvrstvia porubské, párnické, lučivnianske, mráznické a osnické. Deformácie horninových komplexov krížňanského príkrovu prekopírovali deformácie podložného tatrika. Plastickejšie súvrstvia v rámci príkrovu predstavovali sekundárne presunové plochy, pozdĺž ktorých došlo v niektorých súvrstviach k zdvojeniu príkrovovej stavby (duplexy), t.j. nasunutie hornín toho istého komplexu na seba dvakrát (lokálne i viackrát). Tento jav bol počas prieskumných prác pre tunel Čebrať (Borovský et al., 2017) dokumentovaný v niektorých vrtoch. V týchto členoch došlo zároveň v okolí prešmykových plôch k detailnému prevrášneniu a intenzívnemu porušeniu hornín. Vrstevné sledy v skúmanej časti Veľkej Fatry sú v normálnej pozícii.

Hronikum v severnej časti Veľkej Fatry je zastúpené dominantne chočským príkrovom a to najmä vo forme viac či menej izolovaných tektonických trosiek – v danej oblasti je to výrazný masív Čebrate, masív Radičinej a masív Kečiek. Masív Čebrate tvorí troska rigidných karbonátov (dolomitov a vápencov) s temer subhorizontálnym rozhraním medzi veporikom a hronikom, pričom jednotlivé tektonicky a gravitačne odseparované bloky hornín majú túto plochu mierne sklonenú rozličným smerom, prevažne v smere sklonu terénu. Takisto vertikálna poloha násunovej plochy hronika na veporikum je rozličná pri jednotlivých blokoch (vplyvom poklesov jednotlivých blokov). Podobná situácia je i v masíve Radičinej a Kečiek. Tektonické porušenie komplexov hronika je výsledkom alpínskej fázy vrásnenia a neoalpínskej tektoniky i kvartérnych gravitačných pohybov a následných geodynamických javov (svahové pohyby, zemetrasenia, krasovatenie).

Fáza neotektoniky predstavuje obdobie od vrchného miocénu až po súčasnosť a z hľadiska geotechnických, hydrogeologických a inžinierskogeologických pomerov má najväčší vplyv. V tomto období došlo pozdĺž jestvujúcich zlomov k výrazným tektonickým pohybom, najmä vertikálnym, počas ktorých sa voči okolitým tektonickým vkleslinám diferencovali pohoria Malá a Veľká Fatra a ostatné pohoria v širšom regióne. Tieto pohyby pokračujú až do súčasnosti. V období od konca pliocénu a počas kvartéru prevládli geodynamické javy ako erózia a akumulácia sedimentov na úpätí vo forme prolúviálnych kužeľov a delúvií a na dne údolí akumuláciou fluviálnych sedimentov, ktoré boli neskôr v dôsledku zahlbovania korýt erodované. V mezozoických komplexoch sa uplatnila selektívna erózia za vzniku charakteristických skalných brál a skalných stien vo vápencovo-dolomitickom komplexe. Výrazné sú najmä skalné trosky vápencov a dolomitov chočského príkrovu. K najvýraznejším vertikálnym, diferencovaným pohybom došlo na systéme pozdĺžnych zlomov v smere údolia Váhu rozhraní Veľkej Fatry a Šípskej Fatry.

Systém zlomov v skúmanej oblasti má dva hlavné smery: systém paralelný s údolím Váhu s orientáciou približne SZ – JV a systém priečných zlomov smeru S – J a SV – JZ. Sklon zlomových štruktúr je cca 50 – 80°. Tento systém zlomov rozčleňuje horninový masív na jednotlivé bloky s rozličným relatívnym výškovým posunom. Pozdĺž zlomov, ktoré tvoria preddefinované smery posunov, zaklesávajú jednotlivé bloky gravitačne do údolia Váhu resp. údolia Likavky. 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 deformácií a uplatnila sa na nich erózia a vývoj svahových pohybov, takže sú v reliéfe veľmi výrazné. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a po štruktúrnej a geomorfologickej analýze bola zostrojená schematická mapa zlomovej tektonickej porušenia (Obrázok 3). Táto mapa predstavuje vstupný podklad pre hodnotenie geotechnických pomerov v trase tunela Čebrať ako aj pre aktualizovaný matematický model prúdenia podzemných vôd v okolí vodných zdrojov.



Obrázok 3 Interpretované priebehy hlavných zlomových línií v oblasti.
 Hrubšou čiarou sú zobrazené zlomy vyššieho a tenkou nižšieho rádu.

Systém zlomov a k nim prislúchajúce puklinové systémy predstavujú faktory, ktoré najvýraznejšie ovplyvňujú jednak geotechnické a inžinierskogeologické, ale hlavne hydrogeologické pomery územia v trase navrhovaného tunela Čebrať ale aj v oblasti západného portálu a mosta 204. V zlomových poruchách sú horniny porušené a pevnejšie komplexy sú rozpadnuté na drobné bloky, pričom tento jav podporuje i prirodzená litologická nerovnorodosť, ktorá v niektorých prípadoch zvyrazňuje účinky gravitačnej tektoniky. Oslabené zóny predstavujú i privilegované cesty zvetrávacích procesov. Puklinové systémy zároveň vytvárajú charakteristickú blokovitosť horniny, ktorá bude dôležitým faktorom počas realizácie podzemného diela a bude výstavbu podstatným spôsobom ovplyvňovať (vypadávanie blokov z kaloty, stien, či čelby, spôsob razenia, nestabilita portálových oblastí a pod.).

V miestach, kde bol kontakt rigidnejších a plastickejších členov súvrství odkrytý eróziou, došlo k odľahčeniu masívu a následne k vzniku plazivých deformácií s vytvorením skalných blokov a blokových polí. Na okraji blokových polí vyvierajú bariérové resp. vrstevné

pramene, čo ešte zhoršuje stabilitné pomery na takto postihnutých svahoch.

Zlomy a puklinové systémy majú zásadný vplyv na hydrogeologické vlastnosti horninových komplexov, spôsob prúdenia podzemnej vody i tvorbu jej chemizmu. Na hlbokých zlomoch dochádza k prúdeniu vôd hlbšieho obehu, ktoré pri výstupe na povrch územia vytvárajú charakteristické pramenitové (penovcové) kopy (prameň Hubová).

1.3.6 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 ílovce a siltovce, slieňovce, bridlice, menej vápencové horniny. Vytvárajú rajóny vápencových hornín (Sv) a rajón ílovcovovo-vápencových hornín (Ss);
- **flyšová formácia** je zastúpená v oblasti Liptovskej kotliny. Najčastejšie sa vyskytujúcimi horninami tejto formácie v danej oblasti sú ílovce, vápnité ílovce, siltovce a pieskovce (prípadne lokálne až mikrozlepenec). Horniny tejto formácie vytvárajú rajón flyšoidných hornín (Sf) a rajón ílovcovovo-prachovcových hornín (Si);
- **formácia kvartérnych pokryvných útvarov** je reprezentovaná v okolí posudzovanej trasy 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 fluvialne sedimenty zachovaných terasových stupňov rieky Váh. Ide prevažne o štrkovité a ílovité 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 deluviálnych sedimentov - D** - svahové jemnozrnné zeminy, kamenito-hlinité sutiny hlinito-kamenité sutiny, balvanité a kamenité sute 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 ílovitých sutí a ílovito kamenitých sutí, 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.

1.3.7 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 ílovcy, 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 križňanského 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, v hlbokých častiach masívu na základe vrtných prác nebolo identifikované vôbec. Čiastočne povrchovo skrasovatené sú skalné odkryvy vápencov jaseninského a osnického súvrstvia.

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 fluviálnej genézy (eróznou činnosťou potokov), pričom v súčasnosti ich už možno radiť do zosuvného delúvia. V blokovom poli v oblasti Čebrate sa v zúžených eróziálnych úvalinách medzi mohutnými vápencovými blokmi až kryhami vyskytujú tiež reliktu 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 dolín do hlavného údolia vodného toku Na úpätiach skalných stien a hrebienkov dochádza k akumulácii suťového materiálu a vzniku dejekčných kužeľov 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 kotlina 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 deformácií a uplatnila sa na nich erózia a vývoj svahových pohybov, takže sú v reliéfe veľmi výrazné.

1.4 Hydrogeologická charakteristika

Hydrogeologické a hydrologické pomery v trase diaľnice D1 v úseku Hubová - Likavka sú odrazom geologicko-tektonickej stavby územia a z nej vyplývajúcej prevládajúcej puklinovej resp. aj puklinovo-krasovej priepustnosti podloží, hlavne mezozoických hornín a medzizrnovej priepustnosti v prípade sedimentov kvartéru. Zároveň veľký vplyv má aj rozvrstvenie zrážok v čase i priestore v tejto oblasti, geomorfologické pomery a vegetačný pokryv územia. Od týchto faktorov závisí, aký podiel zrážok pripadá na výpar a povrchový odtok, aké množstvo zrážkových vôd dopĺňa množstvá podzemných vôd v geologických štruktúrach a aké sú fyzikálno-chemické vlastnosti povrchových i podzemných vôd. Na základe geologickej stavby, odlišných hydrofyzikálnych vlastností zastúpených hornín, ako aj obehu a režimu podzemných vôd je možné v predmetnom území vyčleniť:

- územie budované horninami mezozoika
- územie budované sedimentami kvartéru

Pri hodnotení hydrogeologických pomerov možno vychádzať z doteraz realizovaných a publikovaných prác z tejto oblasti a výsledkov podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu časť A (Borovský et al., 2017). Hodnotenú územie zasahuje do hydrogeologického rajónu M 019 - Mezozoikum západnej časti Chočských vrchov.

V aluviálnej nive Váhu patria podzemné vody v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do útvaru **Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Váhu a jeho prítokov S. časti oblasti povodia Váh (kód útvaru SK 1000500P)**. Kolektorskými zeminami sú v uvedenej oblasti štrky korytovej fácie výplne alúvia rieky Váh a jeho prítokov. Tento útvar nebude výstavbou diaľnice v hodnotenom úseku vôbec ovplyvnený.

Podzemné vody v trase tunela Čebrať patria v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z. z., prílohy č. 2 do útvaru **podzemných vôd s dominantnými krasovo-puklinovými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váhu** (kód útvaru **SK 200270KF**). Kolektorskými horninami v útvare sú vápence a dolomity s krasovo-puklinovou priepustnosťou a ílovce, siltovce a slieňovce s puklinovou priepustnosťou.

Mezozoický karbonátový komplex má v skúmanom území najvýznamnejšiu úlohu. Mezozoikum je zastúpené v širšom okolí v geologických celkoch veporika a hronika, teda križňanského a chočského príkrovu.

V území budovanom mezozoickými **karbonatickými horninami** hronika býva hladina podzemnej vody vďaka veľkej priepustnosti zvyčajne zaklesnutá hlboko pod terén až na

prípadné podložné nepriepustné rozhranie (v tejto oblasti typicky kontakt hronikum – veporikum) alebo do blízkosti lokálnej eróznej bázy (vápencové členy veporika – osnické súvrstvie, čiastočne mráznické súvrstvie), ktorou je v tomto prípade rieka Váh resp. jej významnejšie prítoky. Hlavnými kolektormi sa stávajú horizonty viazané na zónu rozvoľnenia, dezintegrácie a skrasovania, prípadne zóny tektonického porušenia a naviazané kvartérne sedimenty. Hladina býva zvyčajne voľná, pri nižšej priepustnosti aj napätá. Stupeň transmisivity je $T \geq 1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, s udávanou hodnotou špecifickej výdatnosti $q \geq 1 \cdot 10 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Na tento významný karbonatický komplex sú viazané viaceré lokálne vodné zdroje a pramene, ktoré sa využívajú pre zásobovanie pitnou vodou. Prúdenie podzemnej vody je viazané najmä na tektonické línie a vody vyvierajú prevažne na kontakte s nepriepustnými sedimentami kriedy križňanského príkrovu, ktoré ležia v podloží dolomitov. Tohto pôvodu sú aj využívané podzemné vody vodného zdroja Stará Hrboltová.

V oblasti tvorenej **flyšovými, najmä ílovcovými horninami** veporika (porubské, párnické a mráznické súvrstvie) je puklinová priepustnosť slabá, v prípade väčšieho plošného zastúpenia slieňov a ílovcov môže byť súvrstvie až relatívne nepriepustné (regionálny hydrogeologický izolátor). Stupeň transmisivity je nízky, s hodnotou koeficienta prietochnosti $T < 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Jednotková špecifická výdatnosť $q < 0,1 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Najdôležitejšími cestami prúdenia podzemných vôd v takomto prostredí sú najmä tektonické zlomové línie, pozdĺž ktorých môže podzemná voda vystupovať na povrch, resp. zóna pripovrchového rozvoľnenia (zvetrania). V prípade hlbokých obehov vody po takýchto líniách je potom výstup podzemnej vody sprevádzaná vznikom travertínových a penovcových kôp v miestach výverov (viď prameň 10 neďaleko Hubovej).

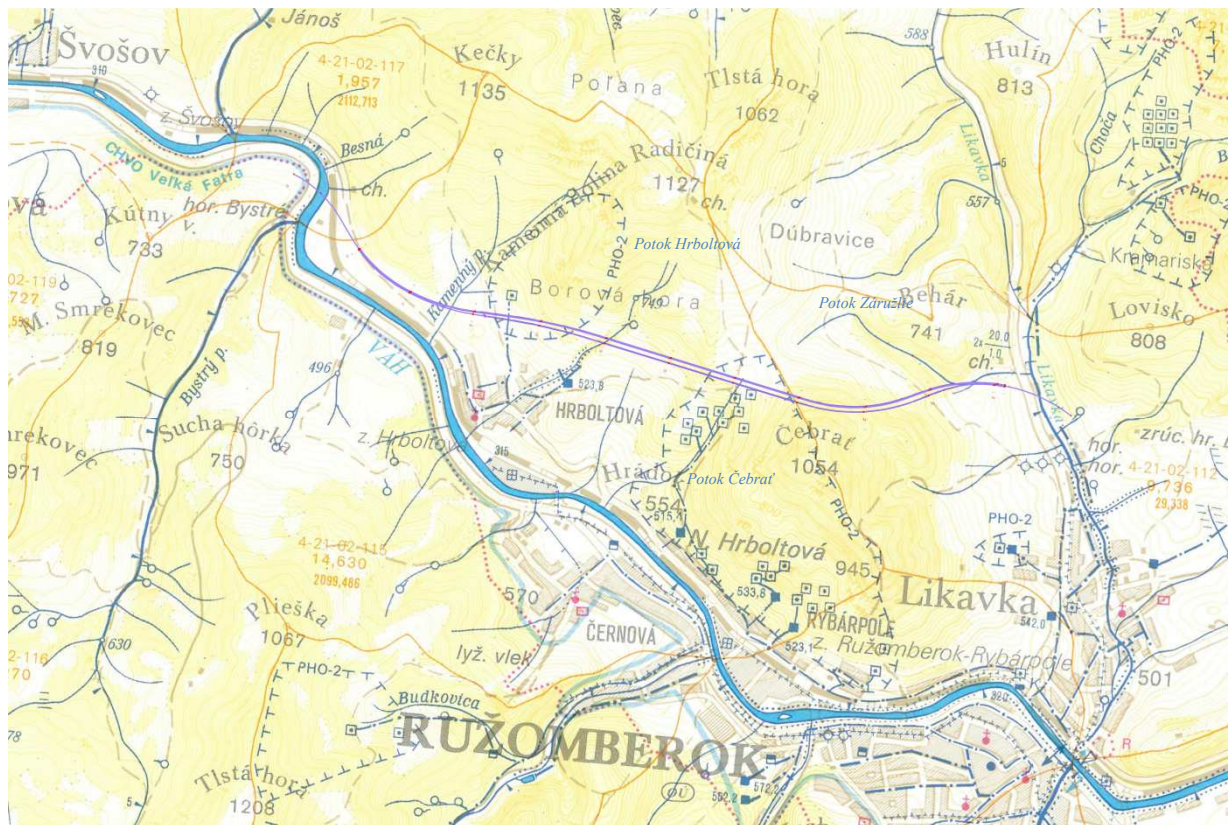
Z **kvartérnych sedimentov** sú vyššou medzizrnovou priepustnosťou charakterizované fluviálne a terasové štrky a proluviálne štrkovité sedimenty. Ich hydrogeologická funkcia je závislá najmä od hrúbky, ako aj stupňa zahlinenia a situovania kolektoru v teréne. Dominantné zastúpenie majú v úseku Lisková – Ivachnová, kde trasa prechádza aluviálnou nivou. V oblasti medzi Likavkou a Hrboltovou nadobúdajú na dôležitosť hlavne deluviálne sute rozličného zloženia, ktoré sú na svahoch s podložíom tvoreným horninami veporika hlavným kolektorom podzemnej vody. Výraznejšie akumulácie sa nachádzajú hlavne v pätách svahov. Priepustnejším kolektorom sú sute ílovito- a hlinito-kamenité, kamenité a balvanité, ktoré v najspodnejšej časti komplexu prechádzajú do silne zvetraných hornín podložja. Tieto komplexy predstavujú privilegované cesty prúdenia podzemnej vody plytko pod povrchom a sú aktivizované najmä v čase intenzívnych zrážok. Zároveň do nich skryte prestupujú podzemné vody z mezozoických karbonátových komplexov.

Trasa variantu V1 diaľnice D1 v úseku Hubová – Ivachnová prechádza pásom hygienickej ochrany vodného zdroja Stará Hrboltová a združeným ochranným pásom vodného zdroja Staré Lazy, Malho atď. Na základe výskumov **sa nepredpokladá, že uvedené vodné zdroje budú zásadne ovplyvnené** vybudovaním podzemného diela a to najmä z hľadiska kvantitatívneho.

1.5 Hydrologická charakteristika a hydrografia

Z hľadiska **hydrografie a hydrológie** celá oblasť patrí do povodia rieky Váh (číslo hydrologického poradia 4 - 21) a úmoriu Čierneho mora. Najvýznamnejším vodným tokom v širšom okolí je rieka Váh, je to najdlhšia slovenská rieka. Vzniká sútokom Bieleho a Čierneho Váhu, Biely Váh pramení na svahoch Kriváňa vo Vysokých Tatrách a Čierny Váh pod Kráľovou hoľou v Nízkych Tatrách. Jeho celková dĺžka je 403 km. Priemerný prietok Váhu v ústí je $196 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, maximálny $1825 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimálny $22,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Priemerný prietok na Váhu pod prítokom Revúcej je $37,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Rieka Váh ale i jej hlavné prítoky Ľubochňanka, Orava a Revúca na základe základných hydrologických charakteristík sú zaradené do stredohorskej oblasti, pre ktoré je typický typ režimu odtoku snehovo-dažďový, akumulácia vôd prebieha v mesiacoch november až marec, vysoká vodnosť v marci, apríli až júni, najvyššie prietoky recipienty dosahujú v máji ($VI < IV$), najnižšie prietoky sa vyskytujú v januári až februári, podružné zvýšenie vodnosti koncom jesene a začiatkom zimy je nevýrazné. Režim povrchových vôd významne ovplyvňujú umelé vodné nádrže Liptovská Mara, Bešeňová a Orava.



Obrázok 4 Výrez z vodohospodárskej mapy so znázornením siete vodných tokov.
 Fialovou čiarou je znázornená trasa diaľnice D1.

Najbližšia vodomerná stanica je na rieke Váh v Hubovej, ďalej na rieke Orava v Dierovej a na potoku Ľubochňanka v Ľubochni (viď tabuľka 5). Pre ilustráciu, priemerné mesačné prietoky na vodných tokoch v rokoch 2008 až 2010 na hlavných vodomerných staniciach v skúmanom území sú spracované v tabuľke 6.

Skúmané územie je odvodňované lokálnymi vodnými tokmi (zvyčajne bezmenné vodné toky okrem Kamenného potoka, potoka Hrboltová, potoka Čebrať a potoka Záružlie), ktoré tvoria pravostranné prítoky rieky Váh, resp. ľavostranné prítoky potoka Likavka, ktorý je tiež pravostranným prítokom Váhu. Schéma siete vodných tokov je znázornená na obrázku 4. V rámci prieskumných prác boli aj na vybraných lokálnych vodných tokoch vybudované merné priepady, ktoré umožňujú kontinuálne meranie prietokov na povrchových vodných tokoch a presnejšie vyhodnotenie hydrologickej bilancie (príloha 11).

Tvar a rozsah siete vodných tokov je výsledkom erózo-denudačných procesov v priebehu neogénu a kvartéru, pričom podmieňujúcim faktorom boli najmä litologická charakteristika hornín a ich tektonické porušenie. V zásade možno povedať, že riečna sieť (tok Váhu a tok Likavky) korešponduje s hlavnými nadregionálnymi zlomovými systémami, doplnková sieť menších vodných tokov má prevažne orientáciu v smere doplnkových

regionálnych resp. lokálnych zlomov a iných geologických rozhraní. Možno tiež predpokladať, že stavbou nebude riečna sieť a sieť menších vodných tokov narušená.

Tabuľka 5 Zoznam najbližších vodomerných staníc v okolí oblasti prieskumu

Tok	Stanica	Hydrol. číslo	Riečny km	Plocha povodia (km ²)	Nadm. výška (m n.m.)
Váh	Hubová	1-4-21-02-119-01	308,60	2133,20	444,70
Orava	Dierová	1-4-21-04-079-01	6,00	1 966,75	439,05
Ľubochňanka	Ľubochňa	1-4-21-02-131-01	0,30	118,48	442,00

Zdroj: SHMÚ

Tabuľka 6 Priemerné mesačné a extrémne prietoky (m³.s⁻¹) na sledovaných vodných tokoch

Tok: Váh Stanica: Hubová riečny kilometer308,60													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	20,29	24,00	27,75	37,28	41,36	41,04	29,60	38,00	36,17	32,00	25,66	23,68	31,40
Qm 2009	23,56	21,85	27,38	54,15	52,99	39,36	37,73	36,39	27,16	23,35	21,95	45,29	34,35
Qm 2010	31,69	30,09	34,47	32,85	99,22	101,0	49,40	77,99	91,86	47,39	43,03	35,97	56,35
	2008	2009	2010										
Qmax	97,60	128,8	291,2										
Qmin	17,16	17,17	17,96										
Qmax 1921-2009840,00					Qmin 1921-20097,70								
Tok: Orava Stanica: Dierová riečny kilometer 6,00													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	31,23	35,71	55,75	49,39	21,90	14,80	30,67	21,84	15,28	16,65	14,67	20,13	27,33
Qm 2009	30,59	27,75	35,98	77,16	20,61	29,53	31,29	24,31	18,04	20,58	29,63	30,70	31,30
Qm 2010	31,69	25,80	25,33	24,89	136,7	106,0	40,05	35,03	111,5	24,39	19,41	36,30	51,48
	2008	2009	2010										
Qmax	248,0	199,8	194,9										
Qmin	8,755	9,161	2,674										
Qmax 1931-2009 1120,0					Qmin 1931-2009 2,300								
Tok: Ľubochňanka Stanica: Ľubochňa riečny kilometer 0,30													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Qm 2008	2,247	1,817	3,835	3,890	2,656	1,714	2,558	2,000	1,212	1,087	1,488	3,136	2,308
Qm 2009	1,536	1,959	3,536	6,655	2,956	2,380	2,369	1,577	1,247	1,193	1,961	2,140	2,457
Qm 2010	2,002	1,349	2,665	3,017	5,960	4,919	3,760	4,365	5,425	3,078	2,704	3,157	3,546
	2008	2009	2010										
Qmax	16,70	13,56	18,01										
Qmin	0,797	0,861	1,247										
Qmax 1931-2009 43,29					Qmin 1931-2009 0,320								

Zdroj: SHMÚ (Hydrologická ročenka 2008 - 2010)

Podľa prílohy č. 1 vyhlášky MŽP SR č. 211/2005 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam vodohospodárskych významných tokov sa v dotknutom území nachádzajú vodný tok Likavka (4-21-02-110) a vodný tok Váh (4-21-01-038). Vodárensky významné toky sa v skúmanom území nenachádzajú.

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: štúdia 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;
- Máľuš, J.: Ľubochňa - Ivachnová - diaľnica D1, orientačný inžinierskogeologický a predbežný hydrogeologický prieskum. URANPRES s.r.o., Spišská nová ves, 1996. GEOFOND 80482;
- Máľuš, 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 a podrobný inžinierskogeologický prieskum pre oblasť západného portálu tunela Čebrať v novej pozícii a pre celú trasu tunela (Borovský, 2016, 2017).

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 7 sú ložiská nevyhradených nerastov, v tabuľke 8 ložiská vyhradených nerastov s ložiskovým územím a v tabuľke 9 ložiská vyhradených nerastov s určeným dobývacím priestorom.

Tabuľka 7 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 8 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 9 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

Je potrebné upozorniť, že významným zdrojom nerastných surovín (najmä stavebného kameňa resp. násypového materiálu) je v prípade variantu V2 diaľnice aj samotný tunel Čebrať. Vyrúbaný materiál však musí byť posúdený geológom z hľadiska vhodnosti zariadenia do zemných konštrukcií a upravená jeho frakcia. Spôsob využitia rúbaniny a orientačný výpočet jej kubatúry je spracovaný v samostatnej kapitole 2.4.

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.

Medzi vysoko cenené a ŠOP hodnotené lokality bez legislatívnej ochrany patrí i penovcové pramenisko cca v km 2,900 - 3,000, neďaleko vrtu NT-13.

1.8 Metodika prác

Po poskytnutí základných podkladov od generálneho projektanta stavby, po fyzickej rekognoscácii predmetného úseku diaľnice, po prehodení 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 variant V2 novej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová pozostávali z realizácie štruktúrnych jadrových vrtných dvojitého jadrovku za pomoci vodného výplachu a z vrtných nasucho jednoduchou jadrovkou. Spolu bolo navrhnutých v projekte geologickej úlohy realizovať 9 ks vrtných v celkovej metráži 345 m. Skutočne realizované technické prieskumné práce zahŕňali celkom 7 ks jadrových vrtných.

Z celkového počtu 7 ks vrtných boli 2 ks vrtných realizované technológiou nasucho (TK – tvrdokovová korunka), pričom následne boli tieto dva vrty (50 m) zabudované ako hydrogeologické pozorovacie vrty. Jadrové vrty nasucho boli zrealizované v období 10.5.2017 – 12.5.2017 pod vedením vrtmajstra p. Burdeja súpravou UGB–50M na podvozku Praga 66 (Ing. Jozef Hajčík, Geologicko–prieskumné práce, Brvnište).

Ďalších 5 ks vrtných z celkového počtu všetkých vrtných bolo realizovaných technológiou s dvojitého jadrovku (systém WireLine) za pomoci vodného výplachu v skalných a poloskalných horninách, vo zvetranom podloží a v kvartérnom komplexe vrtním nasucho. Z

tohoto počtu 3 ks vrtov (130 m) bolo zabudovaných ako inklinometrické monitorovacie vrty, pričom vo dvoch z nich boli zároveň inštalované piezometrické snímače pre sledovanie pórových tlakov podzemnej vody. Jeden vrt (30 m) bol zabudovaný ako otvorený hydrogeologický pozorovací vrt a jeden vrt (75 m) bol zabudovaný ako piezometrický pozorovací vrt s uzatvoreným systémom. Prehľad navrhovaných a realizovaných vrtov s dvojitou jadrovkou uvádza nasledovná tabuľka 10. Dva vrty NT-05 a NT-22 sa nerealizovali z dôvodu, že počas prieskumných prác nebolo zrejmé technické riešenie mosta 204, ktoré vyplynie až z posudzovania vplyvov na životné prostredie (EIA). Tieto vrty bude potrebné dobudovať buď ako inklinometrické (v prípade presypaného mosta) alebo ako piesometrické prieskumné (v prípade betónového mosta). Vrty boli realizované v dňoch 20.5.2017 – 17.8.2017 technológiou WireLine, s vodným výplachom a dvojitou resp. trojitou jadrovkou. Vrtné 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 vrtné súpravy HanJin D&B 100 a Fraste MITO 40 na pásových podvozkoch a sprievodné vozidlá Praga V3S a Mitsubishi L200. 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.

Tabuľka 10 Prehľad realizovaných vrtných prác

Názov vrtu	Hĺbka (m)		Staničenie (km)	Typ vrtu, poznámka
	plánovaná	skutočná		
NT-05	30,0			Nerealizovaný
NT-20	35,0	36,0	1,766	štruktúrny, inklinometrický
NT-21	25,0	25,0	2,026	hydrogeologický
NT-22	30,0			Nerealizovaný
NT-23	25,0	25,0	1,948	hydrogeologický
NT-24	30,0	30,0	1,958	štruktúrny, hydrogeologický
NT-25	45,0	45,0	2,061	štruktúrny, inklinometrický, piezometrický
NT-26	50,0	50,0	2,148	štruktúrny, inklinometrický, piezometrický
NT-27	75,0	75,0	2,316	štruktúrny, piezometrický
	spolu	286,0		
	Inklino	131,0		dva vrty s piezometrami
	piezo	75,0		
	HG	80,0		

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, a tiež aj geomorfológia a vegetačný pokryv (minimalizácia zásahov do pôdneho a vegetačného krytu).

Štruktúrne vrty boli vŕtané dvojitou (trojitou) jadrovnicou systémom WireLine s vodným výplachom. Metóda WireLine (resp. dvojitá jadrovka) bola zvolená pre dosiahnutie maximálneho výnosu kvalitného jadra a minimalizáciu vplyvu vŕtania na stenu vrtu. Vrtné 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 vrtov 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 vrtov, odobratí vzoriek zemín a hornín, bolo vrtné jadro vyskartované.

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 vrtom v trase tunela a vrtom v miestach mostných objektov bolo potrebné vybudovať nové prístupové cesty, resp. budovať nové cesty. Po dohode s užívateľmi a správcami dotknutých pozemkov boli poškodené lesné cesty upravené do pôvodného stavu.

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.

1.8.2 Poľné skúšky

Vzhľadom na požiadavku získať komplexný prehľad o geotechnických parametroch zemín a hornín, ktoré sa vyskytujú v oblasti tunelového portálu vo variante V2, bolo navrhnuté realizovať poľné skúšky. Z použitých metód boli navrhnuté sondy dynamickej penetrácie a dilatometrické skúšky vo vrtoch. Okrem geotechnických skúšok boli vo vybraných vrtoch realizované i vodnotlakové skúšky pre overenie priepustnosti horninového masívu.

1.8.2.1 Dilatometrické skúšky

Dilatometrické skúšky boli navrhnuté pre overenie deformačných parametrov hornín v mieste plánovaného portálu tunela Čebrať v posunutej pozícii a v okolí tunelovej rúry tunela Čebrať vo variante V2. 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 32 ks dilatometrických skúšok v 4 vrtoch. V skutočnosti bolo realizovaných 39 skúšok v 4 ks vrtov do 75 m. Prehľad počtov realizovaných skúšok a rozsah hĺbok je spracovaný v tabuľke 11. Prehľad výsledkov skúšok a detailné vyhodnotenie je spracované v samostatnej prílohe 6.1.

Vrty, v ktorých boli navrhnuté dilatometrické skúšky, boli realizované vŕtaním technológiou WireLine s vodným výplachom. Dĺžka návrtu priemeru NQ (76 mm) bola v rozsahu 15 – 40 m. Skúšky boli prednostne realizované v oblasti nivelety budúcej tunelovej rúry (pod niveletou počvy tunela, v úrovni tunelovej rúry a v oblasti nad kalotou tunela), resp. v prípade vrtu NT-20 v nivelete diaľnice. 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.

Tabuľka 11 Prehľad dilatometrických skúšok vo vrtoch

Vrt	Skúšaný úsek (m)	Počet skúšok		Dátum realizácie skúšok	Poznámky
		navrhovaný	realizovaný		
NT-20	17,0 – 36,0	0	10	18.8.2017	
NT-24	-	8	0	-	Skúšky sa nerealizovali
NT-25	29,7 – 44,7	8	8	7.8.2017	
NT-26	23,0 – 49,5	8	10	30.5.2017	
NT-27	44,5 – 73,0	8	11	25.5.2017	
Spolu		32	39		

Výsledky dilatometrických skúšok predstavujú základné vstupné geotechnické parametre horninového masívu pre projektovanie tunela Čebrať vo variante V2. Sú zahrnuté do celkovej geotechnickej charakteristiky jednotlivých horninových typov v kapitole 2.1 ako aj pri charakteristike kvázihomogénnych úsekov tunela v kapitole 2.2.

1.8.2.2 Dynamické penetračné skúšky

Sondy dynamickej penetrácie boli realizované s prihliadnutím na požiadavky projektanta a špecifiká skúmanej oblasti. Boli využité ako náhrada prieskumných vrtoch v zarastených a ťažko prístupných častiach územia, resp. na zahustenie informácie o geologickej stavbe medzi priamymi prieskumnými dielami (vrtmi) a dopresnenie geotechnických parametrov zemín v mieste vrtoch.

Tabuľka 12 Prehľad realizovaných sond dynamickej penetrácie

Označenie	Dátum realizácie	Dosiahnutá hĺbka (m)	Staničenie (km)	Poznámka
DPS-STR-03	17.8.2017	5,00	1,896	
DPS-STR-04	17.8.2017	8,50	1,958	
DPS-STR-05	17.8.2017	9,50	2,018	
DPS-STR-06	17.8.2017	6,20	1,976	
DPS-STR-07	17.8.2017	10,00	2,028	
DPS-STR-08	17.8.2017	8,00	2,062	
DPS-JTR-03	18.8.2017	8,50	1,893	
DPS-JTR-04	18.8.2017	9,30	1,950	
		65,00		

Zároveň sondy umožnili aj overenie uľahnutosti zemín v miestach plánovaných mostných objektov v trase diaľnice mimo tunela a tiež v oblasti budúcej jamy západného portálu tunela Čebrať.

Navrhnutých bolo realizovať 6 ks penetračných sond celkovej dĺžky 60 m. V skutočnosti bolo realizovaných 8 ks sond dynamickej penetrácie celkovej dĺžky 65,0 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 17.8.2017 a 18.8.2017. Prehľad realizovaných skúšok je spracovaný v tabuľke 12. Prehľad nameraných priebehov dynamických penetračných skúšok a ich vyhodnotenie sú spracované v samostatnej prílohe 6.2. Výsledky dynamických penetračných skúšok sú v plnej miere zohľadnené pri hodnotení geotechnických parametrov zemín a hornín a pri návrhu zakladania jednotlivých stavebných konštrukcií.

1.8.2.3 Vodné tlakové skúšky a vsakovacie skúšky (hydrodynamické skúšky)

V zmysle schváleného Projektu geologickej úlohy 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 skúšky v 5 ks vrtoch. 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, pričom zvyčajná dĺžka skúšaného úseku bola 5 m. Tento druh skúšky bol využívaný prednostne, nakoľko v danom horninovom prostredí je na overovanie hydraulických parametrov dlhší skúšaný úsek vhodnejší. Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok je uvedený v tabuľke 13.

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.

O výsledkoch vodnotlakových skúšok a ich vyhodnotení bola vyhotovená pre každú skúšobnú etáž skúšobná správa. Výsledky vodnotlakových skúšok predstavujú základný vstupný parameter pre matematický model prúdenia podzemnej vody. Spolu bolo realizovaných 9 vodnotlakových skúšok v 4 vrtoch. Detailné spracovanie priebehu a výsledkov hydrodynamických skúšok je v prílohe 6.3.

Tabuľka 13 Prehľad realizovaných vodnotlakových skúšok

Vrt	Dátum realizácie skúšky	Skúšobný úsek	Zloženie obturátora
NT-25	08.08.2017	25,0 – 27,0 m	dvojité obturátor
NT-25	08.08.2017	33,0 – 35,0 m	dvojité obturátor
NT-25	08.08.2017	39,0 – 45,2 m	jednoduchý obturátor
NT-26	31.05.2017	38,0 – 40,0 m	dvojité obturátor
NT-26	31.05.2017	46,0 – 50,0 m	jednoduchý obturátor
NT-27	26.05.2017	67,0 – 69,0 m	jednoduchý obturátor
NT-20	18.08.2017	18,0 – 20,0 m	dvojité obturátor
NT-20	18.08.2017	22,0 – 24,0 m	dvojité obturátor
NT-20	18.08.2017	30,0 – 36,0 m	jednoduchý obturátor
Spolu	4 vrty / 9 skúšok		

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 10 ks neporušených vzoriek a 12 ks porušených vzoriek a z toho 2 ks vzoriek technologických.

V skutočnosti bolo odobraných 7 ks neporušených vzoriek a 4 ks porušených vzoriek zemín (z toho 1 ks technologických). 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, namrzavosti a vodného režimu. Výsledky laboratórnych skúšok mechaniky zemín sú uvedené v prílohe 5.1.

Prehľad vykonaných skúšok:

- granulometrický rozbor	11 ks
- medza tekutosti	11 ks
- medza plasticity	11 ks
- vlhkosť	11 ks
- objemová hmotnosť	7 ks
- zdanlivá hustota	7 ks
- Proctor štandard	1 ks
- CBR	1 ks
- prostý tlak	2 ks
- priepustnosť v triaxiáli	1 ks
- reziduálna šmyková pevnosť	2 ks

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 spolu 105 ks vzoriek hornín, z toho počtu 60 ks vzoriek na Point Load Test (PLT), 20 ks vzoriek na stanovenie pevnosti v prostom tlaku, 20 ks vzoriek na stanovenie fyzikálnych vlastností hornín a 5 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. Odoberatých bolo spolu 115 ks vzoriek. Vykonaných bolo 30 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 laboratórnych skúšok mechaniky hornín sú uvedené v samostatnej prílohe 5.2.

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

Typ vzorky	Počet vzoriek		Počet realizovaných skúšok
	návrh	skutočnosť	
Point Load Test	60	13	30
Pevnosť v prostom tlaku	20	3	3
Fyzikálne vlastnosti hornín	20	3	3
Deformačné parametre hornín	5	3	3
Spolu	105	21	

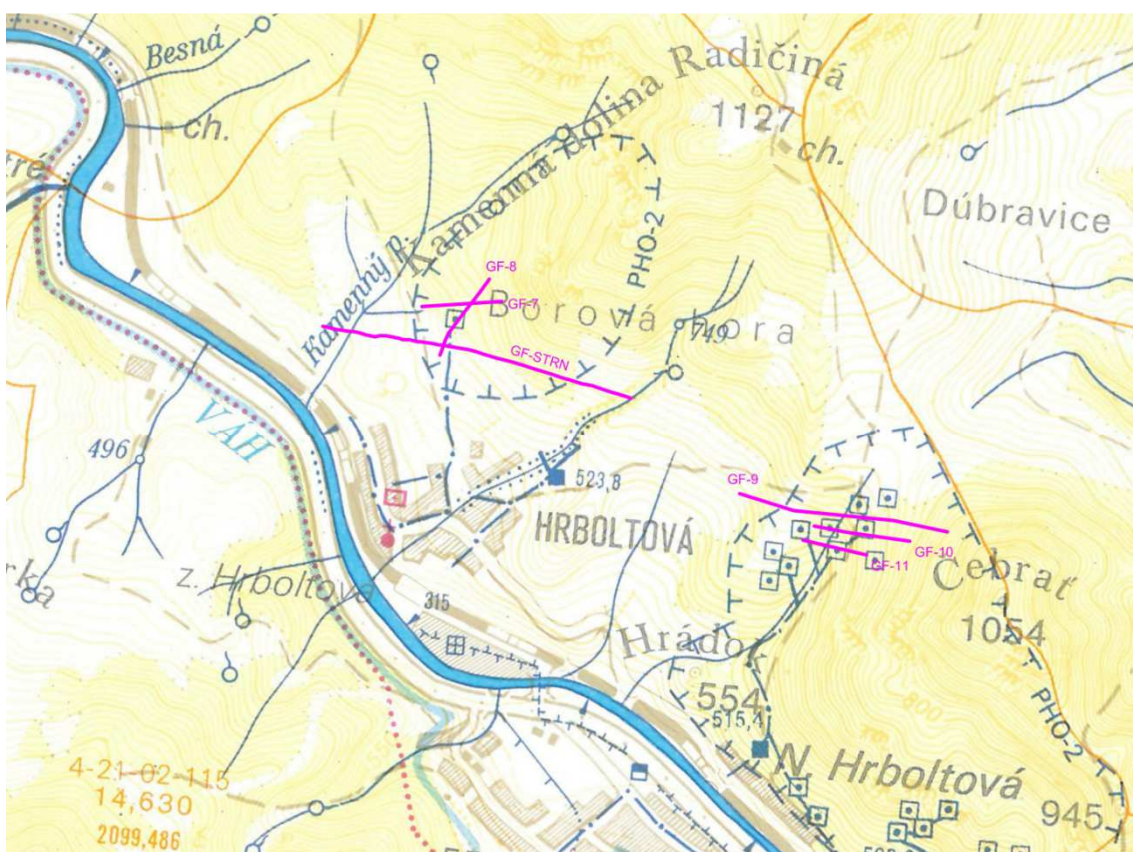
1.8.5 Laboratórne a vzorkovacie práce chémie vôd

Pre posúdenie chemického zloženia podzemných vôd, agresívnych vlastností vôd a genézy boli z vybraných novovybudovaných geologických prieskumných vrtov jednorazovo odobraté vzorky podzemných vôd. Navrhnutých bolo odobrať 8 ks vzoriek podzemných vôd. Sumárne bolo odobratých 5 ks vzoriek podzemných vôd z prameňov a z geologických diel

v trase tunela. Terénne stanovenie základných fyzikálno-chemických ukazovateľov vôd bolo realizované v piatich prípadoch. Výsledky laboratórnych prác sú spracované v prílohe 5.3 a v prílohe 10.

1.8.5 Geofyzikálne povrchové merania

V zmysle Projektu geologickej úlohy bolo naplánované realizovať 1000 m povrchových geoelektrických meraní (multikábel – odporová tomografia, SOP+VES). Na základe výsledkov podrobného IGHP časť A ako aj zohľadnením požiadaviek JASPER a investora stavby NDS a.s. boli geofyzikálne práce doplnené o realizáciu 5 ks nových profilov v oblasti vodných zdrojov Stará Hrboltová a Staré Lazy. Sumárne teda k profilu GF-STRN v trase severnej vetvy diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v posunutom variante V2 boli ešte doplnené profily GF-7 až GF-11. Spolu bolo v skutočnosti realizovaných 3748 m geoelektrických meraní, pričom profil v osi severnej tunelovej rúry vo variante V2 (označený GF-STRN, dĺžka 1348 m) bol fyzicky realizovaný na základe požiadaviek projektanta už počas podrobného inžinierskogeologického prieskumu časť A (Borovský et al, 2017), kde tvorí samostatnú prílohu, fakturačne však bude vysporiadaný až v rámci predkladaného prieskumu. Ďalších 2500 m profilov bolo realizovaných v oblasti vodných zdrojov.



Obrázok 5 Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní.

Geofyzikálne merania pomocou multielektrodového systému (merania SOP, VES a merania elektrickej odporovej tomografie) realizovala spoločnosť GEOPAS s.r.o., Žilina v období mesiaca júl 2017.

Geoelektrické odporové merania mali za cieľ charakterizovať geologické prostredie na základe nameraných hodnôt zdanlivých (merných) geoelektrických odporov zemín a hornín v

rámci prieskumných profilov v horizontálnom aj vertikálnom smere. Tieto merania umožňujú rozčleniť geologické prostredie do zhruba rovnorodých (kvázihomogénnych) úsekov s približne konštantnými odporovými vlastnosťami, ako aj vyčlenenie poruchových zón. Výsledky multielektrodových meraní sú spracované v samostatnej prílohe 8. Prehľadná situácia realizovaných geofyzikálnych povrchových meraní podľa jednotlivých metód je znázornená na obrázku 5.

1.8.6 Karotážne merania vo vrtoch

Karotážne merania boli realizované v štruktúrnych vrtoch (zväčša účelových piezometrických a inklinometrických) situovaných v zmysle požiadaviek Projektu geologickej úlohy. Celkovo bolo karotovaných 5 ks vrtov s celkovou metrážou 216 m.

Karotážne metódy zahŕňali kontinuálne merania kavernometrie (zmeny priemeru vrtu), prirodzenej gama aktivity, inklinometrie (zmeny orientácie vrtu), termometrie, konduktivity, ako aj geoelektrické merania. Tento komplex geofyzikálnych meraní bol doplnený optickým záznamom steny vrtov pomocou kamerovej sondy. Karotážne merania vykonali pracovníci spoločnosti CAD-ECO a.s. Bratislava. Výsledky karotážnych meraní vo vrtoch sú spracované v prílohe 7.

Karotážne merania vo vrtoch boli realizované po ukončení vrtných prác. Nestabilné polohy vrtov, prevažne kvartérne zeminy, prípadne silno zvetrané, či porušené horniny vo vrchných polohách vrtov zostávali aj počas karotážnych meraní prepažené, aby sa eliminovalo, či aspoň obmedzilo riziko zavalenia alebo čiastočného obmedzenia priechodnosti vrtu. Hlbšie štruktúrne vrty boli merané etapovito, v závislosti na dokončenom úseku príslušného vrtu. Z dôvodu intenzívneho zakalenia vody (neprieľadnosť vody) boli niektorých vrtoch redukované rozsahy kamerovej sondáže. Hlboko zaklesnutá hladina podzemnej vody spôsobila v niektorých vrtoch skrátenie úsekov meraných pomocou geoelektrických metód, nakoľko voda vo vrte predstavuje médium, ktoré je použité k vedeniu elektrických impulzov.

Karotážne merania vykonali pracovníci firmy CAD-ECO a. s. Bratislava, Mgr. Martin Borovský a Ing. Ladislav Stolarík, v období od 25.5.2017 do 18.8.2017 karotážnou aparátúrou firmy Advanced Logic Technology. Podrobné informácie o karotážných meraniach a ich interpretovaných výsledkoch sú uvedené v prílohe 7.

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. 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. Okrem toho boli v rámci geologickej služby realizované rekultivačné úpravy lesných ciest a vrtných pracovísk. Záverečná správa obsahuje nasledujúce prílohy:

PRÍLOHA 1 PREHLADNÁ SITUÁCIA ÚZEMIA M 1 : 100 000**PRÍLOHA 2 SITUÁCIAPRIESKUMNÝCH DIEL M 1 : 4000****PRÍLOHA 3 GEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA A FOTODOKUMENTÁCIA VRTOV****PRÍLOHA 4 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ REZY**

- Príloha 4.1 Schematický inžinierskogeologický rez 1 – 1` v km 1,600
- Príloha 4.2 Schematický inžinierskogeologický rez 2 – 2` v km 1,780
- Príloha 4.3 Schematický inžinierskogeologický rez 3 – 3` v km 2,068
- Príloha 4.4 Schematický inžinierskogeologický rez 4 – 4` v km 2,148
- Príloha 4.5 Schematický inžinierskogeologický rez 5 – 5` v km 2,229
- Príloha 4.6 Schematický pozdĺžny inžinierskogeologický rez PS - PS` osou severnej vetvy diaľnice D1 v km 1,500 - 3,000 (V2)
- Príloha 4.7 Pozdĺžny geologicko-geotechnický rez GT - GT` trasou severnej tunelovej rúry tunel Čebrať vo variante V2 v km 2,000 - 3,000

PRÍLOHA 5 LABORATÓRNE ROZBORY

- Príloha 5.1 Výsledky laboratórnych rozborov mechaniky zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., 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 laboratórnych rozborov chémie vôd a zemín (INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina)

PRÍLOHA 6 POĽNÉ SKÚŠKY

- Príloha 6.1 Výsledky dilatometrických skúšok vo vrtoch
- Príloha 6.2 Výsledky skúšok dynamickej penetrácie
- Príloha 6.3 Výsledky hydrodynamických skúšok vo vrtoch

PRÍLOHA 7 VÝSLEDKY KAROTÁŽNYCH MERANÍ VO VRTOCH (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)**PRÍLOHA 8 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNYCH POVRCHOVÝCH MERANÍ (GEOPAS s.r.o., Žilina)****PRÍLOHA 9 VÝSLEDKY MATEMATICKÉHO MODELOVANIA PRÚDENIA PODZEMNÝCH VÔD (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 10 VÝSLEDKY MERANÍ HLADÍN PODZEMNEJ VODY (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)****PRÍLOHA 11 TECHNICKÁ SPRÁVA**

- Príloha 11.1 Technická správa o zabudovaní inklinometrických vrtoch (GEOEXPERTS s.r.o., Žilina)
- Príloha 11.2 Technická správa o zabudovaní piezometrických a hydrogeologických vrtoch (CAD-ECO a.s., stredisko Žilina)

PRÍLOHA 12 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 východov podloží hornín. S ohľadom na realizované merania inklinometrie v oblasti nového 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. Fluviálne terasové zeminy, ktoré sa nachádzajú v západnej časti trasy diaľnice vo variante V2 nebudeme v tejto správe hodnotiť, nakoľko v danom zeminovom komplexe nebolo nové priame prieskumné dielo a je tak možné plne využiť už publikované parametre týchto zemín (viď Záverečná správa pIGHP, Borovský et al., 2017).

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 podloží 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. 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 ($m = 27,0 - 50,7 \%$), obsahom piesčitej frakcie ($s = 8,7 - 43,9 \%$) a štrkovej frakcie ($g = 0,1 - 40,8 \%$). V oblasti výverov podzemnej vody a na kontakte s priepustnejšími nasýtenými zeminami je konzistencia tuhá až mäkká. Úlomky sú prevažne ostrohranné až na hranách opracované, tvorené najmä karbonátmi, menej sa vyskytujú pieskovce, siltovce alebo zlepenec. 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 (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 18,5 - 22,5 \text{ kN.m}^{-3}$	$21,3 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 25,3 - 29,8^\circ$	$25,3^\circ$
	$\varphi_{ef} = (18,3 - 29,9^\circ)$	
	$c_{ef} = 0 - 3 \text{ kPa}$	3 kPa
	$c_{ef} = (0 - 14 \text{ kPa})$	

– parametre rez. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{rez}} = 21,5 - 24,4^\circ$	21,5°
	$\varphi_{\text{rez}} = (13,4 - 26,1^\circ)$	
	$c_{\text{rez}} = 0 - 1 \text{ kPa}$	1 kPa
	$c_{\text{rez}} = (0 - 5 \text{ kPa})$	
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = 7,2 - 31,50 \text{ MPa}$	17,46 MPa
– modul pretvárnosti z DPS**:	$E_{\text{def}} = 6,60 - 32,16 \text{ MPa}$	20,00 MPa
	$E_{\text{def}} = (6,28 - 43,00 \text{ MPa})$	
– únosnosť (d = 0,8 – 1,5 m a b ≤ 3 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 **podložie komunikácií** 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 odlišné sú hodnotené íly s veľmi vysokou plasticitou (F8/CH), ktoré sú tak pre **podložie** komunikácií, ako aj pre budovanie **násypu nevhodné**.

Laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorkách číslo 620, 617, 547 a 703 pre íly štrkovité (F2/CG) z vrtov M-204-08 (hĺbka 2,5 – 4,0 m), M-204-07 (hĺbka 1,5 – 3,0 m), NT-19 (hĺbka 2,0 – 4,0 m) a NT-04 (hl. 2,0 – 4,0 m) z predchádzajúcej etapy prieskumu predstavoval hodnotu 2,0 – 5,0 % (priemerne 3,75%) pri $w_{\text{opt}} = 13,9 - 16,3 \%$ (priemerne 15,23%) a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,85 - 1,95 \text{ g.cm}^{-3}$ (v priemer 1,91 g.cm^{-3}).

Dynamické penetračné sondy realizované v skúmanom úseku v polohách ílovitých sutí charakteru F2/CG, s ojedinelým zastúpením ílov (F6/CI, F4/CS) až štrkov ílovitých (G5/GC) preukázali, že sú prevažne pevnej konzistencie s $I_c = 0,71 - 1,30$, v priemere $I_c = 1,04$, prípadne až tvrdej konzistencie ($I_c = 1,31$). Odvodený modul deformácie dosahuje $E_{\text{def}} = 6,60 - 32,16 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 20,00 \text{ MPa}$, čo je v súlade s výsledkami presiometrických skúšok z predchádzajúcej etapy prieskumu. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia, pričom obsah štrkovej frakcie podstatne vplyva 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 a deluviálno-proluviálne 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 zlepené a pieskovce), zvrstvené z vyšších partií svahov. Úlomky sú prevažne ostrohranné, len na hranách opracované. Ojedinele sa v komplexe nachádzajú aj rozmerné bloky skalných hornín, skotúľané z vyšších partií svahov. Tieto budú predstavovať problém pri vŕtaní veľkopriemerových pilót, preto je potrebné očakávať vyššiu triedu vŕtateľnosti pilót. 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 G4 so symbolom označenia GM s nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 20,5 - 22,8 \text{ kN.m}^{-3}$	21,8 kN.m ⁻³
– parametre efekt. šmyk. Pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 25,5 - 32^\circ$	30°
	$c_{\text{ef}} = 0 - 10 \text{ kPa}^*$	5 kPa*
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = 48,32 - 585,63 \text{ MPa}$	221,18 MPa
– modul pretvárnosti z DPS*:	$E_{\text{def}} = 15,70 - 140,10 \text{ MPa}$	65,00 MPa
	$E_{\text{def}} = (35,45 - 671,20 \text{ MPa})$	
– únosnosť (b = d = 1,0 m):	$R_{\text{dt}} = (200 - 400 \text{ kPa})$	(300 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	I. – III.	II.

Podľa upraveného Scheibleho kritéria v zmysle STN 73 6133 – Stavba ciest, teleso. pozemných komunikácií, uvedené nesúdržné zeminy (G4/GM) **sú mierne namrzavé**. Podľa kritérií vhodnosti **pre podložie komunikácií a telesa násypov** v zmysle uvedenej normy sú tieto zeminy **vhodné**. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia.

Laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorke číslo 2383 pre íl štrkovitý (F2/CG) z vrtu NT-24 (hĺbka 9,0 – 10,0 m) predstavuje hodnotu 5,0 % pri $w_{\text{opt}} = 12,9 \%$ a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,98 \text{ g.cm}^{-3}$, ktorý je v relácii s výsledkami z predchádzajúcej etapy prieskumu, kde laboratórne zistený pomer únosnosti CBR na vzorkách číslo 512 a 509 pre štrky ílovité (G5/GC) z vrtov M-204-06 (hl. 2,0 – 4,0 m) a M-204-05 (hĺbka 6,0 – 7,8 m) predstavoval hodnotu 2,0-5,0 (v priemere 3,0 % pri $w_{\text{opt}} = 11,7 - 15,8 \%$ (priemerne 13,75 %) a max. objemovej hmotnosti $\rho_{\text{max}} = 1,91 - 2,03 \text{ g.cm}^{-3}$ (v priemere 1,97 g.cm⁻³).

Dynamické penetračné sondy v úsekoch so zastúpením kamenitých sutí charakteru štrkov ílovitých a hlinitých (G5/GC, G4/GM) resp. piesku s prímiesou jemnozrnej zeminy (S3/S-F) s ojedinelým zastúpením prepláštikov sutí ílovitých (F2/CG) preukázali, že sú prevažne stredne uľahnuté až veľmi uľahnuté s $I_D = 0,34 - 0,94$ v priemere $I_D = 0,59$ stredne uľahnuté. Veľmi zriedkavo sa vyskytujú i polohy málo uľahnuté. Odvodený modul deformácie z dynamických penetračných skúšok predstavuje $E_{\text{def}} = 15,70 - 140,10 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 65,00 \text{ MPa}$. Pevnostné a deformačné charakteristiky sú závislé od konzistencie a granulometrického zloženia, pričom obsah piesčitej a štrkovej frakcie má podstatný vplyv aj na ich únosnosť a priepustnosť.

Koeficient filtrácie vypočítaný z kriviek zrnitosti $k_f = 4,00 \cdot 10^{-4} - 6,92 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ 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 **dosť slabo priepustné**.

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

Tabuľka 15 Prehľad geotechnických parametrov deluviálnych (proluviálnych) zemín

CHARAKTERISTIKA		Symbol [Rozmer]	DELUVIÁLNO-PROLUVIÁLNE SEDIMENTY (Zosuvné delúvium)			
			Deluviálne a polygenetické sute a íly		Deluviálne sute balvanité, kamenité a ílovito-kamenité	
			Rozsah	Odp. hodn.	Rozsah	Odp. hodn.
Prirodzená vlhkosť		w_n [%]	9,6 – 15,2 (8,00 – 30,60)	14,70	12,4 – 13,6 (6,50 – 14,50)	12,60
Prirodzená objemová hmotnosť		ρ_n [g.cm ⁻³]	1,96 – 2,24 (1,85 – 2,25)	2,13	2,05 – 2,28	2,18
Suchá objemová hmotnosť		ρ_d [g.cm ⁻³]	1,79 – 2,02 (1,45 – 2,02)	1,86	1,91 – 2,00	1,95
Hustota		ρ_s [g.cm ⁻³]	2,70 – 2,73 (2,64 – 2,75)	2,71	2,74 – 2,75	2,75
Pórovitosť		n [%]	25,50 – 31,30 (24,80 – 46,40)	31,80	29,70 – 30,40	30,1
Stupeň nasýtenia		S_r [%]	50,8 – 91,00 (59,40 – 95,70)	85,20	42,10 – 91,10	66,60
Obsah organických látok		I_{om} [%]	3,0	3,0	-	-
Medza tekutosti		w_L [%]	26 – 40 (30 – 80)	41	23 – 37	29
Číslo plasticity		I_p [%]	10 – 21 (12 – 44)	21	9 – 20	14
Číslo konzistencie LMZ		I_c	1,13 – 1,45 (1,01 – 1,48)	1,29	-	-
Obsah zŕn	$\phi < 0,002\text{mm}$	c [%]	6,9 – 16,4 (3,3 – 52,1)	17,0	4,8 – 6,9 (3,2 – 7,6)	5,0
	$0,002 < \phi < 0,06\text{mm}$	m [%]	27,0 – 40,3 (27,8 – 50,7)	38,0	22,6 – 28,6 (44,2 – 30,5)	20,0
	$0,06 < \phi < 2\text{mm}$	s [%]	14,8 – 21,5 (8,7 – 43,9)	18,0	21,3 – 26,4 (18,8 – 31,3)	27,0
	$\phi > 2\text{mm}$	g [%]	23,1 – 40,8 (0,1 – 36,4)	27,0	44,1 – 45,3 (36,7 – 61,1)	48,0
Pevnosť v prostom tlaku		σ [kPa]	169 (153 – 186)	170	-	-
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti z LMZ		φ_{ef} [°]	25,3 – 29,8 (18,3 – 29,9)	25,3	25,5 – 32,0	30
		c_{ef} [kPa]	0 – 3 0 – 14	3	0 – 10	5
Parametre reziduálnej šmykovej pevnosti		φ_r [°]	21,5 – 24,4 (13,4 – 26,1)	21,5	-	-
		c_r [kPa]	0 – 1 (0 – 5)	2	-	-
Parametre zhutnenia Proctor Standard		$w_{opt.}$ [%]	12,9 (11,70 – 14,10)	12,90	9,9	9,9
		$\rho_{d\ max.}$ [g.cm ⁻³]	1,98 (1,85 – 1,95)	1,91	2,03	2,03
Pomerná únosnosť		CBR [%]	5,0 (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 DPS***		E_{def} [MPa]	6,60 – 32,16 (6,28 – 43,00)	20,00	15,70 – 140,10 (34,45 – 671,20)	65,00
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	GM
			F2,F4,F8	F2,F4	F2,G5,G4	G4
		STN 73 6133	2–6–14–15	2–6	2 – 26–25	25
		STN 73 3050	3–4	3–4	4–5	4–5

Poznámky : v zátvorkách sú hodnoty odvodené z predch. etapy prieskumu alebo z STN a z odbornej literatúry; únosnosť je uvádzaná ako tabuľková výpočtová únosnosť R_{dt} podľa STN 73 1001 (platná do roku 2010) pre súdržné zeminy pri $b \leq 3\text{ m}$, $d = 0,8\text{--}1,5\text{ m}$ a pre nesúdržné zeminy pri $b = d = 1\text{ m}$; PS* – presiometrické skúšky STN 72 1004, DPS*** - dynamické penetračné skúšky STN EN ISO 22476-2

2.1.2 Mezozoikum

V podloží kvartérnych sedimentov sa v skúmanom území v trase variantu V2 vyskytujú mezozoické súvrstvia kriedového a jurského veku, pričom jednotlivé súvrstvia sú súčasťou veporickej tektonickej jednotky (krížňanský príkrov). Jurské prevažne vápencové členy patria do jaseninského súvrstvia a nachádzajú sa najmä v západnej časti trasy cca od údolia Kamenného potoka. Naopak, od tohto údolia smerom na východ podložie tvoria flyšové kriedové horniny porubského, párnického až mráznického súvrstvia. Porubské súvrstvie tvoria dominantné ílovce s preplástkami pieskovcov a siltovcov. Podložné párnické vrstvy sú zastúpené slieňovcami, slienitými vápencami, karbonatickými pieskovcami, siltovcami. Mráznické resp. lučivnianske súvrstvie je charakterizované najmä zastúpením slieňovcami a slienitými kalovými vápencami, podobne aj osnické súvrstvie v jeho podloží, čiže prechod z flyšového charakteru na karbonatický. Presné rozhranie medzi jednotlivými súvrstviami vzhľadom na rozsah vzorkovania a časový rámec prieskumu nebolo možné v profiloch vyčleniť. Navyše, jednotlivé súvrstvia sú v skúmanej lokalite často zdvojené (duplexy) ako čiastkové príkrovové šupiny. Charakter podložných mezozoických hornín bol overený vrtnými i mapovacími prácami, 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 rozpušťať pozdĺž plôch laminácie a vrstevnatosti. Vytvárajú doskovité bloky, v zónach tektonického porušenia sú až tenkodoštičkovité.

Vzhľadom na pomerne malú pevnosť hornín krížňanského príkrovu vo flyšovej časti 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 klzné plochy pri presunoch nadložných príkrovov ako aj pri neskoršej tektonickej aktivite v tejto oblasti (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 (karbonatický komplex) sú prevažne doskovité až lavicovité, s pozvoľnými vzájomnými prechodmi do slieňovcov až vápnitých ílovcov. Predstavujú zvyčajne najpevnejšie členy celého súvrstvia. Častokrát polohy ílovcov sú v prostredí vápencov "vyvalcované" do tenkých zbridičnatých vrstvičiek s lesklými zvlnenými plochami odlučnosti. V oblasti tektonických zlomových porúch sú vápencové horniny detailne zvrásnené, úlomkovité a nadobúdajú miestami charakter štrkovitej zeminy. V

skúmanom úseku diaľnice boli vápence zastúpené jurským jaseninským súvrstvom, ktoré v pripovrchovej časti je rozvoľnené, prestúpené pomerne hustým systémom diskontinuit a čiastočne skrasovatené. Napriek tomu horninové úlomky a bloky dosahujú strednú až vysokú pevnosť.

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



Obrázok 6 Tektonicky porušené ílovce s plávajúcimi úlomkami pevnejších hornín – tektonická brekcia

rozbreďovanie. Vzhľadom na svoju porušenosť a citlivosť na vodu tieto horniny podmieňujú vznik zosuvov a blokových deformácií v oblasti východných až južných svahov kóty Radičiná (1127,2 m n.m.), tj. v oblasti pôvodnej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová. V oblasti nového portálu tunela Čebrať (variant V2) sú veľmi hojné.

Deformačné parametre zvetraných a rozpukaných ílovcov

boli overené dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-25 (DS-25 až DS-29), NT-26 (DS-01, DS-05, DS-07, DS-08 a DS-10) a NT-27 (DS-16 a DS-17), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{def} = 10,46 - 261,05$ MPa, v priemere $E_{def} = 114,07$ MPa.

V zmysle STN 72 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 (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 21,4 - 24,4 \text{ kN.m}^{-3}$	$22,7 \text{ kN.m}^{-3}$
– 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:	$\sigma_c = 2,05 - 11,88 \text{ MPa}$	$6,20 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (2,40 - 11,83 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH a LMZ:	$\sigma_c = (0,094 - 9,86 \text{ MPa})$	$(4,59 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 10,46 - 261,05 \text{ MPa}$	$140,00 \text{ MPa}$
	$E_{def} = 3,95 - 395,51 \text{ MPa}$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{dt} = (150 - 400 \text{ kPa})$	(250 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	I. – II.	II.

B) Zvetrané alebo čiastočne porušené ílovce až siltovce majú charakter poloskalných hornín s pomerne hustým rozpukáním 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, zvlnené. 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-26 (DS-02, DS-09) a NT-27 (DS-11, DS-12, DS-14,



Obrázok 7 Rozpukané navetrané ílovce s laminami siltovca, rozpadavé pozdĺž plôch vrstevnatosti

DS-20 a DS-21), kde hodnoty modulu pretvárnosti dosahovali rozsah $E_{\text{def}} = 412,60 - 1168,20$ MPa, v priemere $E_{\text{def}} = 755,19$ MPa. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R4 – R2 a celkovo charakterizovať nasledovnými hodnotami základných

geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu, PS* sú hodnoty z presiometrických skúšok):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 24,8 - 26,5 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,2 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 34 - 44^\circ$	40°
	$c_{\text{ef}} = \tau_0 = 250 - 500 \text{ kPa}$	400 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 10,45 - 41,26 \text{ MPa}$	$20,00 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (9,40 - 37,96 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = (10,54 - 30,57 \text{ MPa})$	$(16,04 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = (450,64 - 1851,11 \text{ MPa})$	$(813,98 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 412,60 - 1168,20 \text{ MPa}$	$800,00 \text{ MPa}$
	$E_{\text{def}} = (450,64 - 1851,11 \text{ MPa})$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (500 - 2000) \text{ kPa}$	$(1250) \text{ kPa}$
– trieda vrtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

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-26 (DS-03, DS-04 a DS-06) a NT-27 (DS-13, DS-15, DS-18 a DS-19).



Obrázok 8 Kompaktné zdravé málo porušené ílovce s laminami siltovca

Hodnoty modulov pretvárnosti pre zdravé ílovce až siltovce boli v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71$ MPa, v priemere $E_{\text{def}} = 2654,64$ MPa. Horniny sú citlivé na zmeny vlhkosti a napätosti a po odvrtní sa veľmi rýchlo rozpadávajú pozdĺž plôch primárnej nespojitosti – laminácie a vrstevnatosti. Majú charakter poloskalných až skalných hornín

a v zmysle STN 72 1001 ich možno zaradiť do triedy pevnosti R3 – R2. Celkovo možno komplex s dominanciou zdravých ílovcov až siltovcov charakterizovať nasledovnými hodnotami základných geotechnických parametrov (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z

predchádzajúcej etapy podrobného prieskumu, PS* sú hodnoty z presiometrických skúšok, DS** sú hodnoty z dilatometrických skúšok):

	Rozsah	Odporúčaná hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 25,3 - 26,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,5 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 42 - 46^\circ$	44°
	$\tau_0 = 500 - 800 \text{ kPa}$	600 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 18,42 - 135,91 \text{ MPa}$	$20,00 \text{ MPa}$
	$\sigma_c = (13,22 - 69,97 \text{ MPa})$	
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = (22,76 - 67,68 \text{ MPa})$	$(35,09 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z PS*:	$E_{\text{def}} = (780,51 - 1091,44 \text{ MPa})$	$(920,26 \text{ MPa})$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$	$2700,00 \text{ MPa}$
	$E_{\text{def}} = 2107,04 - 12726,05 \text{ MPa}$	
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (800 - 4000 \text{ kPa})$	(2000 kPa)
– trieda vŕtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

D) Tektonicky porušené resp. zvetrané slienité vápence jaseninského súvrstvia sú lavicovité až doskovité, pričom vytvárajú pozvoľné prechody do slienitých ílovcov alebo obsahujú tenké "vyvalcované" preplásky zbridlčatených ílovcov. Vyskytujú sa najmä v



Obrázok 9 Tektonicky porušené a zvetrané slienité vápence s preplástkami zbridlčatených vápenných ílovcov (vypláchnuté počas vŕtania)

predportálovej oblasti tunela Čebrať (variant V2) a to v úseku od začiatku mosta 203 po koniec mosta 204. V tomto úseku je súvrstvie vápencov postihnuté jednak tektonickými, ale aj zvetrávacím procesmi a skrasovatením. Masív je teda značne rozpukaný a rozvoľnený,

čomu zodpovedajú i hodnoty zistených modulov deformácie. V zónach porušenia nadobúdajú charakter úlomkovitej horniny resp. lokálne až kamenitej sute s určitým ale nie výrazným obsahom ílovej zložky. Geotechnické parametre hornín boli testované terénnymi i laboratórnymi skúškami. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok realizovaných vo vrte NT-20 (DS-31, DS-32, DS-35, DS-36 a DS-38) boli stanovené pre porušené súvrstvie vápencov v rozsahu $E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 623,57 \text{ MPa}$. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R2 – R3. Na základe laboratórnych aj terénnych skúšok odporúčame používať nasledovné geotechnické parametre (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odpor. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 26,8 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,8 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{\text{ef}} = 38 - 46^\circ$	40°
	$\tau_0 = 400 - 500 \text{ kPa}$	450 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 28,22 - 53,05 \text{ MPa}$	$38,80 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 27,91 - 54,60 \text{ MPa}$	$40,80 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05 \text{ MPa}$	$650,00 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{\text{dt}} = (600 - 2500) \text{ kPa}$	$(1500) \text{ kPa}$
– trieda vŕtateľnosti pilót:	II. – III.	III.

E) Navetrané až zdravé slienité vápence jaseninského súvrstvia s preplástkami bridlíc sú



Obrázok 10 Kompaktné zdravé slienité vápence s prechodmi do vápnitých ílovcov

lavicovité až doskovité, vytvárajú pozvoľné vzájomné prechody do vápnitých ílovcov až slieňovcov, v skúmanom úseku variantu V2 (v oblasti medzi mostami 203 a 204) sú čiastočnetektonizované prevažne medzivrstevnou ale aj zlomovou tektonikou a sú rozvoľnené a pozdĺž puklín zvetrané. Taktiež na vrstevných plochách sa často vyskytujú tenké vyvalcovanévrstvičky ílovca. Vápence patria do jaseninského súvrstvia (jura). Geotechnické parametre boli stanovené na

základe laboratórnych i terénnych skúšok. Hodnoty modulov pretvárnosti z dilatometrických skúšok, ktoré boli realizované vo vrte NT-20 (DS-39) a vrte NT-25 (DS-23, DS-24, DS-25), boli stanovené v rozsahu $E_{def} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere $E_{def} = 3899,39$ MPa. Horniny možno v zmysle STN 72 1001 zaradiť do triedy pevnosti R2 – R1. Na základe laboratórnych aj terénnych skúšok odporúčame používať nasledovné geotechnické parametre (hodnoty v zátvorkách sú výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu):

	Rozsah	Odporúč. hodnota
– objemová tiaž:	$\gamma = 25,9 - 27,0 \text{ kN.m}^{-3}$	$26,6 \text{ kN.m}^{-3}$
– parametre efekt. šmyk. pevnosti:	$\varphi_{ef} = 52 - 58^\circ$	55°
	$\tau_0 = 500 - 1000 \text{ kPa}$	700 kPa
– pevnosť v prostom tlaku PLT:	$\sigma_c = 67,00 - 91,92 \text{ MPa}$	$81,50 \text{ MPa}$
– pevnosť v prostom tlaku LMH:	$\sigma_c = 87,39 \text{ MPa}$	$87,39 \text{ MPa}$
– modul pretvárnosti z DS**:	$E_{def} = 2963,85 - 5238,53 \text{ MPa}$	$3900,00 \text{ MPa}$
– únosnosť ($d = 0,8 - 1,5 \text{ m}$ a $b \leq 3 \text{ m}$):	$R_{dt} = (800 - 5000 \text{ kPa})$	(2500 kPa)
– trieda vŕtatelnosti pilót:	III.	III.

Prehľad rozsahu hodnôt a odporúčané hodnoty základných geotechnických parametrov pre všetky vyčlenené litologické a inžinierskogeologické typy hornín sú prehľadne spracované v tabuľke 16.

Tabuľka 16 Prehľad geotechnických parametrov mezozoických hornín – horniny križňanského príkrovu

CHARAKTERISTIKA		Symbol [Rozmer]	MEZOZOIKUM – križňanský príkrov									
			Tektonicky silno porušené až rozložené ílovce a siltovce, tektonické brekcie (A)		Porušené rozpukané, stredne zvetrané až zdravé ílovce a siltovce (B)		Kompaktné zdravé ílovce až siltovce (C)		Tektonicky porušené jaseninské slieňovce a vápence (D)		Navetrané a zdravé rozpukané jaseninské slieňovce a vápence (E)	
			Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.	Rozsah	Odpor. hod.
Prírodná vlhkosť		w _n [%]	4,8 – 15,80	10,80	0,59 – 1,54	1,06	0,18 – 0,32	0,25	0,22	0,22	0,13 – 0,26	0,20
Prírodná objemová hmotnosť		ρ _n [g.cm ⁻³]	2,14 – 2,44	2,27	2,48 – 2,65	2,62	2,53 – 2,68	2,65	2,68	2,68	2,59 – 2,70	2,66
Suchá objemová hmotnosť		ρ _d [g.cm ⁻³]	1,85 – 2,33	2,04	-	-	-	-	-	-	-	-
Hustota		ρ _s [g.cm ⁻³]	2,67 – 2,76	2,74	2,67- 2,72	2,69	2,69 – 2,73	2,70	2,73	2,73	2,71 – 2,72	2,72
Pórovitosť		n [%]	12,80 – 32,30	25,40	2,81 – 5,40	4,02	1,28 – 1,72	1,50	1,21	1,21	1,33 – 4,57	2,90
Stupeň nasýtenia		S _r [%]	61,80 – 94,90	87,10	54,34 – 81,39	66,94	37,70 – 49,76	43,73	49,19	49,19	52,57 – 64,06	58,30
Nasiakavosť		N[%]	-	-	0,81 – 2,56	1,87	0,26 – 0,73	0,50	0,31	0,31	0,43 – 0,65	0,54
Medza tekutosti		w _L [%]	26 - 38	33	-	-	-	-	-	-	-	-
Číslo plasticity		I _p [%]	11 - 17	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Číslo konzistencie		I _c	1,31 – 1,94	1,85	-	-	-	-	-	-	-	-
Relatívna hutnosť (uľahnutosť)		I _D	(0,70)	(0,70)	-	-	-	-	-	-	-	-
Obsah zŕn	φ<0,002mm	c [%]	4,0 – 24,1	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,002<φ<0,06mm	m [%]	15,7 – 54,7	32,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,06<φ<2mm	s [%]	12,8 – 33,8	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	φ>2mm	g [%]	8,5 – 56,6	35,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Pevnosť v prostom tlaku z PLT		σ [MPa]	2,05 – 11,88 (2,40 – 11,83)	6,20	10,45 – 41,26 (9,40 – 37,96)	20,00	18,42 – 135,91 (13,22 – 69,97)	65,00	28,22 – 53,05	38,80	67,00 – 91,92	81,50
Pevnosť v prost. tlaku z LMH a LMZ		σ [MPa]	0,094 – 9,89	4,59	10,54 – 30,57	16,04	22,76 – 67,68	35,09	27,91 – 54,60	40,80	87,39	87,39
Parametre totálnej šmykovej pevnosti		φ _u [°]	11,2	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		c _u [kPa]	84	84	-	-	-	-	-	-	-	-
Parametre efektívnej šmykovej pevnosti		φ _{per} [°]	23 – 32	28	(34 – 44)	(40)	(42 – 46)	(44)	(38 – 46)	(40)	(52 – 58)	(55)
		c _{ef} = τ ₀ [kPa]	0 – 100	40	(250 – 500)	(400)	(500 – 800)	(600)	400 – 500	(450)	(500 – 1000)	(700)
Modul pretvárnosti z LMH		E _{def} [MPa]	-	-	-	-	4260	4260	6 667	6 667	13 466	13 466
Modul pretvárnosti z PS* in situ		E _{def} [MPa]	(20,18 – 356,26)	(222,30)	(291,92 – 893,65)	(608,76)	(780,51 – 1091,44)	(920,26)	-	-	-	-
Modul pretvárnosti zo DS** in situ		E _{def} [MPa]	10,46 – 261,05 (3,95 – 395,51)	140	412,60 – 1168,20 (450,64 – 1851,11)	800	1765,48 – 3420,71 (2107,04 – 12726,05)	2700	98,21 – 1315,05	650	2963,85 – 5238,53	3900
Poissonovo číslo		ν	(0,30 – 0,35)	(0,30)	(0,20 – 0,30)	(0,25)	(0,18 – 0,25)	(0,22)	(0,18 – 0,28)	(0,24)	(0,10 – 0,20)	(0,17)
Koeficient filtrácie		k _f [m.s ⁻¹]	8,54.10 ⁻⁹ až 3,35.10 ⁻⁶	1,01.10 ⁻⁶	puklinová priepustnosť		puklinová priepustnosť		puklinová priepusnosť		puklinová priepustnosť	
Únosnosť		R _{dt} [kPa]	(150 – 400)	(250)	(500 – 2000)	(1 250)	(800 – 4000)	(2 000)	(600– 2500)	(1500)	(800– 5000)	(2500)
Zatriedenie podľa STN	STN 72 1001		GC,CS,CG	GC,CG	GP	-	-	-	-	-	-	-
			G5-F4-F2-R6-R5	G5-F2-R5	G2-R4-R3	R4	R4-R1	R3-R2	R4-R2	R3	R2	R2
		STN 73 6133	26-5-2	26-2	23	-	-	-	-	-	-	-
		STN 73 3050	3-5	3-5	5-6	5-6	5-6	5-6	6	6-7	7	7

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 ≤ 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 hornín.

2.2 Inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika územia

V nasledujúcich podkapitolách charakterizujeme jednotlivé úseky diaľnice D1 podľa charakteristických stavebných objektov v tých častiach, kde dochádza k výraznejšiemu odklonu variantu V2 od variantu V1.

2.2.1 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 predchádzajúcej etapy podrobného prieskumu (časť A, Borovský et al., 2017) sme realizovali prieskumné vrty M-203-01 až M-203-06 a sondy dynamickej penetrácie DPS-203-01 až DPS-203-03A. Posun mosta 203 vo variante V2 oproti variantu V1 je cca 15 – 30 m severným smerom.

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 jemnozrnej 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 vo variante V1 – presné podklady pre variant V2 neboli k dispozícii).

Podložie kvartéru je budované čiastočne skrasovatenými a rozvoľnenými slieňitými vápencami jaseninského súvrstvia (R1 – R2) s vložkami ílovitých bridlíc (R2 – R4). Kým na pravej strane údolia je skalné podložie v hĺbke až 30 m, na ľavej strane postupne vystupuje a vynára sa spod deluviálnych sutí až na povrch a vytvára výrazný skalný hrebienok medzi mostami 203 a 204. V mieste opory mosta na ľavom svahu úvaliny sa však podložie ešte stále nachádza v hĺbke asi 15 m.



Obrázok 11 Pohľad na úvalinu, ktorú bude diaľnica D1 prekonávať mostom 203.

Geotechnické parametre boli overené v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 sute rozličného zloženia. Deformačné parametre pre ílovité sute (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 sute (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.

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 na betónové konštrukcie.

Územie nevykazuje známky nestability ani nie je predpoklad významného zhoršenia stabilitných pomerov počas realizácie prác. Vzhľadom na hlboko zaklesnutú hladinu podzemnej vody nepredpokladáme aktivizáciu svahových pohybov ani počas intenzívnych zrážok, samozrejme za dodržania technologickej disciplíny počas výstavby.

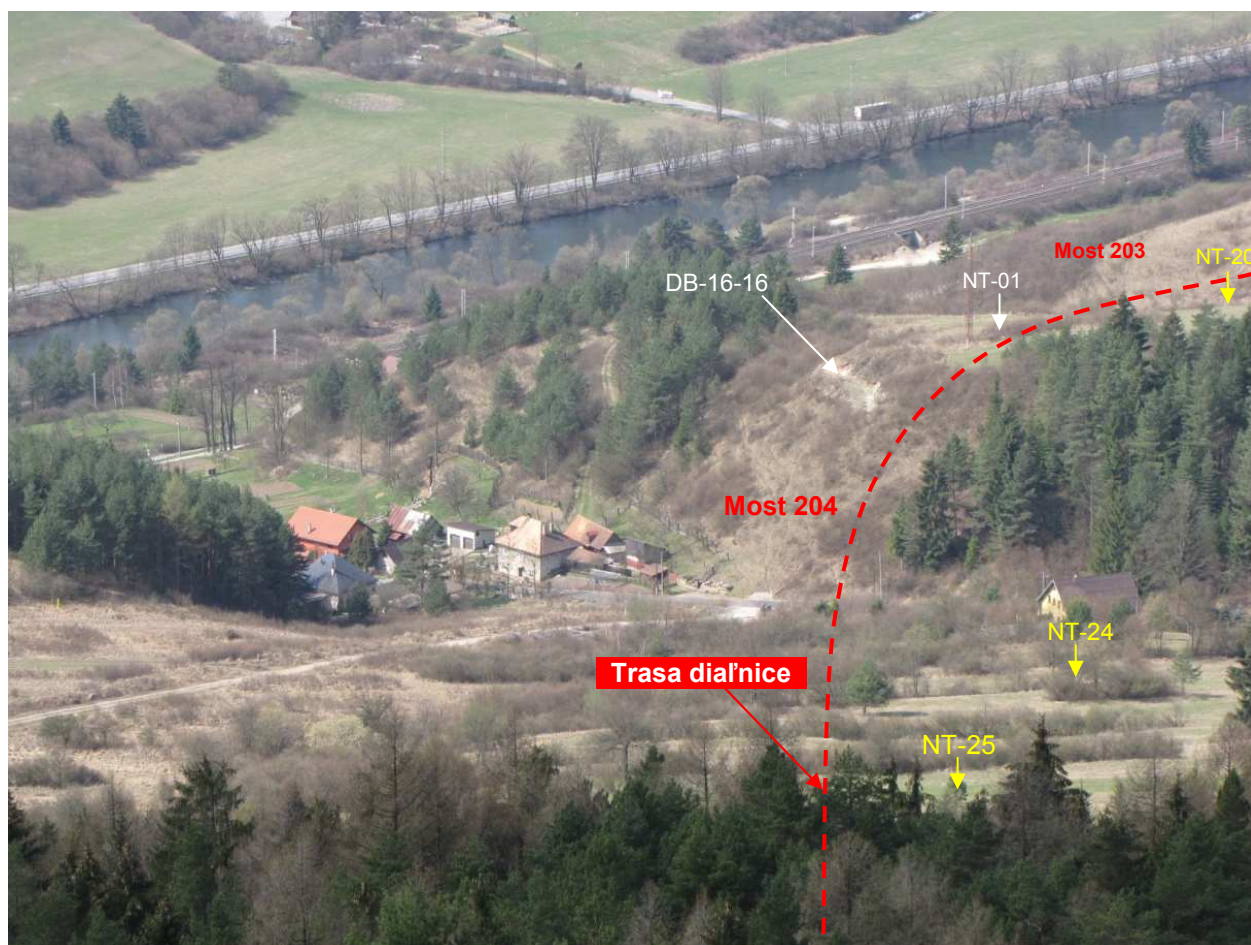
Opory mosta 203 je možné založiť hĺbkovo na veľkopriemerových pilótach votknutých do vrstvy stredne uľahnutých ílovito-kamenitých až kamenito-ílovitých deluviálnych sutí. Vhodné by bolo využiť plášťové trenie pilót, nakoľko päť pilóty nebude v západnej opore pravdepodobne možné z dôvodu veľkej hrúbky kvartérnych sedimentov oprieť o skalné podložie. Východná opora umožňuje opretie pilót o únosné skalné podložie. Obdobne zakladanie pilierov mosta predpokladáme hĺbkové na veľkopriemerových pilótach, 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. Alternatívne je možné realizovať tryskovú injektáž podložných sutí na vytvorenie vhodnej základovej pôdy pre piliere mosta. Je potrebné upozorniť na zhoršenie vŕtateľnosť pilót, vzhľadom na výskyt veľkých balvanov až blokov vápencov v deluviálnej suti. V prípade realizácie presypaného mosta je základové prahy možno založiť plošne na prehutnenej vrstve deluviálnych sutí, resp. v prípade potreby je možné podložie prahov zlepšiť tryskovou injektážou.

Príľahlé 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.

2.2.2 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 v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 vrtý J-56 až J-58 (Fussgänger, 2006), ďalej vrtmi S3/204/2P, S3/203/5L (Šamaj, 2010) a V-9 (Mihál' - Máťuš, 2001). Počas aktuálnej etapy pre variant V2 sme realizovali len jeden inklinometrický vrt NT-20 do hĺbky 36,0 m, ktorý by mal v prípade realizácie tohto variantu nahradiť dvojicu vrtov NT-01 (inklinometrický) a NT-02 (hydrogeologický), ktoré budú zlikvidované.



Obrázok 12 Pohľad na údolie Kamenného potoka v miestnej časti Záskalie.

Na obrázku 12 je pohľad na údolie Kamenného potoka. Skalný hrebeň s vyznačením dokumentačného bodu DB-16-16 (slienité vápence jaseninského súvrstvia) bude trasa diaľnice prekonávať zárezom medzi mostami 203 a 204 (ponad Kamenný potok).

Hrebienok je tvorený súvrstvom kalových slienitých vápencov jaseninského súvrstvia sivej farby, ktoré sú čiastočne prevrstvené zbridlčenými ílovcami tmavosivej farby. Miestami je súvrstvie detailne prevrstvené, 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 bridlíc a tektonizované polohy majú pevnosť strednú až veľmi nízku R3 – R5.

Geotechnické parametre boli overené jednak laboratórnymi testami, ale aj skúškami in-situ. V predchádzajúcej etape podrobného prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 rozpučaný vápenec dosahovali $E_{\text{def}} = 956,8 - 1766,3$ MPa, v priemere 1455,8 MPa, deformačné parametre pre porušené husto rozpučané vápence dosiahli hodnoty $E_{\text{def}} = 43,8 - 322,5$ MPa, v priemere 183,15 MPa, čo zodpovedá kamenitej suti charakteru G5/GC až G2/GP. V aktuálnej etape prieskumu sme realizovali vo vrte NT-20 dilatometrické skúšky. Pre kompaktné lavicovité vápence sme zistili moduly $E_{\text{def}} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere 3900,00 MPa, pre rozpukanejšie a tektonicky viac porušené úlomkovité úseky masívu boli hodnoty modulov v rozsahu $E_{\text{def}} = 98,21 - 1315,05$ MPa, v priemere 650,00 MPa. Pridilatometrických skúškach boli dosiahnuté podstatne vyššie obory zaťaženia ako počas presiometrických skúšok.

Pokryv územia tvoria deluviálne sute premenlivej hrúbky, prevažne však charakteru sutí ílovito-kamenitých až kamenitých (G5/GC, G2/GP), menej sa vyskytujú sute kamenito-ílovité resp. deluviálne íly (F2/CG). Hrúbka pokryvu je výrazná najmä na západných svahoch hrebienkasmerom do úvaliny (k mostu 203), kde dosahuje postupne až 17 m. Smerom k vrcholu sa hrúbka znižuje až lokálne delúvium úplne vyклиňuje 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 bola počas prieskumných prác zistená až v hĺbke 31,9 m pod terénom, tj. temer na úrovni Kamenného potoka. Horninový masív je na základe realizovaných vodnotlakových skúšok (Príloha 6.3) hodnotený ako veľmi priepustný, 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 výraznejších 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 a vôd z topenia snehu.

2.2.3 Úsek 1,850 – 2,000 most 204

Plánovaný most 204 vo variante V2 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 podrobnej etapy prieskumu (Borovský et al., 2017) boli realizované 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. Počas aktuálnej etapy prieskumných prác sme realizovali len geofyzikálne merania na profile GF-STRN a boli odvrtné dva hydrogeologické vrty NT-23 a NT-24. Vzhľadom na skutočnosť, že v čase spracovania predkladanej záverečnej správy nebola jasná definitívna koncepcia mosta 204 (konštrukcia mosta bude predmetom posudzovania vplyvov na životné prostredie EIA), upustili sme od realizácie plánovaných vrtov NT-05 a NT-22, ktoré navrhujeme doplniť až po definitívnom určení druhu mostnej konštrukcie.

Územie v trase mosta je na ľavom brehu Kamenného potoka pokryté mohutným prolúviálno-delúviálnym komplexom, ktorý v trase variantu V2 dosahuje hrúbku 5 – 20 m. Ide pravdepodobne o starý prolúviálno-delúviálny kužel, ktorý bol následne eróziou Kamenného potoka čiastočne zredukovaný. Zahĺbením koryta potoka došlo i k čiastočnej destabilizácii svahu a k rozvoju svahových pohybov. Rigidný vápencový hrebienok na západnej strane údolia však tvorí stabilizačný prvok, o ktorý sa celá akumulácia kvartérnych sedimentov opiera. Hrúbka komplexu sa postupne znižuje smerom proti prúdu Kamenného potoka (v línii potoka z 15 – 20 m v mieste južného pásu diaľnice po 5 – 12 m v mieste severného pásu diaľnice) ako aj smerom do východných svahov údolia. 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.



Obrázok 13 Pohľad na portálovú oblasť a oblasť mosta 204 zo západu.
 V popredí mostík cez Kamenný potok.

Pravobrežný svah údolia predstavuje skalný hrebeň, opisovaný v predchádzajúcej podkapitole. V mieste zaviazania mosta 204 do tohoto 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, rozblokové a čiastočne zvetrané (najmä tektonicky porušené partie masívu a bridličnaté polohy). Pevnosť hornín dosahuje triedu prevažne R2 – R3. Deformačné parametre overil prieskumný vrt NT-20 na vrchole hrebienka.

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. V predchádzajúcej etape prieskumných prác (Borovský et al., 2017) 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. V aktuálnej etape prieskumu sme doplnili sondy dynamickej penetrácie, ktoré overili charakter kvartérnych zemín. Na základe ich vyhodnotenia možno povedať, že zeminy sú prevažne stredne až veľmi uľahnuté, resp. sú pevnej až tuhej konzistencie. Z penetračných skúšok odvodené moduly deformácie pre ílovité sute (F6/CI, F2/CG) dosahujú hodnoty $E_{def} = 6,60 - 32,16$ MPa, v priemere 20,00 MPa, pre kamenité až balvanité sute (G5/GC, G4/GM, G2/GP) deformačný modul dosahuje hodnoty v rozsahu $E_{def} = 29,64 - 140,10$ MPa, v priemere 65,00 MPa. Je potrebné uviesť, že sondy dynamickej penetrácie.

Hydrogeologické pomery v trase mosta sú komplikované a vyplývajú z vrstevnatého charakteru sedimentov, tj. proluviálno-deluviálneho kužela. 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 výnimkou úsekov, kde sa vyskytujú vápence. Hladina podzemnej vody v predchádzajúcich etapách prieskumu bola ustálená v hĺbkach 7,40 – 18,40 m p.t., teda na úrovni 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 konštatovať, že podzemné vody sú bez nebezpečenstva chemického pôsobenia na betón aj na oceľ. Z výsledkov meraní vodivosti však vyplýva veľmi vysoká agresivita na oceľ so stupňom koróznej agresivity IV, 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 vrstiev v trase mosta 204 charakterizované ako veľmi nízko až stredne agresívne na ocel so stupňom koróznej agresivity I. a II..

Pravobrežnú (západnú) oporu mosta 204 je možné založiť plošne na skalnom vápencovom podloží, ktoré je v prípade potreby možné zmonolitniť mikropilótami (preinjektovanie otvorených diskontinuit). Piliere mosta a východnú oporu je možné zakladať na veľkopriemerových pilótach alebo mikropilótach, ktoré budú opreté alebo votknuté do predkvartérneho podložia, tvorené vápencami (R2 – R1) resp. tektonicky porušenými ílovcami a siltovcami (R3 – R5). Alternatívne je možné realizovať tryskovú injektáž podložných sutí na vytvorenie vhodnej základovej pôdy pre piliere mosta. Počas realizácie stavebných jám je potrebné dbať na zabezpečenie svahov proti rozvoju svahových pohybov. Zároveň je potrebné zabezpečiť odvodnenie stavebných jám, nakoľko deluviálne zeminy sú náchylné na rozbreďanie.

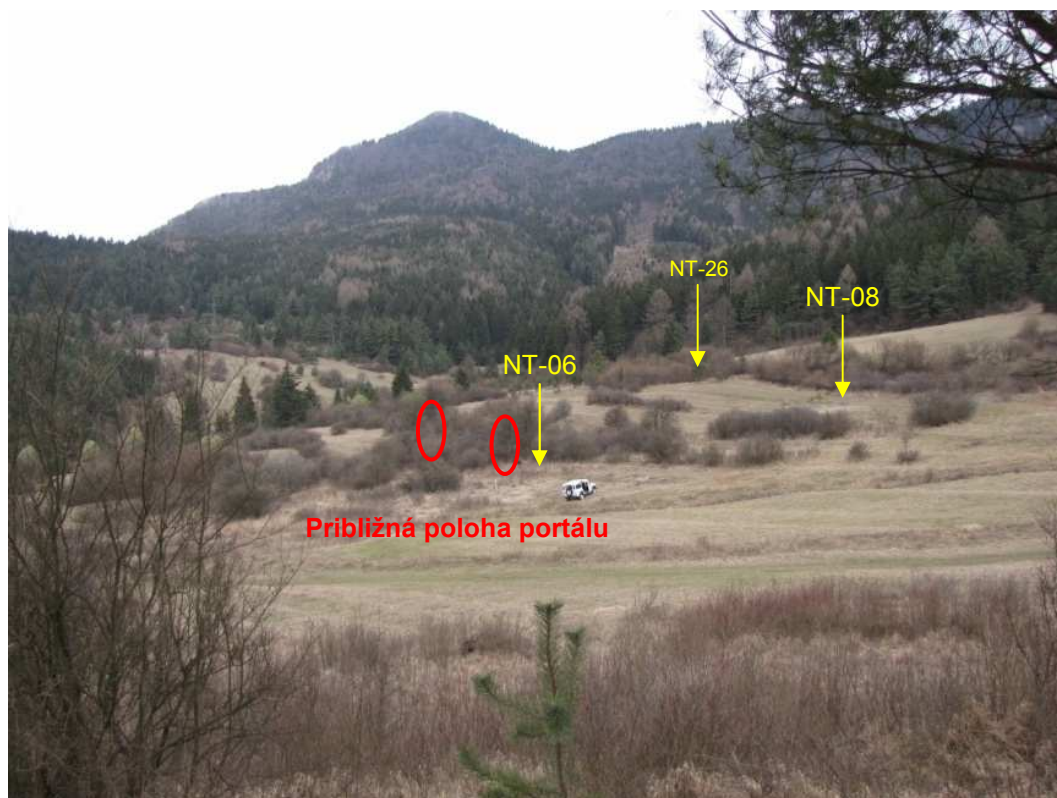
Priľahlé násypy mosta je potrebné vrstviť na zazubenej zemnej pláni po odstránení povrchovej humusovitej vrstvy, ktorá po vytvorení zazubenia bude zhutnená.

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. V prípade, že most 204 bude realizovaný ako presypaná konštrukcia, je potrebné pred realizáciou násypu vybudovať v jeho päte dva inklinometrické vrty resp. použiť horizontálny inklinometer na sledovanie sadania násypu a prípadnej aktivizácie svahových pohybov (po prítlačení pôvodného terénu). V prípade budovania betónového mosta je vhodné doplniť vrty pre presiometrické alebo dilatometrické skúšky pod piliere mosta v potrebnej polohe podľa pokynov projektanta mosta.

2.2.4 Portálový zárez v km 2,000 –2,061 a portál

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), podloží ktorých vystupujú jurské jaseninské vápence. 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.

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. Ďalšie prieskumné práce boli realizované pre variant V1 (Borovský et al., 2017), pričom šlo predovšetkým o 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. Počas aktuálneho prieskumu pre variant V2 boli realizované vrty NT-21, NT-23 až NT-27, ktoré boli doplnené sondami dynamickej penetrácie DPS-JTR-03, DPS-JTR-04, DPS-STR-03 až DPS-STR-08. V trase osi severnej vetvy diaľnice bol realizovaný geofyzikálny profil GF-STRN.



Obrázok 14 Pohľad na oblasť portálu z juhu. V pozadí masív Kečiek (1138,9 m n.m.) a výrazne zarezané údolie Kamenného potoka

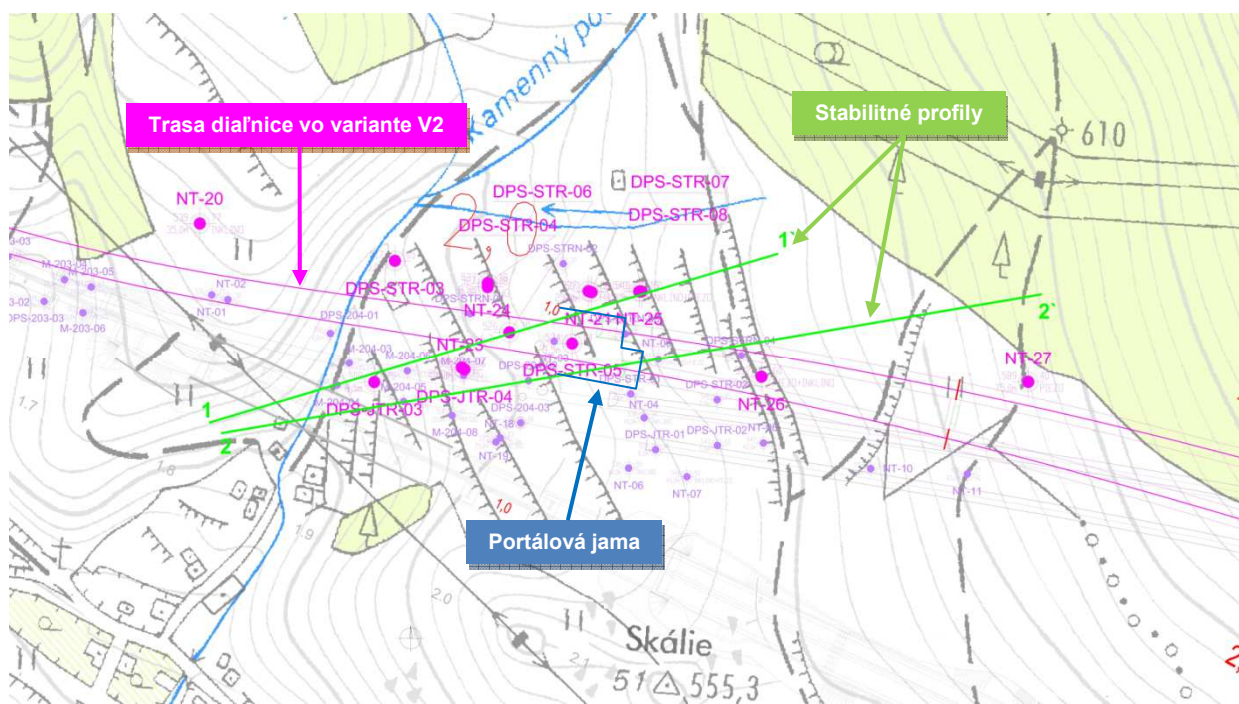
Pokryv územia tvoria deluviálno-proluviálne sedimenty, ktoré sa v rámci kvartérneho komplexu striedajú a nie je možné ich presne od seba odlíšiť. Celý kvartérny komplex radíme v oblasti portálového zárezu do zosuvného delúvia s nízkou aktivitou. Hrúbka delúvia je premenlivá. Generálne možno povedať, že hrúbka sa zväčšuje smerom ku dnu údolia Kamenného potoka, pričom v úseku od konca mosta 204 po portálovú stenu razeného portálu hrúbka dosahuje cca 11 - 13 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.

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).

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. Na základe vyhodnotenia dlhodobého monitoringu vrtu 12/INK-1 odhadujeme že najaktívnejšia zóna sa nachádza v hĺbke cca 4 m pod terénom, pričom doterajší celkový posun za celé sledované obdobie 2010 – 2017 v tejto úrovni je cca 10 mm s orientáciou na juhovýchod. Náznak šmykovej plochy je i v hĺbke cca 10,5 m. Z novozabudovaných vrtov v rámci tejto etapy prieskumu treba spomenúť vrt NT-26, kde sa po prvom kontrolnom meraní ukazuje možnosť hlbšej šmykovej plochy v hĺbke 17 m (už v rámci podložia) a plytšej plochy v hĺbke 6,5 m.

Pre overenie stability územia sme vykonali orientačný stabilitný výpočet v programe GEO5 na dvoch charakteristických rezoch. Na základe výsledkov výpočtu možno povedať, že územie v mieste portálu je v súčasnosti stabilné a to aj za použitia reziduálnych šmykových parametrov a vplyvu podzemnej vody. Pre zjednodušenie sme uvažovali, že celý kvartérny

komplex je tvorený deluviálnymi ílovitými suťami charakteru ílu štrkovitého až ílu piesčitého (F2/CG, F4/CS) – tj. v danom území najhoršími očakávanými zeminami. Hladina podzemnej vody bola vo výpočtoch uvažovaná cca 2 – 4 m pod terénom, čo predstavuje predpokladanú úroveň počas zrážkových anomálií. Pri uvažovaní reziduálnych šmykových parametroch (tabuľka 15), boli v schematických stabilitných profiloch 1 – 1' a 2 – 2' namodelované a optimalizované 3 šmykové plochy s priebehom v deluviálnych sutiach. Stupne bezpečnosti stanovené pre dané šmykové plochy boli v rozsahu $F = 1,23 - 1,36$. Podmienke $F_{\min} > 1,30$ v zmysle STN 73 6101, nevyhovuje iba jedna šmyková plocha. Výpočtový model žiaľ zatiaľ nebolo možné kalibrovať výsledkami inklinometrických meraní, vzhľadom na momentálne prerušený geotechnický monitoring trasy diaľnice a krátku dobu monitorovania od zabudovania vrtov. Trasovanie stabilitných profilov je znázornené na obrázku 15.



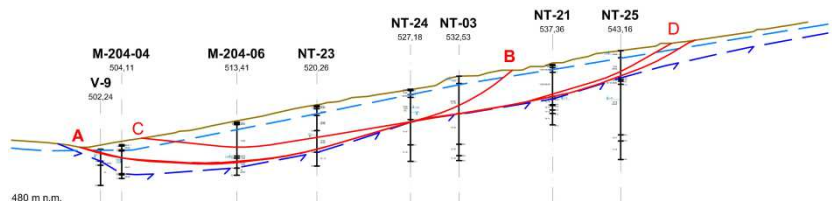
Obrázok 15 Situovanie stabilitných profilov v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2

Prehľad výsledkov výpočtov poskytuje nasledujúca tabuľka 17. Znázornenie priebehu namodelovaných šmykových plôch je zobrazené na obrázkoch 16 a 17. Po upresnení technického riešenia portálovej jamy a na základe vyhodnotenia dlhšie trvajúceho monitoringu stability svahov bude možné tento model aktualizovať a spresniť.

Tabuľka 17 Prehľad výsledkov orientačných stabilitných výpočtov v oblasti portálu

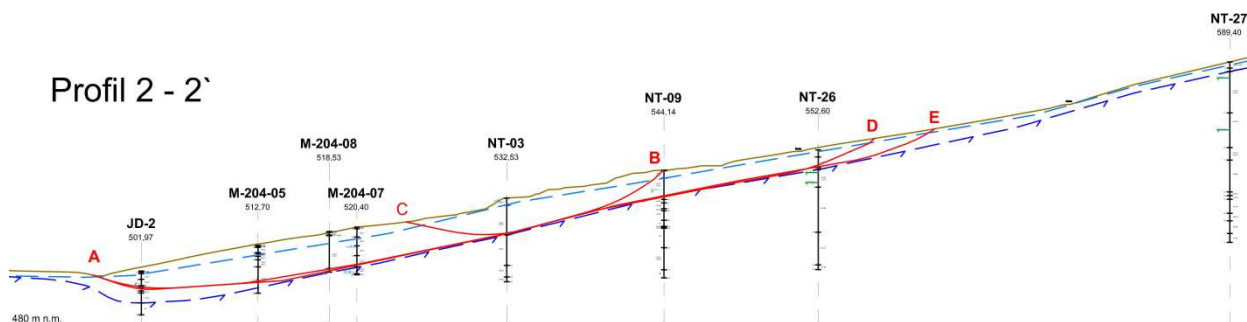
Profil	Označenie výpočtu v GEO 5	Šmyková plocha	Dĺžka šmykovej plochy	Výpočtová metóda s uvažovaním reziduálnych šmykových parametrov		
				Sarmas HPV /bez HPV	Spencers HPV /bez HPV	Priemer s HPV/bez HPV
Profil 1 - 1'	1	AB	188	1,35 / 2,04	1,35 / 2,04	1,35 / 2,04
	2	CD	227	1,36 / 2,04	1,36 / 2,04	1,36 / 2,04
	3	AD	265	1,32 / 1,99	1,34 / 2,06	1,33 / 2,03
Profil 2 - 2'	1	AB	247	1,32 / 1,98	1,32 / 1,99	1,32 / 1,98
	2	CD	202	1,23 / 1,82	1,31 / 2,01	1,27 / 1,91
	3	AE	361	1,33 / 1,98	1,35 / 2,06	1,34 / 2,02

Profil 1 - 1`



Obrázok 16 Stabilitný profil 1 - 1`

Profil 2 - 2`



Obrázok 17 Stabilitný profil 2 - 2`

Podložie pod kvartérnymi sedimentami je tvorené v oblasti portálového zárezu horninami križňanského príkrovu. Smerom zo západu (od línie Kamenného potoka) sa v podloží nachádzajú jurské vápence jaseninského súvrstvia, ktoré sa postupne ponárajú pod komplex ílovcov porubského súvrstvia. V oblasti portálu sa križuje niekoľko výrazných zlomových porúch a teda horniny sú prevažne viac či menej tektonicky porušené. Vápence sú prevažne vysokej pevnosti (R2), ale sú silne rozpukané a zvetrané. Ílovce sú prevažne strednej až nízkej pevnosti (R3 - R4). V komplexe ílovcov 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 križovaní niekoľkých tektonicky výrazných línií a s ohľadom na morfológické pomery v komplikovanej doline Váhu je podložie tektonicky značne porušené najmä medzivrstevnou tektonikou, ale 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 zošupinovatých ílovcach až charakteru strednoplastického ílu (F6/C1), alebo pevnosti nízkej až extrémne nízkej (R4 - R6). Na základe dokumentácie vrtov 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. Prípadne blokové pohyby bude možné dokumentovať po dlhšom sledovacom období pomocou zabudovaných hlbokých inklinometrických vrtov. V súčasnosti zatiaľ nie je možné jednoznačne definovať polohy potenciálnych bazálnych šmykových plôch v predkvartérnom komplexe.

Dilatometrickými skúškami vo vrtoch NT-25 a NT-26 boli overené deformačné parametre podložných hornín v rozličnom stupni porušenia. Vo vrte NT-25 boli 3 skúškami zastihnuté vápence, ktoré majú deformačný modul v rozsahu $E_{def} = 2963,85 - 5238,53$ MPa, v priemere 3900,00 MPa. Ostatnými skúškami v uvedených vrtach boli otestované prevažne tektonicky porušené ílovce, ktoré mali hodnoty deformačného modulu v rozsahu $E_{def} = 10,46 - 261,05$ MPa, v priemere 140,00 MPa. Naopak, kompaktné málo porušené ílovce dosahovali modul pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 1765,48 - 3420,71$ MPa, v priemere $E_{def} = 2700,00$ MPa. Hodnoty deformačných modulov ako aj pevnosti horniny výrazne závisia na stupni

porušenia a zvetrania.

Celý kvartérny komplex je nasýtený podzemnou vodou, ktorá využíva na svoje prúdenie kamenitejšie polohy sutí a rozvoľnený podložný masív. V oblasti portálu vďaka striedaniu priepustnejších a nepriepustných vrstiev zemín vytvára napäté horizonty a v miestach, kde voda vyviera na povrch vznikajú zamokrené oblasti. Vzhľadom na použitú technológiu vŕtania nebolo možné pri všetkých vrtoch 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 sytená podzemnou vodou z vyššie položených partií svahu.

V prílohách 4.1 a 4.3 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:

- Po dobudovaní monitorovacej siete hydrogeologických vrtoch na sledovanie hladiny podzemnej vody je potrebné okamžite začať kontinuálne monitorovanie;
 - Svah stavebnej jamy portálu dosiahne výšku takmer 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 pilótovou stenou, pričom pilóty budú previazané v potrebných úrovniach kotvenými železobetónovými prahmi. V prípade, že nebude možné realizovať pilótovú 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 z dôvodu minimalizácie zásahov do svahu a zníženia rizika jeho nestability je možné realizovať razenie úvodných metrov tunela pod ochrannou klenbou tzv. korytnačky, v prípade severnej tunelovej rúry v úseku cca km 2,008 – 2,061. V prípade južnej tunelovej rúry približne v úseku 2,020 – 2,065;
 - V prípade potreby je možné doplniť monitorovaciu sieť pre sledovanie podpovrchových deformácií a následne je potrebné vykonávať inklinometrické merania na jestvujúcich i novozabudovaných inklinometrických vrtoch. 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 prívalových 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.
- Dĺžka a smer odvodňovacích vrtoch by mali byť navrhnuté tak, aby zabezpečovali len bezprostrednú stabilitu stavebnej jamy ale neovplyvňovali blízky vodný zdroj Stará**

Hrboltová ! Túto skutočnosť je potrebné počas vŕtania horizontálnych vrtov mať na zreteli a detailne sledovať v danom období prietoky na VZ, vodných tokoch a tiež úroveň hladiny vo vrtoch;

- 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 (po konzultácii so ŠOP);
- Orientáciu horninových kotiev je potrebné spresniť počas postupného odkopávania portálovej steny po prehodnotení geologických pomerov geológom;
- Počas vŕtania pilót (mikropilót) aj kotiev je potrebné sledovať režim vŕtania, 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 hĺbenej časti tunela odporúčame v portálovej oblasti presypať a v okolí vysadiť hlbokokoreniace stromy pre zlepšenie stabilných 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 vyhlbenia 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 sute 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 lepší štrkopiesčitý (základový vankúš alebo geosyntetická doska).

2.2.5 Razený tunel Čebrať v km 2,061– 3,000

Trasa tunela Čebrať vo variante V2 je od pôvodne riešeného variantu V1 posunutá severným smerom cca 40 m v mieste západného portálu, pričom od tohoto miesta smerom na východ sa postupne trasa vracia do koridoru variantu V1 a v km cca 3,000 s ním splýva. Pri hodnotení trasy sme vychádzali z geofyzikálnych meraní a dvoch prieskumných štruktúrnych

vrto. Z hľadiska informácií je najvýraznejší 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, ako aj výsledky podrobného prieskumu pre tunel Čebrať vo variante V1 (Borovský et al., 2017). Počas aktuálneho prieskumu boli realizované vrty NT-26 a NT-27 a pozdĺžny geofyzikálny profil GF-STRN v osi severného diaľničného pásu. Os južnej tunelovej rúry sa len nepatrne líši od osi severnej tunelovej rúry pre variant V1, preto pre hodnotenie pomerov v južnej tunelovej rúre možno vychádzať plne z výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu pre variant V1 (Borovský et al., 2017), kde pozdĺžny geologicko-geotechnický profil bol vytvorený práve pre severnú tunelovú rúru.

Trasa tunela vchádza do masívu v mieste nového západného portálu, ktorý sa nachádza v lokálnej terénnej depresii na ľavobrežných svahoch údolia Kamenného potoka, severne od obce Hrboltová, miestnej časti Záskaľie, 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 lokálne údolie bezmenného potoka, kde sa napája na pôvodnú trasu variantu V1 a ďalej na východ je s ním totožná.

Trasa tunela prechádza horninovými komplexami križňanského príkrovu, pričom odseparované trosky nadložného chočského príkrovu (tvoriace výrazné terénne útvary) nezasahujú do nivelety tunela. Horninový masív je budovaný niekoľkými súvrstviami križňanského príkrovu, pričom sekvencia začína od porubského a párnického súvrstvia, pokračuje lučivnianskym, mráznickým a osnickým súvrstvím a čiastočne aj jaseninským súvrstvím. Vrstevný sled je v normálnej polohe. V hodnotenom úseku tunela však dominuje porubské a párnické súvrstvie, ktoré má flyšový charakter s dominanciou siltovcov a ílovcov, s menším podielom pieskovcov a vápencov. Orientácia vrstevnatosti celého komplexu je veľmi variabilná, generálne však súvrstvia upadajú smerom na sever a severovýchod, miestami je vrstevnatosť orientovaná až na juhovýchod, pričom sklon vrstiev je v priemere cca 15 – 30°. 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). Svahy na okraji pohoria sú postihnuté blokovými svahovými deformáciami a zosuvmi.

Tektonické pomery územia i celého okolia sú zložité, pretože sú podmienené príkrovovou stavbou s výrazným nasunutím chočskej tektonickej jednotky z JJV na SSZ vo viacerých fázach na križňanskú jednotku. Nerovnaká úroveň presunovej plochy 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 S – J 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 súvrství (v ílovcoch až slieňovcoch križňanského príkrovu). Charakteristickým rysom v tejto oblasti je výskyt tektonických duplexov, tj. zdvojenia (až strojenia) rovnakého vrstevného sledu v rámci určitej vrstevnej sekvencie (identifikované najmä v porubskom a párnickom súvrství).

Na základe výsledkov prieskumných prác možno konštatovať, že **geologicko-tektonické pomery v hodnotenej trase tunela sú zložité**. Horninový masív je tvorený horninami niekoľkých súvrství križňanského príkrovu. Sklon vrstevnatosti je všeobecne

relatívne mierny, v rozmedzí 10 - 35°, pričom však orientácia sklonu vrstiev značne varíruje vo vertikálnom i horizontálnom smere.

Na základe výsledkov prieskumných prác možno povedať, že tunel v úseku km 2,061 – 3,000 variantu V2 diaľnice D1, 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. Schematický geologicko-geotechnický rez GT-GT' trasou tunela Čebrať vo variante V2 v úseku km cca 2,000 – 3,000 je spracovaný v samostatnej grafickej prílohe 4.7. Od km 3,000 smerom na východ je trasa tunela vo variante V2 totožná s trasou variantu V1, preto platia výsledky publikované v predchádzajúcej etape podrobného prieskumu pre variant V1 (Borovský et al., 2017) a je možné využiť pozdĺžny geologicko geotechnický profil z uvedeného prieskumu (Príloha 4.10 záverečnej správy).

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.

V úseku od km 2,061 po 2,148 bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia s prevládajúcim zastúpením ílovcov a siltovcov, s vysokým podielom tektonicky porušených hornín. Nadložie tunela bude dosahovať 8 – 22 m. Tento priportálový úsek bol overeným vrtní NT-25, NT-09 a NT-26. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 10 – 40° smerom na východ až severovýchod, smerom do hĺbky masívu (v úrovni tunelovej rúry) sa preklápa až na sever a sklon sa mierne zvyšuje až na 30 – 55°. 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 prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami, pričom sú prevažne zvetrané až navetrané. 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 resp. v jadrách neporušených blokov až zdravá, pomerne kompaktná, prevažne strednej pevnosti (R3). 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 diskontinuit. V úrovni tunelovej rúry budú najvýraznejšie systémy smeru SZ – JV so sklonom k SV aj JZ (protismerný systém s úklonom do údolia Váhu – možno podmieňuje vznik blokových svahových pohybov v celej oblasti Hrboltovej), a tiež systém S – J. Menej výrazný je systém Z – V so sklonom k S. Za systém porušenia tiež možno považovať smer vrstevnatosti, nakoľko najmä ílovcové polohy súvrstvia predstavujú predisponované šmykové plochy, po ktorých dochádzalo k medzivrstevným tektonickým pohybom počas vrásnenia a presunu príkrovov. 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-09, NT-26 a NT-25 a tiež laboratórnymi skúškami. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 7,20 - 252,76 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 74,37 \text{ MPa}$, a to pri priemernom obore zaťaženia 0,6 – 1,3 MPa. Rozpukané ílovce v zónach v okolí zlomových porúch mali deformačné parametre v rozsahu $E_{\text{def}} = 335,49 - 1183,46 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 624,69 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 2,6 – 6,9 MPa. Menej sa vyskytujúce kompaktné a zdravé ílovce až siltovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 2478,35 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 4,6 – 12,6 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 hydrogeologických pomerov 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 výšky otvorených ťahových puklín, ktoré môžu predstavovať privilegované cesty prúdenia podzemnej vody.

Podzemné vody v tomto úseku majú podľa prevzatých analýz podzemných vôd (Borovský et al. 2017) zvýšený obsah celkových rozpustených látok a sú slabo alkalické. Patria k dvom základným výrazným chemickým typom Ca-HCO_3 a Ca-Mg-HCO_3 . Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s vyšším kvantitatívnym účinkom uplatnili najmä rozpúšťanie karbonátov. Na základe poznatkov o izotopovom zložení vody ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -9,80 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}} = -70,61 \text{ ‰}$) možno potvrdiť predpokladaný meteorický (zrážkový) pôvod podzemnej vody (NT-08). Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -$

13,10 ‰) je veľmi podobné zloženiu vody v skupine zdrojov s vodou, ktorá sa formovala v prostredí dolomitov a vápencov hronika.

Podzemné vody z vrtov NT-08 a NT-10 sú svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na ocel' uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

V úseku od km 2,148 po cca 2,250 bude tunel razený v prostredí porubského súvrstvia, s prevládajúcim zastúpením zdravých ílovcov a siltovcov. Prostredie bude pravdepodobne menej tektonicky porušené ako predchádzajúci úsek. Nadložie tunela bude dosahovať 22 – 42 m. Vyčlenený úsek tunela bol čiastočne overeným prieskumným vrtom NT-26 a v predchádzajúcej etape prieskumu vrtmi NT-10 a NT-11, ako aj geofyzikálnymi prácami. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku je cca 10 – 35° 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 ílovce a siltovce porubského súvrstvia, pričom budú dominantné skôr siltovce resp. kompaktné ílovce. Horniny sú prevažne doskovité až lavicovité, 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 zbídlíčnené, 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.

Deformačné parametre horninového masívu boli overené dilatometrickými skúškami vo vrte NT-26, ktorý je síce na okraji vyčleneného bloku ale deformačné parametre možno vzťahovať na celý hodnotený úsek na základe analógie. Kompaktné a zdravé ílovce až siltovce dosahovali hodnoty modulov pretvárnosti v rozsahu $E_{\text{def}} = 1765,48 - 3420,71 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 2478,35 \text{ MPa}$ pri priemernom obore zaťaženia 4,6 – 12,6 MPa. Laboratórne stanovené hodnoty pevnosti v prostom tlaku boli v rozsahu $\sigma_c = 27,91 - 54,60 \text{ MPa}$, čo zaraďuje horniny do nízkej až strednej triedy pevnosti (R2 – R3).

Z hydrogeologického hľadiska 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.

Meraním hladiny podzemnej vody (Príloha 10) vo vrte NT-11 bolo overené kolísanie hladiny podzemnej vody od 14,07 do 15,34 m pod terénom. Piezometrická výška (kóta hladiny) sa tak pohybovala od 561,43 až 562,70 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-11 medzi aprílom 2017 až septembrom 2017 bola 15,00 m pod terénom t.j. na kóte 561,77 m n.m.

Podľa predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová môže do tunelových rúr cez tektonické porušenie infiltrovať maximálne $4,8328 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a uvažovania hydraulického odporu ostenia tunela spôsobia teda 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 $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$ **može teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 % jeho kapacity za predpokladu, že sa nebudú realizované ochranné opatrenia.**

Účinnok zmierňujúcich opatrení v podobe **utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej iniektáže** bol simulovaný pomocou hydraulického modelovania (Príloha 9 a kapitola 2.3.4). Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 3 m a 6 m a pre stupeň utesňovania s koeficientom filtrácie $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Numerické modelovanie preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma s utesňovacími návrtmi dĺžky 6 m a s dosiahnutím priepustnosti $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová resp. alternatívne eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom úseku na sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$.** Utesňovanie musí byť však úplne, t.j. kruhové, v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Podzemná voda v tomto vyčlenenom úseku podľa vzorky vody z vrtu NT-11 má strednú mineralizáciu a je slabo alkalická. Podľa genetickej klasifikácie patrí k vodám petrogénnym s karbonátogénnou mineralizáciou základného výrazného Ca-Mg-HCO₃ chemického typu, ktorá sa formovala aj v prostredí dolomitov a vápencov. Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s vyšším kvantitatívnym účinkom uplatnilo najmä rozpúšťanie karbonátov. Na základe izotopového zloženia možno jednoznačne potvrdiť meteorický (zrážkový) pôvod podzemnej vody NT-11. Napriek tomu, že voda bola zachytená v zóne rozvoľnenia ílovcov, brekcií porubského súvrstvia, radí sa k skupine podzemných vôd, ktoré sa formovali v prostredí vápencov a dolomitov hronika. To nasvedčuje faktu, že obehovými cestami podzemných vôd sú v tomto prostredí prevažne tektonicky porušené zóny.

Podzemná voda z vrtu NT-11 je svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón.** Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavuje podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S.cm}^{-1}$ prostredie **s veľmi vysokou agresivitou na ocel'** uloženú v pôde a vode so stupňom IV. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

V úseku od km 2,250 po cca 2,360 predpokladáme, že tunel bude pretínať pásmo niekoľkých tektonických zlomových porúch. Oblasť bola overovaná prieskumným vrtom NT-27

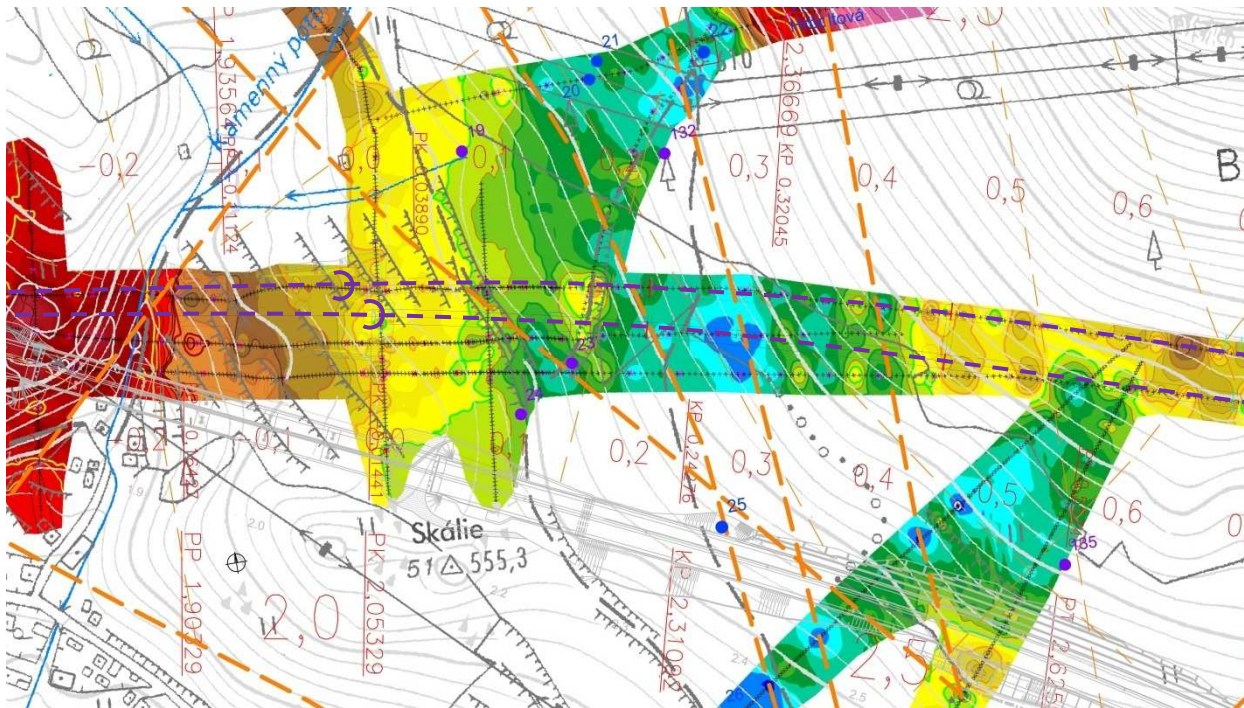
a v predchádzajúcej etape prieskumu aj vrtom NT-11. Na základe vyhodnotenia geofyzikálnych meraní (viď obrázok 18) budú mať zlomové línie približne smer S – J (SZ – JV až SV – JZ) a budú sprevádzané viac porušeným horninovým masívom vo svojom okolí. Vzhľadom na blízkosť bázy trosky chočského príkrovu na sever od trasy tunela, očakávame, že tektonické línie budú saturované podzemnou vodou z uvedeného komplexu. Nadložie tunela bude dosahovať 40 – 80 m. Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 10 – 35° smerom na sever až severovýchod, pričom pod úrovňou nivelety sa vrstevnatosť stáča až na severozápad. Len miestami v rámci tektonických porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená a zrotovaná (zrotované bloky hornín resp. vyvlečené vrstvy). Horniny tvoriace masív sú prevažne tektonicky čiastočne porušené medzivrstevnými prešmykmi, pevnosti strednej až nízkej (R3 - R4) alebo v zlomových zónach úplne podrvené, charakteru ílovitej brekcie (R5, G5/GC). V miestach zlomových porúch sú horniny zbridičnatené, detailne prevrásnené a charakteru brekcie – šupinkovitého ílu (vyhladené lístočkovité lesklé úlomky ílovca) s plávajúcimi pevnejšími úlomkami. Sú zvyčajne tenkodoskovité až lavicovité. Hornina tvorí pozvoľné prechody medzi ílovcami a siltovcami resp. až pieskovecami. Častá je rytmická sedimentácia a gradačné zvrstvenie hlavne siltovcových a pieskovcových lamín a dosiek. Horniny sú prevažne zdravé, s čiastočne otvorenými puklinami. 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;
- Pn** – pieskovec navetraný.

Geotechnické parametre boli otestované dialtometrickými skúškami in-situ vo vrte NT-27, NT-26 a samozrejme boli využité aj archívne výsledky z predchádzajúcej etapy prieskumu (NT-10) a laboratórneskúšky. Z hľadiska geotechnických parametrov najviac zastúpené tektonicky porušené ílovce až siltovce v zlomových poruchách mali moduly pretvárnosti v rozsahu $E_{def} = 10,46 - 450,64 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 205,85 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 1,25 – 2,79 MPa. Mimo týchto zón nadobúda rozpučaný horninový masív ílovcov hodnoty modulov pretvárnosti $E_{def} = 412,60 - 1168,20 \text{ MPa}$, v priemere $E_{def} = 755,19 \text{ MPa}$ a to pri priemernom obore zaťaženia 3,32 – 8,57 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). Pevnosť pieskovcov resp. vápencov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2). Tieto horniny ale nebudú v tomto úseku dominantné.

Z hydrogeologického hľadiska predstavuje úsek prostredie, kde budú tunelové rúry prechádzať niekoľkými výraznými zlomovými líniami generálne severojužného smeru. Masív bude v okolí porúch hustejšie rozpučaný a pravdepodobne čiastočne otvorený, čo dokumentuje priebeh meraných tlakov v dvojúrovňovom piezometri vo vrte NT-27. Vzhľadom na blízkosť vodného zdroja Stará Hrboltová a bázu komplexu hornín chočského príkrovu môžeme očakávať, že v tektonicky porušených zónach bude dochádzať ku prúdeniu podzemnej vody z vysokopriepustného prostredia triasových chočských dolomitov do prostredia podložných kriedových hornín. Horninové prostredie slabo porušených až zdravých hornín možno podľa výsledkov vodnotlakových skúšok vo vrte NT-27 (Príloha 6.3) s priemernou priepustnosťou vyjadrenou koeficientom filtrácie $k_f = 1,843 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ hodnotiť ako **slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti VI**. Upozorňujeme, že priepustnosť porušených hornín môže byť na základe analógie testovaného prostredia v portálovej oblasti rádo vyššia.

Meraním pórového tlaku v horninovom prostredí (Príloha 10) vo vrte NT-12 bola odvodená hladina podzemnej vody v rozsahu 85,11 až 87,18 m pod terénom, čo predstavuje piezometrickú výšku (kóta hladiny) 552,85 až 554,92 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-12 medzi februárom 2017 až septembrom 2017 bola 86,28 m pod terénom t.j. na kóte 553,75 m n.m.



Obrázok 18 Plošná mapa merných elektrických odporov z výsledkov geofyzikálnych povrchových meraní a schematická interpretácia tektonických porúch v okolí západného portálu tunela Čebrať. Trasa diaľnice je vyznačená fialovou prerušovanou čiarou.

Chemické zloženie podzemných vôd v tomto vyčlenenom bloku bolo overené vzorkou podzemnej vody z vrtu NT-27 a v predchádzajúcom prieskume vzoriek vody z vrtu NT-11.

Podzemná voda z vrtu NT-11 patrí k stredne mineralizovaným slabo alkalickým vodám. Na základe chemického zloženia má základný výrazný Ca-Mg-HCO₃, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A₂ zložka. Podzemná voda podľa z vrtu NT-27 podľa chemického zloženia je základného výrazného A₁ chemického typu, v kationovej oblasti prevládajú ióny Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, menej SO₄²⁻, medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A1 zložka 74,21 c.z%.

Podzemné vody z vrtov NT-11 a NT-27 sú svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami však predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad 430 μS.cm⁻¹ **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na ocel' uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov sa podľa STN EN 03 8372 odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

Počas razenia tunela odporúčame overiť chemické zloženie podzemnej vody vzorkou vody z prítoku do tunela a overiť jej korozívne vlastnosti.

V úseku od km 2,360 po cca 3,050 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 80 – 135 m. Vyčlenený úsek tunela nebol v tejto etape overeným prieskumným vrtom, vzhľadom na minimálny posun medzi trasami variantu V1 a V2 však vychádzame z vyhodnotenia prieskumných vrtov NT-12 a NT-13 z predchádzajúcej etapy (Borovský et al., 2017) a z archívnych geofyzikálnych meraní.

Generálny sklon vrstevnatosti v tomto úseku v úrovni tunelovej rúry je cca 15 – 35° smerom na severovýchod až sever, pričom horninový komplex je zvrásnený, preto dochádza k zmene orientácie vrstevnatosti v laterálnom i vertikálnom smere. V úsekoch zlomových porúch a ich bezprostrednom okolí môže byť vrstevnatosť až vztýčená. Najvýraznejšie interpretované zlomové poruchy sa nachádzajú ku koncu úseku, približne od km 2,800. Na základe interpretácie geofyzikálnych meraní a vrtných prác očakávame, že v úrovni tunelovej rúry budú zastihnuté najmä ílovce, siltovce až slieňovce porubského a lučivnianskeho súvrstvia. Horniny majú prevažne doskovitú až lavicovitú vrstevnatosť, prípadne až hrubolavicovitú až masívnu vrstevnatosť, 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 zbridlčnené, 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 potoka Hrboltová. 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 potoka Hrboltová 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 vybieha smerom 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 medzivrstvej tektoniky budú charakteristické zlomové poruchy so strmým sklonom prevažne smeru SZ-JV 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

vdďaka 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, zvlínené 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. v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017) 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 $E_{\text{def}} = 4124 - 12\,727 \text{ MPa}$, v priemere $E_{\text{def}} = 9041 \text{ MPa}$ pri obore zaťaženia 5,11 – 24,53 MPa. Odvodená priemerná hodnota modulu pretvárnosti pre rozsah zaťaženia 0,76 – 6,02 MPa je $E_{\text{def}} = 2093 \text{ MPa}$. Pevnosť ílovcov a siltovcov 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 až pieskovcov dosahuje vysokú až veľmi vysokú hodnotu (R1 – R2). Výsledky skúšok pevnosti v prostom tlaku ílovcov a siltovcov predstavovali zúžený rozsah hodnôt $\sigma_c = 16,94 - 65,46 \text{ MPa}$, v priemere 48,30 MPa.

Hydrogeologické pomery úseku sú podmienené geologickou a tektonickou stavbou, kde budú tunelové rúry prechádzať pomerne kompaktným masívom, len lokálne porušenými zlomovými tektonickými poruchami. Prítoky podzemnej vody možno očakávať najmä v úsekoch s tektonickým porušením (tektonických zónach). Podľa výsledkov predchádzajúceho prieskumu (Borovský et al. 2017) možno porušené horninové prostredie vo vrte NT-13 s priemernou priepustnosťou $k_f = 1,613 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ hodnotiť ako **dost' slabo priepustné prostredie s triedou priepustnosti V**.

Meraním hladiny podzemnej vody (Príloha 10) vo vrte NT-13 kolísala hladina podzemnej vody od 20,89 do 35,44 m pod terénom. Piezometrická výška (kóta hladiny) sa tak pohybovala od 620,46 až 635,01 m n.m. Priemerná hladina podzemnej vody vo vrte NT-13 medzi aprílom 2017 až septembrom 2017 bola 30,66 m pod terénom t.j. na kóte 625,24 m n.m.

Podzemná voda v tomto vyčlenenom bloku podľa vzorky vody z vrtu NT-13 patrí k stredne mineralizovaným s vysokou alkalickou reakciou. Podľa genetickej klasifikácie patrí k vodám prechodného silikátovo-sulfidogénneho podtypu základného nevýrazného Na-Mg-SO₄ typu chemického typu. Z mineralizačných procesov pri formovaní chemizmu podzemnej vody sa s rôznou intenzitou uplatnil najmä proces hydrolytického rozkladu silikátových minerálov a iónovýmenné procesy, ktoré sú typické pre nehomogénne prostredie zastúpené karbonatickými aj silikátovými minerálmi. Vychádzajúc z izotopového zloženia vodíka a kyslíka vodu z vrtu NT-13 možno jednoznačne zaradiť k vodám zrážkového pôvodu. Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -17,20 \text{ ‰}$) je systematicky odlišné od ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} \sim 13,5 \text{ ‰}$) vôd hronika na sledovanom území. Odráža zložité hydrogeochemické (acidobázické, oxidačno-redukčné) deje prebiehajúce počas interakcie voda - hornina.

Podzemná voda z vrtu NT-13 je svojim chemickým zložením podľa STN EN 206 (2015) **bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia na betón**. Fyzikálno-chemickými vlastnosťami ako je zvýšená hodnota reakcie vody pH = 9,69 (stredná agresivita so stupňom II) a najmä podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – mernej elektrickej vodivosti nad $430 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ predstavuje podzemná voda **prostredie s veľmi vysokou agresivitou na oceľ uloženú v pôde a vode so stupňom IV**. Pre ochranu železných materiálov podľa STN EN 03 8372 je odporúčaná zosilnená izolácia na zachovanie ich pasivity.

Na základe výsledkov prieskumných prác a po prehodnotení predchádzajúcich výsledkov v tomto úseku možno povedať, že hlavným **geologickým rizikom v celom úseku tunela**, ktorý sme hodnotili, 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), ako aj vysoká citlivosť tektonicky porušených ílovitých hornín na styk s vodou.

Z hľadiska hydrogeologického predstavuje úsek relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi do tunelovej rúry okrem úsekov v zlomových poruchách. 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). Zároveň tieto zóny budú privádzať podzemnú vodu z nadložnej trosky vápencovo-dolomitického komplexu chočského príkrovu. Očakávaný sumárny prítok podzemnej vody do tunelovej rúry z celého úseku razeného od západného portálu počas razenia je $Q = 10 - 12 \text{ l.s}^{-1}$, pričom objem závisí najmä od intenzity zrážok v danej oblasti a na narazení na prípadný otvorený puklinový systém.

Na základe mineralogických a RTG analýz ílovcov a ílov horninových komplexov, realizovaných v predchádzajúcej etape prieskumu vo vyčlenenom bloku, možno konštatovať, že horniny ani tektonické íly neobsahujú významný podiel smektitov, tj. napúčavých minerálov.

Celkovo možno rizikové faktory z hľadiska budovania tunela v variante V2 v prostredí s prevahou ílovcových hornín krížňanského príkrovu (porubské súvrstvie a mráznické súvrstvie) charakterizovať nasledovne:

- degradácia geotechnických parametrov horniny až na úroveň zemín v dôsledku intenzívneho tektonického porušenia a v priportálovom úseku aj zvetrania 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 vyklzávania klinov horniny po plochách diskontinuit, 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 variante V2 v úseku, kde sa trasa významnejšie líši od variantu V1, odporúčame aplikovať nasledovné opatrenia:

- zabezpečenie stability klenby tunela vhodnými technickými a technologickými opatreniami (mikropilóťový dáždnik,), najmä v priportálovom úseku a v zónach s výrazným tektonickým porušením, kde bude vhodné aplikovať aj protiklenbu;
- zabezpečenie stability portálovej steny a svahov zárezu stavebnej jamy;

- zredukovanie prítokov podzemnej vody do tunelovej rúry pomocou vhodných technických opatrení – vytvorenie vhodnej hydroizolácie. Vzhľadom k požiadavke na minimalizáciu drenážnych účinkov tunela na horninový masív je potrebné aplikovať v miestach sústredených prítokov podzemnej vody tesniace opatrenia vo forme chemickej injektáže. Na základe výsledkov matematického modelovania je potrebné dosiahnuť technickými opatreniami (injektážou) priepustnosť v oblasti tektonických porúch v rozsahu 10^{-7} až 10^{-8} m.s⁻¹;
- V priortálovom úseku realizovať úpravu povrchových vodných tokov do dláždených korýt 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.

2.3 Hydrogeologické pomery územia

Pri charakterizovaní hydrogeologických pomerov v okolí posunutej trasy diaľnice D1 Hubová - Ivachnová (variant V2) vychádzame z výsledkov predchádzajúcich prieskumov, výskumov a štúdií, ale najmä z aktuálne realizovaných prieskumných diel a geofyzikálnych meraní, realizovaných hydrodynamických skúšok, ako aj z výsledkov laboratórnych analýz podzemných a povrchových vôd. Hydrogeologické pomery trasy diaľnice sú zhodnotené podľa charakteristických úsekov.

V aluviálnej nive Váhu patria podzemné vody v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do útvaru **Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Váhu a jeho prítokov S. časti oblasti povodia Váh (kód útvaru SK 1000500P)**. Kolektorskými zeminami sú v uvedenej oblasti štrky korytovej fácie výplne alúvia rieky Váh a jeho prítokov. Tento útvar nebude výstavbou diaľnice v hodnotenom úseku vôbec ovplyvnený.

Podzemné vody v trase tunela Čebrať patria v zmysle Nariadenia vlády SR č.269/2010 Z.z., prílohy č. 2 do **útvaru podzemných vôd s dominantnými krasovo-puklinovými vodami Veľkej Fatry, Chočských vrchov a Západných Tatier oblasti povodia Váhu (kód útvaru SK 200270KF)**. Kolektorskými horninami v útvare sú vápence a dolomity s krasovo-puklinovou priepustnosťou a ílovce, siltovce a slieňovce s puklinovou priepustnosťou. Vzhľadom na fakt, že tunel nebude fyzicky realizovaný vo vápencovo-dolomitovom komplexe hornín hronika (chočského príkrovu) a s prihliadnutím na pomerne mohutnú "izolačnú" vrstvu flyšového komplexu hornín veporika (krížňanského príkrovu), **nepredpokladáme výrazné ovplyvnenie tohoto útvaru podzemných vôd**. V prostredí flyšových a karbonatických súvrství veporika bude mať realizácia tunela drenážny účinok, ktorý vzhľadom na celkovú malú priepustnosť hornín krížňanského príkrovu bude ale malého dosahu a bude navyše cielene potláčaný navrhovanými opatreniami počas razenia. Vplyv razenia tunela bude počas výstavby aj po jej skončení monitorovaný systémom pozorovacích vrtov a merných prepádov, prípadne meracích zariadení na vodných zdrojoch.

2.3.1 Úsek diaľnice v km 1,500 – 2,000

Nová trasa diaľnice D1 Hubová – Ivachnová v tomto úseku vedie prakticky v identickom koridore ako pôvodná trasa diaľnice resp. ako variant diaľnice V1, pričom k postupnému odklonu dochádza od začiatku hodnoteného úseku a v mieste nového portálu tunela Čebrať (V2) je odklon najväčší. 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 fluválne a deluviálne sedimenty kvartéru, antropogénne navážky a podložné horniny mezozoika.

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

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

Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v realizovaných vrtoch v trase diaľnice v predchádzajúcich etapách prieskumov mimo tunela počas prieskumu je uvedený v tabuľke 18.

Tabuľka 18 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		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 Škvrité vápence doskovité, miestami tektonicky porušené, prestúpené puklinami
230-02 491,72	12,0	0,88	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	0,73	12.4.2016	6,80 490,23	-	0,0 – 0,8 m Deluviálny íl piesčity s úlomkami 0,8 – 1,3 m Polygenetický íl stredne plastický s úlomkami 1,3 – 2,1 m Fluviálny štrk ílovitý 2,1 – 15,0 m Súvrstvie ílovcov a slieňovcov s polohami vápencov
231-03 496,42	15,0	-	11.4.2016	4,80 slzenie 491,62	6,34 490,08	0,0 – 0,5 m Deluviálny silt piesčity s úlomkami 0,5 – 4,5 m Polygenetická suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,5 – 15,0 m Škvrité slienité vápence, do 7,0 m zvetrané, hlbšie navetrané až zdravé
M-203-01 511,99	18,0	-	13.4.2016	11,5 slzenie 500,49	-	0,0 – 13,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 13,3 – 16,6 m Fluviálny 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 Fluviálny piesok siltovitý, od 14,0 m štrk s prímiesou jemnozrnnej zeminy
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 jemnozrnnej 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 jemnozrnnej 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 slzenie 497,02	-	0,0 – 18,7 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 18,7 – 20,0 m Fluviálny piesok s prímiesou jemnozrnnej zeminy

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
M-204-03 506,36	17,0	-	14.4.2016	5,50 500,86 Slzenie 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 slienité, 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 slienitých 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 slienité, silne tektonicky porušené

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

Počas aktuálneho prieskumu bol realizovaný len jeden vrt NT-20 na hrebeni medzi mostami 203 a 204, v ktorom hladina podzemnej vody bola zaklesnutá do hĺbky 34,5 m, tj. až do rozvoľneného skalného podložia. Priepustnosť rozvoľnenej časti horninového masívu tenkodoskovitých až doskovitých vápencov jaseňinského súvrstvia na hrebeni medzi mostnými objektmi 203 a 204 je pomerne vysoká. Z výsledkov vodnotlakových skúšok (príloha 6.3) vo vrte NT-20 boli vypočítané priemerné hodnoty koeficienta filtrácie skúšobných úsekov v rozsahu $k_f = 2,284 \cdot 10^{-5}$ až $1,097 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, čo predstavuje podľa klasifikácie priepustností hornín (Jetel, 1982) **mierne priepustné až dosť silno priepustné prostredie s triedou priepustnosti IV až III.**

Chemické zloženie podzemných vôd a ich vlastnosti boli hodnotené na základe chemickej analýzy vzoriek vody z vrtov M-204-04, M-204-06 a M-204-07 hodnotených v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Podzemné vody boli podľa chemickej klasifikácie (Gazda, 1971) základného výrazného A_2 chemického typu. Podľa celkovej mineralizácie boli stredne mineralizované ($471 - 517 \text{ mg.l}^{-1}$), podľa reakcie vody patrili k slabó alkalickým ($\text{pH} = 7,6 - 7,7$) a celkovou tvrdosťou patrili k vodám dosť tvrdým v rozsahu celkovej tvrdosti od $4,44 - 5,52 \text{ mmol.l}^{-1}$. Vzorky podzemnej vody analyzované v predchádzajúcom prieskume boli podľa ich chemického zloženia **bez nebezpečenstva korózie a porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia vody na betón.** Vzorky vôd z vrtov M-204-04, M-204-06, M-204-07 predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – merná elektrická vodivosť nad $430 \mu\text{S.cm}^{-1}$ - **vysoko agresívne prostredie so stupňom IV., kedy je potrebné chrániť kovové materiály zosilnenou izoláciou.**

2.3.2 Oblasť západného portálu tunela Čebrať vo variante V2

Oblasť portálového zárezu sa nachádza 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 sútí so suťami kamenitými až balvanitými. Prostredie je sýtené

podzemnou vodou pritekajúcou z vyšších partií svahov a vďaka striedaniu priepustnejších a málo priepustných vrstiev vzniká niekoľko kolektorov s napätými hladinami. Počas výstavby tunelového portálu bude nutné znížiť tlak podzemnej vody v týchto sutiach zo stabilitných dôvodov.

V podloží kvartérnych zemín sa nachádzajú tektonicky porušené alebo kompaktné polohy mezozoických ílovcov s preplástkami pieskovcov (porubské súvrstvie), pričom smerom na západ (k toku Kamenného potoka) sa spod ílovcového komplexu vynára vápencový komplex jaseninského súvrstvia. Vďaka gravitačnej tektonike a blokovým pohybom je prostredie čiastočne otvorené pre prúdenie podzemnej vody. Z hľadiska hydrogeologického predstavujú mezozoické horniny porubského a mráznického súvrstvia relatívne tesné prostredie s minimálnymi očakávanými prítokmi, naopak, jaseninské súvrstvie slienitých vápencov má pomerne vysokú priepustnosť a pôsobí ako drén. Lokálne sa v komplexe ílovcov vyskytujú predisponované cesty prúdenia vôd, najmä v miestach tektonického porušenia a v miestach s vyšším podielom rozpukaných pieskovcov.

Priepustnosť rozvoľnenej a porušenej časti ílovcového komplexu hornín v oblasti západného portálu bola overovaná vodnotlakovými skúškami na vrte NT-25 ako aj vodnotlakovými skúškami v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Z výsledkov vodnotlakových skúšok (príloha 6.3) vo vrte NT-25 boli vypočítané priemerné hodnoty koeficienta filtrácie skúšobných úsekov v porušenom horninovom prostredí v rozsahu $k_f = 9,470 \cdot 10^{-6}$ až $1,167 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. V predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017) boli pre porušené horniny overené hodnoty koeficienta filtrácie vodnotlakovými skúškami vo vrtoch NT-04, NT-06 a NT-09 v rozsahu $k_f = 3,749 \cdot 10^{-6}$ až $1,787 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Hodnotenú prostredie podľa klasifikácie priepustností hornín (Jetel, 1982) možno charakterizovať ako **dost' slabo priepustné až mierne priepustné prostredie s triedou priepustnosti V až IV**.

Menej porušené horninové prostredie bolo podľa výsledkov vodnotlakových skúšok v archívnych vrtoch NT-04 a NT-07 s vypočítanými hodnotami koeficienta filtrácie $k_f = 2,646 \cdot 10^{-7}$ a $4,192 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ **slabo priepustné s triedou priepustnosti VI**.

V dôsledku geologickej stavby a najmä tektonického porušenia hornín sa v horninovom prostredí striedajú priepustnejšie a menej priepustné časti súvrstvia. Vytvárajú sa tak viaceré zvodené kolektory s viacerými úrovňami hladiny podzemnej vody. Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v novo realizovaných vrtoch a v archívnych vrtoch je spracovaný v tabuľke 19.

Tabuľka 19 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v realizovaných vrtoch v oblasti západného portálu vo variante V2

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-21 537,36	25,0	0,70	11.5.2017	14,50 522,86	11,80 525,56	0,0 – 0,4 m Deluviálny silt až íl piesčitý 0,4 – 1,2 m Polygenetický íl s prímiesou piesčitej frakcie 1,2 – 3,2 m Suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 3,2 – 13,3 m Zosuvné delúvium charakteru sute kamenito-ílovitej, lokálne s prechodmi do ílovito-kamenitej 13,3 – 14,3 m Prechodová zóna, mix zóna, čiastočne prehrietené silno zvetrané ílovce s laminami pieskovca, s občasnými úlomkami karbonátov 14,3 – 25,0 m Podložné súvrstvie ílovcov, siltovcov a pieskovcov
NT-23 520,26	25,0	0,54	10. - 12. 5.2017	10,70 sizenie 509,56 12,30 507,96	12,14 508,12	0,0 – 0,5 m Deluviálny silt až íl strednej plasticity 0,5 – 1,2 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 1,2 – 4,0 m Deluviálno-proluviálna suť kamenito-ílovitá. 4,0 – 10,3 m Deluviálno-proluviálna suť kamenito-ílovitá až miestami ílovito-kamenitá 10,3 – 19,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá. 19,3 – 25,0 m Vápenec – pravdepodobne už podložie

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-24 527,08	30,0	0,81	24.- 25. 5.2017	7,90 519,18	9,70 517,38	0,0 – 0,6 m Deluviálna suť až hĺbka s úlomkami 0,6 – 2,3 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá 2,3 – 3,4 m Deluviálna suť ílovito-kamenitá 3,4 – 12,6 m Proluviálna suť kamenito-ílovitá až íl s úlomkami 12,6 – 23,1 m Pravdepodobne tektonicky porušené súvrstvie vápencov a ílovcov 23,1 – 30,0 m Súvrstvie doskovitých vápencov
NT-25 543,15	45,0	-	8.8.2017	-	I. 8,32 I. 534,83	0,0 – 3,0 m Deluviálna suť kamenito-siltovitá až ílovitá 3,0 – 11,2 m Zosuvné delúvium?, char. sute kamenito-ílovitej 11,2 – 12,0 m Šupinatý ílovec, silno zvetraný 12,0 – 12,7 m Poloha pieskovca s laminami ílovca 12,7 – 14,0 m Značne tektonicky porušený ílovec 14,0 – 35,0 m Súvrstvie siltovca s laminami pieskovca 35,0 – 37,5 m Silno tektonicky porušené zbrídlčnené siltovce 37,5 – 45,2 m Súvrstvie vápencov s ojedinelými preplástkami siltovca
Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd vo vrtoch z predchádzajúceho prieskumu						
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, nepravdepodobne rozobkovaných 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec 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 Ílovec s preplástkami pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
NT-18 523,83	25,0	0,67	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 sriedajú 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 Ílovec s laminami tmavosivého vápna
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 Fluválny íl piesčitý 3,0 – 5,8 m Fluválny štrk s prímiesou jemnozrnnéj zeminy 5,8 – 11,0 m Vápence zdravé až navetrané

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

Hladina podzemnej vody v oblasti západného portálu tunela Čebrať vo variante V2 bola v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu sledovaná vo vrtoch s otvoreným systémom merania NT-21, NT-23 a NT-24. V uzavretom piezometri vrtu NT-25 boli sledované hodnoty pórového tlaku v spodnej úrovni podloží hornín. Základné štatistické

údaje meraní hladiny podzemnej vody odvodené z meraní pórového tlaku a meraní teploty prostredia v uzavretých piezometroch vo vybraných vrtoch s uvedením sledovaného obdobia jespracované v tabuľke 20 spolu s meraním hladiny podzemnej vody vo vrtoch s otvoreným systémom merania.

Tabuľka 20 Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodené hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkyv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	
Ovodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku v piezometroch s uzavretým systémom merania							
NT-25 PZ1 (13.9 – 26.9.2017)	38,348	504,8,02	40,549	502,601	39,044	504,106	2,201
Hladina podzemnej vody v piezometroch s otvoreným systémom merania							
NT-21 (22.8 – 11.9.2017)	13,363	523,997	13,623	523,737	13,509	523,851	0,26
NT-23 (22.8 – 11.9.2017)	11,424	508,986	11,582	508,828	11,526	508,884	0,158
NT-24 (22.8 – 11.9.2017)	10,492	516,638	10,657	516,473	10,604	516,526	0,165

Chemické zloženie podzemných vôd a ich vlastnosti v oblasti západného portálu boli hodnotené na základe chemickej analýzy vzoriek vody z vrtov NT-21, NT-23 a NT-24 ako aj vzoriek vôd hodnotených v predchádzajúcom prieskume (Borovský et al. 2017). Podzemné vody boli podľa chemickej klasifikácie (Gazda, 1971) základného výrazného A₂ chemického typu. Podľa celkovej mineralizácie boli stredne mineralizované (370 – 519 mg.l⁻¹), podľa reakcie vody patrili k slabo alkalickým (pH = 7,44 – 7,55) a celkovou tvrdosťou patrili k vodám dosť tvrdým v rozsahu celkovej tvrdosti od 4,40 – 5,64 mmo.l⁻¹.z.

Tabuľka 21 Prehľad stanovených ukazovateľov agresívnych vlastností podzemných vôd na ocel' podľa STN 03 8372 (tab. 1 a tab. 2 hodnotiacej normy) a na betón podľa STN EN 206-1/NA

Zdroj	merná elektrická vodivosť	pH	Mg	NH ₄	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ +Cl ⁻	agresívny CO ₂ na železo / Hayer	agresivita prostredia na železo - stupeň agresivity STN 03 8372 (tabuľka1)	agresivita prostredia na železo - stupeň agresivity STN 03 8372 (tabuľka2)	agresivita prostredia na betón - stupeň agresivity STN EN 206-1/NA
	μS.cm ⁻¹		mg.l ⁻¹		mg.dm ⁻³ / mg.l ⁻¹					
NT-21	581	7,44	23,1	0,12	32,0	38,74	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-23	554	7,46	21,9	0,21	21,0	26,32	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-24	432	7,55	18,7	0,22	29,0	35,74	0 / 21,56	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	slabo agresívne chemické prostredie stupeň XA1
NT-27	620	8,79	5,59	1,49	33,2	<35,2	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	stredná II. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody
NT-30	997	7,97	13,6	110	112,7	44,04	0 / 0	veľmi vysoká IV. stupeň	veľmi nízka I. stupeň	bez nebezpečenstva korózie chemickým pôsobením vody

Analyzované vzorky vody z vrtov NT-21 a NT-23 boli podľa ich chemického zloženia **bez nebezpečenstva korózie a porušenia betónu vplyvom chemického pôsobenia vody na betón**. Vzorka podzemnej vody odobratá z vrtu NT-24 predstavuje pre analyzovaný obsah agresívneho CO₂ = 21,56 mg.l⁻¹ stavený Heyerovou skúškou **slabo agresívne chemické prostredie na betón s uhličitou agresivitou so stupňom XA1**. Všetky analyzované vzorky

vody predstavujú podľa najnepriaznivejšieho ukazovateľa – merná elektrická vodivosť nad $430 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabuľka 21) - **vysoko agresívne prostredie so stupňom IV., kedy je potrebné chrániť kovové materiály zosilnenou izoláciou.**

2.3.3 Úsek novej trasy tunela Čebrať vo variante V2

Nová trasa tunela Čebrať vo variante V2 prechádza južným okrajom masívu Radičiná a približne v km 3,000 splyva s pôvodným variantom V1, ktorý bol podrobne hodnotený v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017). Hydrogeologické pomery hodnotenej oblasti sú z hľadiska geologickej stavby len mierne komplikované.

V masíve Radičiná 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 karbonátov, ktoré v danej oblasti predstavuje komplex ílovcov, siltovcov a slieňovcov porubského a lučivnianskeho súvrstvia veporika (krížňanského príkrovu) 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 a komunikáciu medzi oboma tektonickými jednotkami (hronikom a veporikom) zohráva tektonika a hustá sieť puklín viazaná na zóny tektonického porušenia. Odkrytá plocha strednotriasových dolomitov a vápencov hronika, ktoré sa nachádzajú na vrcholovej pozícii nad málo priepustným podložíom tvoreným zväčša ílovcami a siltovcami resp. slieňovcami lučivnianskeho a porubského súvrstvia veporika, predstavuje menšiu časť plochy hodnotenej oblasti.

Horninové prostredie je odvodňované množstvom zostupných prameňov na uvedenom litologickom (tektonickom) 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. Prirodzené vývery a pramene v hodnotenej hydrogeologickej štruktúre boli detailne zdokumentované v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017).

V trase tunela nebolo možné počas prieskumných prác spoľahlivo zistiť narazenú hladinu vzhľadom na použitú technológiu vŕtania Wireline s vodným výplachom. Ustálenú hladinu podzemnej vody je možné zistiť iba vo vrtoch vystrojených otvoreným piezometrom a s dostatočným časovým odstupom od ich zabudovania, aby bolo možné odfiltrovať vplyvy vodného výplachu počas vrtných prác. Tlak podzemnej vody je možné sledovať uzatvorenými meracími systémami. Prehľad dokumentovaných hladín podzemnej vody v realizovaných archívnych vrtoch v trase tunela v hodnotenom úseku spolu so stručnou geologickou charakteristikou je uvedený v tabuľke 22.

Hladina podzemnej vody v novej trase tunela Čebrať vo variante V2 bola v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu sledovaná vo vrtoch s otvoreným systémom merania NT-11, NT-13, NT-15 a NT-30. V jednoúrovňovom uzavretom piezometri NT-12 boli sledované hodnoty pórového tlaku v spodnej úrovni podložných hornín. Merania pórového tlaku boli v predchádzajúcej etape prieskumu a počas trvania prieskumu vo vrtoch s uzavretým systémom merania s dvojúrovňovým pozorovaním v archívnych vrtoch NT-14, NT-16, NT-17 a novo vybudovaných vrtoch NT-26 a NT-27.

Tabuľka 22 Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd v archívnych vrtoch

Vrt nadm. výška (m n.m.)	Hĺbka Vrtu	Výška pažnice	Dátum merania	Hladina podzemnej vody		Profil vrtu litologický komplex, horninový typ
	(m)	(m)		narazená m p.t. (m n.m.)	ustálená m p.t. (m n.m.)	
NT-26 552,60	50,0	-	22.8.2017 až 11.9.2017	-	9,47 (PZ-1)* 543,13 13,63 (PZ-2)* 538,97	0,0 – 7,4 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 7,4 – 50,0 m ílovce a siltovce s preplástkami pieskovcov, lokálne silne tektonicky porušené
NT-27 589,40	75,0	-	21.7.2017 až 21.9.2017	Počas vrtania preliv	6,73 (PZ-1)* 582,67 28,43 (PZ-2)* 560,97	0,0 – 4,0 m Deluviálna suť kamenito-ílovitá až ílovito-kamenitá 4,0 – 75,0 m ílovce s preplástkami siltovcov a pieskovcov, lokálne tektonicky porušené
Prehľad dokumentovaných hladín podzemných vôd vo vrtoch z predchádzajúceho prieskumu						
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 120,0 m polohy piesčitého vápenca, hlbšie ílovce málo porušené.
NT-13 655,87	145,0	1,00	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

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

* odvodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku - priemerná hodnota

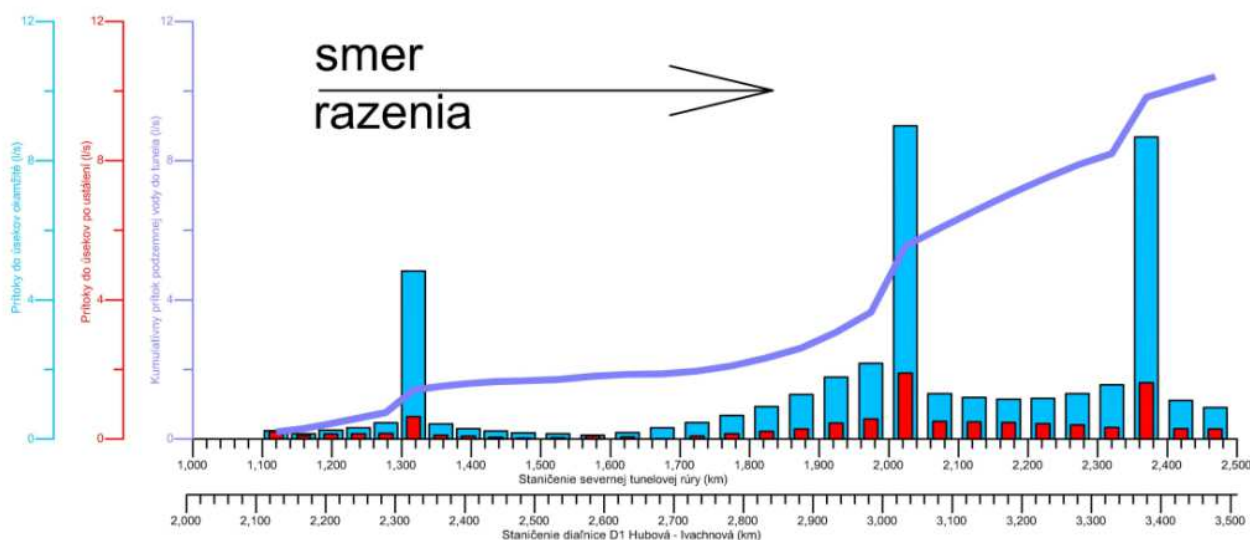
Základné štatistické údaje meraní hladiny podzemnej vody odvodené z meraní pórového tlaku a meraní teploty prostredia v uzavretých piezometroch vo vybraných vrtoch s uvedením sledovaného obdobia je spracované v tabuľke 23 spolu s meraním hladiny podzemnej vody vo vrtoch s otvoreným systémom merania.

Tabuľka 23 Štatistické spracovanie meraní hladiny podzemnej vody a odvodené hladiny podzemnej vody z meraní pórového tlaku

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkyv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m]
Ovodená hladina podzemnej vody z meraní pórového tlaku v piezometroch s uzavretým systémom merania							
NT-12 (02 – 09.2017)	85,112	554,728	87,177	552,663	86,627	553,213	2,065
NT-14-PZ1 (02 – 09.2017)	13,720	668,62	14,401	667,939	14,068	668,272	0,681
NT-14-PZ2 (02 – 09.2017)	82,456	599,884	83,197	599,143	82,920	599,42	0,741
NT-16-PZ1 (03 – 09.2017)	15,534	751,786	19,081	748,239	17,803	749,517	3,546
NT-16-PZ2 (03 – 09.2017)	160,697	606,623	194,381	572,939	188,199	579,121	33,684
NT-17-PZ1 (02 – 09.2017)	28,511	768,419	29,124	767,806	28,179	768,751	0,613
NT-17-PZ2 (02 – 09.2017)	190,352	606,578	204,173	592,757	198,992	597,938	13,821
NT-26-PZ1 (08 – 09.2017)	9,442	543,158	9,531	543,069	9,471	543,129	0,089
NT-26-PZ2 (08 – 09.2017)	13,294	539,306	13,804	538,796	13,627	538,973	0,510
NT-27-PZ1 (07 – 09.2017)	6,418	582,982	6,984	582,416	6,759	582,641	0,566
NT-27-PZ2 (07. – 09.2017)	28,319	561,081	28,898	560,502	28,554	560,846	0,580
Hladina podzemnej vody v piezometroch s otvoreným systémom merania							
NT-11 (04. – 09.2017)	14,069	562,701	15,337	561,433	14,999	561,771	1,269
NT-13 (04. – 09.2017)	20,891	635,119	35,439	620,571	30,662	625,348	14,547

Vrt	Maximum		Minimum		Priemer		Rozkryv
	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]	
NT-15 (03. – 09.2017)	123,952	625,928	133,645	616,235	128,185	621,695	9,693
NT-30 (06. – 09.2017)	174,317	566,463	174,847	565,933	174,552	566,228	0,53

Na obrázku 19 je znázornený predpokladaný prítok podzemných vôd do tunelových rúr počas razenia. Zo západného portálu sa predpokladá raziť cca 1400 m tunela, pričom sumárny kumulatívny odtok z oboch tunelových rúr podľa matematického modelu bude po ustálení na západnom portáli činiť cca 10,41 l/s bez započítania utesňovacích opatrení na zmiernenie vplyvu drenáže tunela.



Obrázok 19 Očakávané prítoky do tunelovej rúry (okamžité a po ustálení) a graf kumulatívneho odtoku z oboch tunelových rúr pri razení od západného portálu tunela Čebrať

2.3.4 Posúdenie potenciálneho vplyvu tunela na vodné zdroje a okolité vodné toky

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.

V nadväznosti na už realizované modelovacie práce a realizovanú vodnú bilanciáciu oblasti boli prehodnotené vplyvy razenia tunela Čebrať na okolité vodné zdroje, pričom špeciálne sme sa zamerali na vodný zdroj Stará Hrboltová a vodný zdroj Staré Lazy. Zároveň v oblasti týchto vodných zdrojov boli realizované doplnkové geofyzikálne merania na spresnenie lokálnej geologickej stavby.

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), Trstenica (62) a Studničky. Prehľadná situácia ochranných pásiem (z územného plánu mesta Ružomberok) je na obrázku 20. Podľa územno-plánovacej dokumentácie sú využívanými vodárenskými zdrojmi Stará Hrboltová (v územnoplánovacej dokumentácii označený ako Hrboltová 2), zo skupiny vodných zdrojov hydrogeologickej štruktúry Čebrať je využívaný vodárenský zdroj Nová Hrboltová, Trstenica s prameňmi 1 až 6, Laukovo s prameňmi 2 až 5.

Obrázok 20 Situovanie vodárenských zdrojov, ich ochranné pásma a spôsob využitia podľa územnoplánovacej dokumentácie mesta Ružomberok
(Výkres riešenia verejného technického vybavenia – vodné hospodárstvo)

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 cca 200 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. Geologické pomery v oblasti vodného zdroja boli overované v tejto etape dvojicou geofyzikálnych profilov GF-7 a GF-8, na základe vyhodnotenia ktorých bol skonštruovaný inžinierskogeologický rez 5 – 5` (Príloha 4.5). Pozícia vodného zdroja voči trase tunela je znázornená na obrázku 21.

Z interpretácie geologický pomerov vyplýva, že vo vodnom zdroj sú zachytené dva pramene, vyvierajúce na kontakte trosky hornín chočského príkrovu (hronikum) s podložným ílovcovým komplexom hornín krížňanského príkrovu (veporikum), pričom podzemná voda ďalej preteká skryte do mohutného sutinového komplexu, prekrývajúceho uvedený kontakt. Báza karbonatického komplexu hronika sa javí uklonená smerom cca na sever (tj. do svahu), v mieste kontaktu s nepriepustným podložím teda vzniká prelivová hrana.

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 22 a tabuľka 24).

Kedže tento vodný zdroj sa nachádza najbližšie k trase tunela, odporúčame pre jeho ochranu **aplikovať počas razenia zmierňujúce opatrenia**, najmä cielené **utesňovanie**

sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injeckáže. Injektáž by sa mala realizovať systematicky (tj. každý zistený výver) v úseku od západného portálu po km cca 2,500. Účinnosť injeckáže je potrebné overovať terénnymi meraniami vo vrtoch (monitoring hladín a 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.



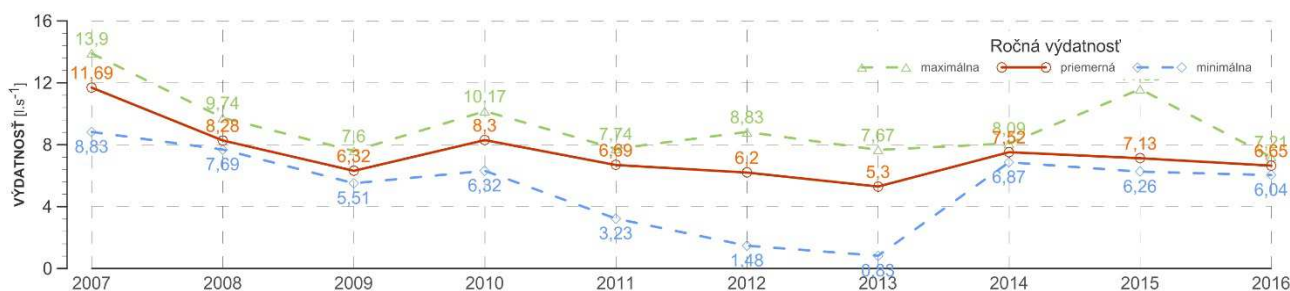
Obrázok 21 Situovanie vodného zdroja Stará Hrboltová vo vzťahu k pozícii tunela a realizovaným geofyzikálnym profilom

Podľa predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová v **súčasných 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 teda zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 1 o maximálne 4.2480 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 **môže teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %**. Upozorňujeme, že ide o teoretický úbytok výdatnosti vodného zdroja, nakoľko modelové riešenie nezapočítavalo opatrenia na ochranu podzemných vôd (hydroizolácia, chemická injektáž) ani hydraulický odpor na ostení tunela.

Ovplyvnenie výdatnosti vodného zdroja o max. 57% jeho kapacity teda predpokladáme

len v prípade, že nebudú realizované ochranné opatrenia.



Obrázok 22 Ročná sumárna výdatnosť prameňa 1 a 2 vodárenského zdroja Hrboltová (Stará Hrboltová)

Tabuľka 24 Ročné výdatnosti prameňov 1 a 2 vodného zdroja Stará Hrboltová za roky 2007 – 2016

ROK	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[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
Priemer	11,69	8,28	6,32	8,30	6,69	6,20	5,30	7,52	7,13	6,65

Účinnokzmiernujúcich opatrení v podobe utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injektáže bol simulovaný pomocou hydraulického modelovania. Výsledkom numerického modelovania bola prognóza zmien hladiny podzemnej vody, prognóza prítoku podzemnej vody do dvojrúrovňového diaľničného tunela Čebrať v jeho rizikovom a znepriepustňovanom - utesňovaní úseku modelovaného zlomu č.1 resp. tektonicky porušeným pásmom, ktorý uvažujeme za rizikový úsek, a tiež prognóza vplyvu razenia tunela na blízky vodárenský zdroj Stará Hrboltová. Utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku sa simulovalo variantne, tj. v prvom prípade iba pre hornú, stropnú časť tunelových rúr a v druhej variante tiež pre hornú i dolnú časť tunelových rúr - úplne kruhové utesňovanie tunelových rúr. Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 3 m a 6 m a pre stupeň utesňovanie s koeficientom filtrácie $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Riešenie modelu bolo vykonávané v dvoch alternatívach s rôznym zadaním okrajových podmienok.

Alternatíva 1 vyjadruje stav malých prítokov, kde do stropu medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy. Simuluje zrážky a zároveň príslušný plošný prítok bol do stropu zlomov. Tentoprítok bol vypočítaný z predpísaných hladín podzemnej vody pri zadanej priepustnosti masívu sumárne $6,56 \text{ l.s}^{-1}$. V Alternatíve vyjadrujúcej stav malých prítokov sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo z hodnoty poklesu hladiny podzemnej vody pri utesňovaní tunelov v rizikovom mieste.

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej Alternatíve 1 preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrtmi dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová**, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov. Utesňovanie musí byť však úplne, tj. kruhové, v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie poklesu hladiny podzemnej vody pomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 1 nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Alternatíva 2 vyjadruje stav veľkých prítokov do tunelových rúr, kdedo stropu

medzizlomových blokov zvodnenej vrstvy je zadávaný konštantný plošný prítok podzemnej vody z nadložia kriedovej zvodnenej vrstvy (ako v Alt.1) a zároveň do stropu zlomov bola zadávaná okrajová podmienka 1. druhu $H = \text{konštanta}$. Na strope zlomov sa tak udržiava počiatočná kóta hladiny podzemnej vody a v prípade drénovania podzemných vôd tunelmi sa bude udržiavať jej rovnaká úroveň zväčšovaním prítoku podzemnej vody z nadložia. V tejto alternatíve vyjadrujúcej stav veľkých prítokov sa ovplyvňovanie vodárenského zdroja Stará Hrboltová posudzovalo z hodnoty prítoku podzemnej vody do tunelov pri ich utesňovaní v rizikovom mieste.

Priestorové numerické modelovanie prúdenia podzemnej vody v modelovej Alternatíve 2 preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovom úseku zlomového pásma č.1 s utesňovacími návrhmi dĺžky 6 m a s injecktážou dosiahnutou priepustnosťou $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ temer úplne eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom úseku** zlomového pásma č.1, ktorý by nastal bez utesňovania tunelov, **na sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$** . Utesňovanie však musí byť úplne, t.j. kruhové, v hornej i v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie výrazného poklesu sumárneho prítoku podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovom mieste pomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v predmetnom rizikovom úseku možno nepriamo usudzovať, že v modelovej Alternatíve 2 nebude vodárenský zdroj Stará Hrboltová negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

Medzi vodným zdrojom a novou trasou tunela Čebrať bol realizovaný vrt NT-27 zabudovaný s dvojúrovňovým meraním pórového tlaku. Podľa geologickej dokumentácie vrtu, v podloží kvartérnych hornín neboli zachytené karbonáty chočského príkrovu (hronikum). Celý profil vrtu bol hĺbený v ílovcovom komplexe hornín krížňanského príkrovu (veporikum). V hĺbke 18,0 bol dokumentovaný prítok podzemnej vody, počas krátkeho obdobia vŕtania s nepatrným prelivom. Zaujímavým je tiež **odlišný chemizmus podzemnej vody vo vrte NT-27** nielen od ostatných vzoriek vôd z vrtov portálovej oblasti ale aj **chemizmu vody z vodného zdroja Stará Hrboltová**.

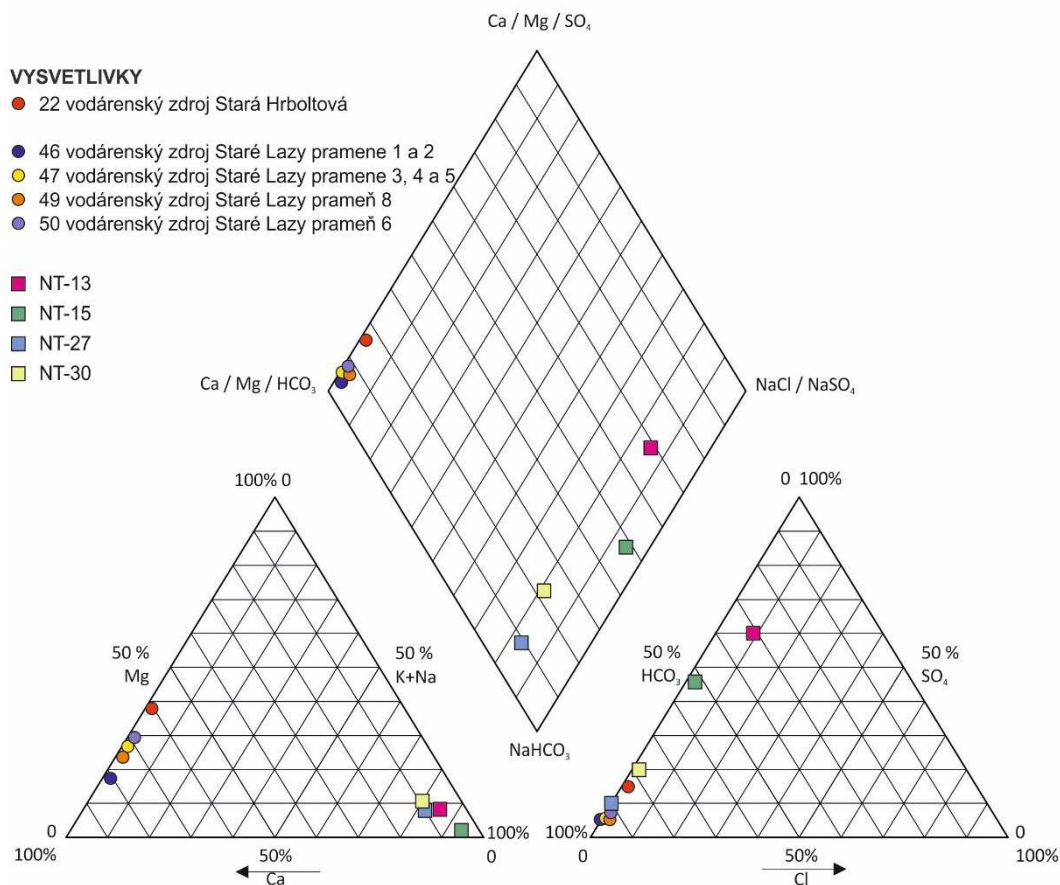
Podzemná voda z vodného zdroja Stará Hrboltová (Borovský et al. 2017) podľa chemického typu je základného výrazného Ca-Mg-HCO_3 typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , menej SO_4^{2-} (obrázok 23), medzi Palmerovými indexami má dominantné zastúpenie A2 zložka 79,97 c.z%, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,63. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty K_c , K_d a pre sadrovec K_s . Podľa empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda **presýtená voči kalcitu a je nasýtená dolomitom** (obrázok 24). 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, prevažne dolomitov chočského príkrovu**.

Izotopové zloženie kyslíka a vodíka vody ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -10,50 \text{ ‰}$, $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}} = -71,70 \text{ ‰}$) svedčí o jednoznačne zrážkovom pôvode podzemnej vody. Voda prítomná v tomto zdroji patrí medzi izotopicky najľahšie vody. Vysoká prítomnosť ľahkých izotopov vodíka a kyslíka svedčí buď o väčšej nadmorskej výške infiltračnej oblasti zdroja, alebo o zvýšenom podiele zimných zrážok v tejto fáze režimu.

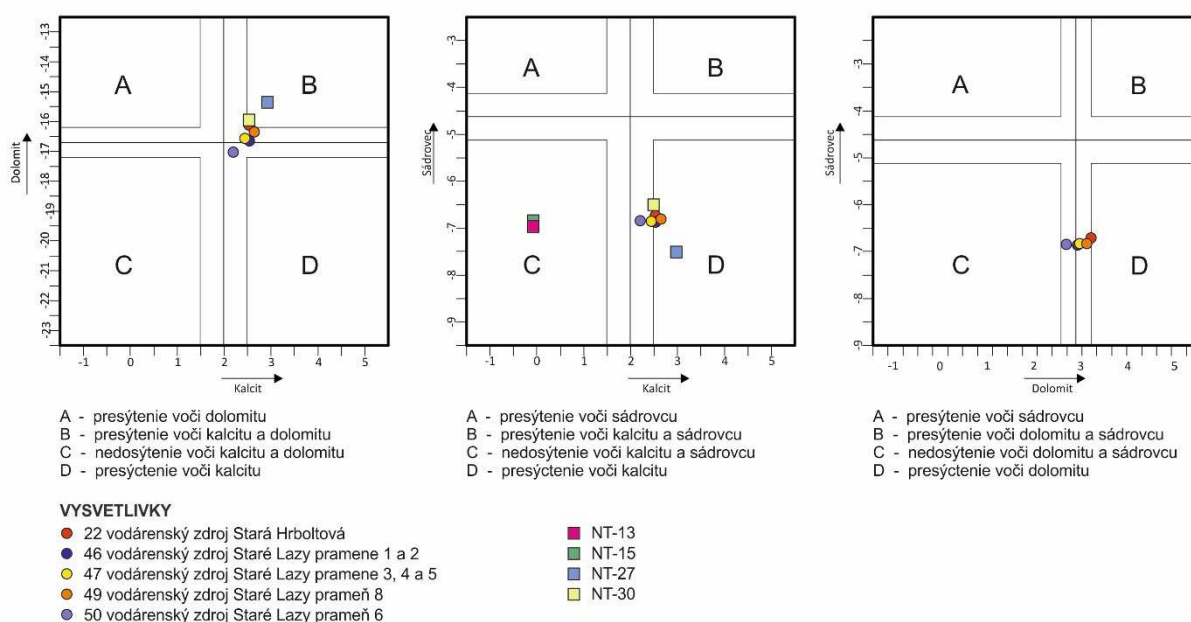
Izotopové zloženie celkového anorganického uhlíka ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$, alebo $\delta^{13}\text{C}_{\text{TIC}} = -10,23 \text{ ‰}$) tohto prameňa je odlišné od ostatných prameňov ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ od 12,29 ‰ do 14,72 ‰) a svedčí o rozdielnom stupni / charaktere interakcie s horninami prostredia.

Izotopové zloženie síry síranu ($\delta^{34}\text{S} = 4,80 \text{ ‰}$) odpovedá priemernému izotopovému zloženiu síry síranu snehových zrážok na Slovensku, (Malík et al. 1997, 2000) uvádzajú pre 23

vzoriek snehu z celého územia Slovenska hodnoty od $\delta^{34}\text{S} = 4,0 \text{ ‰}$ do $\delta^{34}\text{S} = 6,4 \text{ ‰}$. Prakticky identický síran len v menšej koncentrácii je prítomný vo vode zdroja, blízky je síran prítomný vo vode vrtu NT-08, ktorý má obohatený kyslík.



Obrázok 23 Systematizačný graf chemizmu podzemných vôd – porovnanie vodných zdrojov a vrtov v trase tunela



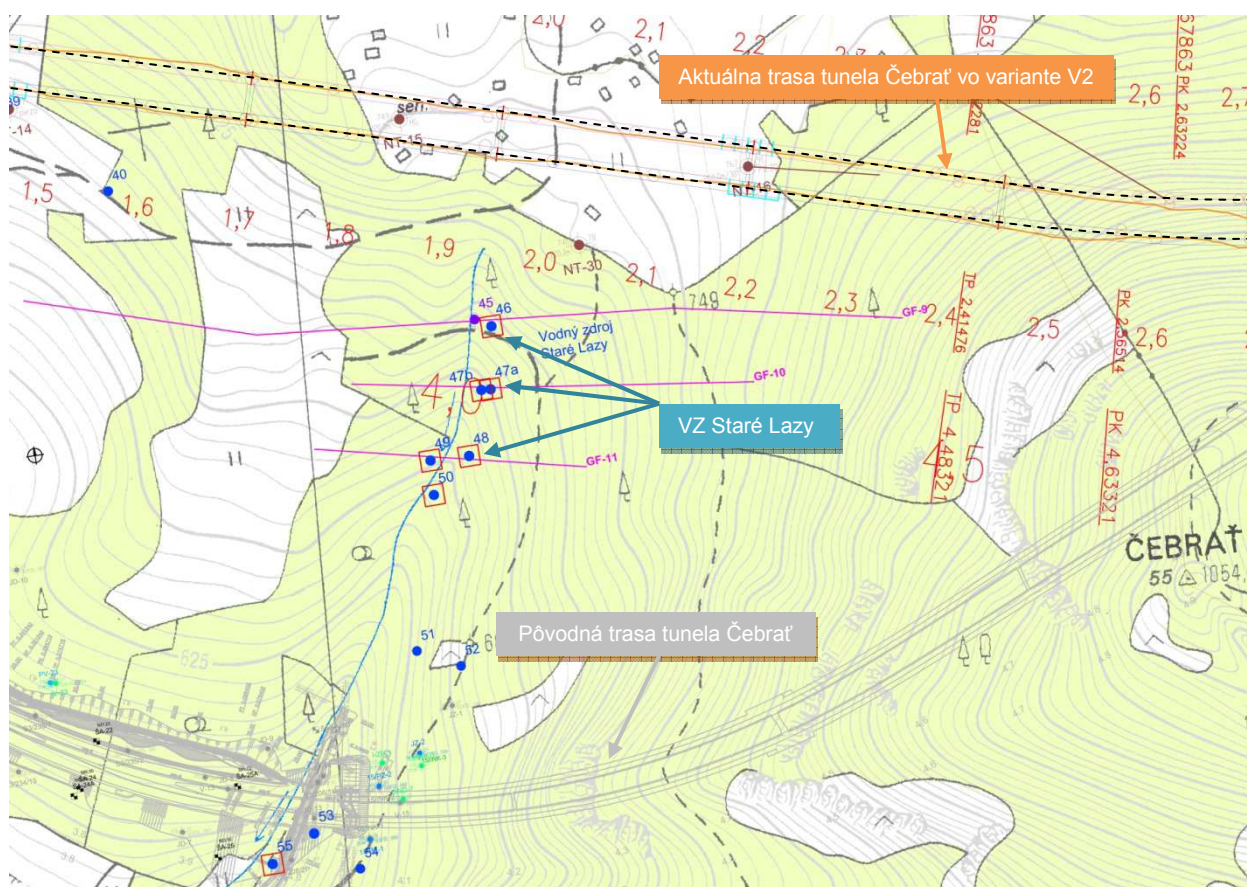
Obrázok 24 Graf nasýtenia vody vodárenských zdrojov a vrtov v trase tunela

Podzemná voda podľa z vrtu NT-27 podľa chemického zloženia je základného výrazného Na-Ca-HCO₃ typu (Gazda, 1972), v kationovej oblasti prevládajú ióny Na⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, menej

SO_4^{2-} (obrázok 23), medzi Palmerovými indexami má **dominantné zastúpenie A1 zložka 74,21 c.z%**, charakterizačný koeficient rMg/rCa bol 0,698. Stav nasýtenia podzemnej vody bol posudzovaný z indexov nerovnovážnosti pre hlavné karbonáty K_c , K_d a pre sadrovec K_s . Podľa empiricky vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda **presýtená voči kalcitu a je presýtená voči dolomitu** (obrázok 24). Z uvedeného vyplýva, že **podľa genetickej príslušnosti ide o podzemnú vodu petrogénnu s karbonátogénnou mineralizáciou** (Gazda, 1974).

B) Vodárenský zdroj Staré Lazy pramene 1 až 10

Vodárenský zdroj Staré Lazy predstavuje záchyty 10 prameňov. Pramene sú situované v nadmorskej výške 646,74 (50) až 702,08 m n.m. (46) na ľavostrannom svahu údolia povrchového toku s názvom Čebrať. Výnimkou je záchyt prameňa č. 8, ktorého záchyt je na päte protihľadáneho svahu. Situovanie vodných zdrojov bolo overené počas predchádzajúcej etapy prieskumných prác (Borovský et al., 2017), kedy bolo zistené že vodárenské objekty zachytených prameňov č.1 a 2 na mape dokumentácie (príloha 2.2) zobrazujeme pod č. 46, skupinu prameňov č. 3, 4, a 5 pod číslom 47a, prameň 6 pod číslom 48 a prameň 8 pod číslom 49. Pramene ležia vo výverovej 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.



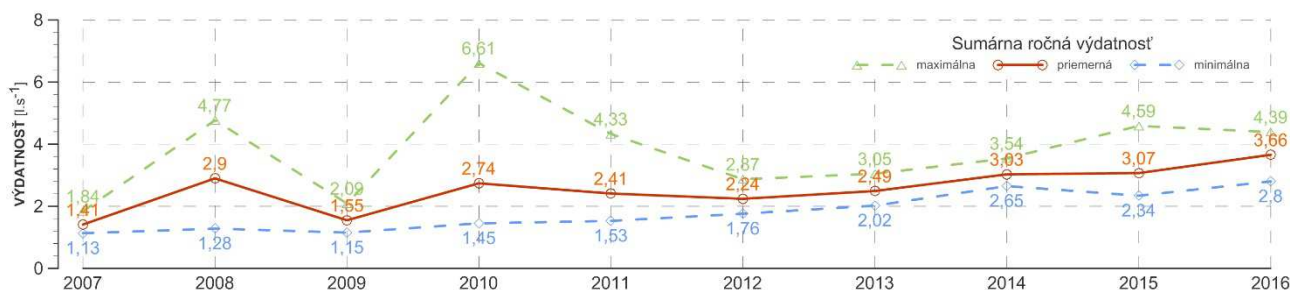
Obrázok 25 Situovanie vodných zdrojov Staré Lazy a nových geofyzikálnych profilov

Jednotlivé vývery sa nachádzajú v kvartérnych deluviálnych kamenito-hlinitých až kamenitých sutiach, v ktorých podloží ležia horninové komplexy krížňanského príkrovu. Na

základe vyhodnotenia geofyzikálnych profilov GF-9 až GF-11 (viď obrázok 25) možno povedať, že hlavný prítok podzemnej vody do zdroja je z ľavej strany údolia, kde okraj trosky chočského príkrovu resp. jeho kontakt s podložným mráznickým súvrstvom krížňanského príkrovu je situovaný v nadmorskej výške cca 815 m n.m. Od tohoto kontaktu prúdi podzemná voda z vápencovo-dolomitického komplexu cez sutinový pokryv svahu až k dnu údolia a vystupuje v sústave zachytených prameňov.

Na pravej strane údolia bola geofyzikálnymi meraniami overená cca 10 – 20 m hrubá šupina hornín chočského príkrovu (prevažne dolomitov), ktorej báza sa nachádza v nadmorskej výške cca 695 m n.m. Vzhľadom na malú hrúbku tohoto útvaru a jeho relatívnu izolovanosť nepredpokladáme významnejšiu akumuláciu podzemných vôd a teda ani výrazný prítok podzemnej vody z pravej strany údolia. Podzemná voda je teda formovaná prevažne v kvartérnych kamenito-hlinitých sedimentoch, čo poukazuje na výrazné kolísanie výdatnosti v závislosti od zrážok, pričom akumulácia vôd sa diala pravdepodobne vo vápencovo-dolomitickom komplexe hornín chočského príkrovu masívu Čebrate. Časť podzemných vôd je pravdepodobne okrem prestupu cez sutiny privádzaná aj plytkými obehovými cestami po priečných tektonických zlomoch SZ-JV až SSV-JJZ resp. v pripovrchovej zóne rozvoľnenia. Tektonické porušenie je v týchto miestach značne komplikované, kde okrem priečnej tektoniky sa uplatňuje aj príkrovová tektonika. Výdatnosti prameňov sú výrazne závislé od klimatických a hydrologických podmienok, preto predpokladáme, že majú plytký a rýchly obeh. **Významné ovplyvnenie vodných zdrojov Staré Lazy v súvislosti s razením prieskumného nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.**

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 26 a tabuľka 25).



Obrázok 26 Ročná sumárna výdatnosť prameňov 1 až 10 vodárenského zdroja Staré lazy

Tabuľka 25 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 pameň 6 [l.s ⁻¹]	49. pameň 8 [l.s ⁻¹]	prameň, 7, 9, 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
Priemer	0,63	0,69	0,07	0,41	0,76	2,55

Podzemná voda vodárenských zdrojov 46, 47, 48 a 49 patrí podľa reakcie vody pH 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 mmol.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 A2 zložka 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 K_c, K_d. Podľa empiricky

vypočítanej hodnoty pre kalcit K_c je podzemná voda zo zdrojov 46, 47, 48 je nasýtená kalcitom a v rovnováhe až mierne nasýtená dolomitom (obrázok 24). Podzemná voda zo zdroja 49 je presýtená voči kalcitu a je mierne nasýtená dolomitom. 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 najmä dolomitov chočského príkrovu hronika.

Porovnaním chemického zloženia podzemných vôd z prameňov vodárenského zdroja Staré Lazy je zrejmý rozdiel v chemickom zložení s podzemnými vodami z vrtu NT-13 a NT-15 odobratých v predchádzajúcej etape prieskum a z vrtu NT-30.

V podzemných vodách z vrtu NT-13 a NT-15 (Borovský et al. 2017) 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^{2-} 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 iónovymenné procesy, ktoré sú typické pre nehomogénne prostredie zastúpené karbonátickými aj silikátovými minerálmi. Vo vzorke vody z vrtu NT-13 bol analyzovaný obsah síranov 111 mg.l^{-1} , kde tvorí na celkovej mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M=0,24$. Podobne vo vzorke z NT-15 bol analyzovaný obsah síranov 106 mg.l^{-1} , kde tvorí na celkovej mineralizácii podiel $r\text{SO}_4/M=0,09$. Podzemná voda z oboch vrtov je voči sadrovcu nedosýtená.

Podzemná voda z vrtu **NT-30** podľa obsahu všetkých rozpustených látok 930 mg.l^{-1} patrí k vodám s vysokou mineralizáciou, podľa reakcie vody pH 7,97 patrí k vodám slabo alkalickým. V jej chemickom zložení dominujú ióny Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- a HCO_3^- . Podľa chemickej klasifikácie Gazdu (1972) patrí k vodám nevýrazného Na-Ca- HCO_3 typu, medzi Palmerovými indexami prevláda zastúpenie A1 zložka 59,87 c.z%

Medzi tunelovou rúrou a prameňmi vodného zdroja Staré Lazy bol sledovaný vrt NT-30. Podľa výsledku monitoringu vo vrte NT-30 bola hladina podzemnej vody za obdobie júl – september 2017 zaklesnutá hlboko v masíve v hĺbke až 174,32 až 174,85 m pod terénom (Príloha 10) t.j. na piezometrickej úrovni 565,93 až 566,46 m n.m. Hlboko zaklesnutú hladinu podzemnej vody potvrdzujú výsledky meraní pórového tlaku druhej úrovne vo vrte NT-16 s priemernou odvodenou hladinou vody z pórového tlaku v hĺbke prepočítanej k zvislici vrtu 188,195 m t.j. na piezometrickej úrovni 579,125 m n.m. Relatívne vyššie je dokumentovaná hladina podzemnej vody vrtom NT-15 v hĺbke 123,952 až 133,645 m pod terénom t. j. na kóte 616,235 až 625,928 m n.m., napriek tomu je pozícia prameňov v nadmorskej výške od 646,78 po 720 m n.m, čo je podstatne vyššie, ako sú dokumentované ustálené hladiny (piezometrické výšky) v najbližších pozorovacích vrtoch.

Vzhľadom na reálne namerané úrovne hladín podzemných vôd vo vrtoch v trase tunela a z pozície výverov vodných zdrojov, ako aj z rozdielných podmienok tvorby chemického zloženia podzemných vôd, **predpokladáme oddelené podmienky obehu podzemných vôd v prípade vodných zdrojov a v prípade okolia tunelovej rúry. Významne 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 **cielené utesňovanie významnejších sústredených prítokov** podzemnej vody pomocou chemickej injektáže (približne do hĺbky 6 až 8 m).

Podľa výsledkov numerického modelovania realizovaného v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al. 2017) od výverovej oblasti, kde sú situované Vodárenské zdroje Staré Lazy, v **súčasných prírodných pomeroch (bez tunelov) zo stropu tohto zlomu infiltruje sumárne 0,3759 l.s⁻¹**. Pri razení tunelových rúr môže cez tento zlom infiltrovať maximálne 6,7800 l.s⁻¹. **Tunelové rúry bez opatrení a bez uvažovania hydraulického odporu ostenia spôsobia zväčšenie infiltrácie cez zlom č. 5 o maximálne 6,4040 l.s⁻¹**. Predpokladáme tiež, že primárne bude zlom „sýtený“ vodou z bezmenného potoka, v ktorého údolí sa vodné zdroje nachádzajú.

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 silty a íly piesčité, terasové polygenetické íly a silty piesčité tr.3 – 4
- náplavové a terasové polygenetické íly, silty 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
- mezozoické pieskovce zvetrané a tektonicky porušené tr.5
- mezozoické pieskovce zdravé a navetrané tr.5 – 7

V zmysle TP 7/2008 Prílohy 1 radíme zeminy a horniny vyskytujúce sa v modifikovanej trase diaľnice D1 Hubová – Ivachnová do nasledujúcich tried vŕtateľnosti pilót:

- antropogénne navážky (koľajové kamenivo, násypy hrádzí a ciest) tr. I.
- náplavové silty a íly piesčité, terasové polygenetické íly a silty piesčité tr. I.
- náplavové a terasové polygenetické íly, silty a piesky tr. I.
- deluviálne a proluviálne sute kamenité a ílovito–kamenité tr. I.
- deluviálne a proluviálne sute balvanité tr. II. – III.
- deluviálne a proluviálne sute ílovité tr. I.
- štrky korytovej fácie, terasové štrky tr. II.
- mezozoické siltovce a vápence zvetrané a tektonicky porušené tr. II.
- mezozoické siltovce a vápence zdravé a navetrané tr. II. – III.
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zvetrané a tekton. porušené tr. I. – II.
- mezozoické ílovce s preplástkami slienitých vápencov zdravé a navetrané tr. II. – III.
- mezozoické pieskovce zvetrané a tektonicky porušené tr. I. – II.
- mezozoické pieskovce zdravé a navetrané tr. II. – III.

2.4.2 Možnosti využitia kvartérnych zemín a mezozoických hornín

V náväznosti na tabuľky 15a 16, ktoré uvádzajú prehľad geotechnických parametrov kvartérnych zemín a mezozoických hornín, vyskytujúcich sa v trase navrhovaného variantu V2 diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, uvádzame v nasledujúcej tabuľke 26 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 dvojúrovňového 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 – úvod tunela od západného portálu po km cca 2,300, km 2,950 – 3,050, km 5,100 – 5,200 a pod.) bude celkový vyťažený objem hornín z týchto úsekov $139\,380 \text{ m}^3$. Z dvojúrovňového 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 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 ($\sigma_c = 20 - 50 \text{ MPa}$). Pri dlhodobom skládkovaní môže dôjsť k ich úplnej degradácii na zeminu. Tektonicky podrvené a zbridlčnené 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 môže nájsť uplatnenie aj pri návrhu konštrukčných vrstiev vozoviek.

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 depresíí, 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.

Tabuľka 26 Kategorizácia zemín z hľadiska využiteľnosti

CHARAKTERISTIKA			DELUVIÁLNE, POLYGENETICKÉ A FLUVIÁLNE SEDIMENTY A ELÚVIUM MEZOZOICKÝCH 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		podmienečne vhodné	vhodné	podmienečne vhodné až nevhodné	vhodné	vhodné	vhodné
	Vhodnosť do podložia		podmienečne vhodné	podmienečne vhodné až nevhodné	nevhodné	podmienečne vhodné až vhodné	vhodné	vhodné až podmieneč ne vhodné
	Namŕzavosť		namŕzavé	nebezpečne namŕzavé	nebezpečne namŕzavé až vysoko namŕzavé	namŕzavé	mierne namŕzavé až nenamŕzavé	nenamŕzav é 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

2.5 Zoznam súradníc prieskumných diel

Prieskumné diela boli v teréne vytýčené 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 12. V nasledujúcej tabuľke 27 uvádzame iba zoznam súradníc prieskumných diel.

Tabuľka 27 Zoznam súradníc prieskumných diel

Označenie	Y	X	Z (terén)	Poznámka
NT-20	-407809,98	-1187434,83	539,77	
NT-21	-407554,96	-1187478,96	537,36	
NT-23	-407637,99	-1187529,60	520,26	
NT-24	-407621,10	-1187476,37	527,08	

NT-25	407521,68	1187479,29	543,15	
NT-26	407441,48	1187535,71	552,60	
NT-27	407266,37	1187539,11	589,40	

3 ZÁVER

Sumarizácia výsledkov a odporúčani

Predkladaná záverečná správa z podrobného inžinierskogeologického prieskumu sumarizuje výsledky prieskumných terénnych i laboratórnych prác v trase variantu V2 novej trasy diaľnice D1 v úseku Hubová - Ivachnová. Cieľom prieskumných prác bolo podrobné overenie inžinierskogeologických, hydrogeologických a geotechnických pomerov v trase variantu V2 v úseku, kde sa významne líši od už posudzovaného variantu V1, a poskytnúť relevantné podklady pre EIA, jednotlivé stupne projektovej dokumentácie 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 podloží 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 V2 vedená na povrchu

V **povrchovom úseku diaľnice** je geologická stavba zložitá. Trasa vedie po ploche terasového stupňa, budovaného najmä zeminami fluvialnej (terasové štrky a ich polygenetický pokryv) a deluviálnej (svahové sute) genézy. V ich podloží sa nachádzajú čiastočne skrasovatené vápence a ílovce jaseninského súvrstvia. Územie možno považovať za stabilné, bez vplyvov podzemnej vody. Prieskumné práce v tejto etape boli zamerané najmä na zistenie stability svahov v plánovanom záreze medzi mostami 203 a 204.

Medzi hlavné rizikové fenomény, ktoré sa vyskytujú v trase diaľnice mimo tunela a portálovej oblasti, patria zosuvy a erózia. Svahy priľahlé 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 203 a 204 je možné **zväčša zakladať hĺbkovo** na veľkopriemerových pilótach votknutých do predkvartérneho podložia alebo (vzhľadom na veľké hrúbky kvartéru) na plávajúcich pilótach, v kvartérnom komplexe. Upozorňujeme, že v deluviálnych sutiach, ktoré prekryli terasové sedimenty Váhu sa vyskytujú balvany až bloky karbonatických hornín, ktoré boli zvrstvené z vyšších partií svahov, ktoré budú sťažovať realizáciu veľkopriemerových pilót prípadne baranie štetovnic. Alternatívne je možné zlepšiť základové pomery tryskovou

injektážou a zakladať piliere a opory mostov plošne. Západnú oporu mosta 204 je možné založiť plošne na skalnom podloží.

3.2 Portálový zárez a úvodný úsek razeného tunela variantu V2

V **portálovom záreze** v príslušnom 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 hodnotenej oblasti portálu 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 vo variante V2) budované prevažne ílovcovými a siltovcovými 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 najmä tektonicky porušených úsekov horninového masívu) 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.

Pri hodnotení horninového prostredia sme sa opierali hlavne o údaje získané priamo v teréne, jednak z vrtných prác a najmä z realizovaných geotechnických skúšok. Pre overenie geotechnických parametrov horninového masívu sme využili najmä dilatometrické skúšky, ktoré umožňujú overiť deformačné parametre horninového prostredia priamo v nivelete plánovanej tunelovej rúry. Tieto geotechnické skúšky boli kombinované s karotážnymi 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 vo variante V2 ideálne, ale v porovnaní s inými navrhovanými polohami portálu (posunuté ešte viac na západ) sú vhodnejšie a za dodržania technologických podmienok realizovateľné**. 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 metre razeného tunela možné realizovať bez závažnejších problémov. Opatrenia na zlepšenie podmienok a bezpečnosti razenia by mali mať nasledujúci charakter:

- 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 zamedzilo sa tak rozbreďaniu 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 zavlčenia 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;
- keďže hlavným geotechnickým rizikom v uvedenom úseku je nestabilita klenby, stien a čelby tunela v úseku s malým nadložíom a v úsekoch s tektonickým porušením, je potrebné realizovať zabezpečenie klenby tunela mikropilótoým dáždnikom a zároveň zabezpečovať uzatváranie profilu tunela protiklenbou prípadne aj dočasnou protiklenbou v čiastkových výruboch;
- je potrebné zabezpečiť odvádzanie priesakových vôd sústredeným odtokom tak, aby nedochádzalo k rozmokaniu počvy tunela pri pojazdoch mechanizmov;
- vzhľadom na blízkosť vodného zdroja Stará Hrboltová je potrebné realizovať opatrenia na minimalizáciu drenážneho účinku tunela. Opatrenia by mali pozostávať z utesňovania prítokov podzemných vôd do tunelovej rúry a to prstencovým spôsobom tak, aby priepustnosť horninového masívu dosiahla minimálne 10^{-7} až 10^{-8} m.s⁻¹. Hrúbka prstenca upravenej horniny by mala dosiahnuť 3 – 6 m.
- Po dobudovaní monitorovacej siete hydrogeologických vrtov na sledovanie hladiny podzemnej vody je potrebné okamžite začať kontinuálne monitorovanie;
- Svah stavebnej jamy portálu dosiahne výšku takmer 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 pilótoou stenou, pričom pilóty budú previazané v potrebných úrovniach kotvenými železobetónovými prahmi. V prípade, že nebude možné realizovať pilótoou stenu až do požadovanej hĺbky, je možné zväziť 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;
- Vzhľadom na fakt, že v časti trasy tunela bude do kaloty (najmä v južnej tunelovej rúre) zasahovať kvartérny deluviálny pokryv, navrhujeme v tomto úseku zlepšenie vlastností zemín v klenbe z povrchu (trysková injektáž z portálovej steny alebo z bezprostredného nadložia) alebo realizovať v tomto mieste razenie pod ochrannou klenbou (korytnačka);
- 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 portáloveho 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 nezámfzavým 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. Dĺžka a smer vrtov by mali byť navrhnuté tak, aby zabezpečovali len bezprostrednú stabilitu stavebnej jamy ale neovplyvňovali blízky vodný zdroj Stará Hrboltová;

- 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 vŕtania pilót (mikropilót) aj kotiev je potrebné sledovať režim vŕtania, aby koreň kotvy resp. báza mikropilóty nebola osadená v tektonicky porušenej zóne charakteru zeminy;
- Zážezy 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 hĺbenej časti 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;
- 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 vyhlbenia 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 sute 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 štrkopiesčitosť (základový vankúš alebo geosyntetická doska).

3.3 Trasa variantu V2 vedená tunelom Čebrať

V úseku diaľnice D1 Hubová - Ivachnová, vedenom tunelom Čebrať vo variante V2, možno **inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické pomery hodnotiť ako zložité**. Vzhľadom na pomerne malý rozdiel medzi variantom V1 a V2 možno vychádzať všeobecne z predchádzajúcej etapy prieskumných prác (Borovský et al., 2017).

Podmienky razenia jednotlivých úsekov tunela a výstavby príslušných objektov sú podrobne charakterizované v kapitole 2.2 a jej podkapitolách. Pri charakteristike geologických

pomerov sme vychádzali z výsledkov archívnych geofyzikálnych povrchových meraní, archívnych mapovacích prác, z obmedzeného rozsahu vrtných prác (predovšetkým štruktúrnych vrtných), 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 (vzhľadom na bodový charakter prieskumných diel) stanoviť s dostatočnou hustotou a presnosťou. Z toho bude vyplývať neistota v hodnotení podmienok realizácie tunela.

Trasa tunela bola detailne hodnotená v predchádzajúcej etape prieskumu (Borovský et al., 2017), pričom na základe výsledkov aktuálneho prieskumu možno povedať, že posunom trasy tunela severne (variant V2) nedôjde k významnej zmene v geologickej stavbe masívu a očakávaných geotechnických podmienkach realizácie tunela. V úseku odklonu dominujú horniny porubského a lučivnianskeho súvrstvia s dominanciou ílovcov a siltovcov. Je potrebné mať na zreteli deficit relevantných vstupných údajov pre detailné a zodpovedné hodnotenie prostredia, najmä z dôvodu absencie banského prieskumného diela. Klasifikácia charakteristických úsekov masívu tak mala len pravdepodobnostný charakter.

3.3.1 Vplyv horninového prostredia na razenie tunela Čebrať

Z výsledkov realizovaných prieskumných prác vyplýva, že **podmienky pre razenie tunela Čebrať v úseku variantu V2, ktorý sme hodnotili, sú za dodržania technologickej disciplíny a aplikácie vhodných opatrení relatívne priaznivé.**

Dominujúcim litologickým a inžinierskogeologickým typom v trase tunela v úseku variantu V2 budú ílovce a siltovce flyšových súvrství križňanského príkrovu, najmä porubského, párnického (prípadne mráznického). Mimo tektonicky porušených zón predstavujú tieto horniny **uspokojivo kvalitné horninové prostredie** poloskalných hornín s minimálnym očakávaným prítokom podzemnej vody. Rizikovým faktorom je ich **nízka pevnosť a 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 najmä v zónach tektonického porušenia (zlomové pásma) prípadne z polôh s vyšším zastúpením siltovcov až pieskovcov (po otvorených puklinách).

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 bude vhodné počas razenia využívať služby geologického dozoru a možnosti doplnkového geologického prieskumu (prieskumné predvrtý). Opatrenia na zlepšenie podmienok razenia by mali zahŕňať:

- dôsledné dodržiavanie technologickej disciplíny;
- v úsekoch tvorených tektonitmi charakteru zeminy a v úsekoch tvorenými poloskalnými horninami je potrebné dôsledne utesňovať všetky prítoky podzemnej vody v zmysle vypracovaného HEC. Hlavné úseky, kde by sa mali aplikovať injektážne práce sú v úsekoch km 2,000 – 2,500, km 2,800 – 2,850, km 2,950 – 3,050, km 3,600 – 4,600 a km 5,100 – 5,200. V ostatných úsekoch je potrebné túto metódu aplikovať v prípade, že geologický dozor počas razenia identifikuje významný sústredený prítok podzemnej vody;
- pre zabránenie degradácie geotechnických parametrov hornín je potrebné zamedziť únikom

technologickéj vody do počvy tunela;

- je potrebné prijať opatrenia na zamedzenie vysýpania úlomkovitých hornín, najmä tektonicky porušených vápencov resp. slieňovcov a siltovcov – je možné uplatniť aplikáciu horninového piliera, ihlovanie, chemickú injektáž klenby tunela, prikotvenú ochrannú sieť a podobne. Jedná sa najmä o drvené zlomové poruchy;
- 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;
- v úsekoch, kde sa očakávajú prechody významných zlomových porúch s možnými veľkými prítokmi (napríklad úseky km 5,100 – 5,200, km 2,950 – 3,050, km 2,000 – 2,500) odporúčame realizovať v predstihu prieskumné horizontálne predvrty, ktoré budú následne vybavené zhlavím s meraním tlaku a možnosťou odoberania vzorky podzemnej vody. Utesňovanie by malo byť overené vodnotlakovou skúškou;
- V úsekoch budovaných dominantne ílovcami je riziko rozbreďovania horniny pri styku s vodou a pojazdami mechanizmov – je potrebné prijať opatrenia na ochranu dna tunela (ochranná vrstva kameniva, dôsledné sústredené odvádzanie vôd).

3.3.2 Vplyv razenia tunela Čebrať na podzemné a povrchové vody

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. Z hľadiska vplyvu tunela Čebrať na okolité najvýznamnejšie vodné zdroje Stará Hrboltová a Staré Lazy 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 oddelené 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 tunela nepredpokladáme resp. očakávame len minimálne ovplyvnenie.**

Napriek tomu pre zvýšenie bezpečnosti vodného zdroja odporúčame aj v tomto úseku tunela realizovať **cielené 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 predchádzajúcich výsledkov numerického modelovania z oblasti, kde je situovaný Vodárenský zdroj Stará Hrboltová môže do tunelových rúr cez tektonické porušenie infiltrovať maximálne $4,8328 \text{ l.s}^{-1}$. **Tunelové rúry bez opatrení a hydraulického odporu ostenia tunela spôsobia zväčšenie infiltrácie** cez tektonické porušenie v úseku o maximálne $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$.

Sumárna priemerná ročná výdatnosť vodárenského zdroja je $Q_R = 7,41 \text{ l.s}^{-1}$, vypočítaný prírastok drenážnym účinkom tunela na rizikovitom úseku o $4,2480 \text{ l.s}^{-1}$ **môže teoreticky spôsobiť úbytok výdatnosti vodárenského zdroja o 57 %** jeho kapacity za predpokladu, že sa nebudú realizované ochranné opatrenia.

Vzhľadom na fakt, že vodný zdroj Stará Hrboltová sa nachádza najbližšie k trase tunela a je teda **potenciálne najviac ohrozeným vodným zdrojom**, odporúčame pre ochranu tohto vodného zdroja aplikovať počas razenia zmierňujúce opatrenia, najmä ciele **utesňovanie sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injeckáže**. Tieto opatrenia odporúčame realizovať od západného portálu po km cca 2,500 systematicky (tj. každý sústredený výver), od km 2,500 do 2,850 ciele (tj. len každý významnejší výver nad $0,2 \text{ l.s}^{-1}$). Účinnosť injeckáže 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 predvrty** zo steny severnej tunelovej rúry do strany, ktorými by bola zachytená (prevítaná) 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.**

Účinnokzmierňujúcich opatrení v podobe **utesňovania sústredených prítokov podzemnej vody pomocou chemickej injeckáže** bol simulovaný hydraulickým modelovaním (Príloha 9 a kapitola 2.3.4). Utesňovanie tunelových rúr sa simulovalo pre utesňovacie návrty 6 m a pre stupeň utesňovania s koeficientom filtrácie $k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ a tiež pre $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$.

Numerické modelovanie preukázalo, že **utesňovanie tunelových rúr v rizikovitom úseku zlomového pásma s utesňovacími návrtmi dĺžky 6 m a s nepriepustnosťou $k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$ prakticky úplne eliminuje pokles hladiny podzemnej vody v posudzovanom mieste vodárenského zdroja Stará Hrboltová resp. eliminuje sumárny prítok $4,83 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody do tunelových rúr v rizikovitom úsekuna sumárny prítok $0,026 \text{ l.s}^{-1}$** . Utesňovanie musí byť úplne, t.j. v hornej a v dolnej polovici tunelov.

Z eliminácie poklesu hladiny podzemnej vody resp. z eliminácie výrazného poklesu sumárneho prítoku podzemnej vody do tunelových rúrpomocou úplného kruhového utesňovania tunelov v rizikovitom úsekumožno nepriamo usudzovať, že vodárenský zdroj Stará Hrboltová nebude negatívne ovplyvnený v trvalých pomeroch prúdenia podzemnej vody.

3.4 Návrh prác ďalšej etapy prieskumu a monitoringu

V prípade, že výstavba diaľnice D1Hubová - Ivachnová bude realizovaná v predĺženom tunelovom variante, je navrhnuté realizovanie doplnkového inžinierskogeologického prieskumu formou banského prieskumného diela od východného portálu z už realizovanej časti tunela Čebrať v zmysle schválenej projektovej dokumentácie podrobného IGHP časť B zo dňa 16.1.2017. Tento postup by mal niekoľko výhod:

- overila by sa presnejšie geologická stavba masívu v miestach, kde je topografickým a vrtným prieskumom znemožnené konfiguráciou terénu a vysokým nadloží;
- overil by sa prípadný vplyv razenia na menší vodný zdroj Hubert v blízkosti východného portálu a možnosti a úspešnosť chemickej iniektáže. Na základe výsledkov takéhoto pokusu by bolo možné spresniť potrebné technologické opatrenia na elimináciu vplyvov razenia na vodné zdroje ďalej v trase;
- bola by možnosť systematicky dokumentovať prítoky podzemnej vody na čelbe prieskumného diela so stanovovaním základných fyzikálno-chemických ukazovateľov, v prípade intenzívneho prítoku odobrať vzorku vody na laboratórne stanovenie chemizmu a genézy podzemnej vody;
- využitie možnosti realizácie prieskumných predvrtov počas razenia v miestach, kde sa začne prejavovať blízkosť tektonicky porušenej zóny s rizikom vyšších prítokov vody;

Okrem týchto prác, viazaných na razenie podzemného diela z pohľadu doplnenia geologických informácií bude potrebné ďalej:

- zaradiť všetky novovybudované pozorovacie vrty a dočasné merné prepady na vodných tokoch do siete geotechnického monitoringu a začať s ich sledovaním;
- realizovať opakované odbory vzoriek podzemných vôd na stanovenie agresivity podzemnej vody z vrtov v trase tunela, nakoľko v súčasnosti realizované chemické analýzy mohli byť ovplyvnené technológiou vŕtania s vodným výplachom s použitím aditív na stabilizáciu stien vrtu;
- inštalovať dočasnú automatickú zrážkomernú resp. meteorologickú stanicu na vhodné miesto na lokalite, na spresnenie vstupných údajov do hydrologickej bilancie a zároveň pre možnosť presnejšie vyhodnocovať vplyv zrážok na aktivitu svahových pohybov;
- 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 sa malo 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;
- Borovský, M.: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum – časť A. CAD-ECO a.s., Bratislava, 2017;
- 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. Quarterly 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, L.: Posouzení stavu a stability podloží v míst změny trasy dálničního úseku D1 Hubová – Ivachnová, staničení 2,000. Geofyzikální měření. Kolej Consult & servis, s.r.o., Brno, 2015;
 - 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 dálničných 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;

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 odberu 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 premfzania

TABUĽKA ZMIEN

č.	TEXT ZMENY – ODOVODNENIE	DÁTUM	PODPIS
a			
b			
c			

SÚRADNICOVÝ SYSTÉM: S-JTSK

VÝŠKOVÝ SYSTÉM: Bpv

NÁZOV STAVBY DIAĽNICA D1 HUBOVÁ - IVACHNOVÁ			
VEREJNÝ OBSARÁVATEĽ  NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ		NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ, a.s. Dúbravská cesta 14 841 04 BRATISLAVA	
		HLAVNÝ INŽINIER STAVBY: ING. L. PEMČÁK PODPIS:	
NEZÁVISLÝ STAVEBNÝ DOZOR 		AECOM Polska Sp z o.o. Organizačná zložka A. BERNOLÁKA 6 034 01 RUŽOMBEROK	
		STAVEBNÝ DOZOR: JANUSZ UBOWSKI PODPIS:	
ZHOTOVITEĽ STAVBY  			
VEDÚCI ČLEN ZDRUŽENIA: OHL ŽS, a.s. Burešová 938/14 662 02 Brno		ČLEN ZDRUŽENIA: VÁHOSTAV – SK, a.s. Hlínská 40 011 18Žilina	
		ZDRUŽENIE ČEBRAŤ FURMANSKÁ 6 841 03 BRATISLAVA	
		RIADITEĽ VÝSTAVBY: ING. J. POLLÁK PODPIS:	

Zodpovedný riešiteľ úlohy:	Mgr. M. Borovský	Vypracoval:	RNDr. M. Kuvik	 Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava
Koordinátor:	RNDr. M. Kuvik			
Miesto stavby:	Hubová - Ružomberok - Ivachnová	Okres:	Ružomberok (508)	
Investor - stavebník:	Národná diaľničná spoločnosť a.s. Dúbravská cesta 14 841 04 Bratislava		 NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ	Riaditeľ: Ing. Rozália Gergelyová
Objednávateľ:	Združenie ČEBRAŤ Furmanská 6 841 03 Bratislava		 	Číslo geol. úlohy: 207/2017/ZA Etapa prieskumu: podrobný
Názov stavby:	Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2 Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum			Dátum: 09.11.2017 Reg. č. GEOFOND 208/2017 Mierka: - Číslo prílohy: -
Názov prílohy:	Záverečná správa			Časť: Exmplár: 1

TABUĽKA ZMIEN

č.	TEXT ZMENY – ODOVODNENIE	DÁTUM	PODPIS
a			
b			
c			

SÚRADNICOVÝ SYSTÉM: S-JTSK

VÝŠKOVÝ SYSTÉM: Bpv

NÁZOV STAVBY

DIAĽNICA D1 HUBOVÁ - IVACHNOVÁ

VEREJNÝ OBSARÁVATEĽ

NÁRODNÁ
DIAĽNIČNÁ
SPOLOČNOSŤNÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 BRATISLAVA

HLAVNÝ INŽINIER STAVBY: ING. L. PEMČÁK

PODPIS:

NEZÁVISLÝ STAVEBNÝ DOZOR

AECOM Polska Sp z o.o.
Organizačná zložka
A. BERNOLÁKA 6
034 01 RUŽOMBEROK

STAVEBNÝ DOZOR: JANUSZ UBOWSKI

PODPIS:

ZHOTOVITEĽ STAVBY

VEDÚCI ČLEN ZDRUŽENIA:
OHL ŽS, a.s.
Burešová 938/14
662 02 BrnoČLEN ZDRUŽENIA:
VÁHOSTAV – SK, a.s.
Hlínská 40
011 18 ŽilinaZDRUŽENIE ČEBRAŤ
FURMANSKÁ 6
841 03 BRATISLAVA

RIADITEĽ VÝSTAVBY: ING. J. POLLÁK

PODPIS:

Zodpovedný riešiteľ úlohy:	Mgr. M. Borovský	Vypracoval:	RNDr. M. Kuvik	 Svätoplukova 28, 821 08 Bratislava
Koordinátor:	RNDr. M. Kuvik			
Miesto stavby:	Hubová - Ružomberok - Ivachnová	Okres:	Ružomberok (508)	
Investor - stavebník:	Národná diaľničná spoločnosť a.s. Dúbravská cesta 14 841 04 Bratislava		NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ SPOLOČNOSŤ	Riaditeľ: Ing. Rozália Gergelyová
Objednávateľ:	Združenie ČEBRAŤ Furmanská 6 841 03 Bratislava			Číslo geol. úlohy: 207/2017/ZA
Názov stavby: Diaľnica D1 Hubová - Ivachnová, nová trasa, variant V2 Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum	Názov prílohy: Záverečná správa			Etapa prieskumu: podrobný
				Dátum: 09.11.2017
				Reg. č. GEOFOND 208/2017
				Mierka: -
				Číslo prílohy: -
			Časť:	Exemplár:



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

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov geologickej úlohy: Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová, nová trasa, variant V2
Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum

Číslo geologickej úlohy: 207/2017/ZA

Reg. číslo GEOFOND: 208/2017

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 Sinák
Ing. Ladislav Stolárik
Mgr. Marian Coplák
RNDr. Štefan Holeša
RNDr. Marian Kuvik
RNDr. Katarína Vrábľová
RNDr. Emília Žabková
Martin Šimek
Štefan Konkolovský

Dátum vyhotovenia: 30.8.2017

Exemplár číslo: 0

Za objednávateľa schválil: Ing. Rozália Gergelyová
predseda predstavenstva