Technická zpráva 744/2024

GEOLOGICKÁ A GEOTECHNICKÁ CHARAKTERIZACE HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ PVP BUKOV II

TŘETÍ PRŮBĚŽNÁ ZPRÁVA

Autoři: Igor Soejono a kolektiv



Praha, 2024

NÁZEV ZPRÁVY: Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II – třetí průběžná zpráva

NÁZEV PROJEKTU: Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU:

Průběžná zpráva

ČÍSLO SMLOUVY: SO 2020-087

Bibliografický zápis: SOEJONO I., BUKOVSKÁ Z., RUKAVIČKOVÁ L., ŠVAGERA O., CHABR T., SOUČEK K., VAVRO M., MORÁVEK R., LEVÝ O., SOSNA K., KRYL J., ŘIHOŠEK J., ZELINKOVÁ T., DOBEŠ P., HANÁK J., ČERMÁK F., KAŠPAR R., MAREČEK L., NEDVĚD J., VAVRO L., MYŠKA O., JANEČEK I. (2024): Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II – třetí průběžná zpráva – TZ 744/2024, SÚRAO, Praha.

ŘEŠITELÉ:

Česká geologická služba¹, INSET, s.r.o.², SG Geotechnika, a.s.³, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.⁴

AUTORSKÝ KOLEKTIV: S SOEJONO I., BUKOVSKÁ Z., RUKAVIČKOVÁ L., ŠVAGERA O., CHABR T., SOUČEK K., VAVRO M., MORÁVEK R., LEVÝ O., SOSNA K., KRYL J., ŘIHOŠEK J., ZELINKOVÁ T., DOBEŠ P., HANÁK J., ČERMÁK F., KAŠPAR R., MAREČEK L., NEDVĚD J., VAVRO L., MYŠKA O., JANEČEK I.

Lucie Mareda Manažer projektu (SÚRAO) 27. 3. 2024 Igor Soejono Manažer projektu (Společnost Bukov II) 27. 3. 2024



Obsah

1	Úvo	od	8
2	Pos	stup řešení projektu	10
2	2.1 G	eologická a strukturně-geologická charakterizace	10
	2.1.1	Dokumentace čeleb	10
	2.1.2	Dokumentace vyražených prostor	20
	2.1.3	Dokumentace vrtných jader	24
2	2.2 Pe	etrografická a geochemická charakteristika	30
	2.2.1	Petrografická charakteristika	30
	2.2.2	Geochemie žilných a puklinových mineralizací	33
	2.2.3	Geochemická charakteristika	37
2	2.3 30	D strukturně-geologický model	41
	2.3.1	Integrace dat do GIS projektu	44
2	2.4 Hy	ydrogeologická charakterizace	45
	2.4.1	Hydrogeologická dokumentace	45
	2.4.2	Odběry vzorků, chemické složení podzemních vod	56
	2.4.3	Chemické složení (stopové prvky, radioaktivita, organický uhlík)	60
	2.4.4	Hydrogeologický monitoring	64
	2.4.5	Studium původu a stáří vod	76
	2.4.6	Vodní Tlakové Zkoušky	78
2	2.5 Tr	ransportní vlastnosti	87
2 te	2.6 St esty	tanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin laborato	rními 87
	2.6.1	Fyzikální vlastnosti	87
	2.6.2	Tepelné vlastnosti	88
	2.6.3	Pevnostní a deformační vlastnosti	88
	2.6.4	Petrofyzikální vlastnosti	89
2	2.7 St	tanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin in-situ testy	/89
	2.7.1	Stanovení kvality hornin vrtného jádra pomocí parametru RQD	89
2	2.8 G	eofyzikální měření ve vrtech geotechnických stanic a jejich okolí	94
	2.8.1	Seismická tomografie	94
	2.8.2	Seismokarotáž	96
	2.8.3	Vrtný georadar	96
	2.8.4	Lehká úderová seismika	97

2.8.5	Výsledky měření ve vrtech geotechnických stanic
2.8.6 ABI	Geofyzikální měření ve vrtech geotechnické stanice L4a-72 pomocí metod OBI a 103
2.9 G	eofyzikální charakterizace109
2.9.1	Georadar109
2.9.2	ERT
2.9.3	Mělká refrakční seismika112
2.9.4	Výsledky geofyzikálních měření v chodbě L4a113
2.9.5	Výsledky geofyzikálních měření v chodbě L4b116
2.10Se	eismické účinky trhacích prací122
2.10.1	Měření seismických účinků trhacích prací122
2.10.2	Vyhodnocení záznamů seismických účinků trhacích prací
2.11Cl	narakterizace EDZ
2.11.1	Popis měřicích zařízení135
2.11.2	Popis měřicího zařízení – SGG138
2.11.3	Návrh rozmístění a způsobu zhotovení vrtů pro monitorování EDZ na PVP II138
2.11.4	Popis způsobu měření141
2.11.5	Zpracování a diskuze výsledků měření143
2.12Sy	vstém klasifikace horninových bloků149
2.12.1	Úpravy KHB během testování149
2.12.2	Výsledky testování KHB na chodbách L4a a L4b151
3 Plái	n prací 3/24-2/25152
3.1 G	eologická a strukturně-geologická charakterizace152
3.2 Pe	etrografická a geochemická charakteristika152
3.3 30) strukturně-geologický model152
3.4 H	/drogeologická charakterizace153
3.5 Tr	ansportní charakteristiky
3.6 St	anovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin laboratorně 154
3.7 St	anovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin in-situ testy 154
3.8 G	eofyzikální charakterizace154
3.9 Se	eismické účinky trhacích prací154
3.10Cl	narakterizace EDZ/EdZ154
3.11Kl	asifikace horninových bloků155
4 Zho	dnocení horninového prostředí chodeb L4a a L4b

5	Shrnutí	160
	4.2 Zhodnocení horninového prostředí L4b	157
	4.1 Zhodnocení horninového prostředí L4a	156

Seznam elektronických příloh:

Elektronická příloha 1 Parametry indexové klasifikace pro jednotlivé čelby

Elektronická příloha 2 Přehled 3D fotogrammetrických modelů čeleb

Elektronická příloha 3 PVP2 vrtné kolonky L4a

Elektronická příloha 4 Detailní popis hydrogeologických dokumentačních bodů

Elektronická příloha 5 Srovnání měření Posiva Flow Log v předvrtech chodeb L4a a L4b a hydrogeologické dokumentace v těchto chodbách

Elektronická příloha 6 Protokoly chemických analýz podzemních vod

Elektronická příloha 7 Hydrogeologický monitoring – chemické složení vod

Elektronická příloha 8 Geofyzikální měření ve vrtech geotechnické stanice GS L4 (seismické tomografické řezy, seismokarotáž, radarové řezy z měření ve vrtech, lehká úderová seismika)

Elektronická příloha 9 Profil vrtu L4a-72D s interpretovanými strukturami

Elektronická příloha 10 Profil vrtu L4a-72L s interpretovanými strukturami

Elektronická příloha 11 Interpretace strukturních prvků identifikovaných ze záznamů metodami OBI a ABI

Elektronická příloha 12 Geofyzikální měření v laboratorní chodbě L4a. Profilové řezy (radarový, rychlostní a odporový) a souhrnný interpretační řez

Elektronická příloha 13 Geofyzikální měření v laboratorní chodbě L4b. Profilové řezy (radarový, rychlostní a odporový) a souhrnný interpretační řez

Elektronická příloha 14 Zpracování seismických záznamů účinků trhacích prací - souhrnná tabulka, grafické shrnutí pro jednotlivé chodby

Elektronická příloha 15 Klasifikace horninových bloků L4a a L4b

Elektronická příloha 16 Grafické zhodnocení II. stupně KHB

Elektronická příloha 17 Grafický přehled primárních dat z charakterizace chodby L4a (petrografie, hydrogeologie, geofyzika)

Elektronická příloha 18 Grafický přehled primárních dat z charakterizace chodby L4b (petrografie, hydrogeologie, geofyzika)

Seznam použitých zkratek:

3D	threedimensional
ABI	akustická karotáž
A/D	analog-digital
AM	aritmetický průměr
AMS	anizotropie magnetické susceptibility
AV ČR	Akademie věd České republiky
BB	borehole breakout
CEG	Centrum experimentální geotechniky
ČGS	Česká Geologická Služba
CV	Critical Volume
C.V.	variační koeficient
Do	obiemová hustota
Dm	mineralogická hustota
E	modul přetvárnosti
E _{20-40%}	modul přetvárnosti stanovený v rozsahu 20–40 % maximální působící síly
EDZ	Excavation Damaged Zone
ERT	elektrická odporová tomografie
eU	ekvivalentní obsahy uranu
eTh, Th	ekvivalentní obsahy thoria
EL	elektrická vodivost, konduktivita
F	magnetická foliace
FMV	fyzikálně mechanické a geotechnické vlastnosti
GCI	Groundwater Chemical Index
CFC	fluorochlorouhlovodíky
GS	
HESE	High Field Strength Elements
	norminovy masiv tepelná produkce (beat production upits)
HRC	Host Rock Classification
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
S-JTSK	závazný geodetický referenční systém na území ČR dle nařízení vlády č
	159/2023 Sb. v platném znění
к	obsah draslíku
K	hvdraulická vodivost
K (⊥)	směr kolmý k metamorfní foliaci horniny
KHB	klasifikace horninového bloku
k1, k2, k3	maximální, prostřední a minimální susceptibilita
k	magnetická susceptibilita, nebo také SUSC
k ₁₀	koeficient hydraulické vodivosti při 10°C
k _p	koeficient plynopropustnosti
Ĺ	magnetická lineace
LILE	Large-Ion Lithophile Elements
LREE	Light Rare Earth Elements
MA	magnetická anomálie
MC-ICP-MS	Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
MIP	vysokotlaká rtuťová porozimetrie
MS	Mass Spectroscopy

Ν	nerozlišeno, jakýkoliv nejistý záznam zejména z ABI, který bude třeba ověřit na vrtném iádře
NMORB	normal mid-ocean ridge basalt
OBI	optická karotáž
D	otevřená pórovitost
P	stupeň anizotropie
P (//)	směr rovnoběžný s metamorfní foliací horniny
PO	puklina otevřená, veškeré pukliny viditelné v záznamu ABI
PU	puklina uzavřená, pukliny vyplněné mineralizací
PZ	porušená zóna, výrazné zóny porušení viditelné v záznamech OBI a ABI
PVP	podzemní výzkumné pracoviště
Q index	indexový klasifikační systém (Barton et al. 1974)
QTS	indexový klasifikační systém (Tesař 1990)
REE	Rare Earth Elements
RMR	Rock Mass Rating
	Rock Quality Designation
S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	stavba horninového masivu, foliace, kompoziční náskování
SD	směrodatná odchylka
SGG	SG Geotechnika
SKB	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co
SRF	stress reduction factor
Т	tvarový parametr
Т	transmisivita
TDS	Total Dissolved Solids (celkový obsah rozpuštěných látek)
TMA	termomechanická analýza
TOC	Total Organic Carbon (celkový organický uhlík)
TP	trhací práce
TU	tritiová jednotka
Ú	obsahy uranu
UGN	Ustav geoniky
UZV	ultrazvuková vlna
V	větrací chodba
VES	vertikální elektrické sondování
VO	velkoobjemový vzorek
ZDA	základní dokumentační analýza
ZK	zkušební komora
μ	Poissonovo číslo
σ	elektrická konduktivita
б _{Рd}	pevnost v prostém tlaku
σ _{Ptp}	pevnost v příčném tahu stanovená tzv. brazilskou zkouškou
Ø	aritmetický průměr

Abstrakt

Tato zpráva popisuje práce zhotovené v třetím roce řešení veřejné zakázky Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II. Charakterizační a popisné práce přímo navazují na ražbu prostor pro budoucí podzemní laboratoř a zahrnují zejména: geologické a geotechnické dokumentace čeleb a stěn díla, petrografickou, mineralogickou a strukturně geologickou dokumentaci, hydrogeologickou charakterizaci prostředí, dále stanovení fyzikálně-mechanických vlastností horninového masivu in situ a v laboratoři, geofyzikální charakterizaci, monitoring seismických účinků trhacích prací a charakterizaci EDZ. Zpráva také obsahuje nově navržený klasifikační systém horninových bloků a výsledky jeho testování na prostředí PVP Bukov II. Zpráva je doplněna stručným přehledem prací plánovaných pro následující rok řešení projektu.

Klíčová slova

PVP Bukov, Geologická dokumentace, 3D model, petrografie, geochemie, petrofyzikální data, objemová hustota, mineralogická hustota, pórovitost, magnetická susceptibilita, anizotropie magnetické susceptibility, přirozená radioaktivita, elektrická konduktivita, fyzikálně mechanické a geotechnické vlastnosti, laboratorní zkoušky, geofyzikální průzkum, seismická tomografie, georadar, elektrická odporová tomografie, refrakční seismika, rychlost šíření seismických vln, měrný elektrický odpor horninového prostředí, měření seismických účinků trhacích prací, rychlost kmitání, klasifikační systém horninových bloků

Abstract

This report describes the work carried out in the third year of the public contract Geological and geotechnical characterisation of the rock environment – the Bukov URF II. The characterisation and descriptive works are directly related to the excavation of the premises for the future underground laboratory. These include in particular: geological and geotechnical documentation of the faces and walls of the workings, petrographic, mineralogical and structural geological documentation, hydrogeological characterisation of the environment, as well as determination of the physical and mechanical properties of the rock-mass in situ and in the laboratory, geophysical characterisation and monitoring of the seismic effects of blasting. The report also includes the newly developed rock mass classification system and the results of its testing on the Bukov URF II site. The report includes also brief overview of the work planned for the following year of the project.

Keywords

Bukov URF, Geological documentation, 3D model, petrography, geochemistry, petrophysical data, bulk density, grain density, porosity, magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility, natural radioactivity, electrical conductivity, physico-mechanical and geotechnical properties, laboratory testing, geophysical research, seismic tomography, georadar, electric resistivity tomography, seismics, excavation induced vibration measurement, vibration velocity, rock mass classification system

1 Úvod

Tato zpráva shrnuje práce provedené v třetím roce řešení veřejné zakázky Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II, tedy v období od února 2023 do ledna 2024. V rámci plnění této zakázky realizační tým následuje postup dodavatele prací v podzemí. V uplynulém roce byly realizovány práce především v chodbách L4a, L4b, V5-6 a V7-8 v rozsahu dle uvedeného stavu (Obr. 1). V druhé části zpráva stručně komentuje plán prací pro další rok plnění zakázky, tedy období od února 2024 do března 2025.

Realizace projektu probíhá od března 2021 a projekt trvá do března 2025 a je dána Realizačním projektem (Bukovská et al. 2021). V rámci tohoto období jsou vytvářeny průběžné zprávy (celkem tři) vždy po roce plnění projektu. Tyto shrnují a stručně komentují práce provedené od března do února daného roku. Celkové řešení projektu bude shrnuto v závěrečné zprávě. Veškerá data budou zpracována a interpretována v závěrečné zprávě projektu, která bude vytvořena a odevzdána v roce 2025.

Ve třetí průběžné zprávě můžeme konstatovat, že plnění projektu dosud běží dle harmonogramu i předpokladů uvedených v Realizačním projektu (Bukovská et al. 2021). Z hlediska realizačního týmu nedošlo ke změnám a práce probíhají dle průběhu ražeb realizovaných mimo tento projekt státním podnikem DIAMO s.p., o.z. GEAM, na které přímo navazují. V dalším roce se předpokládá dokončení ražeb posledních zkušebních komor a navazujících technických prací. Charakterizace realizovaná v tomto projektu bude na tyto přímo navazovat, jako tomu bylo doposud. S ohledem na pokračující charakter veškerých prací jsou níže uvedené výsledky průběžné a nelze je posuzovat jako celkové výsledky tohoto projektu, resp. geologické a geotechnické charakterizace prostor a horninového prostředí PVP II. Metodika prací je uvedena v Realizačním projektu (Bukovská et al. 2021) a částečně také v první a druhé průběžné zprávě projektu (Bukovská et al. 2022, 2023).



Obr. 1 Situace ražeb a projektu k 1. 1 2024 – vyznačení vyražených a dokumentovaných prostor v období 03/22-02/23 řešení projektu včetně průběhu dosud realizovaných vrtů na PVP II

2 Postup řešení projektu

2.1 Geologická a strukturně-geologická charakterizace

Dokumentace nově vyražených prostor probíhá dle postupu ražeb, jejichž harmonogram je na tomto projektu nezávislý. V rámci tohoto roku řešení projektu byly vyraženy prostory chodeb (Obr. 1) L4b, L4c, L4d a dílčí část chodby L4a (40–75 m). Dále byly vyraženy prostory zkušebních komor, o délkách 10 m, v chodbách L7 a L6, jedná se o komory ZK7-1S, ZK7-1J, ZK7-2S, ZK7-2J, ZK7-3J, ZK6-1S a ZK6-2S. Realizovány byly čtyři vrty na geotechnické stanici GS-L4 (L4-72D, L4-72L, L4-72UL, L4-72U) a množsví krátkých vrtů pro zhodnocení EZD (Tab. 22).

2.1.1 Dokumentace čeleb

2.1.1.1 Geomechanická a geotechnická dokumentace ražeb

Celkově probíhala ražba ve velmi dobrých podmínkách z hlediska stability podzemního díla. Zhoršené vlastnosti horninového masivu byly pozorovány pouze v místě křížení tektonických poruch se středně až strmě ukloněnou plochou foliace, především v místech, kde má hornina v úzké (10 cm) silně biotitické poloze vlivem alterace a deformace výrazně sníženou pevnost. Mírně zhoršené vlastnosti byly pozorovány v blízkosti křížení chodeb.

Pro geotechnickou dokumentaci čeleb bylo užito tří indexových klasifikačních systémů užívaných v podzemním stavitelství RMR (Bieniawski 1989), QTS (Tesař 1990) a Q systém (Barton et al. 1974). Tyto indexové klasifikace jsou počítány na základě parametrů (1) sledovaných přímo v čelbě a stěnách podzemního díla. Nejčastěji proměňujícím se parametrem byla průměrná vzdálenost diskontinuit, nejčastěji ploch metamorfní foliace (v systému QTS a RMR) a index kvality horniny RQD (pro systém RMR a Q index). Dalšími často proměnlivými parametry byly charakter povrchu, tvar a průběžnost diskontinuit (všechny klasifikace) a počet puklinových systémů (pouze pro Q index). Méně často se měnily parametry charakterizující podzemní vodu. Ostatní parametry (2) se měnily pouze sporadicky. Například pevnost horniny v prostém tlaku dosahuje vysokých hodnot 100 a více MPa, které lze ověřovat pouze laboratorně (specificky v chodbě L4c). Podobně málo se měnil parametr napjatosti horninového masivu (SRF – Q index). Parametry indexové klasifikace pro jednotlivé čelby jsou uvedeny v Elektronická příloha 1.

Délka jednotlivých záběrů byla po většinu doby ražby stejná (1,6 m). Pouze v případě komplikovanějších úseků byla délka záběru zkrácena na 1,0, případně 1,5 m. Pro každý nově vyražený záběr byl vyhotoven záběrový list obsahující geologickou dokumentaci ražeb, fotodokumentaci záběru a formulář s výpočtem indexových klasifikačních systémů QTS, RMR a Q-index.

Veškeré záběrové listy (Obr. 2) a podklady z dokumentací, včetně průběžně doplňované tabulky (MS Excel) s parametry pro výpočet indexových klasifikací (Tab. 1) pro jednotlivé čelby, byly odevzdány na úložiště Sharepoint k 9. 2. 2024.





			klasifikace QTS (T	esař)						
parametr hodnota jednotky			body T	poznámky						
TSa	100 [MPa]		17							
TSb	0,5	[m]	45							
TSc	sevření	[mm]	21	odvozený od rozevření trhlin (nejvyšší zjištěné rozevření)						
	TS=TSa+TS	Sb+TSc	83							
	redukce základ	ní kvality horninové	ho masívu TS							
a - vliv or	ientace diskontin	uit vzhledem k ražbě	8,5	sklon hlavních diskontinuit je mezi 30° a 80°						
b - charał	ter diskotinuit jak	o doplněk redukce (a)	0	nepočítá se						
	g - absence př	ítoků vody	1,5	neměřitelný přítok podzemní vody						
	d - přítoky	vody	0	nepočítá se						
	QTS=TS-(a+	·b+g+d)	73	QTS=TS-(a+b+g+d)						
			klasifikace RMR - ho	dnocení						
parametr		hodnota	jedotky	body						
pevnost v	rtlaku sc	100	[MPa]	12						
index kva	lity hornin RQD	98,5	%	20						
vzdálenos	st puklin	0,5	[m]	10						
		mírně drsný povrch	disk rozevření puklin <							
charakter	diskontinuit	1 mm mírně alte	erované plochv disk	25						
vliv podze	emní vodv	vlhký	ororano picerty alon.	10						
		součet bodů		77						
vliv orient	ace diskontinuit			-5						
		RMR body		72						
				12						
		klasi	fikace kvality horninov	ého masivu Q						
parametr	у		proměnné	hodnoty						
RQD	-		98,5							
Jv-počet i	puklin v m ³		5							
				jeden puklinový set s dalšími nahodilými puklinami						
Jn-počet	puklinových systé	émů	3							
				drsné nebo nepravidelné pukliny, zvlněné						
Jr-drsnos	t puklin		3							
				pevně vyhojená, neměknoucí výplň (křemen, kalcit)						
Ja-ukazat	tel alterace puklin		0,75							
				suchý výrub nebo minimální přítok (místně méně než 5						
Jw-ukaza	itel zvodnění		1	l/min)						
				slabé nadouvání (odprysk) (masivní hornina)						
SRF-napi	iatost hor. masivu	ı	6							
		000	Im In							
		$0 = \frac{KQD}{M}$	<u>, j i _ j w</u>	21.88888889						
index O		q = Jn	JaSRF	2.,0000000						
index Q		,	-							

Obr. 2 Příklad záběrového listu s geologickou dokumentací ražby na první straně. Následuje fotodokumentační strana a poslední strana je s formulářem s parametry pro výpočet indexových klasifikací. Parametr TSa popisuje pevnost horniny v prostém tlaku; parametr TSb vyjadřuje průměrnou vzdálenost hlavních diskontinuit ve výrubu; parametr TSc odráží rozevřenost diskontinuit.

			, po en en		•••••••		-	,						· /•	· • J				,									_	
ZK8-2J					body						QTS							RMF							Q				
datum a čas dokumentace	staničeni [m]	dokume ntoval	dírky pro fotogrammetrii staničení [m]	poznámka	QTS	RMR	Q	TSa	TSb	TSc	alfa	beta	gama	delta	QTS	pevnost v tlaku sc	RQD	vzdálenost puklin	charakter diskontinuit	vliv podzemní vody	vliv orientace diskontinuit	RMR	RQD	J _v	J _n J,	Ja	J _w S	SRF	٩
14.09.2022 14:30	1,5	Mareček			68,0	72	15,31	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	25	10	-5	72	91,9	7	4 3	0,8	1	6	15,31
15.09.2022 14:30	2,9	Mareček			68,0	72	15,86	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	25	10	-5	72	95,2	6	4 3	0,8	1	6	15,86
19.09.2022 6:50	4,3	Burjak	-		63,5	69	23,63	17	34	19	6,5	0	0	0	63,5	12	17	10	25	15	-10	69	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
23.09.2022 14:15	5,4	Sedláček			63,5	69	17,72	17	34	19	6,5	0	0	0	63,5	12	17	10	25	15	-10	69	88,6	8	4 3	0,8	1	5	17,72
26.09.2022 14:30	6,5	Mareček			68,0	72	21,88	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	25	10	-5	72	98,5	5	3 3	0,8	1	6	21,88
29.09.2022 14:30	7,8	Mareček			68,0	72	21,88	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	25	10	-5	72	98,5	5	3 3	0,8	1	6	21,88
30.09.2022 14:30	8,9	Mareček			68,0	72	21,15	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	25	10	-5	72	95,2	6	3 3	0,8	1	6	21,15
03.10.2022 14:30	10,0	Burjak	7		63,5	74	22,75	17	34	19	6,5	0	0	0	63,5	12	17	10	25	15	-5	74	85,3	9	3 3	0,8	1	5	22,75
	L4	A				body						QTS							RMF							Q			
			dírky pro													pevnost				vliv	vliv								
datum a čas	staničeni	dokume	fotogrammetrii													v tlaku		vzdálenost	charakter	podzemní	orientace						11		
dokumentace	[m]	ntoval	staničení [m]	poznámka	QTS	RMR	Q	TSa	TSb	TSc	alfa	beta	gama	delta	QTS	sc	RQD	puklin	diskontinuit	vody	diskontinuit	RMR	RQD	J, J	. J.	1.	J_ S	RF C	2
13.10.2022 14:30	1,5	Mareček			68,0	64	6,07	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	17	10	20	15	-10	64	82	10	9 3	0,8	1	6	6,07
15.10.2022 6:30	3,0	Mareček			68,0	64	6,07	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	17	10	20	15	-10	64	82	10	9 3	0,8	1	6	6,07
17.10.2022 14:20	4,4	Burjak	-		66,0	69	22,75	17	39	19	7,5	0	1,5	0	66,0	12	17	10	25	10	-5	69	85,3	9	3 3	0,8	1	5	22,75
18.10.2022 14:20	5,7	Sedláček			61,5	69	23,63	17	34	19	6,5	0	2	0	61,5	12	17	10	25	10	-5	69	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
19.10.2022 14:15	7,1	Burjak	5		61,5	74	23,63	17	34	19	6,5	0	2	0	61,5	12	17	10	25	15	-5	74	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
20.10.2022 14:15	8,5	Sedláček			61,0	79	17,72	17	34	19	6,5	0	2	0	61,5	12	17	10	25	15	-5	74	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
24.10.2022 14:15	10,0	Sedláček			65,0	79	17,72	17	36	19	7	0	2	0	63,0	12	17	10	25	10	-5	69	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
25.10.2022 14:15	11,4	Sedláček			66,5	79	11,81	17	36	21	7,5	0	0	0	66,5	12	17	10	25	15	-5	74	88,6	8	3 2	0,8	1	5	15,75
01.11.2022 14:30	13,0	Mareček			68,0	67	10,94	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	20	10	20	15	-10	67	98,5	99	5 6	0,8	1	6	10,94
03.11.2022 14:30	14,5	Mareček			68,0	64	4,92	17	39	21	7,5	0	1,5	0	68,0	12	17	10	20	15	-10	64	88,6	8	12 3	0,8	1	6	4,92
07.11.2022 7:00	16,2	Burjak	13		67,5	72	24,51	17	39	19	7,5	0	1,5	0	66,0	12	20	10	25	10	-5	72	91,9	7	3 3	0,8	1	5	24,51
08.11.2022 14:25	17,9	Burjak	13		67,5	74	23,63	17	39	19	7,5	0	0	0	67,5	12	17	10	25	15	-5	74	88,6	7	3 3	0,8	1	5	23,63
09.11.2022 11:30	19,5	Chabr	17		69,5	74	23,63	17	39	20	7,5	0	0	0	68,5	12	17	10	25	15	-5	74	88,6	7	3 3	0,8	1	5	23,63
11.11.2022 12.15	21,1	Chabr	17		62,5	69	17,06	17	34	20	6,5	0	2	0	62,5	12	17	10	25	10	-5	69	85,3	9	4 3	0,8	1	5	17,06
15.11.2022 10:10	22,4	Mareček			73,0	67	10,21	17	45	21	8,5	0	1,5	0	73,0	12	20	10	20	15	-10	67	91,9	7	6 3	0,8	1	6	10,21
16.11.2022 14:30	24,0	Mareček			73,0	67	21,88	17	45	21	8,5	0	1,5	0	73,0	12	20	10	20	15	-10	67	98,5	5	3 3	0,8	1	6	21,88
22.11.2022 14:30	25,5	Mareček			63,5	64	9,11	17	34	21	6,5	0	2	0	63,5	12	17	10	20	15	-10	64	82	10	6 3	0,8	1	6	9,11
24.11.2022 14:30	27,2	Mareček			61,0	62	8,74	17	31	21	6	0	2	0	61,0	12	17	8	20	15	-10	62	78,7	11	6 3	0,8	1	6	8,74
25.11.2022 14:30	28,7	Mareček			61,0	62	8,74	17	31	21	6	0	2	0	61,0	12	17	8	20	15	-10	62	78,7	11	6 3	0,8	1	6	8,74
29.11.2022 14:20	30,5	Placzek	28		65,5	74	22,75	17	34	21	6,5	0	2	0	63,5	12	17	10	25	15	-5	74	85,3	9	3 3	0,8	1	5	22,75
01.12.2022 6:30	31,8	Sedláček			64,5	74	22,75	17	34	20	6,5	0	2	0	62,5	12	17	10	25	10	-5	69	85,3	9	3 3	0,8	1	5	22,75
05.12.2022 11:00	33,6	Mareček			57,0	39	0,85	17	34	14	6	0	2	0	57,0	12	17	10	0	10	-10	39	82	10	6 3	8	1	6	0,85
06.12.2022 11:00	35,4	Mareček			57,0	39	0,85	17	34	14	6	0	2	0	57,0	12	17	10	0	10	-10	39	82	10	6 3	8	1	6	0,85
07.12.2022 11:00	37,1	Mareček			57,0	39	0,85	17	34	14	6	0	2	0	57,0	12	17	10	0	10	-10	39	82	10	6 3	8	1	6	0,85
13.12.2022 6:45	38,9	Burjak	35		66,0	69	23,63	17	39	19	7,5	0	1,5	0	66,0	12	17	10	25	10	-5	69	88,6	8	3 3	0,8	1	5	23,63
15.12.2022 6:30	40,6	Sedláček	35		61,5	74	17,20	17	34	19	6,5	0	2	0	61,5	12	17	10	25	10	-5	69	88,6	8	4 3	0,8	1	5	17,72
04.01.2023 14.40	41,2	Chabr	40,5		48,0	44	3,08	17	34	14	6	9	2	0	48,0	12	17	10	0	10	-5	44	82	10	4 3	8	1	2,5	3,08
05.01.2023 14:25	43,6	Placzek	40,5		61,5	69	10,93	17	39	14	6,5	10	2	0	51,5	12	17	10	10	10	-5	54	82	10	6 2	3	1	5	1,82
06.01.2023 14:30	45.3	Placzek	44	1	61.5	69	11.37	17	39	14	6.5	10	2	0	51.5	12	17	10	10	10	-5	54	85.3	9	6 2	3	1	5	1.90

Tab. 1 Výřez z tabulky parametrů indexových klasifikací pro jednotlivé záběry

Dokumentace ražby chodby L4a

Od průběžné zprávy 2022 pokračuje vyhodnocení ražeb v chodbě L4a od staničení 38,9 do doražení chodby ve staničení 75,4 m. Sledovaný úsek (Obr. 3) se razil od 13.12.2022 do 3.2.2023. Geotechnické podmínky v chodbě byly velice vyrovnané a příznivé. K výraznějšímu poklesu bodového hodnocení horniny došlo pouze ve staničení 48,7 m, kde se mírně zhoršily všechny parametry, avšak nejvýraznějším zhoršením byla přítomnost kapající vody v přístropí čelby. Dalším výrazným zhoršení podmínek bylo zaznamenáno na staničení 65,5-66,8 m, kde bodové hodnocení snížila přítomnost silně biotitické relativně měkké polohy migmatitizované pararuly, která byla problematická již v dříve ražených chodbách. V systému Q-index je ještě možné pozorovat snížení klasifikace v úseku 46,9–52,9 a 57,0 m, kde se vyskytuje větší množství puklin subparalelních s osou chodby, které zapříčinily zvýšení parametru počtu puklinových setů v horninovém masivu. V chodbě je nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení horniny podél metamorfní foliace v důsledku trhacích prací s průměrnou vzdáleností diskontinuit nejčastěji v rozsahu od 0,2 do 0,5 m, nejčastěji však 0,3 m. Výraznější tektonické poruchy v pozorovaném úseku chodby nebyly pozorovány. Diskontinuity mají různé charaktery povrchu od hladkých a zvlněných neprůběžných puklin po drsné zvlněné průběžné foliace. Výplň diskontinuit tvoří kalcit, křemen a sulfidy (pyrit a pyrhotin), vzácněji epidot. Pilotní vrt S-24 vymizel za čelbou ve staničení 30,5 m v levé dolní části výrubu.



Obr. 3 Změna indexových klasifikací v chodbě L4a

Dokumentace ražby chodby L4b

Chodba L4b byla vyražena v termínu 24.5.–9.10.2023 v délce 75,0 m. Geotechnické podmínky v chodbě byly velice vyrovnané a příznivé (Obr. 4). K výraznějšímu poklesu bodového hodnocení horniny došlo pouze ve staničeních 7,3 m vinou relativně větší hustoty diskontinuit a v úsecích 21,4–29,0 a 70,6–74,5 m kvůli vodě prosakující ze stropu chodby a jílovité výplni diskontinuit v daném úseku. Naopak přítomnost silně biotitické relativně měkké polohy migmatitizované pararuly, která byla problematická již v dříve ražených chodbách v této chodbě výraznější problémy nečinila, díky svému strmému úklonu a také díky své předvídatelnosti z předchozích prací. Bodové hodnocení v této poloze se proto snížilo jen nepatrně. Další drobné snížení bodového ohodnocení lze pozorovat v Q-index systému ve staničení 47,5, v úseku 54,5-58,8 a v úseku 65,7-67,3 m zapříčiněné vyšším počtem puklinových setů. V systému QTS došlo k drobným snížením ve staničení 48,5 a 61,8 m v důsledku menší vzdálenosti mezi diskontinuitami. V chodbě je nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení horniny podél metamorfní foliace v důsledku trhacích prací s průměrnou vzdáleností diskontinuit nejčastěji v rozsahu od 0,1 do 0,5 m. Výraznější tektonické poruchy v pozorovaném úseku chodby nebyly pozorovány. Diskontinuity mají různé charaktery povrchu od hladkých a zvlněných neprůběžných puklin po drsné zvlněné průběžné foliace. Výplň diskontinuit tvoří kalcit, křemen a sulfidy (pyrit a pyrhotin), vzácněji epidot. Pilotní vrt S-33 pro tuto chodbu zmizel ve staničení 31,0 m v pravé části počvy. Později se zřejmě objevil ještě ve staničení 41,0 a 43,0 m v pravé dolní části výrubu.



Obr. 4 Změna indexových klasifikací v chodbě L4b

Dokumentace ražby chodby L4c

Chodba L4c, která je v podstatě jednou ze dvou větracích chodeb mezi chodbami L4a a L4b, byla vyražena v termínu 6.11.–14.11.2023 v délce cca 10 m. Geotechnické podmínky v chodbě byly velice příznivé z hlediska stability výrubu (Obr. 5). Masiv byl neobyčejně tvrdý a neporušený diskontinuitami. Dokonce dle tvrzení vrtmistra trvalo vrtání vrtů pro nálože šestkrát déle než obvykle. Z toho důvodu byly v indexových klasifikacích poměrně vysoce hodnoceny parametry RQD, vzdálenost diskontinuit i charakter diskontinuit. Očekávatelné by bylo i zvýšení parametru pevnosti horniny v prostém tlaku v klasifikaci RMR. Ten nebyl zvýšen z důvodu nemožnosti jej na čelbě (in situ) zjistit, protože dosahuje hodnot nezjistitelných při terénním měření. Proto by byly takové informace naprosto zkreslené a zavádějící. Z hlediska ražeb a hodnocení horninového masivu se tento přístup jeví jako nejméně zkreslený a zavádějící a zároveň zabezpečuje informaci tzv. na straně bezpečné. V chodbě je nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení horniny podél metamorfní foliace v důsledku trhacích prací s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,3–2,0 m. Výraznější tektonické poruchy v pozorovaném úseku chodby nebyly pozorovány. Diskontinuity mají charaktery povrchu jako velmi drsné a zvlněné neprůběžné diskontinuity. Výplň diskontinuit tvoří kalcit, křemen a sulfidy (pyrit a pyrhotin). Výrub byl v celé délce suchý.



Obr. 5 Změna indexových klasifikací v chodbě L4c

Dokumentace ražby chodby L4d

Chodba L4d, která je také jednou ze dvou větracích chodeb mezi chodbami L4a a L4b, byla vyražena v termínu 23.10.–30.10.2023 v délce cca 10 m. Geotechnické podmínky v chodbě byly velice vyrovnané a příznivé až na poslední dokumentovanou čelbu se staničením 8,7 m, kde došlo k snížení bodového ohodnocení horninového masivu (Obr. 6). Toto snížení bylo způsobeno mírně větším rozpukáním horninového masivu a horší výplní a charakterem diskontinuit. V chodbě je nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení horniny podél metamorfní foliace v důsledku trhacích prací s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,3 m. Výraznější tektonické poruchy v pozorovaném úseku chodby nebyly pozorovány. Diskontinuity mají různé charaktery povrchu od hladkých a zvlněných neprůběžných puklin po drsné zvlněné průběžné foliace. Výplň diskontinuit tvoří kalcit, křemen a sulfidy (pyrit a pyrhotin), vzácněji epidot. Výrub byl v celé délce suchý.



Obr. 6 Změna indexových klasifikací v chodbě L4d

Dokumentace ražby zkušební komory ZK6-1S

Zkušební komora ZK6-1S byla ražena v období od 28. 11. do 7. 12. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 7), v druhé půli komory ještě nepatrně lepší z důvodu nižšího porušení horninového masivu puklinami a lepším charakterem povrchu diskontinuit. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit v rozsahu od 0,2 do 0,3 m. Výplň diskontinuit tvořily kalcity a sulfidy. Diskontinuity měly zvlněnou až rovinnou geometrii a spíše drsný povrch. Výrub byl suchý.



Obr. 7 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK6-1S

Dokumentace ražby zkušební komory ZK6-2S

Zkušební komora ZK6-2S byla ražena v období od 15. 11. do 24. 11. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 8). Mírné snížení bodového ohodnocení způsobilo větší rozpukání horninového masivu v druhé části komory (projeveno v nižším RQD, či počtu puklinových setů ve výrubu). V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,3 m. Diskontinuity byly bez výplně se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Výrub byl suchý.



Obr. 8 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK6-2S

Dokumentace ražby zkušební komory ZK7-1J

Zkušební komora ZK7-1J byla ražena od 16. 2. do 16. 3. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 9). Mírné kolísání bodového ohodnocení způsobilo rozdílné rozpukání horninového masivu (RQD) a rozdílná průměrná vzdálenost diskontinuit. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,2–0,5 m. Diskontinuity byly s výplní křemen a sulfidy se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Výrub byl suchý.



Obr. 9 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK7-1J

Dokumentace ražby zkušební komory ZK7-1S

Zkušební komora ZK7-1S byla ražena od 28. 2. do 10. 3. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré a v systému QTS a RMR velice vyrovnané (Obr. 10). Postupné snížení bodového ohodnocení Q-indexu v průběhu ražby bylo způsobeno snížením RQD, kolísáním počtu puklinových setů a charakterem povrchu diskontinuit. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,3–0,4 m. Diskontinuity byly s výplní kalcitem a sulfidy se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Celým výrubem prochází výraznější tektonická porucha paralelní s osou komory. Voda se nacházela pouze v okolí tektonické poruchy v podobě mokrých míst.



Obr. 10 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK7-1S

Dokumentace ražby zkušební komory ZK7-2J

Zkušební komora ZK7-2J byla ražena od 21.3. do 6.4.2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 11). Drobné kolísání bodového ohodnocení způsobilo rozdílné rozpukání horninového masivu (RQD a počet puklinových setů) a rozdílná průměrná vzdálenost diskontinuit. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,2–0,3 m. Diskontinuity byly s výplní kalcitem, křemenem a sulfidy se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Výrub byl suchý.



Obr. 11 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK7-2J

Dokumentace ražby zkušební komory ZK7-2S

Zkušební komora ZK7-2S byla ražena od 14. 4. do 16. 5. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 12) a relativně vyrovnané s výjimkou první čelby kde nižší hodnoty indexových klasifikací byly zapříčiněny větším počtem puklinových setů a kvalitativním charakterem diskontinuit. Drobné kolísání bodového ohodnocení způsobilo rozdílné rozpukání horninového masivu (RQD) a rozdílná průměrná vzdálenost diskontinuit. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,15–0,3 m. Diskontinuity byly s výplní kalcitem a křemenem se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Výrub byl suchý.



Obr. 12 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK7-2S

Dokumentace ražby zkušební komory ZK7-3J

Zkušební komora ZK7-3J byla ražena od 2. 5. do 12. 5. 2023. Délka komory je 10,0 m. Geotechnické podmínky při ražbě byly dobré (Obr. 13) a relativně vyrovnané. Drobné kolísání bodového ohodnocení způsobilo rozdílné rozpukání horninového masivu (RQD) a rozdílná průměrná vzdálenost diskontinuit, proměnlivou orientací diskontinuit k ražené komoře. V komoře bylo nejvýraznější sledovanou diskontinuitou křehké porušení metamorfní foliace s průměrnou vzdáleností diskontinuit 0,2 m. Diskontinuity byly s křemennou výplní, se zvlněnou až rovinnou geometrií a spíše drsným povrchem. Výrub byl suchý.



Obr. 13 Změna indexových klasifikací ve zkušební komoře ZK7-3J

2.1.1.2 Fotogrammetrie

Geodetická část dokumentace čeleb je prováděna metodou digitální fotogrammetrie. Z pořízených digitálních snímků čelby je pomocí obrazové korelace vyhotoven 3D model čelby a výrubu. Model je nejprve vyhotoven v podobě očištěného mračna bodů s hustotou cca 10000 bodů na 1 m². Z tohoto očištěného mračna je generován 3D model v podobě obarvené a otexturované trojúhelníkové sítě.

Vzniklé 3D modely čeleb jsou připojeny do souřadnicového systému pomocí vlícovacích bodů. Vlícovací body jsou průběžně (cca jednou měsíčně) geodeticky zaměřovány. Některé vlícovací body ale nebylo možné zaměřit, protože do doby měření byly zničeny.

Výše zmíněné mohlo způsobilo na několika sadách snímků nedostatek, nebo špatnou konfiguraci vlícovacích bodů.

Vytvořené 3D modely čeleb jsou průběžně odevzdávány na datové úložiště objednatele. Mezivýsledky a měřené hodnoty jsou archivovány u zhotovitele. Přehled vytvořených 3D modelů čeleb je uveden v Elektronická příloha 2.

2.1.2 Dokumentace vyražených prostor

V rámci dokumentace vyražených prostor provedla ČGS kompletní dokumentaci chodeb L4a, L4b vstupujících jako podklad do aktualizovaného 3D modelu (Obr. 14). Dále zkušebních komor ZK7-1J, ZK7-2J, ZK7-3J, ZK7-1S a ZK7-2S. Fotogrammetrické modely byly vytvořeny

v programu Agisoft Metashape Proffessional .v1.8.4, škálovány a usazeny do souřadného systému S-JTSK pomocí měřičských bodů od firem Inset a SG-Geotechnika.



Obr. 14 Fotogrammetrické modely chodeb L4a, L4b, L5, L6 a V5-6 usazené v prostředí programu MOVE



Obr. 15 Fotogrammetrický model chodby L4a s usazenými daty ze strukturní dokumentace a petrologickou charakterizací symbolizovanou rozbarveným vrtem o délce chodby.

V rámci dokumentací byla použita standardní geologická dokumentace na stěnách díla zhruba do výšky 2 m stěny za využití geologického kompasu, fotoaparátu a tabletu. Jednotlivé dokumentované prvky byly zanášeny do fotografie stěny (Obr. 16) tak, aby mohly být správně lokalizovány a usazeny ve fotogrammetrickém modelu. Primární strukturní data, fotodokumentace a fotogrammetrické modely byly odevzdány na úložiště Sharepoint.



Obr. 16 Příklad zakreslení dokumentovaných struktur do fotografie části stěny výrubu (L4a – jižní stěna)

V rámci in-situ strukturně-geologické dokumentace chodeb L4a a L4b (Obr. 17) byla naměřena orientace 908 struktur, které zahrnují zejména pukliny, puklinové zóny, foliace, případně drobné zlomy a střižné pukliny (často reaktivované foliace). U všech struktur byla měřena orientace ve smyslu směr sklonu/sklon. Pokud byly přítomny dobře identifikovatelné lineární prvky (lineace či striace), byly měřeny i tyto.



Obr. 17 Data ze strukturní dokumentace chodeb L4a a L4b: a) orientace foliačních ploch ve stereografické síti v projekci na spodní polokouli; b) růžicový diagram puklin (růžová) a puklinových zón (modrá)



Obr. 18 Pozice vrtů geotechnické stanice v chodbě L4a a vynesenými strukturními daty v jejím okolí

Metamorfní foliace v severní i jižní části PVP II upadá poměrně uniformě k ~JZ pod středními úhly (Obr. 17) a reprezentuje ramena sevřených vrás. Foliační plochy jsou často křehce reaktivované, což se projevuje vznikem zón intenzivní alterace předečím biotitem bohatých restitových poloh (Obr. 20). Na stěnách díla jsou patrné zejména drobnější vrásy s generelně subhorizontálními vrásovými osami (v řádu desítek cm) v migmatitických polohách (Obr. 19), orientace vrásových ramen je patrná ve stereogramech foliačních ploch L4a a L4b jako odlehlé hodnoty mimo dominantní klastr (Obr. 17). Jen na reaktivovaných plochách foliace byly dokumentovány drobné striace, které nemají významné přednostní usměrnění.



Obr. 19 Převrásněná metamorfní foliace v migmatitu v chodbě L4a

Poruchy jsou zastoupeny ve studovaných chodbách relativně homogenně. Obvykle se jedná o extenzní pukliny typu I, které se vyskytují individuálně nebo v puklinových zónách s různou hustotou puklin, jen výjimečně se vyskytují pukliny střižné, ještě méně zastoupené jsou zlomy

(Obr. 21), jejichž mocnost obvykle dosahuje max. několika cm. V chodbě L4a bylo identifikováno 11 zlomových zón lokalizovaných především na metrážích 23 m, 35 m, 49 m, 62 m a 70 m. V chodbě L4b je jich také 11, nicméně se vyskytují hlavně na prvních deseti metrech a na metrážích 20 m, 32 m a 67 m. Pukliny a puklinové zóny (Obr. 18) mají obvykle průběh V– Z až SV–JZ a SZ–JV.



Obr. 20 Zóna křehce reaktivované metamorní foliace s intenzivní chloritizací původně biotitem bohatých poloh (L4a, severní stěna, 66 m)



Obr. 21 Zlomová zóna vyplněná chloritem, jílem a karbonáty (L4a, severní stěna, 27 m)

2.1.3 Dokumentace vrtných jader

V této etapě projektu byly zdokumentovány celkem 4 vrtná jádra (Tab. 2) o celké délce 96 m. Všechny jádra byla strukturně a petrograficky ručně dokumentována a analyzovány skenerem vrtných jader DMT CoreScan3 a následné vrtné kolonky byly zpracovány v originálním softwaru WellCAD 5.5 build 427. Jedná se o vrty L4a-72D (bez azimutu, sklon -88°, délka 50,5 m), L4a-72L (azimut 346°, sklon -5°, délka 15,2 m), L4a-72U (bez azimutu, sklon 88°, délka 15,2 m) a L4a-72UL (azimut 350°, sklon 45°, délka 15,1 m). Data o azimutu/sklonu/délce jsou převzaty z tabulky vrtných dat DIAMO, s. p. Údaje jsou přehledně uvedeny v Tab. 2.

název vrtu	směr sklonu (°)	sklon (°)	délka (m)
L4a-72D	-	-88	50,5
L4a-72L	346	-5	15,2
L4a-72U	-	88	15,2
L4a-72-UL	350	45	15,1

Tab. 2 Tabulka vrtů realizovaných DIAMO, s. p.

Popisované vrty byly realizovány systémem jádrového vrtání wire-line, vrtačkou Diamec smart 4 s průměrem NQ (75,8 mm). Samotná vrtná jádra mají následně díky dvojitému jádrováku průměr 47,6 mm. Jádro bylo odebíráno orientovaně s nástavcem DEVICORE BBT. Jádra naformátovaná na délku 1 m, na koncích uříznutá kolmo na osu vrtu, aby se zdánlivě neprodlužovala jejich reálná délka pouze zalamováním, jsou ukládána ve vzorkovnicích (Obr. 22). Každé vrtné jádro obsahuje zářez na svém začátku a konci, dle kterého je možno ho orientačně správně navázat.

Orientovaný odběr jádra je zajišťován pomocí specializovaného elektronického nástavce a proškoleného personálu. Po vyjmutí jádrováku opatřeného nástavcem je provedena orientace jádrováku do stavu odpovídají původní orientaci ve vrtu. Personálem je tato orientace přenesena až na hřbetnici (svrchní stranu) jádra, kde je fixou vyznačena linie a směr šipek naznačující směr vrtání. Zároveň tato linie znázorňuje míru nejistoty orientace jednotlivých částí jádra (Obr. 22 a Obr. 23). Plná linka znamená nejvyšší jistotu, když se povede úvodní část návrtu a korunka se "zakousne" přímo do pevné horniny, žádné její části se na slabších úsecích v jádrováku neprotáčí a případné jednotlivé části vrtného jádra jsou na obou stranách díky přirozeným jasně identifikovatelným strukturám dobře spojitelné. Čárkovaná linka znázorňuje to, že se např. nepovede úvod, nebo lze uspokojivě připojit jen jednu stranu části jádra. Žádná linka charakterizuje nejistoty na obou stranách části jádra, které se nepovedly/nebylo možno uspokojivě připojit.

V průběhu zpracování vrtných kolonek v programu Wellcad byly odhaleny nedostatky ve skládání vrtných jader do vzorkovnic a ve značení orientace vrtného jádra proškoleným personálem/vrtnou osádkou. na základě těchto zjištění došlo k další aktualizaci pokynů pro vrtnou osádku.

Skenování vrtného jádra probíhá po jednotlivých metrech, kdy je jádro oskenováno v celé své délce (je-li dostatečně kompaktní pro skenování). Rozbalený obraz je následně převeden do sw. WellCAD, kde je dle linie na hřbetnici vrt otočen tak, aby na sebe navazoval. Případně je přímo v sw. opraven, pokud hřbetnice nereflektuje realitu struktur zachycených na vrtném jádře. Následně je vrt v sw. nastaven tak, aby data odpovídala jeho azimutu a sklonu. Jednotlivé struktury (pukliny a foliace) jsou na rozbaleném jádře zakresleny ve formě sinusoid, ze kterých sw. spočítá orientace struktur, které jsou uvedeny jak ve vrtné kolonce, tak v excelových tabulkách.



Obr. 22 Vzorkovnice s částí vrtu L4a-72U

Vrtná kolonka (Elektronická příloha 3) obsahuje v hlavičce informaci o orientaci vrtu (azimut a sklon), společnosti, důlním díle, patře/chodbě, délce soutyčí/jádra, průměru vrtu/jádra, název vrtu, ústí vrtu a datum. Následuje kolonka pro poznámky, kolonka s legendou (petrologickou a strukturní) a pak samotná data. Datová část obsahuje rozbalené vrtné jádro s metráží (hloubkou) a sinusoidami vztahujícími se k daným strukturám, tad póly, litologii, typ struktury, mocnost struktury v mm (vl = vlasová), výplň struktury (zkratky minerálů), drcené zóny, puklinové zóny, jiné, komentář, 3D vrtné jádro, RQD.



Obr. 23 Sken 1 metru vrtného jádra z vrtu L4a-72U

Fotografie vzorkovnic ve formátu .jpg pro jednotlivé vrty, surová data ze skeneru vrtných jader DMT CoreScan3, strukturní a petrografická dokumentace vrtných jader byly odevzdány na úložiště Sharepoint. Jedná se o formáty .jpg s rozbalených vrtným jádrem po jednotlivých metrážích s příslušnými popisnými textovými soubory a 3D vizualizací každé metráže (formát .obj). Dále obsahuje WellCAD data pro jednotlivé vrty, data ve formátu .xlsx, ve kterém jsou jak originální data ze strukturního popisu jader, tak data upravená pro WellCAD sw. a následně data z tohoto softwaru získaná pro jednotlivé vrty. Jedná se o orientace puklin, konkrétně jejich azimuty a sklony na příslušných metrážích. Rovněž obsahuje soubory ve formátu .pdf s výslednými vrtnými kolonkami, jejíž příklad je na Obr. 24 a příslušnými stereografickými projekcemi.



Obr. 24 Výřez vrtné kolonky z vrtu L4a-72U

V průběhu prací na vrtných kolonkách v sw. WellCAD byla zjištěna řada problémů, které vznikly mimo kompetence ČGS, viz níže. Pokusili jsme se všechny tyto problémy vyřešit, ale data mohou být zatížena chybou. Jednalo se o:

- 1. Přeházené vrtné jádro ve vzorkovnici L4a-72L, kdy je na Obr. 25 vidět rozdíl, mezi původně správně vyskládaným vrtným jádrem po odvrtání a zřejmě vyspaným a nesprávně složeným vrtným jádrem, pravděpodobně při přesunu vzorkovnice do skladu vrtných jader. Mimo metráž 1–2 m bylo jádro kompletně špatně (Obr. 25) složené a přeházené. Nesprávně vyskládané jádro bylo následně oskenováno a při zpracování vrtné kolonky byla tato chyba odhalena. Jednotlivé kusy oskenovaného vrtného jádra byly v sw. Corel rozřezány a složeny správně. Ale metráže dokumentovaných struktur v důsledku této chyby neodpovídají realitě.
- 2. Při skládání vrtného jádra do vzorkovnic a kreslení bílé vodící čáry na hřbetnice docházelo ke špatnému zorientování jádra (dle struktur) a k chybně kreslené bílé

vodící čáře na hřbetnici (Obr. 26 v červeném obdélníku). Tyto chyby při skládání a značení vrtných jader vedou k časově náročným opravám v programu WellCAD a může nastat situace, kdy jádro nelze ani v sw. s jistotou zorientovat a následná data pak mohou být chybná. Na Obr. 26 vpravo je vidět, jak vypadá bílá čára na hřbetnici v rámci celého vrtu. V ideálním případě by měla být rovná, což u vrtu sčítáním chyb nenastalo.

3. Bílá čára, která se kreslí na hřbetnici vrtu v součinnosti se systémem DeviCore, slouží k orientaci vrtného jádra. Odpovídá azimutu vrtu. Po nahrání oskenovaného vrtného jádra bylo zjištěno, že byla někdy kreslena na spodní stranu hřbetnice a někdy na svrchní stranu hřbetnice a často neodpovídala azimutu vrtu. Pak jsou veškerá data, která se na takovémto vrtu budou realizovat, špatná. Vrtná data byla v tomto případě zrotována a opravena dle karotážních dat. Při kreslení bílé čáry na hřbetnici vrtného jádra je bezpodmínečně nutné striktně dodržovat "aktualizované pokyny pro vrtnou osádku", které byly na SÚRAO zaslány dne 30.10.2023 a poté doručeny na Diamo. V jejich smyslu bude aktualizována šablona vrtného deníku pro PVP Bukov.



Obr. 25 Nesprávně vyskládané jádro L4a-72L



Obr. 26 Nesprávně zorientované jádro (vlevo – červený obdélník) u vrtu L4-72U a nenavazující bílá čára na hřbetnici na příkladu celého vrtu L4a-72D (vpravo).

2.2 Petrografická a geochemická charakteristika

2.2.1 Petrografická charakteristika

Petrografická charakterizace prostředí slouží především k doplnění geologické mapy a 3D geologického modelu prostředí PVP Bukov II.

V roce 2023 byly zdokumentovány nově vyražené prostory v PVP II zahrnující chodby L4a a L4b. Dále byly popsány vrty L4a-72UL, L4a-72L, L4a-72D a L4a-72U z chodby L4a a prostory

zkušebních komor ZK7-1J, ZK7-1S, ZK7-2S, ZK7-3J a ZK7-2S z chodby L7. Pro přesnější charakteristiku prostředí bylo nově odebráno devět horninových vzorků (Tab. 3) z nichž dva (296CGT0099, 296CGT0100) pochází z vrtu L4a-72D a dva patří ke vzorkům určeným k celohorninovým geochemickým analýzám (296CGT0091, 296CGT0101). Ze vzorků byly pro přesnější petrografickou charakterizaci zhotoveny leštěné výbrusy pro studium pod optickým mikroskopem. Vybrané leštěné výbrusy reprezentativních litologií byly již v předchozích letech studovány pomocí elektronového mikroskopu, kde bylo zároveň změřeno chemické složení minerálních fází. Detailní charakteristika vybraných litologických typů v PVP II včetně makro a mikrofotografií a chemismů minerálních fází je součástí průběžných zpráv z let 2021 a 2022 (Bukovská et al. 2022, 2023). Ze vzorků odebraných v prosinci 2023 (296CGT0101-296CGT0102) budou leštěné výbrusy zhotoveny do konce března 2023. Popis těchto vzorků (Tab. 3) je tedy předběžný a může být později upřesněn. Dokumentace chodeb a vrtů a fotografie odebraných vzorků jsou součástí byla odevzdána na úložiště Sharepoint.

Tab. 3 Seznam odebraných vzorků v roce 2023. • Vzorek z vrtu; * vzorek odebraný k celohorninové geochemické analýze

název vzorku	litologie	chodba/vrt	stěna	metráž		
296CGT0087	migmatitizovaný amfibolit	L4a	J	18.2		
296CGT0088	amfibolit	L4a	S	49		
296CGT0089	migmatit	L4a	S	28.2		
296CGT0090	amfibolit	L4a	69.5			
296CGT0091*	migmatit	L4a	S	60		
296CGT0099•	amfibolická pararula migmatitizovaná	L4a-72D		14.68		
296CGT0100-	migmatitizovaný amfibolit	L4a-72D		43.15		
296CGT0101*	amfibolit	L4b	čelba	75		
296CGT0102	amfibolit	L4b	S	17.8		

2.2.1.1 Chodby L4a a L4b

Chodby L4a a L4b jsou dominantně tvořeny biotitickým migmatitem místy s přechody do migmatitizované pararuly a migmatitizovaného amfibolitu. Textura migmatitu je stromatitická (páskovaná), což se vyznačuje střídaním taveninových křemen-živcových pásků zvaných leukosom o mocnosti od několika mm až cm, s restitickými pásky zvaných melanosom, které jsou tvořeny tmavými minerály (biotit, místy amfibol). Akcesoricky se v horninách vyskytuje pyrit, apatit, monazit a zirkon.

Přibližně na metráži 63 m chodby L4a a L4b protíná výrazná střižná zóna paralelní s okolní foliací, která je téměř kompletně vyplněná chloritizovaným biotitem (Obr. 27).



Obr. 27 Střižná zóna vyplněná chloritizovaným biotitem v chodbě L4a

V prostředí chodeb L4a a L4b se vyskytuje poměrně vysoké množství zlomových poruch, jejichž okolí je charakterizováno různým stupněm alterace okolní horniny, která průměrně dosahuje mocnosti do několika desítek cm. Běžně se jedná o sericitizaci, karbonatizaci či hematitizaci živců, a dále chloritizaci biotitu. Výrazná alterace horniny se vyskytuje v chodbě L4a v úseku 32–41 m na jižní stěně mezi dvěma zlomy (Obr. 28).



Obr. 28 Výrazně hydrotermálně alterovaná zóna v chodbě L4a. Nejvíce je zde patrná sericitizace a hematitizace živců, která způsobuje nazelenalé a červené zbarvení alterované horniny.

V nově dokumentovaných chodbách se stejně jako na celém PVP II objevují budiny amfibolitu, které mohou dosahovat rozměrů cca 1 m, a vzácněji polohy hrubozrnného křemen-živcového pegmatitu (Obr. 29).



Obr. 29 Poloha hrubozrnného pegmatitu v chodbě L4a (čelba).

2.2.1.2 Zkušební komory v chodbě L7

Všechny zkušební komory v chodbě L7 jsou dominantně tvořeny biotitickým migmatitem, který místy přechází do amfibol-biotitického migmatitu či pararuly. Ve všech zkušebních komorách se vyskytují budiny amfibolitu, které mohou dosahovat rozměrů až 1,2 m. Ve zkušebních komorách ZK7-1J a ZK7-1S se na stěnách vyskytují rezavé povlaky oxidů a hydroxidů Fe (Obr. 30).



Obr. 30 Povlaky oxidů Fe ve zkušební komoře L7-ZK3J.

2.2.2 Geochemie žilných a puklinových mineralizací

V horninách PVP Bukov vzniklo během tektonických a ložiskově geologických procesů několik generací hydrotermální karbonátové, křemen-karbonátové, křemenné a sulfidické mineralizace, které jsou vhodným nástrojem pro paleo-hydrogeologické studie (Tullborg et al. 2008, Gehör et al. 2002). Současný výzkum mineralogických a geochemických parametrů těchto mineralizací v nově ražených chodbách navazuje na předchozí studie v PVP Bukov (Bukovská et al. 2019) se snahou získat nové výsledky týkající se geochemie minerálních výplní zlomů a puklin, teplotně tlakových podmínek vzniku minerálů a zdrojů fluid.

V roce 2021 byly odebrány vzorky výplní žilných, puklinových a zlomových struktur z chodeb L7 a L8. Vzorky byly rozděleny podle typů mineralizace a podle metodiky použité v dřívějších

studiích v PVP Bukov i na ložisku Rožná (Bukovská et al. 2019). Vzhledem k danému rozpočtu bylo na analýzy vybráno sedm vzorků karbonátových žil a šest vzorků sulfidické mineralizace.

V prosinci 2022 byly odebrány vzorky z chodeb L5 a L6 a spojovací chodby V5-6. Na analýzy byly vybrány čtyři vzorky karbonátových žil, čtyři vzorky křemenných žil a šest vzorků sulfidické mineralizace. Kromě křemen-karbonátových a křemenných žil byly ojediněle nalezeny žíly tvořené prehnitem (L8-J-39,50), příp. laumontitem, minerálem ze skupiny zeolitů (V-5-6-Z-31,80).

V prosinci 2023 byly odebrány nové vzorky v chodbách L4a a L4b (Tab. 4). Křemen-karbonátové žíly jsou převážně strmé, tvořené jednou až třemi generacemi jemně až hrubě krystalovaného kalcitu a drobně krystalovaným křemenem ve tvaru krystalograficky ukončených krystalů i nepravidelných zrn (Obr. 31). V několika vzorcích se pravděpodobně vyskytuje i dolomitickoankeritický karbonát. Některé žíly obsahují úlomky chloritizované horniny. Sulfidická mineralizace je zastoupena především pyritem, méně pak pyrhotinem (Obr. 32). Pyrit se často vyskytuje na plochách puklin, kde tvoří tenké povlaky, příp. se nachází v žilách, rozptýlený v minerálech, ale i podél puklin a štěpnosti, většinou ve tvaru krystalograficky omezených zrn do velikosti 1 mm. Z chodeb L4a a L4b bylo na analýzy vybráno šest vzorků karbonátových žil, dva vzorky křemenných žil a sedm vzorků sulfidické mineralizace.

Ve srovnání s ostatními žilami je výjimečná křemen-karbonátová žíla se sulfidickou mineralizací ze začátku chodby L4b (L4b-P-0,60) (Obr. 31). Jedná se o vícegenerační žílu tvořenou pravděpodobně třemi generacemi hrubě krystalovaného kalcitu bílé, růžové a našedlé barvy, a šedými nepravidelnými zrny křemene. V žíle se rovněž vyskytují paralelně orientované chloritizované úlomky hornin. Ze sulfidů je zastoupen jemně krystalovaný pyrit, který se vyskytuje v dutinách, na puklinách i rozptýlený v karbonátech. V dutinách lze dále nalézt drobné krystalky zeolitů o velikosti do 2 mm (harmotom a analcim) a stronciem bohatý baryt.
Lokalizace	Metráž (m)	Typ výplně	Mocnost (cm)	Typ analýzy
L4a-Levá strana	32,1	povlaky pyritu na puklině	0,05	Izotopy S
L4a-Levá	32,2	kosá křemen-karbonátová žíla // s foliací	0,5–2	
L4a-Levá	32,5	kosá křemenná žíla/sekrece v tektonické zóně	2–3	
L4a-Levá	43,5	strmá křemen-karbonátová žíla	1–2	Set 5 analýz
L4a-Levá	53,5	strmá křemen-karbonátová žilka	0,5	
L4a-Pravá	23,2	strmá kalcitová žíla (bílý a růžový krystal. kalcit)	1–3	Set 5 analýz
L4a-Pravá	50,2	povlak karbonátů na strmé puklině	0,05	
L4a-Pravá	51,8	kosá křemen-karbonátová žíla	1–2	
L4a-Čelba-Levá	75	strmá křemen-karbonátová žíla s pyrity	4–6	Set 5 an, Izo S
L4a-Čelba-Pravá	75	kosá křemenná žíla/sekrece	2–5	FI v křemeni
L4b-Levá	20,1	povlaky pyritu na puklině	0,05	Izotopy S
L4b-Levá	36,5	kosá str., křemenná výplň tektonické zóny	5	
L4b-Levá	41,5	povlaky pyritu na puklině	0,05	Izotopy S
L4b-Levá	50,5	kosá křemen-živcová žilka	do 5	
L4b-Levá	70,7	strmá křemenná žíla, sulfidy na puklině (pyrhotin)	0,05	Izotopy S
L4b-Levá	72,6	křemen-plg-muskovitická žíla	3–5	FI v křemeni
L4b-Pravá	0,6	vícegenerační křemen-karbonát-sulfidická žíla	5–10	Set5an 2x, Izo S
L4b-Pravá	2	strmá karbonátová žíla (růžový kalcit)	2–4	Set 5 analýz
L4b-Pravá	10	povlaky pyritu na puklině	0,05	Izotopy S
L4b-Pravá	14,5	kosá křemen-karbonátová žilka	1–2	
L4b-Pravá	30,7	strmá křemen-karbonátová žilka	1–2	
L4b-Pravá	34,2	kosá žilka v tektonické zóně (karbonát/křemen)	1–3	Rtg
L4b-Čelba-Levá	75	strmá žíla, karbonát	2–3	
L4b-Čelba-Pravá	75	strmá křemen-karbonátová žíla	0,5	

Tab. 4 Lokalizace vzorků žilných a puklinových mineralizací v chodbách L4a a L4b



Obr. 31 (A) vícegenerační křemen-karbonátová žíla se sulfidickou mineralizací (L4b-P-0,60), (B) křemenkarbonátová žíla se sulfidy a úlomky horniny (L4a-čelba levá-75), (C) žíla hrubě krystalovaného kalcitu v silně alterované hornině (L4b-P-2,0), (D) pomagmatická křemen-živcová žíla (L4b-L-72,6)



Obr. 32 (A) Jemně krystalovaný pyrit v křemen-karbonátové žíle (L4b-P-0,60), (B) Povlak pyritu na puklině (L4b-L-41,50)

Studium žilných a puklinových mineralizací v chodbách L4a až L8 v prostoru PVP Bukov zahrnuje následující analytické postupy:

Karbonátové žíly – hlavní prvky – analýzy na mikrosondě,

stopové prvky a REE – analýzy pomocí ICP-MS,

izotopy C a O – analýzy pomocí MS,

izotopy Sr – analýzy na MC-ICP-MS,

fluidní inkluze – optická termometrie.

Křemenné a křemen-živcové žíly – fluidní inkluze – optická termometrie

Sulfidická mineralizace - izotopy S - analýzy pomocí MS

Identifikace minerálů – RTG-XRD kvalitativní analýzy

V průběhu roku 2022 byly v laboratořích České geologické služby analyzovány vzorky karbonátové a křemen-karbonátové mineralizace a sulfidické mineralizace z chodeb L7 a L8. V roce 2023 byly provedeny analýzy geochemických parametrů vybraných vzorků z chodeb L5, L6 a V 5-6, část analýz bude dokončena v roce 2024. Geochemická data žilných a puklinových mineralizací byla odevzdána na úložiště Sharepoint.

2.2.3 Geochemická charakteristika

V roce 2023 bylo odebráno celkem pět velkoobjemových vzorků reprezentujících hlavní horninové typy vyskytující se na PVP II (Tab. 3). Čtyři z nich byly analyzovány v laboratořích AcmeLabs Vancouver (Bureau Veritas Minerals) v Kanadě. Hlavní a stopové prvky byly stanoveny pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-bMS). Rozpouštění vzorků pro ICP-bMS analýzu bylo provedeno pomocí tavení LiBO₂/Li₂B₄O₇ (vzácné zeminy a žáruvzdorné prvky). Získaná celohorninová geochemická data byla statisticky a graficky zpracována v programu GCDkit (Janoušek et al. 2006). V této práci je mg číslo (mg#) definováno

jako
$$100 \frac{MgO}{FeOt + MgO}$$
 [mol.%] a index A/CNK (Shand 1943) jako $\frac{Al_2O_3}{CaO + Na_2O + K_2O}$ [mol.%].

Pro popis obsahů vzácných zemin (REE) normalizovaných chondritem je použit poměr Eu/Eu*,

který odráží velikost anomálie Eu (
$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{Eu_N}{\sqrt{Sm_NGd_N}}$$
), kde N se vztahuje ke koncentracím

normalizovaným na obsahy v chondritu (Boynton 1984). Čtyři analyzované vzorky zahrnují jeden vzorek metasedimentární horniny (migmatit 296CGT0091 z chodby L4a) a tři metavulkanické horniny z chodeb V7-8 a V5-6. Zbývající vzorek (296CGT0101 z chodby L4b) byl nadrcen a zhomogenizován a namlet a je připraven k odeslání k celohorninovým analýzám do geochemické laboratoře. Petrografické charakteristiky studovaných vzorků a chemické složení jednotlivých minerálních fází je popsané v kapitole 2.2.1. Geochemická data byla odevzdána na úložiště Sharepoint.

V rámci této zprávy jsou popisovány pouze základní geochemické charakteristiky a klasifikace odebraných vzorků. Detailnější genetické implikace, jako je charakter zdrojových magmatických systémů a identifikaci tektonického prostředí vzniku protolitů studovaných metasedimentárních a metavulkanických hornin, budou pro celý soubor vzorků diskutovány v závěrečné zprávě.

2.2.3.1 Metasedimentární horniny

Nově analyzovaný vzorek migmatitu 296CGT0091 má intermediální až kyselé složení (SiO₂ = 62,39 wt. %). Na základě geochemického celohorninového složení je zjevné, že protolit tohoto vzorku původně představoval nezralý písčitý sediment (Obr. 33a-d). Studovaný vzorek vykazuje uniformní obsahy vzácných zemin (Obr. 34a, b), identické jako většina vzorků odebraných v předchozích etapách projektu (Bukovská et al. 2023). V diagramu normalizovaném chondritem (Obr. 34a; Boyton et al. 1984) vykazuje vzor vzácných zemin mírné nabohacení v lehkých REE a relativně konstantní obsahy těžkých REE. Tyto vzorky jsou také typické slabou zápornou europiovou anomálií. V diagramu normalizovaném průměrným složením svrchní kontinentální kůry (Obr. 34a; Taylor a McLennan 1985) lze pozorovat slabé ochuzení v Th, Nb, a výrazné ochuzení v Tb. Zdroj klastického materiálu byly kyselé až intermediální magmatické horniny (Obr. 33e). Poměr Th/U (Th/U = 2,4) indikující možnou přítomnost pláštového materiálu ve zdrojových horninách (Obr. 33f; McLennan et al. 1993). Nově analyzovaný vzorek migmatitu 296CGT0091 má velice podobné obsahy jak hlavních, tak i stopových prvků jako většina dříve studovaných vzorků (Bukovská et al. 2023). Pouze mírné rozdíly vykazuje v koncentracích vzácných zemin. Oproti dříve analyzovaným vzorkům je slabě ochuzen v Th a nemá zápornou Sr anomáli (Obr. 34a; Taylor a McLennan 1985). Popsané geochemické charakteristiky ukazují, že studovaný vzorek odpovídá původně nevytříděnému pískovci derivovaného z nezralých zdrojů klastického materiálu.



Obr. 33 (a) Klasifikační diagramy sedimentárního protolitu a zdrojů klastického materiálu studovaných metasedimentárních hornin. (a) Pettijohn et al. 2012, (b) Herron 1988, (c) Blatt et al. 1980, (d) Floyd et al. 1989, (e) Floyd et al. 1989, (f) McLennan et al. 1993.



Obr. 34 Obsahy vybraných stopových prvků studovaných metasedimentárních hornin (a, b) a metavulkanických hornin (c, d) normalizované: (a, c) chondritem (Boyton et al. 1984), (b) průměrným složením svrchní kontinentální kůry (Taylor a McLennan 1985), (d) NMORB bazaltem (Sun a McDonough 1989)

2.2.3.2 Amfibolity

Nově studované metavulkanické vzorky z chodeb V7-8 a V5-6 mají většinou bazické až intermediální složení s obsahy SiO₂ v rozsahu 49–55 wt.%. Tyto vzorky odpovídají podle obsahu alkálií a SiO₂ v TAS diagramu (Obr. 35a; Cox et al. 1979) subalkalickému bazaltu (296CGT0071) až bazaltickým andesitům (296CGT0063, 296CGT0070). V Nb/Y–Zr/Ti diagramu (Pearce 1996) padají vzorky na rozhraní pole bazaltu a andezitu až bazaltickému andezitu (Obr. 35b). Všechny tři vzorky mají podobný obsah Al₂O₃ (14,7–17,6 wt.%) a relativně vysoký obsah K₂O (2,35–4,05 wt.%). Pokud porovnáváme obsahy hlavních oxidů je patrné, že migmatitizovaný amfibolit 296CGT0071 je ve srovnání s ostatními vzorky bohatší na MgO a CaO. Všechny vzorky mají metaluminický charakter (Obr. 35a, d; A/CNK = 0,6–0,77). V B-A diagramu (Obr. 35d; Debon a Le Fort 1983) leží všechny tři studované vzorky také v poli metaluminických hornin. Dva vzorky odpovídají minerální asociaci biotit ± amfibol ± ortopyroxen, zatímco vzorek 296CGT0070 odpovídá minerální asociaci klinopyroxen ± amfibol ± biotit (Obr. 35d). Podle SiO₂–FeO/MgO diagramu (Miyashiro 1974) patří vzorkek 296CGT0071 k vápenato-alkalické sérii a vzorky 296CGT0063 a 296CGT0070 k tholeitické sérii (Obr. 35e). V AFM ternárním diagramu Irvina a Baragara (1971) odpovídá tholeitické sérii pouze vzorek 296CGT0071 (Obr. 35f).

V diagramu normalizovaném hodnotami pro chondrit (Obr. 34c; Boyton et al. 1984) vykazuje vzor vzácných zemin všech tří vzorků Vzorky 296CGT0034 a 296CGT0040 jsou relativně plochý průběh a absenci europiové anomálie. Křivky stopových prvků normalizované hodnotami pro NMORB (Sun a McDonough 1989) pro všechny studované vzorky ukazují výrazné nabohacení LILE, LREE a HFSE (Obr. 34d). Pro všechny vzorky je typická výrazná negativní anomálie pro Nb, méně výrazné propady v Zr a Th. Vzorky 296CGT0063 a 296CGT0070 vykazují slabé ochuzení v La a Ce. Vzorky 296CGT0063 a 296CGT0071 mají také pozitivní anomálii v obsahu Pb a slabé negativní anomálie v Pr. Metavulkanické horniny studované v této etapě mají variabilní obsahy jak hlavních, tak i stopových prvků. V základních rysech mají podobné geochemické vlastnosti jako dříve analyzované vzorky 296CGT0034 a 296CGT0034 a 296CGT0040



(Bukovská et al. 2023) a svým chemickým složením reprezentují původně bazaltické lávy. Drobné odchylky jsou nejspíše způsobené rozdíly v deformačním a metamorfním přetisku.

Obr. 35 Klasifikační diagramy studovaných metavulkanických hornin. (a) TAS diagram (Cox et al. 1979), (b) Nb/Y–Zr/Ti diagram (Pearce 1996), (c) A/CNK–A/NK diagram (Shand 1943), (d) B-A diagram (Debon a Le Fort 1983) (e) SiO2–FeO/MgO diagram (Miyashiro 1974), (f) AFM diagram (Irvine a Baragar 1971).

2.3 3D strukturně-geologický model

Model je konstruován jako dílčí vizualizace geologické a strukturní stavby v současné době plně vyražených hlavních chodeb v rámci PVP II (Obr. 36, Obr. 37). Zahrnuje oblasti chodeb L4a a L4b, včetně jejich petrologického popisu a strukturní dokumentace. Dále obsahuje větrací chodby V5-6 a V7-8, pro něž je aktuálně zpracovaná petrologická charakteristika s jejímž přispěním byl upraven aktualizovaný 3D model. Tyto kombinuje s již existujícím modelem zahrnující již dříve vyražené chodby PVP II (Bukovská et al. 2022, 2023). Dále obsahuje část překopu PŠ1-123 a dopravního ochozu směrem k jámě R-7S. Půdorys aktualizovaného modelu je 300 × 200 m a

jeho střed je situován na úroveň 20 m. n. m. Výška modelu je pak 50 m, resp. v rozmezí od -45 až 5 m. n. m. Model byl konstruován v software MOVE™ ve verzi 2022.1.



Obr. 36 Srovnání druhé verze 3D modelu z chodeb L5–L8 (vlevo) a aktualizovaného modelu s chodbami L4a–L8 (vpravo)

Geologická charakterizace vychází primárně z detailního petrografického mapování vyražených chodeb provedeného během jejich dokumentace. Pro oblasti mimo chodby L4a až L8 byla využita kompilovaná geologická mapa 12. patra dolu Rožná ve vektorové podobě (Nohál et al. 2019), a zde přítomné litologie (pararula a amfibolit) byly pro účely modelu přiřazeny odpovídajícím litologiím z podrobné charakterizace chodeb L4a až L8 a sjednocené legendě prostor PVP. Jednotlivé horninové typ mezi sebou plynule přecházejí a orientace jejich přechodných kontaktů je definována metamorfní foliací, jejíž medián azimutu a sklonu byl pro tuto vizualizaci 243/44. Aktuální model a zejména petrografická charakterizace chodeb L4a a L4b identifkují, oproti původnímu modelu, vyznívání polohy biotit-amfibolické migmatitizované pararuly na sz. okraji modelu. Další litologie pokračují v místy odlišné mocnosti dále na sever k okraji aktualizovaného modelu. Obdobně jako u předchozí iterace modelu z dat z chodeb L5 a L6 nebyly v chodbách identifikovány žádné méně výrazné polohy, či větší čočky vložkových hornin (Obr. 39) mimo drobných budin amfibolitu, které jsou však pod úrovní stávajícího rozlišení modelu.



Obr. 37 Pohled do aktualizovaného 3D modelu PVP II s vizualizovanými průběžnými strukturami s výplní větší než 5 mm

Vytvořený 3D model chodeb L4a–L8 obsahuje strukturní prvky (zlomy, pukliny a reaktivované foliace) měřené na stěnách chodeb. Tyto jsou vizualizovány ve formě čtvercových a obdélníkových ploch protínajících chodby L4a–L8 a překop PŠ1-123 (Obr. 38). Významnější struktury jsou vizualizovány dle jejich průběžnosti chodbou nebo zastižené výplně (Obr. 38). Jejich orientace odpovídá lokálnímu měření kompasem upravené o korekci konvergence do souřadného systému S-JTSK a lokální magnetickou deklinaci. Kontrola správné orientace strukturních prvků byla provedena pomocí pracovního 3D fotogrammetrického modelu chodeb a usazení strukturních měření na odpovídající pozice. Ke snížení datové náročnosti byly chodby L4a–L8 rovněž vytvořeny ve formě zjednodušeného mesh-modelu s odpovídajícím půdorysem i výškou, který je součástí modelu.

Tento 3D model byl zkonstruován pro účely vizualizace doposud získaných strukturních a geologických dat v této průběžné zprávě. Model bude během finalizace projektu v roce 2024. Ta bude obsahovat i propojení významných struktur napříč prostory PVP 2 a doplnění modelu o detailní tělesa (např. budiny amfibolitů). Model bude rovněž doplněn o poslední zbývající data z rozrážek ZK6-1S, ZK6-2S, ZK5-1J, ZK5-1S a chodeb tzv. napjatostního pilíře L4c a L4b.



Obr. 38 Náhled významnějších puklin zastižených na chodbách 4a, L4b, L5, L6, L7 a L8; modré polygony značí struktury průběžné, fialové průběžné struktury s výplní nad 5 mm





2.3.1 Integrace dat do GIS projektu

V návaznosti na aktuzalizovaný 3D strukturně-geologický model PVP II byly v uplynulém roce centralizovány prostorové typy dat, které je možné dále pracovat a vizualizovat prostředí GIS (QGIS, ArcGIS, ArcGIS Pro). Tyto informace zahrnují aktualizovanou geologickou mapu PVP II, lokalizaci petrografických, geochemických vzorků a HG dokumentačních bodů. Dále obsahují

lokalizace HG monitorovacích bodů a geotechnických stanic. Tyto data jsou kategorizována podle jednotlivých typů a budou v rámci předání dat odevzdána ve formátu .shp.

2.4 Hydrogeologická charakterizace

2.4.1 Hydrogeologická dokumentace

Dokumentace přítoků

V průběhu postupujících ražeb v roce 2023 pokračovala hydrogeologická dokumentace průsaků podzemní vody do nově ražených prostor podzemní laboratoře a jejího okolí. U průsaků byly dokumentovány následující parametry:

- 1. zdroj přítoku (puklina, poruchová zóna, návrt, vrt);
- 2. lokalizace (komora, chodba, stěna, pozice nad počvou, metráž);
- 3. u strukturních prvků typ, orientace, výplň, šířka;
- 4. vydatnost v kategoriích 1) vlhnutí stěny, 2) kapky, 3) výtok;

5. fyzikálně-chemické parametry podzemních vod (pH, měrná elektrická vodivost, obsah rozpuštěného kyslíku, Eh, teplota vody).

Do ledna roku 2024 bylo nově zdokumentováno 16 průsaků, respektive výtoků z vrtů a to v chodbách L4a, L4b, L7, L8, V5-6, BZ-XIIS, ZK62S a ZK72J. U průsaků dokumentovaných v letech 2021 až 2023 byly prováděny revize, odběry vzorků podzemních vod a dále probíhal výběr vhodných bodů pro monitoring. Plošná revize všech přítoků v nově ražených chodbách PVPII proběhla 6. 2. 2023 a 9. 1. 2024.

Počty dokumentovaných bodů v jednotlivých částech PVP Bukov II uvádí Tab. 5, detailní popis jednotlivých bodů obsahuje tabulka v Elektronická příloha 4. Graficky jsou místa přítoků znázorněna na schématu PVP II (Obr. 40). U průsaků vázaných na významné struktury, které jsou součástí 3D modelu je v závorce uváděno identifikační číslo. Identifikační čísla ze strukturně geologické dokumentace dalších méně významných struktur jsou uvedena v Elektronická příloha 4.

chodba	počet bodů	počet vzorků 2023	metráže
L4a	6	4	3-4; 24-25; 29; 40-45; 50-60; 73
L4b	6	4	3-4; 8,5-11; 13,5-15; 22-26; 27,5; 32
L5	6		0,5; 4,5-5, 9,5-12,8; 12,8-16; 68
L6	5		25; 39; 54; 59-61,5;64-66,5
L7	7		45; 49-50; 53-54; 53-55; 55,5-57; 58-62
L8	5		56,5-59; 60; 67-69; 76; 87,5-88;
PŠ1-123	5		918,5-930; 928,8; 929,6; 930,2; 948-973
V5-6	3		20, 30-31,5
ZK72J	1		1

Tab. 5 Počty dokumentovaných hydrogeologických bodů a odběrů vzorků podzemních vod (mimo monitoring)

ZK62S	1		8
BZ-XIIS	1	1	129,3
Technologická voda		1	



Obr. 40 Schéma zvodnění v nově ražených chodbách v PVP Bukov II.

Chodba L4a

V chodbě L4a byl v prosinci 2022 zaznamenán slabý průsak (296HCR0031, Obr. 41) ve stropě na metráži 24 až 25 m s nejasným zdrojem (pukliny, foliace). Při revizi v únoru 2023 a v lednu 2024 byl tento průsak součástí široké, téměř souvisle zvodnělé zóny v úseku 24 až 35 m (viz dále).

Výraznější průsak (296HCR0032, Obr. 42) na metráži 29 m je vázaný na zlom (290/82). Průsak se projevoval občasnými kapkami s vyšší intenzitou. Vzhledem k provozním podmínkám byl vzorek podzemní vody z tohoto průsaku odebrán v noční přestávce mezi odpolední a ranní

směnou (prosinec 2022). V únoru 2023 byl průsak součástí výše uvedené zóny na metrážích 24 až 25 m, nejvýraznější průsak ve formě častých kapek byl kolem zlomu na metráži 29 m, kde byl také odebrán další vzorek pro chemickou analýzu. V lednu 2024 byly zaznamenány občasné kapky v okolí zlomu ve stropě (265/66) a souvisle zvodnělá zóna běžící šikmo chodbou od 25 m až k výstroji chodby a dále za ní na metráž cca 35 m. Součástí průsaku je řada foliací a struktur rovnoběžných s chodbou.

Slabé průsaky byly v únoru 2023 dokumentovány v úseku 40 až 45 m ve stropě a levé stěně chodby (296HCR0036). V červnu 2023 byl tento úsek prakticky suchý pouze s lokálními, velmi omezenými náznaky vlhkosti. V lednu 2024 se v tomto úseku vyskytovala pouze vlhká skvrna na 46 m na levé stěně dole.

Široký slabě zvodnělý pás ve formě vlhkých skvrn s občasnou kapkou se vyskytoval v únoru 2023 na metráži 50 až 60 m (296HCR0037), zejména na levé stěně chodby. Lokálně vlhkost vybíhala do stropu. V červnu 2023 byl celý pás prakticky suchý s lokálními náznaky vlhkosti na velmi malých plochách. V lednu 2024 byl úsek suchý jen s větší vlhká skvrnou na levé stěně 50,5–52 m.

Po odvrtání vrtů pro geotechnickou stanici v koncové části chodby L4a byl v květnu 2023 dokumentován výtok z vrtu L4a-72L (296HCR0038), vrt byl osazen pakrem a byly z něj odebrány vzorky podzemní vody v květnu a červnu 2023. V červnu 2023 byl zaznamenán slabý průsak ve formě kapek z dalších dvou vrtů a to L4a-72U a L4a-72UL. Vrty je drénována puklinová zóna (265/85), která se vyskytuje v okolí vrtů. V rámci přípravy na monitoring byl také vrt L4a-72UL osazen pakrem a v listopadu 2023 byly oba osazené vrty uzavřeny. Tlak ve vrtech nastoupal na hodnotu 0,6 respektive 0,2 baru a voda začala výrazně prosakovat puklinovou zónou do chodby. Vydatnost výtoku z vrtu L4a-72L se v roce 2023 pohybovala od 2 do 5 ml/s. Vrt byl v prosinci 2023 zařazen do monitorovací sítě. V lednu 2024 byla dokumentována vlhká skvrna na stropě mimo průsaky z vrtů na křížení foliací, reaktivovaných foliací a zlomu.

Nově byla v lednu 2024 zdokumentována na metráži 3 až 4 m vlhká zóna na pravé stěně (296HCR0047) vybíhající do stropu na křížení foliace s průběžnou puklinou (289/80) ve stropě.



Obr. 41 Slabé zvodnění ve stropě chodby L4a (296HCR0031)

Obr. 42 Zlom s průsakem 296HCR0032, chodba L4a

Chodba L4b

V chodbě L4b byly v červnu 2023 dokumentovány slabé průsaky na levé stěně na 13,5 až 16 m (296HCR0040, Obr. 43). Jedná se o střižnou zónu (reaktivovanou foliaci 242/50) na metráži

cca 13,5 m v kombinaci s průběžnou puklinou na metráži 15 m. V lednu 2024 měl průsak charakter vlhké levé stěny o šířce 3 m částečně vybíhající do stropu.

Na metráži 8,5 až 11 m se vyskytují průsaky v okolí zlomové zóny (239/60, 296HCR0041) o mocnosti do 15 cm. Zlomová zóna se ve stropě a na levé stěně rozvětvuje. Napříč přes zónu běží průběžná puklina (281/80), která je pravděpodobně také zdrojem zvodnění. V červnu 2023 byl z této poruchy odebrán vzorek podzemní vody. V lednu 2024 bylo zvodnění ve formě zóny v levé stěně o šířce cca 4 m vybíhající do stropu s občasnou kapkou.

Průsaky v okolí jedné z větví zlomu (115/72) byly zaznamenány na metráži 3 až 4 m (296HCR0042). Jedná se o vlhké skvrny, které byly v době primární dokumentace výraznější na stropě. Vlhkost na pravé stěně v okolí zlomu je vázaná na foliační plochy. V lednu 2024 byl stav obdobný, intenzivnější úkapy umožnily odběr vzorku pro dokumentační analýzu.

Na metráži 22 až 26 m se nachází porušená zóna částečně stabilizovaná pletivem (296HCR0044, Obr. 44). V centrální části zóny je zlom (294/70) o šířce 5 až 30 cm. V září 2023 byly v této části zaznamenány intenzivní kapky ve formě slabého rozptýleného deště a byl odebrán vzorek podzemní vody. Zvodnění se projevovalo zejména na pravé stěně na metráži 22 m, vlhkost vybíhala šikmo chodbou do stropu do úseku na 25–26 m (pletivo). Zvodnělé struktury se vyskytovaly také na metráži 24 m před stabilizovaným úsekem. Při revizní dokumentaci v lednu 2024 byl stav a rozsah obdobný, intenzita "deště" byla vyšší. Pruh zvodnění byl o šířce 2 m. Byl odebrán vzorek na rozšířenou analýzu. Jedná se o nejvydatnější přítok do chodby L4b.



Obr. 43 Střižná zóna 242/50 (296HCR0040).

Obr. 44 Zvodnění v okolí zlomu (296HCR0044)

Na křížení puklin a foliací je vázaná vlhkost v pravé stěně v šířce cca 1 m na metráži 27,5 m (296HCR0045). Vlhkost slabě vybíhala do stropu. V lednu 2024 byla vlhká pravá stěna v šířce cca 2 m, vlhkost výrazně vybíhala do stropu s občasnými kapkami ze stropu. Vázáno na reaktivovanou foliaci, vlhkost končí na ploše subparalelní s chodbou (340/71).

Na metráži 32 m byla zaznamenána slabá vlhkost na stropě v okolí návrtu na svorník (296HCR0046). V lednu 2024 byl průsak ve formě mokrého pruhu na pravé stěně vybíhajícího do stropu o šířce cca 2 m. Na levé stěně byla vlhká skvrna na metráži 24 m. Vše bylo vázáno na průběžný zlom (92/85), který se ve stropě větví.

Chodba L5

První průsaky byly při ražbě chodby L5 dokumentovány v červnu 2021 hned v úvodní části. Slabý průsak ve formě občasných kapek (296HCR0013) vázaný na foliační plochu se vyskytoval

na metráži 0,5 m. V druhé polovině roku 2021 se tento průsak nacházel za výstrojí (stříkaný beton) a jeho další sledování nebylo možné.

Poměrně výrazný průsak ze zlomu orientace 143/84 a z foliačních ploch v jeho těsné blízkosti byl na metráži 5,5 m (296HCR0014, ID 194_L5 Obr. 45), z tohoto průsaku byl v roce 2021 odebrán vzorek podzemní vody. Aktuálně je tento průsak za výstrojí, obdobně jako předchozí dokumentační bod. Průsak na metráži 5,5 m odvodnil horizontální vrt BGS12-H, tlak ve vrtu poklesl na nulu.



Obr. 45 Zlom s průsakem 296HCR0014, chodba L5



Obr. 46 Slabé zvodnění ve stropě chodby L5 (d. b. 296HCR0017)

Dále v chodbě L5 následuje prakticky souvislá velmi slabě zvodněná zóna na metráži 9,5 až 16 m (Obr. 45). Zóna se projevuje v intervalu 9,5 až 12,8 m vlhnutím stěn (296HCR0018) a v intervalu 12,8 až 16 m (296HCR0017, ID 215_L5) s občasnými úkapy ze stropu, pravděpodobně z foliačních ploch a z menších puklin. Na metráži 15,2 v místě větší intenzity úkapů, byl z této zóny v roce 2021 pomocí svodné plachy odebrán vzorek. V roce 2022 zůstal charakter zóny nezměněn, po ukončení prací v chodbě L5 došlo k mírnému nárůstu intenzity úkapů, což umožnilo další dva odběry vzorků pozemní vody v březnu a v září 2022, tentokrát již bez svodné plachty. V únoru 2023 byl úsek 12,8 až 16 m bez výraznějších změn. V úseku 9,5 až 12,8 m se zamokření projevovalo zejména na levé stěně, pravá stěna byla suchá a strop s minimální vlhkostí. V lednu 2024 se průsak 296HCR0018 projevoval jako zamokření zejména na levé stěně vybíhající částečně do stropu, vlhkost je vázána na křížení foliací a puklinové zóny (30/75). Průsak 296HCR0017 měl charakter pruhu křížícího šikmo chodbu o šířce 2 až 3 m opět na křížení puklinové zóny ve stropě (350/70) a foliací. Oba průsaky jsou odděleny zlomem (280/65) o šířce 13 až 30 cm, který působí pravděpodobně jako izolátor.

Slabé průsaky byly v roce 2021 v chodbě L5 dále zaznamenány na metráži 21,5 až 26 m (296HCR0016, ID L5_J_1). V únoru 2022 byl tento průsak zcela suchý, v září 2022 se projevoval pouze jako vlhká skvrna v okolí svorníku. V únoru 2023 měl průsak charakter vlhkých nevýrazných skvrn v širším intervalu, v lednu 2024 byly dokumentovány nevýrazné vlhké skvrny ve stropě na foliačních plochách.

Drobný průsak (296HCR0022, ID 294_L5, 296_L5) vázaný na okolí zlomu 317/72 byl dále na metráži 68 m. Opět se jednalo o průsak s minimální vydatností, který se projevoval vlhnutím

stěny chodby. V průběhu roku 2022 byl charakter průsaku obdobný. V únoru 2023 a lednu 2024 byla zaznamenána slabá vlhkost v okolí zlomu ve stropu.

Chodba L6

Na metráži 25 m byl v roce 2021 dokumentován slabý průsak (vlhnutí stěny a stropu, 296HCR0021, Obr. 46) na foliačních plochách. Při revizi v únoru 2023 byl charakter průsaku obdobný. Nově se objevila malá vlhká skvrna na metráži 20,5 m. Při revizi v lednu 2024 byl tento průsak zcela suchý.

Při dokumentaci čeleb byl zaznamenán mírně vlhký výrub v metráži 32,5 až 37 m. Zvodnění bylo částečně způsobené průsakem z vrtu S-22. Chodba L6 překřížila vrt S-22 na metráži 32 m. Tlak monitorovaný na ústí vrtu S-22 byl po dobu ražby poměrně stabilní (hodnota přibližně 9 bar při manuálním odečtu). Pokles tlaku o dva bary byl zaznamenán 1. 12. 2021, kdy byla čelba na metráži 31,2 m. Dne 6. 12. 2021 (čelba na metráži 32,5 m) byl tlak na ústí vrtu nulový – vrt se objevil v pravé stěně těsně před čelbou. Ke snížení tlaku, tedy k tlakové komunikaci s nově raženou chodbou, došlo až v okamžiku, kdy vzdálenost chodby a vrtu byla přibližně 1 m. To svědčí o velmi nízké hydraulické vodivosti puklin v prostoru mezi vrtem S-22 a chodbou L6.

Počátkem roku 2022 byl dokumentován slabý přetok (296HCR0023) z předvrtu pro plánovanou komoru na metráži 39 m. V květnu 2022 byl již vrt bez přetoku a vrt byl suchý také při všech následných revizích. Dále byla na metráži 54 m zaznamenána vlhkost (296HCR0024) v okolí dovrchního návrtu pro svorník a na foliačních plochách v okolí. V únoru 2023 byla na tomto místě zaznamenána vlhká skvrna na pomezí levé stěny a stropu. V lednu 2024 byla v místě průsaku vyražená komora ZK62S.

Poměrně výrazný průsak (296HCR0025, 173_L6, 170_L6, Obr. 47) je na metráži 59 až 61,5 m. Výtok je vázán na dvě subparalelní pukliny a na další pukliny, které se vyskytují v jejich okolí. Odběry podzemních vod v rámci charakterizace z tohoto průsaku proběhly v únoru, březnu a květnu 2022. Přítok byl zařazen do monitorovací sítě, osazen svodnou plachtou a od srpna 2022 zde probíhají pravidelné čtvrtletní odběru vzorků podzemních vod (viz následující kapitola). V únoru 2023 měl průsak charakter vlhkého pásu na levé stěně o šířce 3–4 m s intenzivními kapkami ze stropu. Na pravé stěně se jednalo pruh od stropu o šířce 1 m (pokračování pukliny). Vydatnost tohoto průsaku se pohybovala v rozmezí od 0,2 do 0,8 ml·s⁻¹, vyšší hodnoty byly zaznamenány v druhé polovině roku 2022 a v první polovině roku 2023.

Poslední zaznamenaný slabý průsak (296HCR0026) v chodbě L6 je na metráži 64 až 66,5 m. Průsaky podzemní vody se zde vyskytují podél polohy pararuly přibližně 5 až 10 cm mocné, která leží ve foliaci (247/40). V únoru 2023 se jednalo o slabě vlhký pás podél foliačních ploch běžících z levé stěny cca pod 296HCR0025 do stropu a částečně do pravé stěny.

Při revizní dokumentaci v lednu 2024 měly oba výše uvedené průsaky větší plošný rozsah a navzájem do sebe přecházely. Průsaky tvořily široký pruh, který vybíhal z levé stěny do stropu po foliačních plochách.



Obr. 47 Průsak 296HCR0021 na foliačních plochách, chodba L6.

Obr. 48 Zachycení průsaku 296HCR0025, chodba L6

Chodba L7

V chodbě L7 byla zastižena slabě zvodnělá zóna v úseku 45 až 62 m. Celkem bylo v této zóně v roce 2021 dokumentováno 6 průsaků (296HCR0001 až 296HCR0004, 296HCR0006, 296HCR0019 – ID 45_L8). U těchto průsaků opět převládala velmi nízká vydatnost, dokumentované průsaky byly ve formě vlhkých stěn a stropu s občasným výskytem kapek. Vydatnosti těchto průsaků se pravděpodobně pohybují maximálně v desetinách až prvních jednotkách ml.s-1. Vzhledem k velkému rozptylu občasných úkapů tyto nízké hodnoty není možné měřit. Zcela převažovaly průsaky z nebo v okolí foliačních ploch a na křížení foliace s menšími puklinami. Lokálně se zde také vyskytovaly slabé úkapy ze svorníků ve stropě chodby. Ve dvou případech byly drobné průsaky v okolí průběžných subvertikálních puklin (275/86, 251/74). Celkem byly z této zóny v roce 2021 odebrány 2 vzorky podzemních vod pro chemickou analýzu a to z d. b. 296HCR0004 (ID 96_L7, Obr. 49) a 296HCR0006 (ID 99_L7; Obr. 50). Opakovaný odběr se v roce 2022 podařilo realizovat z průsaku 296HCR0006, který je i k datu této zprávy nejvydatnějším průsakem v rámci chodby L7.

Průsaky se projevují převážně vlhkými skvrnami na stěnách, jejichž pozice a rozsah se mění, často v návaznosti na technické práce v chodbě. Průsak 296HCR0001 dočasně vyschnul (září 2022), v únoru 2023 a v lednu 2024 měl charakter malé vlhké skvrny na pravé, respektive na levé stěně chodby. Průsaky 296HCR0002, 296HCR0003, 296HCR0004 a 296HCR0006 do sebe při revizních dokumentacích navzájem přecházely. Zvodnění dokumentované těmito průsaky je v úseku 49 až 57 m vázané na výrazný systém foliačních ploch, které ve stropě protíná výrazná puklina (264/85) a další příčné pukliny. Na metráži 50 m byla v místě průsaku 296HCR0002 vyražena komora ZK72J. Při revizní dokumentaci v lednu 2024 byla zvodnělá celá levá stěna této komory. Zvodnění je opět vázané na foliační plochy.

Formu nevýrazných skvrn ve stěnách a stropu měl také průsak 296HCR0019. Vlhkost zde byla zaznamenána v okolí svorníků a foliací, nejvýraznější na metráži cca 60 m. V únoru 2023 tvořily

mokré skvrny v pás, výraznější ve stropě a pravé stěně na metráži cca 58–61 m. V lednu 2024 s projevoval tento průsak vlhkými skvrnami ve stropě a pravé stěně. Průsaky jsou zde vázány, obdobně jako předchozí, na řadu foliačních ploch a puklinu, která tyto plochy protíná.

V únoru 2023 byl zaznamenán slabý průsak z šikmého vrtu geotechnické stanice (L7-87UL) na metráži 87 m (296HCR0034). V lednu 2024 byly v této části chodby L7 zaznamenány také malé vlhké skvrny ve stropě v okolí dalších vrtů geotechnické stanice a na foliačních plochách.



Obr. 49 Puklina s průsa 296HCR0004, chodba L7.

s průsakem Obr. 50 Průsaky v okolí pukliny ve stropě chodby L7 7. (296HCR0006)

Chodba L8

Obdobně jako v chodbě L7, také v chodbě L8 se nachází širší slabě zvodnělá zóna, a to na metráži 56 až 71 m. Součástí této zóny jsou tři samostatně dokumentované průsaky (296HCR0011, 296HCR0012 a 296HCR0015 – ID 38_L8). Opět převažují vlhké stěny v okolí foliačních ploch a menších puklin.

Z dokumentovaných průsaků v této zóně je nejvýraznější průsak 296HCR0011 (ID 33_L8, Obr. 51) vázaný zejména na zlom (279/87) na metráži 56–57 m. Při primární dokumentaci (červen 2021) a následných revizích měl tento průsak charakter srovnatelný s ostatními – vlhkost, občasné úkapy. V říjnu 2021 byl průsak na zlomu intenzivnější a více koncentrovaný v jedné části zlomu, což umožnilo terénní měření i odběr vzorku podzemní vody. Poměrně intenzivní úkapy ze zlomu pokračovaly i v roce 2022. V rámci charakterizace z tohoto průsaku proběhly odběry podzemních vod a terénní měření v březnu a květnu 2022.

Přítok byl zařazen do monitorovací sítě, osazen svodnou plachtou a od srpna 2022 zde probíhají pravidelné čtvrtletní odběru vzorků podzemních vod (viz následující kapitola). Vydatnost a možnost měření tohoto průsaku byla silně ovlivněna ražbou komor v chodbě L8 v druhé polovině roku 2022. Instalace svodné plachty v této době nebyla možná a vydatnost průsaku se vlivem větrání a technických prací snížila na minimum, které neumožňovalo vzorkování. Po ukončení technických prací se průsak obnovil. Při revizi v únoru 2023 byl zaznamenán

intenzivní výtok u zlomu na hranici stropu a pravé stěny. V současnosti se jedná o nejvydatnější soustředěný průsak v rámci PVP Bukov II s vydatností mezi 0,5 až 1,5 ml.s⁻¹. Charakter přítoku byl při revizi v lednu 2024 obdobný.

Průsak 296HCR0012 zcela vyschl a jeho aktivita se již neobnovila.

Charakter průsaku 296HCR0015 (ID 38_L8; L8_J_59; L8_S_69) na metráži 67 až 71 m zůstával obdobný ve formě vlhkých skvrn na obou stěnách chodby v okolí foliačních ploch běžících šikmo chodbou. Intenzita zvodnění stěn se v čase mění. V lednu 2024 průsak tvořil prakticky souvislý pruh o šířce cca 0,5 m od 67 m na levé stěně dole po 71 m na pravé stěně nahoře. Zdrojem zvodnění byly zejména foliace.

Drobný průsak (296HCR0020; ID 45_L8) vázaný na subvertikální puklinu (Obr. 52) se dále nachází na metráži 87,5 až 88. V roce 2023 beze změny.

Na metráži 76 m byl v únoru 2023 zaznamenán slabý průsak na rozhraní levé stěny a stropu vázaný na foliace a příčné pukliny (296HCR0033).

Průsaky 296HCR0020 a 296HCR0033 byly při revizní dokumentaci v lednu 2024 beze změny.



Obr. 51 Zlom s výrazným průsakem v chodbě L8 (d. b. 296HCR0011)

Obr. 52 Průsak d. b. 296HCR0020 vázaný na subvertikální puklinu v chodbě L8

V5-6

Ve větrací chodbě mezi chodbami L5 a L6 byl v průběhu ražby v květnu 2022 zaznamenán pouze jeden slabý průsak (296HCR0029) a to na metráži 30 až 31,5 m v okolí zlomu (169/63). Při následných revizích byl tento průsak zcela suchý nebo se projevoval pouze nevýraznou vlhkou skvrnou při patě levé stěny.

Dále byl v této chodbě zaznamenán slabý průsak z vrtu S-22 (296HCR0033) na metráži 20 m.

ZK72J

Vlhké skvrny na levé stěně, pravděpodobně průsaky po foliaci (296HCR0043) byly dokumentovány ve zkušební komoře na prvním metru.

ZK62S

Vlhký pruh o šířce 0,5 na levé stěně a stropu na foliačních plochách byl zaznamenán na metráži 8 m

Dokumentace okolí PVP II, chodba PŠ1-123 a BZ-XIIS

V rámci rekognoskačních prací byly dokumentovány chodby na 12. patře do vzdálenosti 150 m od chodeb L4a až L8 (PVP II). Naprostá většina revidovaných chodeb je suchá s výjimkou chodby PŠ1-123 v úseku 918 až 973 m (Obr. 40), jedná se o úsek přibližně mezi nově raženými chodbami L4a a L6, tedy v okolí chodby L5. Zvodnění je v této části chodby výrazné, místy se projevuje velmi intenzivními úkapy. Bohužel prakticky celý tento úsek je vystrojený, vlastní zdroj průsaků není tedy možné identifikovat. Podzemní voda vykapává či vytéká z pod plechů (Obr. 54).

Zvodnělá poruchová zóna za výstrojí byla dokumentována jako dva úseky a to úsek 918,5 až 930 m (296HCR0010) a 940 až 973 m (296HCR009). Z druhého úseku byl odebrán vzorek v roce 2021 a následně pro rozšířenou analýzu v březnu 2022.

Současně do úseku chodby PŠ1-123 mezi chodbami L4a a L6 ústí/ústilo několik vrtů s výtokem. Jedná jak o předvrty chodeb PVP Bukov II, tak o starší vrty z geotechnické stanice projektu "Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná". Tyto vrty byly v závislosti na technickém stavu postupně zařazovány do hydrogeologické dokumentace. V roce 2021 se jednalo o vrty BGS12-H, BGS12-VU a BGS12-I (296HCR0005; 296HCR0007; 296HCR0008, Obr. 53). Z těchto vrtů byly odebrány v rámci rekognoskace vzorky podzemních vod. U vrtů BGS12-H a BGS12-VU byla, pokud to instalace manometrů na ústí vrtu dovolovala, měřena vydatnost výtoku z vrtu. Ze všech uvedených vrtů byly odebrány vzorky podzemní vody v roce 2021, z vrtů BGS12-VU a BGS12-I byly odebrány vzorky pro rozšířené analýzy (viz dále) také v roce 2022.

Vydatnost výtoku z vrtu BGS12-H byla v první polovině roku 2021 přibližně 0,013 l·s⁻¹, v červnu 2021 tímto vrtem prošla ražba chodby L5, čímž byl výtok z tohoto vrtu přerušen. Vydatnost vrtu BGS12-VU se při primárních dokumentacích pohybovala mezi 0,0023 a 0,003 l·s⁻¹, vrt byl zařazen do monitorovací sítě a osazen měřícím zařízením (viz kapitola monitoring). Vydatnost vrtu BGS12-I byla v první polovině roku v rozmezí 0,0023 až 0,0033 l·s⁻¹. Vrt byl posléze uzavřen pakrem.



Obr. 53 Odběr vzorku z vrtu BGS12-I (d. b. 296HCR0008



Obr. 54 Odběr vzorku z široké silně zvodněné zóny v chodbě PŠ1-123 (d. b. 296HCR0009)

V dubnu roku 2022 byly po dohodě se SÚRAO otevřeny vrty S-24 a S-33. Tyto vrty byly zařazeny do dokumentace (296HCR0030, 296HCR0027), byla měřena vydatnost výtoku a opakovaně odebrány vzorky podzemní vody. Vydatnost výtoku z vrtu S-33 byla až do otevření vrtu pro karotážní měření a následné ražby chodby L4a cca 0,01 l·s⁻¹. Jednalo se o nejvydatnější přítok podzemní vody v bezprostředním okolí PVPII. V průběhu ražby chodby L4a vydatnost postupně klesala (viz kapitola Hydrogeologický monitoring). V roce 2023 byla v místě vrtu S-33 ražena chodba L4b.

Vrt S-24 byl po svém otevření zcela suchý, bez přetoku, v polovině května 2022 z vrtu začala přetékat voda. Vydatnost tohoto výtoku byla cca 0,0034 l·s⁻¹. V druhé polovině září 2022 byla v místě ústí zahájena ražba chodby L4a.

V chodbě PŠ1-123 byl dále dokumentován slabý průsak na metráži 750 až 751 m (296HCR0028). Jedná se o slabé průsaky z, betonem zastříkané, stěny s nejasným zdrojem.

Na chodbě BZ-XIIS byl v roce 2023 realizován odběr podzemní vody z vrtu S-26 (296HCR0039) s cílem získat relevantní vzorek (dostatečná vydatnost, minimální okysličenost) pro stanovení

stáří a původu podzemní vody. Součástí odběru pro izotopická stanovení byly i běžné analýzy (ZDA, stopové prvky viz dále).

2.4.2 Odběry vzorků, chemické složení podzemních vod

Vzorky pro základní dokumentační analýzy (ZDA, dle projektu prací Bukovská et al. 2021) byly odebírány v letech 2021 až 2023 při rekognoskační dokumentaci na hlavní chodbě PŠ1-123 a dále s postupující ražbou PVP z průsaků na chodbách L4a až L8. Z průsaků/přítoků, jejichž vydatnost to umožňovala, byly dále odebrány vzorky pro stanovení obsahů stopových prvků (P, Mn, Li; As, Ba, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Mn, Sr, Mo), radioaktivity vod (U, Ra, Rn, celková aktivita β) a celkového obsahu organického uhlíku (TOC). Celkem bylo v rámci dokumentace odebráno 33 vzorků podzemních vod. Do tohoto počtu jsou u monitorovaných přítoků (296HCR0007, 296HCR0011, 296HCR0025, 296HCR0030) zahrnuty vzorky odebrané pracovníky ČGS do května 2022. Od září pravidelné odběry z těchto bodů zajištují pracovníci SG Geotechnika a.s. v rámci monitorovacích prací.

Popis vzorkovaných hydrogeologických dokumentačních bodů je uveden v předchozí kapitole. Řada vzorků u slabých průsaků byla odebrána v delším časovém intervalu po instalaci provizorních záchytných zařízení. Na kvalitu stanovení delší časový interval odběru neměl významný vliv, tyto vzorky se zásadním způsobem neodlišují od ostatních.



Obr. 55 Durovův diagram chemického složení podzemních vod v prostoru PVP Bukov II a v jeho bezprostředním okolí.

Výsledky chemických analýz byly předány na uložiště Sharepoint. Graficky jsou analýzy znázorněny na v Durovově diagramu na Obr. 55. Vzorky odebrané v lednu 2024 byly v době zpracování této zprávy v laboratoři. Diagram u monitorovaných přítoků zahrnuje pouze první analýzy. Výsledky monitoringu shrnuje následující kapitola.

Podzemní vody v prostoru PVP Bukov II jsou typu Na-HCO₃ až Na-SO₄, převládají smíšené typy vod (Na-HCO₃-SO₄, Na-SO₄-HCO₃). Mezi kationty jednoznačně u všech odebraných vzorků převažuje sodík s více než 85 meq%. Značky jednotlivých odběrů se v poli kationtů na Durovově diagramu navzájem překrývají. Pouze podzemní voda jímaná z poruchy (296HCR0009) v chodbě PŠ1-123 má mírně snížený podíl sodíku mezi kationty ve srovnání s ostatními průsaky/přítoky. Voda odebíraná z tohoto přítoku protéká přes výstroj (viz výše), nelze tedy vyloučit slabou změnu složení podzemní vody v průběhu jejího toku po výstroji chodby.

V zastoupení aniontů jsou rozdíly vyšší, poměrné zastoupení chloridů je u všech vzorků mezi 10 a 20 meq%, u hydrogenuhličitanů je zastoupení mezi 30 a 60 meq% u síranů od 25 do 55 meq %. Výjimkou je pouze vzorek odebraný na chodbě BZ-XIIS z vrtu S-26 (296HCR0039) mimo prostor PVP II s výraznou převahou hydrogenuhličitanů mezi anionty 81 meq%.

Vzorky s převahou hydrogenuhličitanů byly odebrány také v prostoru chodeb L7 a L8 a na konci chodby L4a z vrtu geotechnické stanice (296HCR0038), mírná převaha hydrogenuhličitanů nad sírany byla zjištěna i u vzorku z vrtu BGS12-H (296HCR0005) a S-24 (296HCR0030). Na druhou stranu u většiny výtoků z vrtů a průsaků v chodbě L5, L6, L4a, L4b a PŠ1-123 převažuje složka síranů.

Celkový obsah rozpuštěných látek (TDS) je v rozmezí od 200 do 370 mg.l⁻¹. Nižší hodnoty do 280 mg.l⁻¹ mají průsaky v chodbách L7 a L8, výtok z vrtu BGS12-H (296HCR0005) a S-24 (296HCR0030), průsak 296HCR0025 v chodbě L6 a výše uvedené výtoky z vrtů S-26 a geotechnické stanice v chodbě L4a. Jedná se současně o průsaky/výtoky s nejvyšším podílem hydrogenuhličitanů, je tedy možné předpokládat, že tyto podzemní vody jsou nejméně ovlivněny prostředím dolu. Podzemní vody mají zásaditý charakter, pH je v rozmezí 8,4 až 9,3. Obsahy SiO₂ se u vzorkovaných bodů pohybovaly v rozmezí od 11 do 16 mg.l⁻¹.

V diagramu na Obr. 55 jsou zahrnuty také opakované odběry podzemní vody z bodů nezahrnutých do následného monitoringu. Opakované vzorkování se podařilo zrealizovat u průsaku 296HCR006 v chodbě L7, vzorky odebrané s tříměsíčním odstupem byly prakticky identické. Opakovaně byly také odebrány vzorky z vrtu BGS12-I (296HCR0008). První vzorek vody se od následujících lišil vyšším obsahem síranů, který se projevil nejvyšší zaznamenanou hodnotou TDS cca 370 mg.I⁻¹ v rámci PVPII. Ostatní obsahy hlavních iontů zůstaly po dobu vzorkování srovnatelné. Složení podzemní vody z přítoku 296HCR0009 se ve vzorcích odebraných v přibližně ročním intervalu také výraznou měrou nezměnilo, menší odchylky byly pouze u obsahů sodíku (pokles) a hydrogenuhličitanů (nárůst). Jedná se ale pravděpodobně o přirozenou variabilitu složení podzemních vod. U průsaku 296HCR0017 v chodbě L5 byly provedeny celkem 3 odběry vzorků, v Durovově diagramu se značky jednotlivých odběrů prakticky překrývají s výjimkou TDS, vzorek odebraný v březnu 2022 měl obsah rozpuštěných látek nižší přibližně o 25 mg.I⁻¹. Srovnatelné hodnoty obsahů hlavních iontů byly také u opakovaného odběru z vrtu S-24 (296HCR0030) a odběru z vrtu geotechnické stanice v chodbě L4a (296HCR0038).

Srovnání analýz vzorků podzemních vod odebíraných v chodbách L4a a L4b různým způsobem a různém časovém období

Chodba L4a

Z výtoku z předvrtu chodby L4a byl odebrán pracovníky DIAMO s. p. vzorek podzemní vody po odvrtání vrtu v roce 2018. V roce 2021 byl pracovníky DIAMO s. p. a SURAO monitorován tlak ve vrtu, který z počáteční hodnoty 0,4 bar (leden) klesl postupně na nulu v listopadu 2021. Vrt byl

na konci dubna 2022 otevřen. Vrt byl zcela suchý, bez výtoku. 30. 5. 2022 byl zaznamenán výtok z vrtu o vydatnosti 3,5 ml.s⁻¹ (č. v hydrogeologické dokumentaci 296HCR0030). Tato vydatnost byla poměrně stabilní až do počátku ražby chodby L4a v září 2022. Z výtoku z vrtu byly odebrány dva vzorky, a to v květnu a v září 2022. V průběhu ražby chodby L4a probíhala hydrogeologická dokumentace průsaků do chodby. Byly odebrány celkem 2 vzorky na metrážích 29 a 73 m. Na metráži 29 m (296HCR0032) se jednalo o rozptýlený průsak ve formě četných kapek v okolí zlomu. Na metráží 73 m (296HCR0038) byla odebrána voda vytékající z vrtu geotechnické stanice (L4a-72L).

Srovnání výsledků všech výše uvedených odběrů podzemních vod grafickou formou prezentuje Durovův diagram na Obr. 56. Z obrázku je zřejmé, že v poměrném zastoupení hlavních kationtů není mezi jednotlivými odběry žádný rozdíl. Mezi hlavními kationty zcela převažuje sodík. Obsahy sodíku se u odebraných vzorků pohybují od 65 do 100 mg·l⁻¹, zatímco obsahy ostatních kationtů se pohybují v jednotkách a desetinách mg·l⁻¹. Mezi anionty vzorků odebraných v poměrně krátkém intervalu po dovrtání vrtu S-24 a vrtu z geotechnické stanice převažují hydrogenuhličitany, jedná se o hydrochemický typ Na-HCO₃. U ostatních odběrů je poměrné zastoupení hydrogenuhličitanů a síranů obdobné, odpovídající smíšenému typu Na-HCO₃-SO₄ až Na-SO₄-HCO₃. Posun k většímu poměrnému zastoupení síranů je dán větší mírou okysličení horninového prostředí v okolí vrtu S-24 po 4 letech od odvrtání a v okolí poruchové zóny ve vyražené chodbě (296HCR0032). Poslední zmíněný vzorek se vyznačuje současně nejvyššími obsahy síranů 86 mg·l⁻¹oproti 50 až 60 mg·l⁻¹ u ostatních odběrů a nejvyššími obsahy sodíku 97 mg·l⁻¹ oproti 65 až 75 mg·l⁻¹ u ostatních odběrů. Mírně zvýšené obsahy byly u tohoto odběru zaznamenány i u dalších složek rozdíly jsou malé do 3 mg·l-1. Míra oxidace v okolí poruchové zóny otevřené ražbou je vysoká a dochází výraznému rozpouštění látek prosakující podzemní vodou.



Obr. 56 Durovův diagram odběrů podzemních vod v chodbě L4a.

Chodba L4b

Předvrt chodby L4a – vrt S-33 byl realizován v lednu 2021. Vzorek podzemní vody byl odebrán pracovníky DIAMO s.p. v průběhu vrtání při hloubce vrtu přibližně 42 m. Výtok z vrtu byl v době odběru dle vrtného deníku 0,55 l.min⁻¹ (9,1 ml.s⁻¹). Odběr byl realizován po dvoudenním přerušení vrtných prací. Od února 2021 do dubna 2022 byl manometrem na ústí vrtu měřen tlak, hodnoty se pohybovaly v rozmezí 9 až 11,6 barů. Po otevření vrtu se výtok ustálil na hodnotě přibližně 10 ml.s⁻¹. Vzorky z tohoto výtoku byly odebrány v květnu, září a prosinci 2022. V září 2022 proběhlo ve vrtu měření zařízením Posiva Flow Log (Komulainen et al. 2023), které zahrnoval i odběr vzorku z intervalu 30 až 31 m, který byl vymezen pakry. V průběhu hydrogeologické dokumentace při ražbě chodby L4b byly odebrány dva vzorky z průsaků do chodby na metrážích přibližně 10 a 25 m (296HCR0041 a 296HCR0044). V obou případech se jednalo o rozptýlené průsaky v okolí tektonických struktur ve formě kapek.

Srovnání výsledků všech výše uvedených odběrů podzemních vod grafickou formou prezentuje Durovův diagram na Obr. 57. V poměrném zastoupení hlavních kationtů není mezi jednotlivými odběry rozdíl. Mezi hlavními kationty zcela převažuje sodík. Obsahy sodíku se u odebraných vzorků pohybují od 82 do 100 mg.l⁻¹, zatímco obsahy ostatních kationtů se pohybují v jednotkách a desetinách mg.l⁻¹. Minimální rozdíly jsou také v poměrném zastoupení aniontů, jedná se o chemický typ Na-SO₄-HCO₃. Mezi odběry se pouze mírně odlišuje vzorek odebraný v průběhu vrtání vrtu S-33 s vyššími obsahy hydrogenuhličitanů – 140 mg.l⁻¹ oproti obsahům do 116 mg.l⁻¹ u ostatních odběrů a mírně zvýšenými obsahy sodíku. Vzhledem k odběru vzorku v průběhu vrtného procesu, je ale otázkou nakolik může být tato odlišnost způsobena zbytky výplachu v puklinové síti. U odběrů (s výjimkou zmíněného odběru v průběhu vrtání) byl zaznamenán postupný nárůst obsahu hydrogenuhličitanů s časem odběru od 74 mg.l⁻¹ v květnu 2022 po 116 v září 2023. Obsahy ostatních hlavních aniontů a kationtů jsou u všech výše uvedených odběrů podzemních vod srovnatelné, bez větších odchylek.



Obr. 57 Durovův diagram odběrů podzemních vod v chodbě L4b, P odběr realizovaný mezi pakry (realizace PFL Posiva, Finsko; Komulainen et al. 2023).

2.4.3 Chemické složení (stopové prvky, radioaktivita, organický uhlík)

U průsaků/přítoků s vydatností, která umožňovala odběr dostatečného množství vzorku pro laboratorní analýzy nad rámec ZDA, byly odebrány vzorky na stanovení stopových prvků, radioaktivity a celkového organického uhlíku (TOC). Výsledky stanovení shrnuje Tab. 6. Do tabulky byly zahrnuty odběry provedené mimo monitoring, tedy u monitorovaných bodů do května 2022. Hodnoty v tabulce jsou pro lepší přehlednost uváděny u stopových prvků v mikrogramech na litr. Primární data ve formě laboratorních protokolů (v miligramech na litr) byly předány na uložiště Sharepoint.

Obsahy jednotlivých stopových prvků i jejich rozptyl jsou zřejmé z Tab. 6. Například obsahy lithia a manganu jsou u většiny vzorků relativně srovnatelné, na druhou stranu obsahy hliníku mají rozptyl hodnot velmi vysoký. V tabulce jsou současně vyznačena stanovení pod limitem citlivosti příslušné laboratorní metody. U zinku byla pod limitem všechna stanovení, převaha podlimitních hodnot byla také u olova, niklu a chromu.

Obsahy uranu byly v nadlimitních hodnotách pouze ve čtyřech vzorcích, nejvyšší hodnota 19 μg/l byla zjištěna u odběru mezi pakry při karotáži vrtu S-33 (296HCR0027). Celková objemová aktivita beta byla nadlimitní pouze ve dvou případech, kdy byly změřeny hodnoty 0,1 a 0,19 Bq.l⁻¹. Obsah radonu byl stanovován pouze u poměrně vydatných výtoků z vrtů, kde je možné odebrat v krátkém časovém intervalu vzorky přímo z ústí vrtu a nedojde k částečnému úniku radonu z vody při odběru. Hodnoty z několika stanovení byly v rozsahu 23 až 43 Bq.l⁻¹. Uvedené výsledky ukazují, že radioaktivita podzemních vod v prostoru PVP Bukov II je nízká.

vzorek	jednotka	296HCR0006 03.03.2022	296HCR0007 30.05.2022	296HCR0008 30.05.2022	296HCR0009 03.03.2022	296HCR0011 03.03.2022	296HCR0017 03.03.2022	296HCR0025 03.03.2022	296HCR0025 03.03.2022	296HCR0027 30.05.2022	296HCR0027 MP 19.09.2022	296HCR0030 30.05.2022	296HCR0038 13,06.2023	296HCR0039 13.06.2023
Lithium	μg/l	2,65	7,97	6,68	8,13	2,72	4,77	2,67	2,67	5,58	5,12	2,71	2,7	1,8
Mangan	μ g /l	0,76	2,08	2,66	4,13	3,3	2,82	4,63	4,63	1,63	5,18	0,58	1,4	<0,50
Železo	μ g /l	56	35,1	116	83,4	213	39,12	292	292	47,2	103	<10	27,3	4
Arsen	μg/l	0,97	5,38	2,97	6,46	16,2	6,8	32,1	32,1	3,08	2,2	0,78	<5	<5
Baryum	μg/l	<0,5	55,3	19,4	23,6	<0,5	7,9	<0,5	<0,5	10,3	<0,5	<0,5	<0,5	1,56
Hliník	μg/l	30,7	26,3	52,3	23,8	132	28,7	164	164	24,2	69	9,12	17,5	18,5
Chrom	μg/l	<0,5	<0,5	<0,5	0,51	1,03	<0,5	0,77	0,77	0,6	<0,5	<0,5	<1	<1
Olovo	μg/l	0,62	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,52	0,52	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5
Měď	μg/l	0,86	0,73	0,69	<0,5	0,67	0,91	0,78	0,78	<0,5	1,25	<0,5	<1	<1
Molybden	μg/l	1,2	1,97	1,79	2,26	1,84	1,89	1,58	1,58	1,81	4,84	1,26	<2	<2
Nikl	μg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,57	0,57	<0,5	0,61	0,64	<2	<2
Stroncium	μg/l	29,2	133	82,7	193	38,7	49,4	27,5	27,5	61,9	73,2	33,9	34	22,8
Uran	μg/l	<1	<1	<1	<1	<1	2,6	<1	<1	<1	19	<1	2	2
Zinek	μg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2

Tab. 6 Obsahy stopových prvků, radioaktivita a TOC u vzorků odebraných v PVP II, oranžovou barvou jsou vyznačeny obsahy prvků pod limitem příslušné laboratorní metody.

тос	mg/l	1,47	0,98	1,06	1,35	0,96	1,6	1,3	1,3	0,94	2,08	0,63	0,52
Celková													
aktivita beta	Bq/l	<0,10	<0,10	0,19	0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Radium (Ra 226)	Ba/l	0.1	< 0.05	0.06	0.11	0.07	<0.05	0.06	0.06	<0.05	< 0.05	< 0.03	< 0.03
Radon (Rn	- <u></u>	0,1	10,00	0,00	0,11	0,01	10,00	0,00	0,00				.0,00
Radon (Rn 222)	Bq/l									42,2	28,8	28.2	23

Srovnání výsledků dokumentace chodeb s výsledky měření Posiva Flow Log

V předvrtech chodeb L4a (vrt S-24) a L4b (vrt S-33) proběhlo karotážní měření metodou Flow Log (realizace Posiva, Finsko; Komulainen et al. 2023). Toto měření identifikovalo řadu přítoků do předvrtů chodeb.

V průběhu ražby chodeb L4a a L4b byla následně zdokumentována všechna místa průsaků/přítoků podzemní vody do chodeb. Srovnání in situ dokumentace a měření metodou Flow Log bylo provedeno grafickou formou pro úseky chodeb se záznamem propustných pukliny (přítoky/ztráty vody). Příklad srovnání je uveden na Obr. 58, kompletní srovnání obsahuje Elektronická příloha 5, kde je také uvedena legenda k obrázkům. Rozsah dokumentovaných přítoků v chodbách je znázorněn béžovými obdélníky, tloušťka jejich ohraničení odpovídá intenzitě přítoku. Zelené pruhy označují místa s nejvyšší intenzitou přítoků, kde bylo možné odebrat vzorek podzemní vody.

Z Obr. 58 i ostatních obrázků v Elektronická příloha 5 je zřejmé, že při prosté korelaci metráží chodby a vrtu se výsledky obou měření odlišují. To může být způsobeno směrem předvrtu, který neprocházel přesně středem chodby, úklonem zastižených struktur, rozvolněním puklinové sítě vlivem ražby (změnou napětí masivu) a vlivem obtékání pryžových disků puklinami, případně otevřenými foliačními plochami.

V průběhu roku 2024 budou přítoky dokumentované oběma metodami korelovány s pomocí 3D geologického modelu a výsledky budou shrnuty v závěrečné zprávě projektu.



Obr. 58 Příklad srovnání karotážního záznamu Posiva Flow Log s místy dokumentovaných průsaků do chodby po jejím vyražení.

Změny rozsahu dokumentovaných průsaků v čase

Ražbou chodeb dochází k rozvolňování a otevírání foliačních ploch, které postupně vytvářejí vodivou síť v okolí výrubu. Podzemní voda drénovaná chodbou často opouští původní vodivé

struktury (zlom, puklina) a prosakuje po otevřených foliacích (viz Obr. 59 a Obr. 60). Průsaky mění v průběhu času svou pozici i rozsah v rámci chodby. Při primární dokumentaci je v některých případech vazba na konkrétní strukturu patrná a při revizní dokumentaci už dominuje vlhkost na foliačních plochách. Řada původně izolovaných průsaků s postupem času vytváří prakticky souvislou zóny a jeden průsak přechází do druhého, jak je opakovaně popsáno výše. Naopak jiné průsak v místech původní drenáže zcela vyschly a přítok se již neobnovil nebo se objevil na jiném místě. To je příklad průsaky 296HCR0001 s poměrně dobře znatelným zvodněním na levé stěně v roce 2021 (Obr. 61). V lednu 2024 byla ve stejném místě levá stěna zcela suchá (Obr. 62) a mokrá skvrna se objevila na stejné metráži na pravé stěně.





Obr. 59 Průsak 296HCR0011 dne 8.6.2021.

Obr. 60 Průsak 296HCR0011 dne 3.2.2022.



Obr. 61: Průsak 296HCR0001 dne 18.10.2021.

Obr. 62 Průsak 296HCR0001 dne 9.1.2024.

Shrnutí dosavadních poznatků

Míra zvodnění podzemí v prostoru PVP Bukov II je ve srovnání s PVP Bukov I velmi nízká. V nově ražených chodbách se nevyskytují žádné vydatné přítoky podzemních vod. Přítoky s vydatností

v řádu 0,01 I.s⁻¹ a větší (poměrně běžné v PVP Bukov I) se zde nevyskytují. Naprostá většina průsaků do chodeb má charakter vlhnutí stěn s občasnými úkapy bez výrazné vazby na konkrétní strukturní prvky. Aktuálně nejvyšší měřitelné vydatnosti monitorovaných přítoků se pohybují v rozsahu od 0,001 do 0,004 I.s⁻¹. Je možné rámcově odhadnout, že u plošných průsaků většího rozsahu, kde dochází k rozptýleným úkapům na více místech, bude celková vydatnost takového úseku v také v řádu tisícin I.s⁻¹. Opakovaně měřené výtoky z pilotních vrtů chodeb v PVP Bukov II a u vrtů z projektu "Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná" se pohybovaly u většiny vrtů do 0,003 I.s⁻¹, což opět svědčí o nízké míře zvodnění a propustnosti prostředí. Výtok z vrtu S-33 byl v době před ražbou chodby L4a cca 0,01 I.s⁻¹.

Vazba řady dokumentovaných průsaků na konkrétní struktury není jasná, převažují průsaky v okolí foliačních ploch s převládajícím směrem sklonu 240° až 270° a sklonem 40° až 60°. Z výraznějších zvodnělých struktur byly zaznamenány subvertikální zlomy a pukliny běžící zhruba napříč chodbami s převládajícím směrem zapadání 250° až 310° a sklonem 70° až 90°. Méně výrazné a s menší četností výskytu jsou slabě zvodněné zlomy se směrem sklonu 110° až 160° a sklonem 60° až 90°. U slabě zvodnělých puklin se dále objevuje orientace cca 330–340/65–90.

Vydatnosti slabý průsaků do chodeb v PVP Bukov II byly v průběhu let silně ovlivněny technickými pracemi v chodbách (vrtání, ražba komor), kdy docházelo k intenzivnímu pohybu vzduchu a ke změnám jeho teploty. I u vydatnějších přítoků (např. 296HCR0011) vlivem technických prací došlo k výraznému poklesu vydatnosti. Po ukončení technických prací došlo k opětovnému zvýšení vydatností. Je možné předpokládat, že tato situace se bude opakovat.

PVP Bukov II se v rámci dolu Rožná nachází v zóně výskytu podzemních vod s převahou sodíku. Vzájemný podíl síranů a hydrogenuhličitanů postihuje míru ovlivnění primárních podzemních vod odpovídající hloubkové úrovně (typ Na-HCO₃) a jejich posun k silně ovlivněným důlním vodám (typ Na-SO₄). V jižní části PVP, v prostoru chodeb L7 a L8, je ovlivnění podzemních vod oxidačním prostředím dolu nižší, o čemž kromě převahy hydrogenuhličitanů svědčí i nižší obsahy rozpuštěných látek ve vodě. Mezi méně ovlivněné přítoky dále patří výtok z vrtu S-24 (296 HCR0030), výtok z vrtu geotechnické stanice v chodbě L4a a částečně také monitorovaný průsak 296HCR0025 v chodbě L6.

Ovlivnění podzemních vod v prostoru hlavní chodby a chodby L5 a L4b, je vyšší, což je dáno delší dobou od realizace vrtů pro projekt "Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná", desítky let trvající oxidací horninového v okolí hlavní chodby PŠ1-123 a pravděpodobným propojením průsaků vzorkovaných v chodbě L5 a L4b s hlavní chodbou. Celkový obsah rozpuštěných látek je ale ve srovnání s vyhraněnými důlními vodami typu Na-SO₄ nízký, u těchto vod byly zaznamenány průměrné hodnoty TDS 755 mg.l⁻¹ s maximem 2020 mg.l⁻¹ (Bukovská et al. 2017).

Z hydrochemického hlediska se vody z PVP Bukov I a PVP Bukov II liší. U neovlivněných podzemních vod v PVP Bukov I dominoval typ Ca-HCO₃ a vlivem oxidačního prostředí docházelo u některých přítoků k posunu směrem k hydrochemickému typu Ca-SO₄.

2.4.4 Hydrogeologický monitoring

V rámci hydrogeologického mapování byly vybrány celkem čtyři přítoky, které byly doporučeny ke sledování. Jedná se přítoky z poruchových zón v chodbách L6 ve staničení 60 m

(296HCR0025) a L8 ve staničení 57 m (296HCR0011) a přítoky z vrtů BGS12-VU (296HCR0007) a S-33 (296HCR0027). Hydrogeologický monitoring v prostoru PVP Bukov II byl zahájen v první polovině roku 2022 měřením přítoků z poruchových zón v chodbách L6 a L8. První odběry vzorků z těchto přítoků byly realizovány 5.9.2022 společně s pracovníky ČGS a tak navázaly na jejich pravidelné vzorkování realizované v rámci hydrogeologického mapování. Z důvodu ražby chodby L4b byl v květnu 2023 vrt S-33 zrušen a tím bod 296HCR0027 zanikl. V listopadu 2023 byl naopak do monitoringu přidán vrt L4a-72L (296HCR0038).

2.4.4.1 Monitoring přítoků

Monitoring byl realizován na všech pěti výše zmíněných přítocích. Přítoky z poruchových zón byly osazeny lapači, které soustřeďují úkapy z poruchových zón do jednoho místa a umožňují tak měření a odběr vzorků. Měření průtoku bylo realizováno pomocí stopek a odměrné nádoby třídy přesnosti A. Vrty BGS12-VU a S-33 byly z důvodu kontinuálního měření osazeny průtokoměry GHM-Honsberg Omni-Fin s datalogerrem Comet System S7021 (Obr. 63).

Výsledky měření jsou zachyceny v následujících grafech (Obr. 64, Obr. 65, Obr. 66, Obr. 67, Obr. 68). Z grafů je patrné, že v L6 se přítok pohyboval mezi 0,3 a 1,2 ml.s⁻¹, v L8 mezi 0,1 a 1,6 ml.s⁻¹, v L4a-72L mezi 3,4 a 5,2 ml.s⁻¹, v BGS12-VU mezi 1,4 a 4,0 ml.s⁻¹ a v S-33 mezi 1,8 a 20,0 ml.s⁻¹. Ve vrtu S-33, což byl předvrt chodby L4b, byl patrný vliv ražby souběžné chodby L4a, který se projevoval poklesem průtoku vrtu. 1 Ve vrtu BGS12-VU byl mezi 16.5.2023 a 26.9.2023 z důvodu ražby L4b průtokoměr demontován a průtok byl měřen manuálně. Rozkyv hodnoty průtoku ve vrtu BGS12-VU je způsoben vzduchem přítomným ve vodě, který v hadicích uvolňuje bubliny.



Obr. 63 Průtokoměry GHM-Honsberg Omni-Fin



Obr. 64 Průtok v L6 60 m (296HCR0025)



Obr. 65 Průtok v L8 57 m (296HCR0011)



Obr. 66 Průtok v L4a-72L (296HCR0038)



Obr. 67 Průtok v BGS12-VU (296HCR0007)



Obr. 68 Průtok v S-33 (296HCR0027)

2.4.4.2 Laboratorní analýzy vod

Odběry vod byly realizovány pravidelně po čtvrt roce. Během odběrů byly měřeny fyzikálněchemické vlastností vod pomocí digitálních multimetrů WTW 340i a HQ-40d Hach-Lange. Do dubna 2023 byly analýzy prováděny v akreditované laboratoři AQUATEST, poté v akreditované laboratoři ALS Czech Republic, s. r. o. V rámci monitoringu probíhala komplexní chemická analýza, která se skládá ze základní dokumentační analýzy, stanovení stopových prvků a forem uhlíku. Stanovení radioaktivních látek probíhalo jednou ročně. Výsledky stanovení hlavních iontů a fyzikálně-chemických vlastností jsou shrnuty v následujících grafech (Obr. 69, Obr. 70, Obr. 71, Obr. 72, Obr. 73, Obr. 74, Obr. 75, Obr. 76, Obr. 77, Obr. 78, Obr. 79, Obr. 80, Obr. 81, Obr. 82, Obr. 83, Obr. 84). Z grafů je patrné, že všechny čtyři monitorované přítoky mají podobné vlastnosti a trend vývoje parametrů v čase. Nejmarkantnější je průběžný pokles pH a nárůst hydrogenuhličitanů. Odběr v chodbě L6 7.12.2023 nebyl realizován z důvodů hornických prací na místě. Výsledky stopových prvků, Fe²⁺ a radioaktivních látek jsou uvedeny v protokolech laboratorních zkoušek, které jsou obsahem Elektronická příloha 6. Chemické složení odebraných vzorků vod a jeho vývoj v čase obsahem Elektronická příloha 7.



Obr. 69 Obsah sodíku



Obr. 70 Obsah draslíku



Obr. 71 Obsah hořčíku



Obr. 72 Obsah vápníku


Obr. 73 Obsah železa



Obr. 74 Obsah manganu



Obr. 75 Obsah lithia



Obr. 76 Obsah chloridů



Obr. 77 Obsah fluoridů



Obr. 78 Obsah hydrogenuhličitanů



Obr. 79 Obsah síranů



Obr. 80 Obsah oxidů křemičitého



Obr. 81 Vodíkový exponent



Obr. 82 Elektrická vodivost



Obr. 83 Chemická spotřeba kyslíku



Obr. 84 Celkový organický uhlík

2.4.5 Studium původu a stáří vod

Za účelem studia původu a stáří vod byly v květnu a červnu 2023 odebrány vzorky podzemní vody dohromady ze 4 objektů situovaných v hlavní chodbě PŠ1-123, v chodbě L4a a v chodbě spojující PVP1 a PVP2. Jsou jimi vrt 296HCR0007 (BGS12VD; dovrchní vrt na staničení 928,8 chodby PŠ1-123), vrt 296HCR0027 (S-33; 75,5 m dlouhý horizontální vrt na staničení 918 chodby PŠ1-123), vrt 296HCR0038 (L4a-72L; 15 m dlouhý vrt v geotechnické stanici) a vrt 296HCR0039 (S-26; 121,8 m dlouhý horizontální vrt na staničení 128,8 chodby BZ-XIIS;). Vrty 296HCR0027 a 296HCR0030 v současnosti již neexistují, jednalo se o předvrty pro již vyražené chodby. V chodbě L8 v roce 2023 probíhaly razicí práce a nebylo možné provést zhodnocení a odběr vzorku z vrtu L8-54DL.

Z objektů 296HCR0007, 296HCR0027, 296HCR0038 a 296HCR0039 byly odebrány vzorky podzemní vody na analýzu izotopických poměrů stabilních izotopů kyslíku (δ^{18} O), vodíku (δ^{2} H), uhlíku (δ^{13} C) a síry (δ^{34} S). Vzorky byly pro analýzu zadány do laboratoří ČGS Praha. Analýzy stabilních izotopů kyslíku a vodíku byly provedeny na přístroji LWIA (Liquid Water Isotope Analyser 3000, LGR Inc.). Analýzy stabilních izotopů uhlíku (δ^{13} C a δ^{34} S) byly měřeny na spektometrech Delta V Advantage a Finnigan Mat 251. U analýzy δ^{13} C vzorku z objektu 296HCR0007 byla zjištěna nekonzistence v porovnání s doprovodnou analýzou δ^{13} C pro stanovení stáří metodou AMS (viz. níže). Pravděpodobně došlo k ovlivnění odebraného vzorku. Z porovnání analýz δ^{34} S z roku 2022 a 2023 u objektů 296HCR0007 a 296HCR0027 je zřejmé, že hodnota δ^{34} S výrazně vzrostla. Je možné, že je to důsledkem redoxních procesů (s vlivem mikrobiálního osídlení) v těchto vrtech; pro zhodnocení je nicméně třeba provést opakovaný odběr (na objektu 296HCR0007; objekt 296HCR0027 již zanikl) a srovnání s výsledky dokumentace a monitoringu chemického složení. Výsledky analýz jsou uvedeny v Tab. 7.

0 0 , 0 0 0	022 (<i>Nai2ivou</i>),	nenonzioten	un unuiyzu,		
	δ ² Η	δ ¹⁸ Ο (‰	Deut.	δ ¹³ C ‰ vs. V-PDB	δ ³⁴ S (‰ vs CDT)
	(‰VSIVIOVV)	VSIVIOVV)	excess	±0,2	±0,15‰
296HCR0007 (24.8.2022)	-75,3	-10,6	9,7	-7,1*	-3,1
296HCR0027 (24.8.2022)	-75	-10,7	10,3	-16	-2,1
296HCR0030 (24.8.2022)	-77,7	-11	10,6	-14,1	-1,8
296HCR0007 (11.5.2023)	-75	-10,6	10,2	-16,7	-0,2
296HCR0027 (4.5.2023)	-75,5	-10,8	10,9	-16,6	-0,9
296HCR0038 (13.6.2023)	-77,8	-11,1	11,2	-13,9	-0,9
296HCR0039 (12 6 2023)	-77,5	-11,1	11,4	-16,5	2,6

Tab. 7 Výsledky stanovení poměrů stabilních izotopů vodíku (δ^{2} H), kyslíku (δ^{18} O), uhlíku (δ^{13} C) a síry (δ^{34} S), včetně měření z roku 2022 (kurzivou); *nekonzistentní analýza, zřejmě došlo k ovlivnění vzorku.

Z objektů 296HCR0038 a 296HCR0039 byly rovněž odebrány vzorky podzemní vody na analýzu obsahů tritia (³H) a radiouhlíku (¹⁴C). Vzorky pro analýzu tritia byly po nabohacení analyzovány na kapalinovém scintilačním spektrometru na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Vzorky pro analýzu radiouhlíku byly zpracovány v Poznaňské Radiokarbonové Laboratoři (Polsko) metodou AMS hmotnostní spektrometrie. Výsledky datování ¹⁴C a analýz tritia jsou uvedeny v Tab. 8. Předběžné výsledky ukazují negativní korelaci mezi modelovým stářím radiouhlíku ¹⁴C a obsahem tritia (Obr. 85), což naznačuje míchání velmi starých vod (> 10 000 let) a mladých, pravděpodobně důlních vod (srážky infiltrované nejpozději v 50 či 60. letech 20. století). V rámci těchto tří vrtů, které se nachází nedaleko od sebe, je zjevná vysoká variabilita v míře antropogenního ovlivnění důlními vodami.

Tab. 8 Výsledky datování ¹⁴C a analýz tritia (³H), včetně měření z roku 2022 (kurzivou). TU = Tritium Unit = 1 atom ³H na 10¹⁸ atomů vodíku. *hodnota δ^{13} C se liší od hodnoty změřené v laboratořích ČGS, pravděpodobně došlo k ovlivnění odebraného vzorku zaslaného do laboratoře ČGS.

	Stáří ¹⁴ C (rok)	δ ¹³ C (‰)	TU
296HCR0007 (24.8.2022)	5310 ± 40	-17.5 ± 0,2*	2.6 ± 0,5
296HCR0027 (24.8.2022)	6520 ± 40	-17.2 ± 0,2	2.3 ± 0,5
296HCR0030 (24.8.2022)	10280 ± 60	-14.9 ± 0,2	1 ± 0,5
296HCR0038 (13.6.2023)	12480 ± 70	-15,2 ± 0,2	ve zpracování
296HCR0039 (12.6.2023)	19340 ± 130	-16,7 ± 0,2	0,4 ± 0,3



Obr. 85 Negativní korelace mezi stářím (¹⁴C) a obsahem tritia (³H). TU = Tritium Unit = 1 atom ³H na 10¹⁸ atomů vodíku.

Z vrtů 296HCR0038 a 296HCR0039 byly odebrány vzorky podzemní vody pro analýzu freonů CFC-11, CFC-12, CFC-113 a SF₆. Měření freonů a SF6 prováděl H. Oster v Spurenstofflabor (Německo) metodou plynové chromatografie (GC-ECD). Výsledky jsou uvedeny v Tab. 9.

	CFC-12 (pmol·l ⁻¹)	CFC-11 (pmol·l ⁻¹)	CFC-113 (pmol·l ⁻¹)	SF ₆ (fmol·l ⁻¹)
296HCR0038	0,35 ± 0,05	0,1 ± 0,05	< 0,01	2,0 ± 0,3
296HCR0039	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Tab. 9 Výsledky analýz obsahu freonů a SF₆.

Nejstarší vzorkovaná voda o stáří takřka 20 tisíc let (podle ¹⁴C) byla zachycena ve vrtu 296HCR0039. U této vody nebyla zjištěna kontaminace freony a SF₆ a obsah tritia (³H) je na hranici detekce. Objekt (vrt S-26) se nachází mimo PVP II na chodbě spojující PVP I a PVP II. Jedná se o vrt s velkou vydatností a tato voda z hlediska analýz nejeví známky kontaminace. Důkladnější interpretace výsledků datování a původu vod bude provedena, až budou k dispozici kompletní analýzy.

2.4.6 Vodní Tlakové Zkoušky

Výsledky vodních tlakových zkoušek realizovaných v roce 2023

Vodní tlakové zkoušky (VTZ) charakterizovaly hydraulické parametry porušené horniny v blízkosti chodem L4, L5 a L8 i hydraulické parametry potenciálně neporušené horniny masivu. V roce 2023 byly provedeny vodní tlakové zkoušky na vrtech S-33 (horizontální; délka 75,5 m), L4-73D (vertikální; délka 50,5 m) a L8-54DL (ukloněný pod úhlem 44°; délka 30,3 m).

VTZ byly provedeny ve dnech 2.5.2023 až 13.5.2023. Bylo změřeno 5 intervalů o celkové délce cca 136 m.

Kvůli nízkým očekávaným propustnostem horninového prostředí (u vrtů L4-73D a L8-54DL) byla měření VTZ prováděna s použitím jednoho pakru, přičemž voda byla vždy injektována do prostoru mezi pakrem a dnem vrtu. Pokud se jednalo o vrt, u něhož měly být změřeny hydraulické parametry v několika intervalech, byla nejprve změřena hydraulická propustnost v celém vrtu (pakr byl umístěn ve vrtu blízko ústí a izoloval tak celou délku vrtu), a následně byl pakr zasunut hlouběji do vrtu na danou pozici a byla změřena hydraulická propustnost v kratším úseku vrtu. Na základě výsledků akustické karotáže byly zvoleny pozice pakrů tak, aby nedocházelo k jejich obtékání. U vrtu S-33 byl zjištěn relativně vysoký pozaďový tlak, a tak díky jeho přirozenému přetoku byl místo provádění injektáže měřen odtok při nulovém tlaku a následně byl vrt uzavřen a měřen pozaďový tlak. Takový postup je u vrtu s přetokem ekvivalentní VTZ prováděných injektážně.

K měření byla použita metoda s konstantním tlakem. U této metody byla jako zdroj injektované vody využita expanzní nádoba naplněná vodou při známém tlaku. Hmotnost expanzní nádoby byla pravidelně měřena pro zjištění průtoku vody vtláčené do měřeného intervalu, nebo v případě, že byl v expanzní nádobě nižší tlak než v měřeném intervalu, pro zjištění průtoku vody proudící z měřeného intervalu. Zároveň byl monitorován tlak vody v expanzní nádobě. Konstrukce expanzní nádoby umožňuje vtlačování vody, která je provázena v určitém rozsahu průtoků zanedbatelným poklesem tlaku vody během měření, a je tedy vhodná pro dlouhá měření v prostředí s minimální hydraulickou propustností. Alternativně byla metoda s konstantním tlakem upravena pro vrt S-33 takovým způsobem, že nebyla prováděna injektáž vody, ale byl měřen její odtok z měřených intervalů.

Výsledky měření

Pro zjištění hydraulických parametrů horninového prostředí byla využita metoda dle Moye (1967). Při této metodě vstupují do vzorce kromě průměru vrtu a délky testovaného intervalu především ustálená hodnota průtoku Q a tlakový gradient vodní tlakové zkoušky ΔP . ΔP je stanoven jako rozdíl přirozeného hydrostatického tlaku v horninovém prostředí a ustálené tlakové úrovně při injektáži během VTZ.

S-33 (15–75,5 m)

Měření v intervalu 15–75,5 m v horizontálním vrtu S-33 bylo provedeno ve dnech 2.5.2023 až 3.5.2023. Pro měření byla využita metoda s konstantním tlakem (0 bar) při otevřeném vrtu. Ustálený odtok z intervalu byl 83,3 ml·min⁻¹ (Obr. 86). Přirozený hydrostatický tlak v horninovém prostředí v daném úseku vrtu byl okolo 10,42 bar (Obr. 87; výtlačná výška 106,2 m).



Obr. 86 Měření přirozeného odtok z intervalu 15–75,5 m vrtu S-33.



Obr. 87 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v intervalu 15–75,5 m vrtu S-33.

S-33 (2–75,5 m)

Měření v intervalu 2–75,5 m horizontálního vrtu S-33 bylo provedeno ve dnech 4.5.2023 až 5.5.2023. Pro měření byla využita metoda s konstantním tlakem (0 bar) při otevřeném vrtu. Ustálený odtok z intervalu byl 248,5 ml·min⁻¹ (Obr. 88). Přirozený hydrostatický tlak v měřeném úseku vrtu dosahoval 7,83 bar (Obr. 89; výtlačná výška 79,8 m).



Obr. 88 Měření přirozeného odtok z intervalu 2-75,5 m vrtu S-33.



Přirozený hydrostatický tlak v intervalu 15-75,5 m ve vrtu S-33

Obr. 89 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v intervalu 2–75,5 m vrtu S-33.

L8-54DL (20-30,3 m)

Měření v intervalu 20-30,3 m ukloněného vrtu L8-54DL bylo provedeno ve dnech 10.5.2023 až 12.5.2023. Pro měření tohoto intervalu vrtu byla využita injektáž pomocí expanzní nádoby. Konstantní injektážní tlak v nádobě byl nastaven na 1,39 bar. Průtok se po uplynutí 24 hodin ustálil na hodnotě 92 ml·h⁻¹. V důsledku vyššího hydrostatického tlaku v horninovém prostředí než nastaveného injektážního tlaku v expanzní nádobě proudila injektovaná voda směrem do nádoby, což ale nebránilo vyhodnocení VTZ zkoušky. Přirozený hydrostatický tlak testovaného úseku dosahoval úrovně okolo 2,56 bar (Obr. 90; výtlačná výška 26,1 m).



Přirozený hydrostatický tlak v intervalu 20-30,3 m v L8-54DL

Obr. 90 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v intervalu 20–30,3 m v L8-54DL.

L4-73D (2-50,5 m)

Měření v intervalu 2-50,5 m svislého vrtu L4-73D bylo provedeno ve dnech 4.5.2023 až 9.5.2023. Pro měření tohoto intervalu byla využita injektáž pomocí expanzní nádoby. Konstantní injektážní tlak v expanzní nádobě byl nastaven na 1,636 bar. Průtok se po uplynutí 97 hodin ustálil na hodnotě 40 ml·h⁻¹ (Obr. 91). V důsledku vyššího hydrostatického tlaku v horninovém prostředí než nastaveného injektážního tlaku v expanzní nádobě proudila injektovaná voda směrem do nádoby, což ale nebránilo vyhodnocení VTZ zkoušky. Přirozený hydrostatický tlak se po uplynutí 19 hodin takřka ustálil na 1,07 bar (Obr. 92, výtlačná výška 10,9 m)



VTZ v intervalu 2-50,5 m v L4-73D, průtok při P = 1,636 bar

Obr. 91 Měření injektovaného průtoku při VTZ v intervalu 2–50,5 m v L4-73D.



Přirozený hydrostatický tlak v intervalu 2-50,5 m v L4-73D

Obr. 92 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v intervalu 2–50,5 m v L4-73D.

L4-73D (17-50,5 m)

Měření v intervalu 17,0-50,5 m svislého vrtu L4-73D bylo provedeno ve dnech 9.5.2022 až 10.5.2022. Pro měření tohoto intervalu byla využita injektáž pomocí expanzní nádoby. Konstantní injektážní tlak v expanzní nádobě byl nastaven na 2,636 bar. Průtok se po uplynutí 18 hodin ustálil na hodnotě 28 ml·h⁻¹ (Obr. 93). V důsledku vyššího hydrostatického tlaku v horninovém prostředí než nastaveného injektážního tlaku v expanzní nádobě proudila injektovaná voda směrem do nádoby, což ale nebránilo vyhodnocení VTZ zkoušky. Přirozený hydrostatický tlak se po uplynutí 2,5 hodin ustálil na 1,98 bar (Obr. 94, výtlačná výška 20,2 m)



VTZ v intervalu 17-50,5 m v L4-73D, průtok při P = 2,636 bar

Obr. 93 Měření injektovaného průtoku při VTZ v intervalu 17–50,5 m v L4-73D.



Přirozený hydrostatický tlak v intervalu 17-50,5 m v L4-73D

Obr. 94 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v intervalu 17–50,5 m v L4-73D.

L4-73D (33–50,5 m)

Měření v intervalu 33–50,5 m svislého vrtu L4-73D bylo provedeno ve dnech 11.5.2023 až 13.5.2023. Pro měření tohoto intervalu byla využita injektáž pomocí expanzní nádoby. Konstantní injektážní tlak v expanzní nádobě byl nastaven na 0,484 bar. Průtok se po uplynutí 15 hodin pohyboval kolem hodnoty 5 ml·h⁻¹ (Obr. 95). V důsledku vyššího hydrostatického tlaku horninovém prostředí, než nastaveného injektážního tlaku v expanzní nádobě proudila injektovaná voda směrem do nádoby, což ale nebránilo vyhodnocení VTZ zkoušky. Přirozený hydrostatický tlak se po uplynutí 24 hodin ustálil na 2,63 bar (Obr. 96, výtlačná výška 26,8 m)



VTZ v intervalu 33-50,5 m v L4-73D, průtok při P = 0,484 bar

Obr. 95 Měření injektovaného průtoku při VTZ v intervalu 33–50,5 m v L4-73D.



Obr. 96 Měření přirozeného hydrostatického tlaku v interavalu 33-50,5 m v L4-73D.

Vyhodnocení měření

Transmisivita T byla vyhodnocena metodou dle Moye (1967) pomocí rovnice

$$T = \frac{Q}{\Delta P} * \frac{1 + \ln(L/d)}{2\pi} \tag{1}$$

, kde Q je ustálený průtok injektovaného média do testovaného intervalu vrtu nebo proudící z testovaného intervalu během VTZ, ΔP je rozdíl zvýšené ustálené tlakové úrovně během VTZ a přirozené hydrostatické úrovně tlaku v testovaném intervalu, *L* je délka měřeného intervalu a *d* je průměr vrtu.

Hydraulická transmisivita je aditivní veličina a lze tedy rozpočítat transmisivitu celého vrtu mezi jednotlivé intervaly dle vzorce

$$T_{celk} = T_1 + T_2 + \dots + T_i \tag{2}$$

Transmisivity (a tedy hydraulické konduktivity) jednotlivých intervalů lze tedy dopočítat dle

$$T_1 = T_{celk} - (T_2 + \cdots T_i) \tag{3}$$

Hydraulická konduktivita K byla vypočtena z transmisivity pro každý interval dle

$$K = T/L \tag{4}$$

V Tab. 10 jsou uvedeny měřené i odvozené transmisivity a hydraulické konduktivity intervalů ve vrtech S-33, L4-73D.

Interval	T (m ² ·s ⁻¹)	K (m·s⁻¹)	Pozn.
S-33 (2–75,5)	6,5·10 ⁻⁸	8,8·10 ⁻¹⁰	měřený
S-33 (15–75,5)	1,6·10 ⁻⁸	2,6·10 ⁻¹⁰	měřený
S-33 (2–15)	4,9·10 ⁻⁸	3,8·10 ⁻⁹	odvozený; T ₂₋₁₅ = T _{2-75,5} - T _{15-75,5}
L4-73D (2–50,5)	2,3·10 ⁻⁹	4,7·10 ⁻¹¹	měřený
L4-73D (17–50,5)	1,3·10 ⁻⁹	3,9·10 ⁻¹¹	měřený
L4-73D (33–50,5)	6,5·10 ⁻¹¹	3,7·10 ⁻¹²	měřený
L4-73D (2–17)	9,7·10 ⁻¹⁰	6,5·10 ⁻¹¹	odvozený; T ₂₋₁₇ = T _{2-50,5} - T _{17-50,5}
L4-73D (17–33)	1,2·10 ⁻⁹	7,8·10 ⁻¹¹	odvozený; T ₁₇₋₃₃ = T _{17-50,5} - T _{33-50,5}

Tab. 10 Transmisivity a hydraulické konduktivity v jednotlivých úsecích vrtů S-33 a L4-73D. Tučně jsou vyznačeny základní intervaly vrtů. Kurzívou jsou vyznačeny složené intervaly.

Díky změření posledního intervalu vrtu L8-54DL (20-30,3 m) bylo možné dopočítat hydraulické parametry intervalu 11-20 m (Tab. 11).

Tab. 11 Transmisivity a hydraulické konduktivity v jednotlivých úsecích vrtu L8-54DL. Tučně jsou vyznačeny základní intervaly vrtu. Kurzívou jsou vyznačeny složené intervaly.

L8-54DL (1–30,3)	9,6 [.] 10 ⁻⁹	3,3·10 ⁻¹⁰	měřený
L8-54DL (11–20)	4.6·10 ⁻⁹	5.1·10 ⁻¹⁰	odvozený; T ₁₁₋₂₀ = T _{11-30,3} - T _{20-30,3}
L8-54DL (1–11)	3,0·10 ⁻⁹	3,0·10 ⁻¹⁰	odvozený; T ₁₋₁₁ = T _{1-30,3} – T _{11-30,3}
L8-54DL (11–30,3)	6,6·10 ⁻⁹	3,4·10 ⁻¹⁰	měřený
L8-54DL (20–30,3)	2,0·10 ⁻⁹	2,0·10 ⁻¹⁰	měřený

2.5 Transportní vlastnosti

V roce 2023 bylo za účelem stanovení transportních vlastností vybráno šest vzorků vrtných jader s rozdílnou texturní charakteristikou (kolmo na metamorfní foliaci a paralelně s metamorfní foliací) z velkokooběmových vzorků L5-32P, L5-32P a L4a-47R. Na identických vzorcích byly již předtím studovány fyzikálně-mechanické parametry (2.6). Na těchto vzorcích, reprezentujících typické horninové typy (migmatity nebo migmatitizovaná ruly), je v současnosti prováděno stanovení transportní vlastností. Jedná se o určení difúzních koeficientů D_e (³H, ³⁶Cl) na základě stanovení difuze např. tritia a ³⁶Cl a rozdělovacího (sorpčního) distribučního koeficientu K_d (Cs, Sr). Výsledky těchto měření budou hotové během první poloviny 2024 a během tohoto roku budou zpracovány a interpretovány dle realizačního projektu.

2.6 Stanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin laboratorními testy

V rámci laboratorního stanovení fyzikálně-mechanických a geotechnických vlastností (FMV) hornin byly Ústavem geoniky AV ČR, v.v.i. (ÚGN) a společností SG Geotechnika, a.s. v průběhu roku 2023, v souladu s harmonogramem prací uvedeným v kap. 3 Realizačního projektu, uskutečněny tyto níže uvedené práce.

V první polovině měsíce září 2023 byl ve staničení 32 m chodby L5 odvrtán do jejího pravého boku širokoprofilový jádrový vrt o průměru 300 mm, označený jako L5-32P. Jednotlivé kusy získaného vrtného jádra byly následně pracovníky DIAMO, s.p., o.z. GEAM vyvezeny na povrch a uskladněny v areálu dolu Rožná I. Dne 21. 9. 2023 pak byl tento velkoobjemový vzorek (VO) transportován do laboratoří ÚGN. Zde proběhla příprava laboratorních zkušebních tělísek pro jednotlivé zkoušky FMV a bylo provedeno stanovení některých FMV dle jejich výčtu, uvedeného v kap. 1.7. Přílohy č. 1 Smlouvy – Specifikace Předmětu plnění. Zkušební tělíska o průměru cca 47–50 mm a štíhlostním poměru 2:1 resp. 0,7:1 byly vrtány ve dvou základních směrech vůči texturním prvkům horniny – ve směru kolmém k metamorfní foliaci (tzv. směr K) a ve směru rovnoběžném s metamorfní foliací (tzv. směr P). Výsledky dosud provedených stanovení FMV VO vzorku z chodby L5 (evid. č. ÚGN 17363) jsou přehlednou tabelární formou prezentovány v následujících podkapitolách 2.6.1. až 2.6.3.

2.6.1 Fyzikální vlastnosti

Na zkušebních tělíscích, připravených z VO vzorku z vrtu L5-32P byly v průběhu měsíců listopadu a prosince 2023 stanoveny následující fyzikální vlastnosti hornin: objemová hmotnost, rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (UZV) a nasákavost po 48 hodinách. Výsledky stanovení jsou uvedeny v Tab. 12 Výsledky stanovení základních fyzikálních vlastností horniny VO vzorku z vrtu L5-32P (evid. č. ÚGN 17363)

Tab. 12 Výsledky stanovení základních fyzikálních vlastností horniny VO vzorku z vrtu L5-32P (evid. č. ÚGN 17363)

Vlastnost	Jednotka	Počet stanovení	Minimální hodnota	Maximální hodnota	ø	S.D.	C.V. [%]
Objemová hmotnost	kg⋅m⁻³	102	2835	3072	2930	42	1,4
Rychlost šíření UZV <i>– směr K</i>	km⋅s⁻¹	34	4,17	5,83	5,11	0,36	7,0
Rychlost šíření UZV – <i>směr P</i>	km⋅s⁻¹	38	5,15	6,80	5,90	0,40	6,8
Nasákavost po 48 hod.	%	6	0,09	0,11	0,10	0,01	10,0

Vysvětlivky: Ø - aritmetický průměr, S.D. – směrodatná odchylka, C.V. – variační koeficient

2.6.2 Tepelné vlastnosti

V rámci studia tepelných vlastností byly stanoveny následující parametry horniny ze staničení 32 m chodby L5: součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a tepelná difuzivita. Výsledky stanovení jsou uvedeny v Tab. 13.

Tab.	13	Výsledky	stanovení	základních	tepelných	vlastností	horniny	VO	vzorku	Ζ	vrtu	L5-32P
(evid.	č. Ú	IGN 17363	3)									

Vlastnost	Jednotka	Počet stanovení	Průměrná hodnota	Minimální hodnota	Maximální hodnota
Tepelná vodivost - <i>směr K</i>	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	3	2,30	3,15	2,83
Tepelná vodivost – <i>směr P</i>	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	3	2,96	3,07	3,00
Tepelná kapacita – <i>směr K</i>	MJ.m ⁻³ .K ⁻¹	3	1,86	1,94	1,90
Tepelná kapacita - <i>směr P</i>	MJ.m ⁻³ .K ⁻¹	3	1,96	2,03	2,00
Tepelná difuzivita – <i>směr K</i>	mm ² .s ⁻¹	3	1,19	1,66	1,49
Tepelná difuzivita – <i>směr P</i>	mm ² .s ⁻¹	3	1,48	1,51	1,50

2.6.3 Pevnostní a deformační vlastnosti

V rámci stanovení pevnostních a deformačních vlastností horniny z VO vrtu L5-32P byla, v průběhu měsíce prosince 2023, stanovena pevnost v příčném tahu tzv. brazilskou zkouškou. Výsledky stanovení jsou prezentovány v Tab. 14.

Tab. 14 Hodnoty pevnosti v příčném tahu horniny VO vzorku z vrtu L5-32P (evid. č. ÚGN 17363)

Vlastnost	Jednotka	Počet stanovení	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Ø	S.D.	C.V. [%]
σ _{Ρtp} – <i>tah⊥ k foliaci</i>	MPa	15	8,2	14,5	10,9	1,5	13,8
σ _{Ρtp} – <i>tah//</i> s foliací	MPa	15	10,2	19,2	14,6	2,3	15,8

<u>Vysvětlivky</u>: σ_{Ptp} – pevnost v příčném tahu stanovená tzv. brazilskou zkouškou, \emptyset - aritmetický průměr, S.D. – směrodatná odchylka, C.V. – variační koeficient

2.6.4 Petrofyzikální vlastnosti

V roce 2023 bylo odebráno celkem čtrnáct vzorků určených pro stanovení petrofyzikálních vlastností hornin. Vzorky byly odebrány z vrtů v chodbách L5 a L4a (Tab. 15) na kterých bude stanovena objemová hustota, mineralogická hustota, pórovitost, magnetická susceptibilita, elektrická vodivost, radioaktivita a anizotropie magnetické susceptibility. Výsledky těchto měření budou hotové v březnu 2024 a během tohoto roku budou zpracovány a interpretovány. Metodiky měření jsou popsané ve zprávě Bukovská et al. (2022).

pořadové číslo vzorku	Lokalita - vzorek	orientace vzorku vůči foliaci	použité petrofyzikální metody	poznámka
1	L4a-47R-K	К	Do, Dm, p, k	Kontrolní vzorek
2	L4a-47R-P	Р	Do, Dm, p, k	Kontrolní vzorek
3	L4a-47R-1P	Р	Do, Dm, p, k, EL	
4	L4a-47R-2P	Р	Do, Dm, p, k	
5	L4a-47R-1K	K	Do, Dm, p, k, AMS, EL	-
6	L4a-47R-2K	K	Do, Dm, p, k	*R
7	L5-32P-1K	Р	Do, Dm, p, k, AMS, EL	
8	L5-32P-2K	K	Do, Dm, p, k	
9	L5-32P-1P	Р	Do, Dm, p, k, EL	
10	L5-32P-2P	Р	Do, Dm, p, k	*R
11	L5-62L-1K	К	Do, Dm, p, k, AMS, EL	
12	L5-62L-2K	K	Do, Dm, p, k	
13	L5-62L-1P	Р	Do, Dm, p, k	
14	L5-62L-2P	Р	Do, Dm, p, k, EL	*R
	Vysvá p – pól R – * na rac	štlivka: Do – objei rovitost, k – magn radioaktivita, AM dioaktivitu byly vže	mová hustota, Dm – mineralogická hustota, netická suceptibilita, EL – elektrická vodivost, S – anizotropie magnetické susceptibility. dy sloučeny odřezky ze vzorků příslušné série	

Tab. 15 Seznam měřených vzorků z lokalit L4a-47R, L5-32P, L5-62L a stanovené parametry

2.7 Stanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin in-situ testy

2.7.1 Stanovení kvality hornin vrtného jádra pomocí parametru RQD

Na vrtném jádře celkem čtyř vrtů, realizovaných v rámci geotechnické stanice situované ve staničení 72 m chodby L4a (Tab. 16), byla klasifikována kvalita hornin pomocí RQD indexu. Stanovení RQD respektovalo zaužívanou metodiku (Deere et al. 1967; Deere 1989), parametr RQD byl určen zvlášť pro každý metr délky vrtného jádra každého z vrtů. Výsledky hodnocení kvality hornin vrtného jádra RQD indexem jsou uvedeny v Tab. 17

a na Obr. 97 Kvalita hornin vrtného jádra vrtu L4a-72D vyjádřená parametrem RQD pro každý metr délky jádra

až Obr. 100.

Tab. 16 Technické parametry geotechnických vrtů na geotechnické stanici ve staničení 72 m na chodbě L4a

Označení vrtu	Projektovaná délka/hloubka vrtu [m]	Projektovaný směr vrtu [°]	Projektovaný úklon vrtu [°]	Průměr vrtu / průměr jádra [mm]
L4a-72D	50	_	-90	
L4a-72L	15	341	-5	70 (00
L4a-72UL	15	341	+45	76762
L4a-72U	15	_	+90	

Tab. 17 Procentuální rozdělení kvality hornin vrtného jádra analyzovaných geotechnických vrtů do jednotlivých tříd kvality podle indexu RQD

Označení vrtu	Velmi nízká kvalita [%]	Nízká kvalita [%]	Střední kvalita [%]	Dobrá kvalita [%]	Výborná kvalita [%]	Průměrná hodnota RQD pro celý vrt [%]
L4a-72D	2	8	16	16	58	84
L4a-72L	7	13	40	27	13	68
L4a-72UL	7	7	13	53	20	75
L4a-72U	0	7	20	40	33	81

Pozn.: velmi nízká kvalita = RQD 0-25%, nízká kvalita = RQD 25-50%, střední kvalita = RQD 50-75%, dobrá kvalita = RQD 75–90%, výborná kvalita = RQD 90–100%



Obr. 97 Kvalita hornin vrtného jádra vrtu L4a-72D vyjádřená parametrem RQD pro každý metr délky jádra



Obr. 98 Kvalita hornin vrtného jádra vrtu L4a-72L vyjádřená parametrem RQD pro každý metr délky jádra



Obr. 99 Kvalita hornin vrtného jádra vrtu L4a-72UL vyjádřená parametrem RQD pro každý metr délky jádra



Obr. 100 Kvalita hornin vrtného jádra vrtu L4a-72U vyjádřená parametrem RQD pro každý metr délky jádra

Porušenost samotného vrtného jádra je ovlivněna technologií vrtání. Z provedených analýz orientovaných skenů stěn vrtů zaznamenaných pomocí metod OBI a ABI vyplývá, že RQD stanovené na vrtném jádře je u většiny vrtů nižší než RQD určené pomocí struktur nespojitosti interpretovaných na stěnách vrtů (Obr. 101). Tato zjištění jsou plně v souladu s poznatky z jiných částí dolu Rožná (Vavro et al. 2015).



Obr. 101 Srovnání RQD indexu stanovených na vrtném jádře vrtů L4a-72D a L4a-72L s RQD indexy stanovenými ze skenů stěn vrtů pomocí metod OBI a ABI

2.8 Geofyzikální měření ve vrtech geotechnických stanic a jejich okolí

Průzkumné práce ve vrtech geotechnické stanice GS L4 byly provedeny obdobně jako měření ve vrtech geotechnické stanice GS L7 v roce 2022. Měření z roku 2022 jsou popsána v roční zprávě tohoto projektu za rok 2022 (Bukovská et al. 2023). V následujících dílčích podkapitolách je proto popsáno pouze přístrojové vybavení a konkrétní provedené práce. Obecné informace pro použité metody včetně postupu jejich zpracování lze najít ve zmíněné roční zprávě.

2.8.1 Seismická tomografie

Jako podklad pro posouzení rozsahu porušení horniny v okolí horního díla byla realizována geofyzikální měření ve vrtech a mezi vrty vedenými do stěny chodby. Hlavní metodou pro zkoumání charakteru horninového bloku v prostoru vymezeném průzkumnými vrty byla seismická tomografie. V tomto případě byla využita tato metoda ve variantě sledování a následném zpracování časů průchodu seismického pulzu mezi prostorově jednoznačně určeným zdrojem signálu a přijímačem.

Přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

- seismograf Terraloc PRO 48 kanálů, registrace signálu ze snímačů ve vrtu (sonda SSI-8) a na stěně štol (výrobce ABEM, Švédsko);
- seismograf Terraloc MK6 24 kanálů, registrace signálu hydrofony ve vrtech (ABEM);
- snímače rychlosti kmitání (geofony) osazené elementy SM-11 (Sensor) o vlastní frekvenci 30 Hz (stěny štol);
- vrtná sonda vlastní konstrukce SSI-8 osazená osmi trojosými snímači rychlosti kmitání s měřícími elementy OMNI-2400 (15 Hz) s krokem 0,5 m;
- řetězec hydrofonů BHC4 s 24 snímači osazenými elementy AQ2000 s frekvenčním rozsahem 1–10 000 Hz (výrobce Geotomographie GmbH, Německo);
- elektrodynamický vrtný seismický zdroj BIS-SH s pulsním generátorem IPG (Geotomographie GmbH, Německo);
- seismický zdroj SBS42 sparker s pulsním generátorem IPG (Geotomographie GmbH, Německo).

Během prací bylo měřeno v několika konfiguracích: mezi dvěma vrty nebo mezi vrtem a stěnou chodby. Použité modifikace metody sledují rozložení rychlostí šíření seismických vln v horninovém prostředí v prostoru řezu vymezeném liniemi seismických zdrojů a snímačů.



Obr. 102: Schéma seismických tomografických měření mezi jednotlivými vrty geotechnické stanice GS-L4 a mezi vrtem L4-72L a levou stěnou chodby L4a.

Ve variantě seismického prosvěcování mezi vrty je jeden z použité dvojice měřících vrtů osazen hydrofony (snímači) s krokem 1 m nebo seismickou sondou se snímači s krokem 0,5 m, druhý vrt je osazen zdrojem spouštěným s krokem 0,5–1 m. Posuzovaná rovina řezu je vymezena oběma vrty. Takový způsob měření byl použit při tomografických měřeních mezi všemi vrty geotechnické stanice (L4-72U, L4-72L, L4-72UL a L4-72U). Kromě měření mezi vrty, které umožňuje získání celkem tří tomografických řezů, bylo také měřeno v konfiguraci vrt - stěna, a to mezi vrtem L4-72L a levou stěnou chodby L4a. Schematicky ukazuje konfiguraci tomografického měření Obr. 102.



Obr. 103 Seismická tomografie mezi vrty geotechnické stanice

2.8.2 Seismokarotáž

Metoda seismokarotáže sleduje změny rychlostního pole podél osy vrtného díla. Výsledkem zpracování je rychlostní vrstevní model, který ukazuje rozložení jednotlivých rychlostních bloků určený mocností a rychlostí šíření seismických vln.

Přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

- seismograf Terraloc PRO 48 kanálů, registrace signálu ze snímačů ve vrtu (sonda SSI-8) a na stěně štol (výrobce ABEM, Švédsko);
- seismograf Terraloc MK6 24 kanálů, registrace signálu hydrofony ve vrtech (ABEM);
- snímače rychlosti kmitání (geofony) osazené elementy SM-11 (Sensor) o vlastní frekvenci 30 Hz (stěny štol);
- řetězec hydrofonů BHC4 s 24 snímači osazenými elementy AQ2000 s frekvenčním rozsahem 1–10 000 Hz (výrobce Geotomographie GmbH, Německo);
- elektrodynamický vrtný seismický zdroj BIS-SH s pulsním generátorem IPG (Geotomographie GmbH, Německo);
- seismický zdroj SBS42 sparker s pulsním generátorem IPG (Geotomographie GmbH, Německo).

2.8.3 Vrtný georadar

Všechny průzkumné vrty, provedené na jednotlivých geotechnických stanicích, byly proměřeny pomocí vrtného georadaru. Tato metoda používá stejný fyzikální princip jako povrchové

georadarové měření (více v Bukovská et al. 2022), odlišná je ovšem konstrukce anténního systému.

Přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

- georadarová aparatura SIR 2000 (GSSI, USA);
- anténní sonda BA-500 s vlastní frekvencí 500 MHz (Geoscanners, Švédsko).

Krok měření byl zvolen 1 cm, spouštění systému bylo řízeno měřícím kolečkem (oedometrem) na stativu. Radarová anténa je spouštěna do vrtu na měřícím kabelu (úpadní vrt) nebo je do vrtů zatlačena pomocí soutyčí a měření probíhá při vytahování antény. Zpracování radarových dat bylo obstaráno pomocí programového balíku ReflexW (SandmeierGeophysical Research, Německo). Aplikovány byly běžné jedno a dvourozměrné filtrace pro normalizaci, zesílení a filtraci signálu. Dosah všesměrných georadarových měření pro tento systém činí v daném prostředí kolem 3 m. Systém je vhodný zejména pro základní rajonizaci hornin v širším okolí vrtu s detekcí objektů velikosti kolem 0,2–0,5 m včetně puklin a porušených či oslabených zón. Výsledné radarové řezy mají hloubkové měřítko přepočtené z časového na základě odvozených rychlosti šíření seismických vln 0,120 m/ns.

2.8.4 Lehká úderová seismika

Stěny laboratorní chodby v okolí průzkumných vrtů geotechnické stanice byly detailněji sledovány seismickou refrakční metodou v modifikaci detailní povrchové refrakční tomografie. Měření bylo použito k rozšíření informací o HM v místě vrtů geotechnické stanice. Provedeny byly celkem čtyři řezy vedené ve vertikální rovině kolmé na podélnou osu laboratorní chodby L4a, a to ve staničeních 72,5 m (v linii vrtů), 71 m, 63,5 m a 62 m.



Obr. 104: Geofony na stěně laboratorní chodby L4a, měření seismického profilu klenbou ve staničení 71,0 m.

Přístrojové vybavení

- seismograf Terraloc PRO 48 kanálů, registrace signálul (výrobce ABEM, Švédsko);
- snímače rychlosti kmitání (geofony) osazené elementy SM-11 (Sensor, Holandsko) o vlastní frekvenci 30 Hz, (stěny);
- jako seismický zdroj na stěnách budou použity údery 1 kg úderníku do ocelové podložky.

Princip metody povrchové refrakční tomografie je detailně popsán v (Bukovská et al. 2022). Vlastní měření probíhá obdobně jako při průzkumu na stěnách laboratorních chodeb. Vzdálenost mezi jednotlivými geofony (přijímači) byla zvolena 0,5 m, vzdálenost zdrojových bodů pak činila také 0,5 m. Pozice všech snímačů byly geodeticky zaměřeny kombinací fotogrammetrie a zaměření vybraných opěrných bodů do souřadného systému JTSK.

2.8.5 Výsledky měření ve vrtech geotechnických stanic

2.8.5.1 Seismická tomografie

Tomografická měření mezi jednotlivými vrty geotechnické stanice i mezi vrty a stěnami byla zpracována společně do formy rychlostního tomografického řezu (Obr. 105, Elektronická příloha 8). Na základě rychlostního řezu a údajů z popisu vrtných jader byl sestaven schematický interpretační řez, který rozděluje zachycenou část HM na málo porušenou horninu s průměrnou vzdáleností diskontinuit 200–600 mm a více porušenou horninu se vzdáleností diskontinuit 60–200 mm.

Získaný rychlostní řez ukazuje na významný pokles seismických rychlostí v části HM mezi vrty L4-72L a L4-72UL. Minimum rychlostí lze pozorovat ve vzdálenosti – 9 m od líce levé stěny chodby, prostorově je lokalizováno mezi zmíněnými vrty v pozici 9–10 hodin. Výpočtové rychlosti klesají v místě největšího oslabení pod 5000 m/s, což ukazuje na přítomnost intenzivně rozpukané horniny a lokálních tektonických poruch. Popis vrtných jader obou zmíněných vrtů uvádí na několika místech přítomnost drcených zón, hodnocené RQD je se pohybuje nejčastěji kolem 50 %. Interpretované diskontinuity charakteru drcených a puklinových zón jsou v rychlostním řezu schematicky zobrazeny. Jejich pozice a směry se opírají o zjištěné rozložení seismických rychlostí v rovině řezu, přihlíženo bylo také k popisu vrtů a ke geotechnické dokumentaci prováděné v průběhu ražby chodby L4a, která uvádí směry diskontinuit v intervalu staničení 70–75 m. Výraznější diskontinuity - drcené zóny prochází oblastí minima seismických rychlostí.

Směrem k nadloží klenby chodby zjištěné seismické rychlosti zobrazené v rámci řezu mezi vrty **L4-72UL a L4-72U** narůstají. Rychlostní řez tak ukazuje zjevný rozdíl v charakteru zastiženého HM s ohledem na hustotu diskontinuit, geologická dokumentace obou vrtů (RQD) toto potvrzuje. V okolí vrtu jsou v rozmezí jeho metráží 2–11 m zastiženy vyšší seismické rychlosti (5400–5800 m/s), od staničení vrtu 11 m je patrný pokles rychlostí. V rámci tohoto řezu pokračují hlavní diskontinuity vedené z části mezi L4-72L a L4-72UL, s ohledem na zlepšující se kvalitu HM směrem do nadloží chodby intenzita porušení v rámci interpretace klesá - drcené zóny se mění v puklinové zóny.

V rychlostním řezu mezi vrty L4-72L a L4-72D jsou zjištěné seismické rychlosti nejvyšší v rámci získaných řezů. Od úrovně vrtu L4-72L směrem do hloubky rychle rychlosti narůstají k hodnotám kolem 5500 m/s (dosaženy v úrovni cca 3 m pod počvou chodby) a dále se zvyšují až k úrovni 6300 m/s. Masiv v prostoru sledovaném tímto řezem je málo porušený, oslabení (rozpukání)

popisované v dokumentaci vrtu L4-72D není tak četné jako u vrtů L4-72L a L4-72UL, větší část indikací je lokalizována v hloubce pod 30 m.



TOMOGRAFICKÝ RYCHLOSTNÍ ŘEZ, GEOTECHNICKÁ STANICE GS-L4a

Obr. 105: Seismická tomografie mezi vrty GS-L4a. Rychlostní tomografický řez a schematická interpretace.

2.8.5.2 Seismokarotáž

Seismokarotážní měření, provedené ve vrtech L4-72D, L4-72L, L4-72UL a L4-72U je graficky prezentováno ve formě vrstevních rychlostních modelů (Elektronická příloha 8). Jedná se o závislost mezi geometrickými parametry vrstvy (mocnost a hloubka) a rychlostí šíření

seismických vln v daném horizontu. V rámci jedné vrstvy je seismická rychlost konstantní. Měření je vhodným doplněním tomografických měření, výsledky seismokarotáže mohou být použity k rychlému orientačnímu hodnocení rozvoje EDZ v těsném okolí stěny důlního díla. Informace není tak komplexní jako v případě tomografického řezu, který charakterizuje celý prostor mezi vrty. Příklad výsledku - rychlostního modelu je na obrázku.

Získané modely zobrazují změny hodnot rychlostí šíření seismických vln s hloubkou – tedy vzdáleností od líce chodby. Nejnižší hodnoty modelových rychlostí vykazují výsledky pro vrt L4-72UL, pohybují se kolem 5000–5200 m/s, to odpovídá poznatkům tomografického řezu mezi vrty L4-72UL a L4-72L. Horninové prostředí v okolí tohoto vrtu je intenzivně porušené a oslabené. Seismokarotážní výsledky pro vrt L4-72L ukazují hodnoty rychlostí výrazně vyšší oproti L4-72UL. To lze vysvětlit přítomností málo porušených hornin v prostoru mezi L4-72L a L4-72D (které indikuje tomografický řez), tyto zasahují do blízkosti vrtu L4-72L. Signál ze zdroje ve vrtu se preferenčně šíří v méně porušeném (tedy rychlejším) prostředí v prostoru pod vrtem L4-72L a výsledný model toto odráží vyššími modelovými rychlostmi.

HM v okolí dovrchního vrtu L4-72U vychází podle výsledků seismokarotáže jako málo oslabený (rychlosti mezi 5600–600 m/s), to je v souladu s geologickou dokumentací. Vysoké hodnoty seismických rychlostí výrazně nad 6000 m/s prezentuje modelový výsledek pro vrt L4-72D.



Obr. 106: Výsledky seismokarotáže ve vrtu L4-87U, rychlostní model.

2.8.5.3 Vrtný georadar

Výsledky georadarového měření ve vrtech jsou zobrazeny graficky formou časových řezů s hloubkovým měřítkem. V řezech jsou vyznačeny oblasti výrazných odrazů, které reflektují přítomnost puklin (diskontinuit) v blízkosti vrtného stvolu. Nejvýrazněji se projevují takové diskontinuity, které začínají přímo u stěny vrtu nebo v její těsné blízkosti. Nehomogenity vzdálenější od stěn jsou v řezech také patrné, relativní intenzita (amplituda) příslušných reflexů

je menší. Měřící systém je nestíněný a nefokusovaný, signál z vysílače tedy zahrnuje celý prostor v okolí vrtu - 4π geometrie. Zdroj anomálie nelze prostorově přesně lokalizovat, stanovit je možné pouze hloubku "centra" anomálie (ve smyslu hloubka ve vrtu) a vzdálenost od osy vrtu, úhlová souřadnice je neurčena.

Radarové anomálie se v řezech obvykle projevují přítomností výrazných hyperbol, sklon jejich křídel je určen rychlostí šíření elmg. signálu v prostředí a je možné tak tuto rychlost stanovit, a podle toho odlišit signál přicházející vzduchem od signálu procházejícího horninou či vodou. V určitém stádiu interpretace může být vhodnější tyto charakteristické hyperboly nepotlačovat a při vyhodnocení měření k nim přihlížet.

Příklad georadarového řezu z vrtu je uveden na obrázku Obr. 107, všechny radarové řezy z jednotlivých vrtů se zakreslením interpretovaných nehomogenit jsou součástí Elektronická příloha 8.

Radarové indikace z měření ve vrtech geotechnické stanice ukazují zejména na přítomnost nehomogenit typu výrazných puklin, puklinových zón či drcených zón. V následujícím popisu je lokalizace anomálií vztažena k jejich středu (odpovídající vrcholu difrakční hyperboly), i když jejich zakreslení do časového řezy je mnohdy formou širšího obdélníku. Převažují indikace objektů, které protínají vrtný stvol nebo jsou lokalizovány do jeho těsné blízkosti. Na tyto je měřící systém nejcitlivější. Patrné jsou ovšem i indikace, jejichž zdroj leží mimo blízké okolí vrtu, a to i ve vzdálenosti 2 a více metrů. U takových indikací je vzdálenost od osy vrtu uvedena za lomítkem s prefixem "r".



Obr. 107: Georadarové měření ve vrtu L7-87U, časový radarový řez s interpretací.

Výrazné nehomogenity charakteru puklin nebo případně i drcených zón ve vrtu **L4-72D** jsou interpretované ve staničeních 0,4 m, 4,0 m, 7,0 m, 8,7 m, 10,0 m, 11,3 m, 13,6 m, 14,9 m, 15,7 m, 16,1 m, 17,1 m, 19,7 m, 22,8. m, 24,6 m, 25,5 m, 27,8 m, 29,0 m, 31,3 m, 35,8 m, 36,7 m, 37,7 m, 39,7 m, 41,4 m, 43,6 m, 45,0 m. Výše uvedené indikace jsou lokalizovány přímo ve stěně vrtu nebo v její těsné blízkosti. Vzdálenější anomálie jsou pak v následujících pozicích: 5,3 m/r1,6 m,12,2/r1,3 m, 13,6/r2,4 m, 14,0/r1,4 m, 18,4/r1,9 m, 21,9/r2,4 m, 26,0/r2,2 m, 26,4/r2,7 m, 28,2/r1,8 m, 35,0/r2,4 m,37,0/r2,4 m, 37,3/r1,6 m.

Indikace puklin v těsném okolí vrtu **L4-72L** jsou podle radarového řezu interpretovány ve staničeních 5,2 m, 6,2 m, 7,0 m, 8,6 m, 11,0 m, 12,8 m, 13,4 m. Vzdálenější indikace jsou pak zachyceny v pozicích 1,0/r1,7 m, 8,4/r2,7 m, 9,6/r3,1 m.

Měření ve vrtu **L4-72UL** zachytilo indikace puklin v oblasti blízké stvolu vrtu v následujících staničeních: 0,8 m, 4,2 m, 4,8 m, 7,5 m, 11,3 m, 13,6 m, Anomálie ležící ve větších vzdálenostech od osy vrtu jsou indikovány v pozicích: 0,5/r1,4 m, 1,5/r1,2 m, 4,1/r1,7 m, 8,2/r1,1 m, 11,8/r2,6 m, 13,9/r1,3 m.

Zjištěné indikace ve vertikálním dovrchním vrtu **L4-72U** v blízké oblasti do 0,5 m od osy vrtu jsou lokalizovány ve staničeních: 0,8 m,3,1 m, 4,6 m, 5,1 m, 8,4 m, 9,0 m, 11,6 m, 12,0 m, 12,5 m, 14,1 m. Anomálie lokalizované mimo nejbližší okolí vrtu jsou pak následující: 1,0/r1,9 m, 2,9/r1,9 m, 5,5/r2,5 m, 8,1/r2,1 m, 10,8/r1,4 m, 11,5/r2,3 m.

2.8.5.4 Lehká úderová seismika

Detailní seismická měření na stěnách laboratorní chodby L4a v okolí vrtů geotechnické stanice GS-L4 ukázala na stav HM v těsné blízkosti stěny důlního díla. Jednalo se o čtyři krátké průzkumné profily vedené kolmo na osu chodby přes její boky a klenbu.

Výsledky seismického měření jsou zpracovány do formy profilových řezů, všechny řezy jsou součástí Elektronická příloha 8. Zpracovaný seismický rychlostní řez pro profil vedený klenbou ve staničení 72,5 m je prezentován na obrázku Obr. 108.

Rozložení seismických rychlostí podél klenby přináší představu u oslabení HM v blízkosti stěny do hloubky obvykle do 1 m. Větší hloubkový dosah výrazně nad 1 m tyto profily nemohou poskytnout z důvodu omezené celkové délky uspořádání (obvod klenby je kolem 11 m). Přínos měření je zejména v relativním srovnání porušení prostředí podél profilu. Pro popis pozice indikací v dalších odstavcích je použita analogie s hodinovým ciferníkem.

Na profilu klenbou ve staničení 72,5 m (v místě vrtů GS) je patrné výraznější oslabení HM v pozici střední a vyšší části pravé stěny v pozici 2–3 h. Zde je mocnost EDZ nejvyšší v rámci tohoto profilu (1,0 m), hodnoty seismických rychlostí se pohybují kolem 5200 m/s, to ukazuje na intenzivně porušenou horninu, snížené rychlosti jsou zjevné v rámci celého hloubkového dosahu. Vyšší moznost EDZ je interpretována také v okolí vrtu L4-72L v pozici 8–9 h (cca 0,9 m). Také zde jsou seismické rychlosti snížené, a to nejen v těsné blízkosti výrubu. Oblasti málo porušené horniny, které jsou charakterizovány vyššími seismickými rychlostmi (> 6000 m/s) jsou patrné v pozicí 9–9,5 h (levá stěna), 10–12 h (levá část klenby) a navazující pravá část klenby v pozici 12–1,5 h.

Profil ve staničení 71,0 m je v hlavních rysech analogický výše popsanému blízkému profilu 72,5 m. Oblast vyšší mocnosti EDZ je lokalizovaná v pravé stěně v rozsahu 1,5–4,5 h (0,9 m), snížené rychlosti i ve větší vzdálenosti od líce stěny v pozici 1,5–2 h (pokles na úroveň 5200 m.s). Podobné oslabení indikované nízkými seismickými rychlostmi je patrné také v lokalizaci 11 h, zde je vyšší i mocnost EDZ. Oblasti s indikovanými bloky slabě rozpukaného masivu jsou indikovány v rozmezích pozic 3–4 h, 7,5–10 h a 11–1,5 h.

Rychlostní řez získaný měřením na profilu ve staničení 63,5 m ukazuje na vyšší oslabení horniny v prostoru klenby výrubu (pozice 11–1 h). V dílčí části 12–1 h oblast nižších rychlostí mizí a dále od líce výrubu hodnoty rychlostí přesahují 6000 m.s. V prostoru kolem pozice 11 h ovšem lze sledovat snížené seismické rychlosti i v pozicích vzdálenějších od líce stěny. Ve vrcholové části

klenby je také vymezena vyšší mocnost EDZ oproti zbývajícím částem profilu (0,8 m). Mimo okolí pozice 11 h jsou v oblastech dále od líce stěny zachyceny horniny s vyššími seismickými rychlostmi (>6000 m.s), to ukazuje na málo porušený HM v úsecích 1–4 h, 8–11 h.



Obr. 108: Lehká úderová seismika, rychlostní řez profilu vedeného klenbou chodby ve staničení 72,5 m.

Profil na staničení 62,0 m ukazuje na oslabené úseky většího hloubkového dosahu v obou bocích chodby, na pravé straně v pozici 2–4 h a na levém boku v pozici 8–10 h. Hodnoty seismických rychlostí lokálně klesají k hodnotám 4500 m/s, to ukazuje na přítomnost intenzivního rozpukání s otevřenými diskontinuitami. V obou úsecích je interpretován také nárůst mocnosti EDZ. Větší hloubkový dosah má indikace oslabení v levém boku, která pokračuje patrně dle mimo dosah měření. Mimo uvedené oslabené úseky je horninový masiv jen málo porušený, oblast vysokých seismických rychlostí zahrnuje prostor mezi 9,5–2,5 h.

2.8.6 Geofyzikální měření ve vrtech geotechnické stanice L4a-72 pomocí metod OBI a ABI

Studium porušenosti horninového masivu bylo realizováno celkem ve dvou vrtech, realizovaných v rámci geotechnické stanice situované ve staničení 72 m chodby L4a (vrty č. L4a-72D a L4a-72L). Ve vrtu L4a-72D bylo měření ukončeno již v hloubce 39,5 m z důvodu výrazné deformace vrtného stvolu a usazeného kalu.

V uvedených vrtech byl proveden orientovaný záznam stěn pomocí optického televizoru (metoda OBI, sonda OPTV - Optical TeleViewer), který byl doplněn akustickým televizorem (metoda ABI, sonda HiRAT - High Resolution Acoustic Televiewer). Sondy OPTV a HiRAT jsou součástí karotážní aparatury fy. Robertson Geologging. Aparatura má elektrický vrátek se čtyřžilovým karotážním kabelem, který přenáší data zaznamenaná sondami prostřednictvím dataloggeru do počítače (Obr. 109).



Obr. 109 Karotážní aparatura umístěná u úpadního vrtu L4-72D

Jednotlivé interpretované strukturní prvky v záznamech stěn vrtů byly zařazeny dle jednotné metodiky následovně:

- PO puklina otevřená, veškeré pukliny viditelné v záznamu ABI,
- PU puklina uzavřená, pukliny vyplněné mineralizací,
- N nerozlišeno, jakýkoliv nejistý záznam zejména z ABI, který bude třeba ověřit na vrtném jádře,
- PZ porušená zóna, výrazné zóny porušení viditelné v záznamech OBI a ABI,
- S stavba horninového masivu, foliace, kompoziční páskování
- BB borehole breakout,
- MA magnetická anomálie.

Barevné rozlišení jednotlivých typů interpretovaných struktur včetně použitých značek je zřejmý z Obr. 110.



Obr. 110 Použitá klasifikace interpretovaných struktur v logovaných záznamech metodou OBI a ABI



Obr. 111 Formulář vyhodnocených dat ze záznamů metodami OBI a ABI (vybraná část vrtu L4a-72D)

Naměřené orientované záznamy metodami OBI a ABI jsou zpracovány v softwaru WellCAD pro zpracování karotážních dat (ALT – Luxemburg). Vyhodnocení puklin a ploch nespojitosti, včetně určení jejich sklonu, směru a hloubky je provedeno ve speciálním modulu programu WellCAD. Interpretovaná data ze všech skenovaných vrtů jsou shrnuta do jednotného formuláře (profilu vrtu) vytvořeného v softwarovém prostředí WellCAD (viz Elektronická příloha 9 a Elektronická příloha 10). Součástí formuláře (Obr. 111) jsou orientované záznamy pořízené sondou OPTV, dva orientované záznamy (amplituda a čas) pořízené sondou HiRAT, grafické znázornění interpretovaných struktur zobrazené ve 2D a 3D pohledu, směr a úklon interpretovaných struktur v grafu (tzv. Tadpole diagram) a foto jádra za účelem vzájemné korelace struktur. Na základě interpretovaných struktur byly konstruovány grafy RQD. Do výpočtu byly zahrnuty potenciální plochy nespojitosti interpretované jako pukliny otevřené (PO) a porušené zóny (PZ). Pro názornost jsou indexy RQD ze záznamů v uvedeném formuláři srovnány s RQD indexy stanovených na vrtném jádře. Vzájemné srovnání RQD indexů ze záznamů a vrtného jádra jsou součástí kapitoly 2.7.1. Z interpretovaných ploch nespojitosti (PO + PZ) jsou kalkulovány jejich četnost na jeden metr záznamu.

Součástí vyhodnocení je tabulka ve formátu *.xlsx (viz Tab. 18) se seznamem interpretovaných strukturních prvků identifikovatelných ze záznamů metodami OBI a ABI (viz Elektronická příloha

11). Je zde uvedena jejich poloha – hloubka, azimut úklonu, úklon, případně také mocnost rozevření a kódové označení (viz Obr. 110).

Hloubka	Azimut	Úklon	Mocnost	Kód
[m]	[°]	[°]	[mm]	
1,58	284	32	0	PO
1,83	250	51	0	S
1,91	214	52	0	PO
1,97	210	51	0	PO
2,04	341	74	0	PU
2.28	252	51	0	s
2,33	237	53	0	PO
2,69	250	59	0	PO
2,76	257	58	0	PO
3,07	244	57	0	PO
3,17	257	59	0	PO
3,37	269	59	0	PO
3,43	146	67	0	PU
3,74	265	59	0	s
3,97	250	64	0	PO
4,44	259	61	0	S

Tab. 18 Seznam interpretovaných strukturních prvků – vybraná část vrtu L4a-72D

Za účelem strukturně-geologického zhodnocení HM zastiženého předmětnými vrty jsou ve speciálním modulu softwaru WellCAD sestaveny stereogramy (projekce pólů ploch na dolní hemisféru ve Schmidtově projekci) interpretovaných struktur (Obr. 112 a Obr. 113). Póly jednotlivých interpretovaných struktur jsou barevně rozlišeny v souladu s použitou klasifikací struktur (Obr. 110).


Obr. 112 Stereogram interpretovaných struktur ve vrtu L4a-72D

Generelně byly v úpadním vrtu L4a-72D zachyceny tři výraznější puklinové systémy (viz. Obr. 112). Nejvýraznější puklinový systém je prostorově shodný s metamorfní foliací s generelním směrem úklonu k JZ a úklony 30° až 70°. Většina puklin otevřených (PO) je tak metamorfní foliací predisponována. Druhý systém puklin se směrem úklonu k VJV je tvořen otevřenými puklinami s proměnlivým úklonem od velmi plochých struktur s úklony kolem 20° až po strmější pukliny s úklonem až 80°. Na tento systém jsou vázány i pukliny uzavřené. Třetí systém je tvořen zejména uzavřenými puklinami vyplněnými mineralizací, poměrně strmě se uklánějícími (55° až 85°) k SZ. Ostatní interpretované struktury jsou prostorově nerovnoměrně distribuovány. Maximální mocnost rozevření otevřených puklin dosahuje až 5 mm (viz Elektronická příloha 11). U většiny otevřených puklin však mocnost rozevření nelze určit. Ve vrtu L4a-72D byly zachyceny dvě výraznější porušené zóny (PZ) v hloubce 28,7 a 30,45 m s mocností až 359 mm.

Generelně byly v subhorizontálním vrtu L4a-72L s úklonem -5° zachyceny tři výraznější puklinové systémy (viz. Obr. 113). Nejvýraznější puklinový systém je opět prostorově shodný s metamorfní foliací s generelním směrem úklonu k JZ a úklony 25° až 75°. Většina puklin otevřených (PO) je tak metamorfní foliací predisponována. Druhý systém puklin se směrem úklonu k SV je tvořen otevřenými puklinami s úklony 20° až 75°. Na tento puklinový systém je vázán systém uzavřených mineralizovaných puklin s proměnlivými úklony 15° až 45°. Třetí systém otevřených puklin s generelním úklonem SZ je tvořen otevřenými puklinami s úklony 30° až 70°. Na tento systém je vázán systém uzavřených mineralizovaných puklin s proměnlivými úklony 15° až 45°. Na tento systém je vázán systém uzavřených mineralizovaných puklin s proměnlivými úklony 30° až 70°. Maximální mocnost rozevření otevřených puklin dosahuje až 7 mm (viz Elektronická příloha 11). Podobně i u tohoto vrtu nelze mocnost rozevření většiny otevřených puklin určit. Ve vrtu L4a-72L byla zachycena pouze jedna výraznější porušená zóna (PZ) v hloubce 7,34 m s mocností porušení 51 mm.



Obr. 113 Stereogram interpretovaných struktur ve vrtu L4a-72L

2.9 Geofyzikální charakterizace

Stěny dokončených laboratorních chodeb L4a a L4b byly po ukončení hornických prací a po vyklizení pracoviště sledovány a popsány souborem geofyzikálních metod. Účelem měření bylo hodnocení kvality horninového masivu HM v části blízké stěnám díla, které bude využito pro celkové hodnocení stavu HM v okolí díla. Součástí sledování je také posouzení prostorového rozsahu porušení horniny vlivem trhacích prací - hloubkový dosah EDZ.

Princip použitých geofyzikálních metod, přístrojové vybavení a metodika měření jsou podrobně popsány v roční zprávě tohoto projektu za rok 2021 (Bukovská et al. 2022). V následujících dílčích podkapitolách je proto popsáno pouze přístrojové vybavení a provedené práce pro jednotlivé metody. V každé sledované chodbě byly realizovány průzkumné profily vedené po stěnách výrubu. Staničení profilů je zavedeno shodně ve smyslu se staničením hornického díla, tedy od ústí chodby (0 m) směrem k její čelbě (75 m). Všechny pozice snímačů (geofony a měřící elektrody s krokem 0,5 m) byly zaměřeny kombinací geodetického zaměření totální stanicí a fotogrammetrie v souřadném systému JTSK. Stranové označení jednotlivých profilů, použité v jejich názvu, je míněno ve smyslu pohledu do rostoucích staničení. Chodba L4a byla měřena v období března 2023, chodba L4b pak v říjnu 2023.

2.9.1 Georadar

2.9.1.1 Použité přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

Georadarové měření v obou laboratorních chodbách L4a a L4b bylo provedeno s využitím georadarové aparatury MALÅ GX (Ground eXplorer), výrobce Malå (Švédsko), které sestává z následujících komponent:

- stíněná anténa 450 MHz;
- stíněná anténa 750 MHz;
- zobrazovací a ovládací jednotka GX.

Aparatura využívá technologii umožňující vysokou rychlost sběru dat a významně zlepšující jejich kvalitu a dynamický rozsah.

Každá stěna laboratorní chodby byla proměřena dvěma profily vedenými ve výšce 1,2 a 1,7 m nad počvou díla. Každý z těchto profilů byl sledován měřením jak s anténou 450 MHz tak s anténou 750 MHz. V každé chodbě tedy bylo odměřeno 8 georadarových profilů.



Obr. 114: Měření georadarem na stěně laboratorní chodby.

Krok měření (tedy vzdálenost mezi jednotlivými radarovými stopami) byl pro anténu 450 MHz zvolen 0,02 m, pro obě antény. Hloubkový dosah měřícího systému 450 MHz je v daném prostředí 2,5–3 m při rozlišovací schopnosti od 0,13 m, v případě systému 750 MHz je hloubkový dosah kolem 1,5–2 m, rozlišovací schopnost od 0,08 m (odpovídá polovině šířky vlnového pulsu pro uvažovanou rychlost šíření, Annan 2003).



Obr. 115 Georadarové řezy z měření s anténou 450 MHz (nahoře) a 700 MHz (dole), chodba L4a - levá stěna.

2.9.2 ERT

2.9.2.1 Použité přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

Geoelektrické odporové měření v laboratorních chodbách L4a a L4b bylo provedeno s využitím následujícího přístrojového vybavení:

- Automatický geoelektrický systém ARES II (výrobce GF Instruments, ČR);
- Aktivní mnohaelektrodové kabely (výrobce GF Instruments, ČR).

Odporové měření proběhlo na stěnách obou laboratorních chodeb při použití vzdálenost mezi jednotlivými elektrodami 0,5 m. Z tohoto vyplývá minimální použitá vzdálenost proudových elektrod A, B 1,5 m. Maximální rozestup mezi elektrodami A a B, který byl při měření použit, činil 15 m. Konduktivní spojení s horninou bylo vyřešeno pomocí ocelových rozpínacích kotev umístěných v předvrtaných otvorech, do otvorů byla navíc vpravena vodivá pasta nebo roztok NaCl.



Obr. 116: Provádění odporových měření metodou ERT na stěnách laboratorní chodby.



Obr. 117: Měření ERT - příklad modelového odporového řezu, chodba L4a - levá stěna.

2.9.3 Mělká refrakční seismika

2.9.3.1 Použité přístrojové vybavení, způsob měření, zpracování

Průzkumné práce byly provedeny s použitím následujícího vybavení:

- seismograf Terraloc Pro 48 kanálů, registrace signálu (výrobce ABEM, Švédsko);
- snímače rychlosti kmitání (geofony) osazené elementy SM-11 (Sensor, Holandsko) o vlastní frekvenci 30 Hz, (stěny);
- jako seismický zdroj byly použity údery 1 kg úderníku do ocelové podložky.

Seismické měření proběhlo na stěnách obou laboratorních chodeb v celé jejich délce 75 m, v chodbě L4a byly proměřeny celkem 3 profily - 2 na pravém boku a jeden na levém, v chodbě L4b pak na pravém boku i levém boku po jednom profilu. Vzdálenost mezi jednotlivými geofony (přijímači) byla zvolena 0,5 m, vzdálenost zdrojových bodů pak činila 1 m pro odpaly uvnitř linie snímačů, pro odpaly mimo linii (far offset) pak 5–10 m.



Obr. 118: Měření seismické refrakční tomografie na stěně laboratorní chodby.



Obr. 119: Přiklad seismického rychlostního řezu a zobrazení gradientu rychlostí (ve směru kolmo na osu x). Chodba L4a - levý bok.

2.9.4 Výsledky geofyzikálních měření v chodbě L4a

Společná interpretace výsledků geofyzikálních měření je shrnuta graficky do formy profilového řezu, a to pro každou stěnu chodby. V řezu je vyznačen průběh hranice EDZ, který byl sestaven zejména podle gradientu rychlostního pole (částečně s přihlédnutím k radarovému měření). Horninové prostředí je rozděleno na relativně kompaktní úseky, ve kterých je vzdálenost diskontinuit v HM střední (600–200 mm) a na úseky mírně až středně porušené, kde je vzdálenost diskontinuit malá (200–60 mm). Ojediněle se objevuje HM s velkou vzdáleností diskontinuit, ten je šrafován stejně jako HM se střední vzdáleností. Tyto dvě oblasti jsou zobrazeny odlišným

šrafováním. Ojediněle se objevuje HM s velkou vzdáleností diskontinuit (600–2000 mm), ten je šrafován stejně jako HM se střední vzdáleností. Členění horninového masivu bylo provedeno s využitím výsledků seismických refrakčních měření (rychlostní řez), výsledků geoelektrického odporového profilového řezu získaného měřením metodou ERT a v souladu s výsledky georadarového měření. Výsledky odporových měření byly také vodítkem pro interpretaci oblastí s přítomností zvodnělých puklin, charakterizovaných snížením elektrického odporu, a to i v úsecích mimo zvodnění popsané v rámci hydrogeologického monitoringu (vyznačeno v řezu také pomocí modrého šrafování). Na pozadí řezu je zobrazen petrografický popis formou barevné výplně a jsou také zakresleny pozice vybraných významných puklin (obojí převzato z výsledků strukturně geologického mapování).

Pravá stěna chodby L4a je podrobně zobrazena v Elektronická příloha 12. Interpretovaný podélný profil je také uveden na obrázku Obr. 120. Rozdělení HM podle interpretovaného mechanického porušení je následující:

- 0–11 m, úvodní úsek trasy štoly, kde je zřejmé oslabení HM jak ražbou vlastní laboratorní chodby, tak budováním hlavního překopu v minulosti. Podle seismického rychlostního řezu je hornina silně oslabená zejména ze strany hlavního překopu (rychlosti méně než 500 m/s), směrem dále od překopu intenzita oslabení klesá. Odporový řez je analogický řezu rychlostnímu, nízké odpory při ústí chodby, směrem dále od překopu elektrické odpory rostou.
- 11–19 m oblast vymezená vyššími seismickými rychlostmi v uvedeném úseku, vzdálenost diskontinuit je zde vyšší. Elektrické odpory jsou zvýšené, na horním profilu nad 2000 ohm.m. Mocnost EDZ je stanovena na 0,6–0,8 m.
- 19–45 m širší úsek s přítomností oslabeného a intenzivně rozpukaného HM. Hodnoty seismických rychlostí jsou dle prezentovaného řezu snížené, v části 23–37 m leží pod úrovní 5600 m/s, směrem do vyšších staničení se zvyšují. V rámci úseku jsou podle rychlostního a odporového řezu interpretovány celkem čtyři lokální zvodnělé diskontinuity, a to ve staničeních 22 m, 33 m a 37 m. V okolí staničení 22 m geologické mapování udává přítomnost dvou významnějších poruch, podobně také na staničení 33, 37 a 45 m. Ve staničeních 24–25 m a 33–34 m je podle hydrogeologického monitoringu evidován přítok vody do štoly ve stropě. Mocnost EDZ je mezi staničením 20–23 m je EDZ lokálně mocnější kolem 1,5 m. To je důsledkem blízké lokální poruchy, v části 23–32 m tohoto úseku se mocnost EDZ pohybuje v rozmezí 0,6–1,0 m, od staničení 32 m ovšem její mocnost roste, v úseku 34–39 m je vymezena v mocnosti až 2,0 m. To je způsobeno přítomností silně porušené horniny v této části stěny, patrně v návaznosti na poruchy ve staničeních 34 a 37 m. Dále v úseku mezi 39–45 m se mocnost EDZ sice snižuje, ale stále je poměrně vysoká rozmezí mezi 1,0–1,4 m.
- 45–61 m poloha málo oslabeného HM, která je charakterizována vysokými hodnotami rychlostí v seismickém řezu (nad 6000 m/s) i elektrických odporů v řezu odporovém (4000–12000 ohm.m). Strukturně geologické mapování uvádí dvě významnější pukliny ve staničeních 47 a 50 m, ve staničení 46 m je interpretována lokální zvodnělá porucha, která v podstatě odděluje tuto oblast od oslabeného úseku 19–45 m. Mocnost EDZ se pohybuje v rozsahu 0,6–1,4 m, vyšší mocnosti jsou patrné v místech výskytu velmi nízkých rychlostí (pod 4000 m/s) mělce při povrchu stěny.
- 61–66 m oblast s indikovanou vyšší intenzitou oslabení, porovnání paralelních profilů (dolní ve výšce 1,0 m versus horní ve výšce 1,6 m) ukazuje, že prostředí HM je v tomto

úseku odporově i rychlostně proměnlivé. Tento oslabený úsek je vymezen poruchami dokumentovanými strukturním mapováním v metrážích 62 a 67 m. Mocnost EDZ se v této části pohybuje v rozmezí 0,7–0,8 m.

 66–75 m - úsek trasy chodby charakterizovaný vysokými seismickými rychlostmi (nad 6000 m/s) a elektrickými odpory (nad 4000 ohm.m), což ukazuje na střední vzdálenost diskontinuit. Mocnost EDZ je v této části 0,8 m.



Obr. 120: Interpretovaný podélný profil v pravé a levé stěně chodby L4a.

Elektronická příloha 12 zobrazuje interpretovaný řez levou stěnou chodby L4a, interpretovaný podélný profil je na obrázku Obr. 120. Popis HM v levé stěně je následující:

- 0–8 m oslabení HM je způsobené z velké části zejména ražbou hlavního překopu v minulosti. Seismické rychlosti jsou nízké (pod 5600 m/s), ovšem směrem od hlavního překopu rychle narůstají a kvalita HM roste;
- 8–25 m blok HM vykazující vysoké hodnoty seismických rychlostí (nad 6000 m/s) i elektrických odporů (5000 ohm.m a více). To ukazuje na prostředí s menší četností diskontinuit, které nejsou vyplněné vodou. Mocnost EDZ je v rámci tohoto úseku mezi hodnotami 0,6–0,8 m.
- 25–34 m úsek vymezený dvěma interpretovanými poruchami, a to na staničení 25 m a 31 m. Interpretovaná zvodnělá struktura koreluje s poznatky hydrogeologického monitoringu (vlhkost ve stropě na staničení 24–35 m, později zde souvisle zvodnělá zóna,

průsaky ve stropě v okolí staničení 29 m) i s výsledky strukturně geologického mapování (významné diskontinuity ve staničeních 24 a 33 m). Mocnost zóny EDZ se výrazně nemění oproti předchozímu úseku, pohybuje s v rozmezí 0,7–1,0 m.

- 34–49 m část trasy s přítomnosti málo porušeného HM, střední vzdálenost diskontinuit je indikována vyššími hodnotami seismických rychlostí (nad 6000 m/s) a elektrických odporů (5000 ohm.m a více). V okolí staničení 39 m je s ohledem na charakter odporového řezu interpretována zvodnělá lokální porucha (hydrogeologický monitoring uvádí v části 40–45 m lokální občasný náznak vlhkosti ve stropě), patrně se jedná o ostře ohraničenou strukturu malé mocnosti vázanou na vrchní část stěny chodby. V tomto staničení uvádí významnější strukturu také geologické mapování. Mocnost EDZ lze sledovat v tomto úseku v rozmezí hodnot 0,6–0,9 m.
- 49–75 m poměrně dlouhý úsek (1/3 celkové délky) s indikacemi oslabení HM díky malé vzdálenosti diskontinuit. Na první pohled je významné oslabení patrné v úseku staničení 49-60 m, kde lze pozorovat výrazný pokles hodnot seismických rychlostí v blízkosti líce stěny chodby (pokles k hodnotám kolem 3000 m/s). Elektrické odpory jsou snížené méně dramaticky, pohybují se kolem 1500 ohm.m. Interpretované poruchy na staničeních 50 a 55 m jsou zvodnělé jen částečně případně je voda ve výplni méně mineralizovaná (hydrogeologický monitoring registruje v úseku 50-60 m klesající intenzitu jevu). Strukturně geologické mapovaní popisuje významnější pukliny ve staničeních 49 a 51 m a také na staničení 56 m, což dobře odpovídá interpretaci poruch z odporového a rychlostního řezu. V úseku 60-75 m lze sledovat vyšší rychlosti i elektrické odpory v blízkosti líce stěny (do vzdálenosti 1,0 až 1,5 m), směrem dále od stěny jak odpory, tak rychlosti klesají na hodnoty podobné jako v části 50-60 m, které jsou odpovídající oslabenému HM. Alterovaná zóna, vymapovaná ve staničení 63-64 m není v geofyzikálních řezech sledovatelná. Mocnost EDZ je v úseku výrazného přípovrchového oslabení výrazně zvýšená - dosahuje hodnot až 1,5 m, ve zbývající části trasy mezi metrážemi 60-75 se pohybuje kolem 0,9 m.

2.9.5 Výsledky geofyzikálních měření v chodbě L4b

Také pro chodbu L4b je provedena společná interpretace výsledků geofyzikálních měření, která je graficky prezentována ve formě podélného profilového řezu. V interpretačním řezu je vyznačen průběh hranice EDZ, sestavený zejména podle průběhu gradientu seismických rychlostí a s přihlédnutím k radarovému měření. Horninové prostředí je rozděleno na málo porušené úseky, ve kterých je vzdálenost diskontinuit střední (600–200 mm) a na oblasti mírně až středně porušené, kde je vzdálenost diskontinuit malá (200–60 mm). Tyto úseky jsou zobrazeny odlišným šrafováním. Členění horninového masivu bylo provedeno s využitím výsledků seismických refrakčních měření (rychlostní řez) a výsledků geoelektrického odporového profilového řezu získaného měřením metodou ERT s přihlédnutím k výsledkům georadaru. Výsledky odporových měření byly také použity pro vyhledání poloh s možnou přítomností zvodnělých puklin, charakterizovaných snížením elektrického odporu, a to i v úsecích mimo zvodnění popsané v rámci hydrogeologického monitorování (pozice těchto poruch je také vyznačena v řezu pomocí šrafování). Barevný podklad řezu zobrazuje petrografický popis převzatý ze strukturního mapování, podle stejných podkladů jsou také zakresleny pozice vybraných významných diskontinuit.

Grafická příloha pro pravou stěnu chodby L4b je označena jako Elektronická příloha 13. Část přílohy s interpretačním podélným profilem je součástí obrázku Obr. 121. Rozdělení HM podle interpretovaného mechanického porušení je následující:

- 0–12 m úvodní část chodby je porušená díky ražbě hlavního překopu v minulosti a díky ražbě stávající, pokles seismických rychlostí při ústí laboratorní chodby je výrazný, v okrajové části chodby lze sledovat rychlosti menší 3000 m/s. V odporovém řezu je patrný pokles hodnot v úseku 9–12 m, zde je také interpretovaná lokální diskontinuita. Strukturně geologické mapování v uvádí v tomto úseku několik významnějších puklin (staničení 1, 3, 8 a 9 m). Určení mocnosti EDZ je v okrajové části chodby nerelevantní.
- 12–23 m úsek málo oslabeného HM byl vymezen zejména s ohledem na rychlostní řez, ve kterém jsou patrné v části dále od líce stěny rychlosti nad 5800 m·s⁻¹. Odporový řez ukazuje na spíše střední hodnoty elektrických odporů (v rozmezí 1200–2500 ohm·m⁻¹), to může být způsobeno vodivou výplní puklin. Výraznější diskontinuity typu lokálních poruch jsou interpretovány ve staničeních 19 m a 23 m (tato již na hranici bloku), dobře korelují s výsledky strukturně geologického mapování. Přítoky do chodby v tomto úseku uvádí hydrogeologický monitoring (vázané na strukturu ve stropě štoly v metráži 25–26, v pravé stěny okolo staničení 22 m). Mocnost EDZ je v této části chodby v rozmezí 0,9– 1,0 m.
- 23–40 m část chodby s indikacemi výraznějšího oslabení HM. Hodnoty seismických rychlostí pod 5600 m/s i v pozicích dále od líce stěny ukazují na malou vzdálenost diskontinuit, střední až nižší hodnoty ukazuje také odporový modelový řez (pod 2500 ohm.m). Výraznější porušení horniny v oblasti blízké líci stěny je patrné v úseku 32–39 m, v rámci této části je také v odporovém řezu patrná přítomnost lokální poruchy ve staničení 34 m. Tato odpovídá pozici alterované zóny tak, jak ji vymezilo strukturně geologické mapování. Druhá porucha je interpretována ve staničení 23 m (již zmíněna výše), zde jsou pozorovány přítoky do chodby ve stropě a v pravém boku. Mocnost EDZ je vyšší v rámci úseku intenzivního oslabení v rozmezí metráží 32–39 m (zde dosahuje až 1,6 m), jedná se o úsek, ve kteém jsou dokumentovány celkem tři významné struktury dle geologického mapování (31, 32 a 34 m), mimo tento úsek se pohybuje mocnost v rozmezí 0,6–1,0 m.
- 40–60 m sledovaný HM je v tomto úseku kompaktní a jen málo porušený. Rychlostní i odporový řez vykazují vysoké hodnoty seismických rychlostí a elektrických odporů (nad 6000 m/s resp. nad 10000 ohm). Jedná se o úsek se střední vzdáleností diskontinuit, bez výplně puklin podzemní vodou. Mocnost EDZ se v této části v rozmezí hodnot 0,6–0,8 m.
- 60–75 m úsek HM v závěru trasy chodby je charakterizován malou vzdáleností diskontinuit, což způsobuje snížení seismických rychlostí v řezu (pod 5600 m/s) i elektrických odporů (méně než 2500 ohm.m). V seismickém rychlostním řezu je patrná oblast vyšší mocnosti EDZ, která zahrnuje prakticky celý uvedený úsek. Mocnost EDZ se pohybuje v rozmezí 1,0–1,6 m. V návaznosti na charakter odporového řezu byla ve staničení 65 m interpretována zvodnělá diskontinuita. Její pozice koresponduje s významnější puklinou detekovanou strukturně geologickým mapováním ve staničení 66 m.

Popis výsledků geofyzikálních měření na levé stěně chodby L4b je součástí Elektronická příloha 13 a obrázku Obr. 121. Rozdělení HM podle intenzity porušení je následující:

- 0–36 m HM v úvodní části chodby v rozmezí metráží 0–10 m je oslaben minulou ražbou • hlavního překopu i aktuálními pracemi při budování nové laboratorní chodby. Seismické rychlosti i měrné elektrické odpory se pohybují v nízkých hodnotách. V okolí staničení 10 m je interpretována zvodnělá diskontinuita podle odporového řezu, přítoky do chodby zde uvádí také hydrogeologický monitoring. V navazující části od staničení 10 m seismické rychlosti postupně narůstají, lokálně lze hovořit o málo porušené hornině, jedná se ovšem jen o menší bloky v rámci kterých lze hovořit o střední vzdálenosti diskontinuit. Celkově je ovšem úsek hodnocen jako oslabený, zejména s ohledem na odporový řez, který je jednak poměrně heterogenní a naměřené hodnoty se pohybují maximálně do 2000 ohm.m. V souladu s odporovým řezem jsou v rámci úseku vymezeny lokální zvodnělé poruchy (staničení 10 m, 18 m, 23 m, 33 m). Významnější pukliny podle poznatků strukturně geologického mapování jsou vymezeny v metrážích 2, 4, 6, 8, 10, 20, 26, 32 a 34 m. Poměrně vysoký počet těchto indikací také potvrzuje, že úsek je hodnocen jako oslabený. Mocnost EDZ je v úvodní části úseku do staničení 12 m vysoká (1,5-1,8 m), v dalších částech se snižuje, ale je poměrně proměnlivá a pohybuje se v rozsahu 0,6–1,4 m.
- 36–61 m v této části je interpretován málo porušený blok HM, který je z pohledu odporového i rychlostního řezu poměrně kompaktní. Seismické rychlosti v hornině v rámci tohoto úseku výrazně přesahují 6000 m/s, lokálně dosahují úrovně kolem 6500 m/s. Také odporový modelový řez reflektuje na přítomnost málo porušené horniny velmi vysokými hodnotami elektrických odporů, ty se pohybují nad úrovní 10000 ohm.m, pozorovat lze ovšem i hodnoty ve vyšších desítitisících ohm.m. Vzdálenost diskontinuit v tomto úseku je střední až velká. Mocnost zóny EDZ je podle gradientu seismických rychlostí určena v rozmezí 0,6–1,0 m.
- 61–75 m závěrečný úsek sledované chodby se profiluje jako oslabený HM, ve kterém převažuje malá vzdálenost diskontinuit. Seismické rychlosti se pohybují v rozmezí 5600–5900 m/s, hodnoty elektrických odporů nejčastěji v rozmezí 1500–5000 ohm.m. U obou sledovaných parametrů se jedná o hodnoty na hranici obou interpretovaných stavů (oslabená versus málo porušený). Interpretace se přiklání k hodnocení HM jako oslabený z důvodu vyšší heterogenity odporového řezu také kvůli vyšší mocnosti EDZ. Ta se v této části pohybuje v rozmezí 0,6–1,2 m, vyšší mocnosti nad 1,0 m jsou patrné v rozmezí metráží 69–73 m.



Obr. 121: Interpretovaný podélný profil v pravé a levé stěně laboratorní chodby L4b.

Limitní hodnota gradientu seismických rychlostí (ve směru kolmém na osu sledované chodby), která je použita ke stanovení hranice dosahu zóny EDZ odpovídá úrovni 800 m/s/m. Tato hodnota je vybrána s ohledem na průběh závislosti gradientu rychlosti a vzdálenosti od líce stěny. Několik grafů, které tuto závislost zobrazují pro levou a pravou stěnu chodby L4a, je uvedeno na Obr. 122, obdobně pro chodbu L4b na Obr. 123.

Jak je vidět na grafech Obr. 122, závislost gradientu na hloubce od líce stěny může vypadat různě. Zřejmě "ideální" průběh z hlediska určení hranice EDZ tímto způsobem představuje u chodby L4a křivka pro staničení 45 m v levém boku, obdobně pak křivka pro staničení 10 m na pravém boku. Při poklesu gradientu k úrovni kolem 800 m/s/s se strmost křivky závislosti rychle snižuje, a to nejen u zmíněných dvou "ideálních" průběhů závislosti gradientu na vzdálenosti, ale i u většiny ostatních křivek. Hranici EDZ lze očekávat v rozmezí gradientu mezi 1000 až 0 m/s/m. Limit 800 m/s/m je tedy spíše optimistický, lze jej označit jako začátek hraniční oblasti. Úvahy o změnách limitní hodnoty jistě proběhnou v budoucnu na základě srovnání s výsledky ostatních metod.

Obdobně jsou pro chodbu L4b prezentovány vybrané grafy závislosti gradientu na vzdálenosti od stěny v Obr. 123. Příznivý průběh je patrný na grafech pro staničení 50 m u levé stěny, pro pravou stěnu je to graf závislosti ve staničení 15 m.



Obr. 122 Graf závislosti gradientu seismických rychlostí na vzdálenosti od líce stěny chodby L4a (pravá a levá stěna). Horní grafy ukazují závislost v trase celé chodby v bodech s krokem 5 m, spodní grafy zobrazují některé vybrané závislosti.



Obr. 123 Graf závislosti gradientu seismických rychlostí na vzdálenosti od líce stěny chodby L4b (pravá a levá stěna). Horní grafy ukazují závislost v trase celé chodby v bodech s krokem 5 m, spodní grafy zobrazují některé vybrané závislosti.

2.10 Seismické účinky trhacích prací

Trhací práce produkují seismické vlny s vysokou amplitudou a se širokým spektrem frekvencí, které je závislé na vlastnostech rozpojovaného materiálu, vlastnostech trhaviny a především technologii trhacích prací, tedy celkové a dílčí náloži a vrtném schématu. Měření účinků trhacích prací probíhá formou sledování rychlosti kmitání pomocí třísložkových snímačů – geofonů. Popis seismického eventu je prezentován ve formě maximální rychlosti kmitání z každého odstřelu i z každé dílčí nálože na časový stupeň a hodnotě frekvence nesoucí maximální kmit i prezentace celého frekvenčního spektra. S rostoucí vzdáleností mezi snímačem a zdrojem energie klesají registrované amplitudy a také dochází ke změnám ve frekvenčním spektru sledovaného záznamu. Frekvenční spektrum seismického záznamu, zachycené v určité vzdálenosti od místa trhací práce, je významnou měrou ovlivněno prostředím, kterým se vlny šíří. Obecně dochází k tomu, že vysokofrekvenční část signálu je tlumena více, maxima frekvenčního spektra se s rostoucí vzdáleností posunují do nižších frekvencí.

Trhací práce při budování PVP II jsou zajištěny na základě Smlouvy s DIAMO, s. p. (SO2020-044) a jsou prováděny jako obrysové, metodou hladkého výlomu s délkou záběru maximálně 2 m. Používány jsou běžné důlní skalní trhaviny (např. výlom Perunit E, obrys Bleskovice Startline 100) a elektrické rozbušky (např. DeD-S-FE).

Běžný odstřel v trase laboratorní chodby má následující spotřebu materiálu (hladký výlom, záběr 2 m max):

Profil (m²)	Perunit E (kg)	Bleskovice 100 (m)	Rozbuška (ks)
14,8	75	105	104

Takto jsou standardně prováděny všechny ražby, pouze u některých vybraných zkušebních komor v chodbě L7 byl způsob realizace trhacích prací modifikován.

2.10.1 Měření seismických účinků trhacích prací

Sledování seismických účinků trhacích nadále v roce 2023 probíhalo s využitím následujícího technického vybavení:

- Průmyslový počítač TANK 870 (Intel® Core i7-6700TE 2.4GHz, 4GB RAM, výrobce iEi Integration Corp., Tchaj-wan);
- A/D převodníková karta PCI-6255 série M, 40 kanálů diferenciálně, 750 kS/s (výrobce National Instruments, USA);
- třísložkové snímače rychlosti kmitání osazené snímacími elementy SM6 (výrobce Sensor, Holandsko).

Základní nastavení režimu záznamové aparatury zůstalo pro rok 2023 nezměněno: vzorkovací frekvence 35 kHz a délka záznamu 10 s. Spuštění měřící aparatury je řízeno koincidencí seismického signálu na minimálně dvou snímačích s překročením prahové hodnoty rychlosti kmitání 2,5 mm·s⁻¹. Blokové schéma měřící a registrační linky je ilustrováno na obrázku Obr. 124.



Obr. 124: Blokové schéma měřící linky

Třísložkové seismické snímače (geofony) jsou instalovány v pozicích dle zadání ve východní stěně dopravního ochozu PŠ1-123 v pozicích mezi jednotlivými raženými chodbami (snímače 1– 4, od března 2021) a od srpna 2021 také na konci laboratorních chodeb L7 (snímač 5) a L8 (snímač 6). Snímač 5 v čelbě chodby L7 byl počátkem února 2023 odstraněn z čelby z důvodu prodloužení laboratorní chodby L7 o 5 m, začátkem března 2023 byl instalován do blízkosti původní pozice v severním okraji větrací chodby V78 na její západní stěně při křížení s chodbou L7. Pozice snímačů jsou zakresleny do mapového podkladu na Obr. 125. Měřícími elementy ve snímačích jsou geofony SENSOR SM6 s vlastní frekvencí 4,5 Hz. Jedná se o indukční snímače, kdy pohybem cívky v poli permanentního magnetu vzniká elektrické napětí přímo úměrné rychlosti kmitání tělesa cívky. V každém snímači jsou umístěny tři měřící elementy, jeden ve vertikálním směru (odpovídá kanálu 1) a dva horizontální (podélná složka na kanálu 2 je orientována dle možností ve směru osy laboratorních chodeb, příčná složka odpovídá kanálu 3 a je orientována kolmo k podélné). Citlivost snímačů je 28,8 V/m/s⁻¹.

Pozice snímačů byla geodeticky zaměřena, včetně směru podélné osy, který je dán spojnicí dvou bodů (Tab. 19):

Snímač	X1	X2	¥1	Y2	Z1	Z2
1	1127927,352	1127926,064	622725,736	622720,850	20,479	20,504
2	1127891,982	1127892,203	622720,302	622715,474	19,860	19,917
3	1127847,547	1127849,198	622712,732	622708,290	19,460	19,502
4	1127796,274	1127798,217	622695,476	622691,388	19,188	19,187
5	1127923,212		622629,488		20,562	
5*	1127929,42		622643,07		20,37	
6	1127958,575		622634,469		20,311	

Tab. 19 Zaměřené pozice jednotlivých snímačů.

Pozn: Pozice 1 odpovídá snímači ve stěně, pozice 2 pak průmětu osy snímače na stěnu protější strany chodby. **5***: nová pozice od 03/2023.



Obr. 125 Umístění snímačů pro monitorování seismických účinků trhacích prací

Měření v roce 2023 probíhalo obdobně jako v roce 2022, detailně je to popsáno v roční zprávě projektu za 2022 (Bukovská et al. 2023).

2.10.2 Vyhodnocení záznamů seismických účinků trhacích prací

Všechny seismické záznamy jsou ukládány v naměřeném formátu (*.mio, standardní formát předního výrobce A/D měřících karet National Instruments). Záznamy jsou průběžně vyhodnocovány, to představuje vyhodnocení maximální hodnoty rychlosti kmitání s odpovídající frekvencí maximálního kmitu. Tyto hodnoty jsou vyčísleny pro:

- každou zaznamenanou složku snímače,
- pro vybraný časový stupeň jednotlivého odstřelu v každé složce,

- pro každou zaznamenanou složku snímače s omezením horní frekvencí 2000 Hz,
- pro vybraný časový stupeň jednotlivého odstřelu v každé složce s omezením horní frekvencí 2000 Hz.

Vyhodnocené hodnoty jsou spolu s pozicí TP (staničením příslušné čelby) zaznamenány do přehledu (tabulky). Příklad tabulky s vyhodnocením je na obrázku Obr. 126. Kompletní tabulka je součástí Elektronická příloha 14. Grafické výstupy zpracování seismických záznamů sestávají z několika částí:

- Souhrnný seismogram, který zobrazuje časový průběh rychlostí kmitání pro všechny registrované kanály v celé délce zaznamenané události, 1 odstřel trvá cca 2–2,5 s. Příklad souhrnného seismogramu je na obrázku Obr. 127;
- Detailní grafická prezentace vyhodnocení "po snímačích", pro každý snímač jsou zobrazeny kromě celkového časového průběhu záznamu také vyhodnocené hodnoty na všech třech měřených složkách (vertikální, podélná, příčná) a na vypočtené prostorové rychlosti. Příklad tohoto výstupu je včetně detailního popisu uveden na obrázku Obr. 128
- Grafy maximálních rychlostí kmitání pro skupinu událostí (odstřelů) zobrazují logický celek sestavený z několika dílčích záznamů. Pro záznamy odpalů na čelbách v jedné chodbě jsou zobrazeny úrovně pro jednotlivé snímače (příklad pro chodbu L4b je na obrázku Obr. 130) a také souhrnně prostorové rychlosti pro všech 6 snímačů (ilustrační graf pro chodbu L4b je na obrázku Obr. 131). Grafická prezentace výsledků je náplní Elektronická příloha 14.
- Přehledné znázornění vyhodnocení odstřelu se zákresem maximálních amplitud horizontálních složek rychlosti kmitání pro všechny snímače je prezentováno na Obr. 129.

Záznam	datum a čas	chodba	staničení			S	1	S1	S	2	S2	S	3	S3	S	4	S4	S	5	S5	S	6	S6
						V max	f max	L (m)	V max	f max	L (m)	V max	f max	L (m)	V max	f max	L(m)	V max	f max	L (m)	V max	fmax	L(m)
Bukov348	12.04.2023	ZK7-3J+2S	1.70		1	12.2	2500	66.62018	35.1	2333	68.26418	14	875	90.96667	2.9	1400	129.6679			25.23772	11.9	2692	41.74373
	1:11:52	ZK7-3J+2S	1.70		2	12.7	796	66.62018	19.7	2333	68.26418	13.4	833	90.96667	3.7	1842	129.6679			25.23772	16.7	2917	41.74373
		ZK7-3J+2S	1.70		3	29.9	1129	66.62018	47.1	2500	68.26418	15.1	2917	90.96667	4.9	2188	129.6679			25.23772	15.8	2692	41.74373
		ZK7-3J+2S	1.70	Р		31.2	1667	66.62018	48	2500	68.26418	20.2	17550	90.96667	5.7	1400	129.6679			25.23772	17.2	2917	41.74373
Bukov354	28.04.2023	ZK-3J	3.60		1	10.9	2692	66.3252	12.3	2059	68.92701	15.1	875	92.36474	2	778	131.4153	167.9	2917	25.65807	12.8	3500	40.208
	9:31:14	ZK-3J	3.60		2	11.1	2692	66.3252	8.1	2692	68.92701	10.1	972	92.36474	2.1	1129	131.4153	173.6	2500	25.65807	16	3500	40.208
		ZK-3J	3.60		3	12.4	2692	66.3252	15	2917	68.92701	10.5	854	92.36474	2.6	714	131.4153	122.6	2917	25.65807	10.2	3182	40.208
		ZK-3J	3.60	Р		14.6	1591	66.3252	15.2	1944	68.92701	19.1	875	92.36474	3.3	1296	131.4153	201.3	2500	25.65807	16.2	1750	40.208
Bukov355	03.05.2023	ZK-3J	5.40		1	15.9	2500	66.09494	12.7	2188	69.59699	12.2	2500	93.70552	2.5	1458	133.0746	173.6	2692	26.17756	13.3	2917	38.78287
	0:00:29	ZK-3J	5.40		2	11.8	2692	66.09494	7.8	2692	69.59699	9.6	778	93.70552	2.2	1094	133.0746	173.6	2692	26.17756	16.3	3182	38.78287
		ZK-3J	5.40		3	13.8	3182	66.09494	17.5	2692	69.59699	11.3	1094	93.70552	3	1029	133.0746	173.6	2917	26.17756	11.6	1296	38.78287
		ZK-3J	5.40	р		18.4	1400	66.09494	18	1944	69.59699	14.6	1000	93.70552	3.7	1250	133.0746	233.3	1750	26.17756	18.8	2188	38.78287
Bukov356	04.05.2023	ZK-3J	7.20		1	14.3	2692	65.91304	11	2333	70.30668	12	2188	95.06148	2.1	972	134.7376	173.6	2333	26.80807	11.7	3182	37.3901
	23:47:58	ZK-3J	7.20		2	11.4	2917	65.91304	7.2	2682	70.30668	7.1	1346	95.06148	1.5	921	134.7376	173.6	2917	26.80807	12.4	2917	37.3901
		ZK-3J	7.20		3	13.6	2917	65.91304	15.9	3181	70.30668	7.6	2692	95.06148	2.6	1296	134.7376	173.6	2333	26.80807	13.4	2917	37.3901
		ZK-3J	7.20	Р		16.1	2500	65.91304	16.2	2917	70.30668	12.9	1207	95.06148	2.8	1458	134.7376	4375	4375	26.80807	15	1129	37.3901
Bukov357	09.05.2023	ZK-3J	9.10		1	16.6	2692	65.77395	15.9	2333	71.09756	12	2500	96.50852	1.5	1346	136.4967	173.6	2059	27.58562	11.5	2917	35.95919
	16:11:48	ZK-3J	9.10		2	10.1	3182	65.77395	8.2	2917	71.09756	5.5	2500	96.50852	1.5	2333	136.4967	173.6	2500	27.58562	14.8	3182	35.95919
		ZK-3J	9.10		3	15.4	1522	65.77395	20.6	2692	71.09756	11.1	3182	96.50852	2.6	2500	136.4967	173.6	2500	27.58562	10.2	2917	35.95919
		ZK-3J	9.10	Р		16.9	2692	65.77395	22.2	2917	71.09756	13.1	2917	96.50852	2.6	2333	136.4967	213.3	2917	27.58562	15.1	3182	35.95919
Bukov358	11.05.2023	ZK-3J	10.00		1	19.4	2692	65.72714	13.9	2188	71.48676	7.9	2692	97.19941	2	1029	137.3312	173.6	2333	27.99143	12.2	3182	35.29685
	15:55:54	ZK-3J	10.00		2	10.5	3182	65.72714	8	2692	71.48676	5.4	2692	97.19941	1.4	1346	137.3312	173.6	2500	27.99143	12.2	3500	35.29685
		ZK-3J	10.00		3	13.9	3182	65.72714	18.6	2692	71.48676	7.8	2917	97.19941	2.2	2917	137.3312	173.6	2917	27.99143	10.3	3182	35.29685
		ZK-3J	10.00	Ρ		20.1	2500	65.72714	19	2500	71.48676	9.3	2692	97.19941	2.4	946	137.3312	300.7	2500	27.99143	18.5	2917	35.29685

Obr. 126 Ukázka vyhodnocení seismických záznamů účinků trhacích prací (Vmax - maximální rychlost kmitání, fmax - frekvence kmitání nesoucí maximální rychlost, 1 - vertikální složka, 2 - horizontální složka podélná, 3 - horizontální složka příčná, P - prostorová složka)



Obr. 127: Ukázka souhrnného seismogramu pro číslo měření 348 pro společný odpal na čelbách zkušebních komor ZK7-3J a ZK7-2S ve staničení 0–1,7 m (první odpaly).



Obr. 128: Ukázka vyhodnoceného seismogramu pro číslo měření 348 na snímači 5 pro společný odpal na čelbách zkušebních komor ZK7-3J a ZK7-2S ve staničení 0–1,7 m (první odpaly). V oknech pod sebou jsou uvedeny hodnoty rychlosti kmitání pro vertikální složku rychlosti V, podélnou složku H1, příčnou složku H2 a prostorovou velikost rychlosti (vektorový součet V1xH1xH2). V levé části jsou odečtené hodnoty maximálního zákmitu, ve střední části je okno s časovým průběhem rychlosti a vpravo frekvenční spektrum.



Obr. 129 Znázorněný výsledků vyhodnocení odpalu 159 v mapovém podkladu.



Obr. 130: Hodnoty rychlostí kmitání na snímači 4 pro jednotlivé složky kmitání (vertikální, podélnou H1 a příčnou H2) při odpalech v chodbě L4b.



Chodba L4b, prostorová rychlost, snímače č. 1 - 6

Obr. 131: Hodnoty prostorových rychlostí kmitání měřené na snímačích 1–6 pro odpaly v chodbě L4b.

Obr. 130 dobře ilustruje útlum registrovaných maxim rychlosti kmitání v závislosti na rostoucí vzdálenosti mezi bodem odpalu a snímačem. Odchylky od ideální závislosti (nepřímé úměry) mohou být způsobeny například rozdílným odporem těženého materiálu kladeným proti rozpojení. Obecně platí, že seismická odezva - otřes (registrovaná hodnota rychlosti kmitání) je

tím menší, čím snáze překonává nálož odpor lomové stěny proti rozpojení. Proto také předimenzovaná nálož působí menší otřes než nálož poddimenzovaná (Šťastník 2005).

Hodnocením účinků trhacích prací se zabývá technická norma ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Posouzení účinků vibrací na stavební objekty a konstrukce dle této normy vychází ze stanovení konstanty přenosu K. Její hodnoty jsou závislé na typu prostředí a vzdálenosti od zdroje (místa odstřelu), pro hlavní typy prostředí jsou orientačně tabelovány a lze je použít k odhadu účinků trhacích prací za pomoci zákona útlumu seismických vln (viz rovnice dále).

	Konstanta přenosu K							
Vzdálenost <i>l</i> [m]	Podloží ze skalních a poloskalních hornin se	Ostatní horniny mimo horniny						
	stream az veimi maiou nustotou diskontinuit	ve zvoanelem prostreal						
10	350	250						
50	250	150						
200	150	120						
500 a více	120	100						

Tab. 20: Informativní hodnoty konstanty přenosu energie K [kg^{-1/2}.m².s⁻¹] dle ČSN 73 0040

Grafické znázornění téhož je na následujícím obrázku Obr. 132.



Koeficient přenosu K dle ČSN 730040

Obr. 132 Koeficient přenosu dle ČSN 73 0040 pro podloží ze skalních a poloskalních hornin, závislost na vzdálenosti od zdroje energie.

Zákon útlumu seismických vln dle ČSN 73 0040 je popsán vztahem:

$$V_{\max} = K \times \frac{\sqrt{Q}}{l}.$$

K – konstanta přenosu [kg^{-1/2}m²s⁻¹]
V_{max} - maximální rychlost kmitání [mm.s⁻¹]
Q - hmotnost nálože [kg]
I - vzdálenost od zdroje [m]

Používána je obvykle redukovaná vzdálenost L_{R} , definovaná jako:

 $\left(L_{R}=l/\sqrt{Q}\right)$

Zobrazení závislosti maximální registrované rychlosti kmitání na redukované vzdálenosti pro odpaly v chodbě L4a přináší grafy na obrázcích Obr. 133 a Obr. 134.



Obr. 133: Závislost maximální rychlosti kmitání V_{max} na redukované vzdálenosti L_R (logaritmická škála) pro snímače 1-6. Vertikální složka, nálož s časovým stupněm 0 (4ks, 2400 g), chodba L4a.



Obr. 134: Závislost maximální rychlosti kmitání V_{max} na redukované vzdálenosti L_R (logaritmická škála) pro S4 s lineární regresí křivkou (regresní koeficient $R^2 = 0.6$). Vertikální složka, nálož s časovým stupněm 0 (4ks, 2400 g), chodba L4a.

Stanovení závislosti konstanty přenosu *K* na redukované vzdálenosti *LR* umožňuje predikovat seismické zatížení prostředí, konstrukcí či objektů v různých vzdálenostech od zdroje energie (výbuchu) s využitím zákona útlumu seismických vln, případně upravovat množství použité trhaviny tak, aby seismické zatížení nepřesáhlo stanovené limity. Tento vztah je obvykle považován za lineární, řešením úlohy jsou tedy parametry proložené regresní přímky a posouzení těsnosti zjištěného lineárního vztahu (regresní koeficient). Pro zjednodušení jsou sledovány minimální a maximální hodnoty konstanty přenosu vybraných eventů, které dané události dostatečně popisují. Jedná se o záznamy s pořadovými čísly 268 až 313, které odpovídají trhacím pracím při ražbě laboratorní chodby L4a. Uvedené analýzy pro vybrané jevy jsou náplní následujících obrázků Obr. 135 a Obr. 136 tabulky Tab. 21.

Tab. 21: Vypočtené hodnoty konstanty přenosu K pro krajní hodnoty (MAX a MIN) redu	kované vzdálenosti
L _R pro odpaly v chodbě L4a a snímače 1–6.	
	7

KONSTANTA PŘENOSU – K									
snímač	L _R MIN [m]	MIN [m] K [kg ^{-1/2} m ² s ⁻¹]		K [kg ^{-1/2} m ² s ⁻¹]					
S1	99.0	120.8	124.3	109.4					
S2	76.9	137.0	104.2	141.8					
S3	48.7	234.9	80.0	108.8					
S4	14.9	236.2	51.6	133.0					
S5	99.8	73.9	102.7	108.9					
S6	123.6	91.5	127.6	57.4					
S7	76.9	132.3	104.2	111.5					



Obr. 135: Závislost konstanty přenosu K na redukované vzdálenosti L_R pro snímače 1–4, (viz. Tab. 2). Vertikální složka, nálož s časovým stupněm 0 (4ks, 2400 g), chodba L4a.



Obr. 136: Závislost konstanty přenosu K na redukované vzdálenosti L_R (vybrané maximální a minimální hodnoty L_R pro jednotlivé snímače), (viz. Tab. 2) proložené lineární regresní křivkou (regresní koeficient $R^2 = 0.7$). Vertikální složka, nálož s časovým stupněm 0 (4ks, 2400 g), chodba L4a.

2.11 Charakterizace EDZ

V oblasti charakterizace EDZ byly v roce 2023 realizovány tyto práce:

- Dokončení zhotovení měřicích zařízení do EDZ vrtů (ÚGN i SGG)
- Odzkoušení měřicích zařízení na pracovišti CEG ve štole Josef, které měly především za úkol ověřit funkčnost navrhnutých měřicích zaříjení a vlastní způsob měření v podmínkách in situ (ÚGN + SGG)
- Navržení rozmístění měřicích vrtů na PVP II ve spolupráci s pracovníky ÚGN, SGG, a INSET.
- Měření v sedmi realizovaných vrtech na chodbě L8 ÚGN.
- Zpracování výsledků měření na chodbě L8 ÚGN.

2.11.1 Popis měřicích zařízení

Měřicí zařízení ÚGN (viz schéma Obr. 137) sestává z níže uvedených hlavních částí, uvedené zapojení měřicího pultu bylo upraveno na základě měření ve štole Josef. Měřicí zařízení se skládá z těchto jednotlivých funkčních celků:

- Tlaková láhev s tlakovým médiem (stlačený vzduch) opatřena manuálními regulátory tlaku (REG láhev a REG pracovní tlak – pro nastavení zkušebního tlaku vody v měřicím intervalu ve vrtu.)
- Tlakovou nádobou (*Tank H*₂O) se zkušební vodou o objemu 32 dm³ a maximálním dovoleným tlakem 2,5 MPa (viz Obr. 138)
- Měřicí pult sestávající s rozváděcími, regulačními a uzavíracími ventily (*I1p, I1_Q, P1, I2_Q, I2p, P2 PHU, Regulace vstup, PHÚ, Odtok atp*,); průtokoměry (Velký *Q, Malý (1)Q atp.*) měřící průtok zkušební vody v intervalech (*I1 a I2*) pakrové sondy (zelená část schématu, viz Obr. 137), analogovýmí manometry (*Man*) a elektrickými snímači tlaku (*M1, M2 a Mp*) pro měření tlaku v pakrech a intervalu (*Man*).
- Pakrová sonda (max. použitelný tlak do 2 MPa), která se připojuje pomocí plastových tlakových trubek k měřicímu pultu (viz Obr. 137 a Obr. 139). Maximální použitelný tlak zkušební vody v intervalech pakrové sondy je do cca 1,8 MPa.
- Ruční tlaková pumpa (*Pumpa*) se zásobníkem vody (*kanystr H2O*) pro tlakováni obturátorů pakrové sondy (pakry ((*P1 a P2*); zelená část schématu, (viz Obr. 137 a Obr. 139).
- Srdcem celého měřicího zařízení je dataloger Dewetron a NB pro záznam naměřených hodnot tlaků v pakrech, průtoků zkušební vody v měřicích intervalech a měřeni zkušebního tlaku hydraulického média v intervalu na uzavřené větvi, kvůli eliminaci tlakové ztráty způsobené jeho prouděním do intervalu.

Na obrázku (Obr. Obr. 140) je vyobrazeno vlastní měřicí zařízení a provádění kalibrace v podmínkách in situ.



Obr. 137 Blokové schéma měřicího zařízení pro měření v EDZ vrtech



Obr. 138 Schéma tlakové nádoby sloužící jako zásobník zkušební vody pro zásobování (sycení) měřicích intervalů



Obr. 139 Fotografie pakrové sondy a její rozměrové schéma



Obr. 140 Fotografie měřicího zařízení pro tlakové zkoušky - vlevo, kalibrace zařízení - vpravo

2.11.2 Popis měřicího zařízení

Zařízení se skládá z dvojitého mechanického pakru (délka jednotlivých pakrů je 150 mm), který umožňuje realizaci vodních tlakových zkoušek v etáži o délce 100 mm. Měřicí etáž v pakrové sondě je přímo propojena pomocí tlakové hadice s expanzní nádobou, která zajišťuje stálý pracovní tlak a průtok do měřicí etáže. Zařízení je určeno k testování do maximálního tlaku 1 500 kPa a do maximálního průtoku 200 ml.s⁻¹. Průtok je měřen pomocí změny hmotnosti expanzní nádoby, která je umístěná na váze. Minimální detekovatelný průtok je 0,005 ml.s⁻¹.



Obr. 141. Fotografie měřicího zařízení pro EDZ vrty – SGG, vlevo – snímek těsnících pakrů a měřicí etáže (intervalu), vpravo – expanzní nádoba s váhou měřící množství vody proteklé do měřené etáže ve vrtu

2.11.3 Návrh rozmístění a způsobu zhotovení vrtů pro monitorování EDZ na PVP II

Návrh rozmístění a způsobu zhotovení monitorovacích vrtů pro EDZ bylo navrženo na základě zkušenosti z měření ve štole Josef, vzájemných konzultacích na kontrolních dnech a mezi pracovníky INSETu, SGG a ÚGN. Návrh rozmístění vrtů byl proveden tak, aby reflektoval již provedená a plánovaná geofyzikální měření v oblasti PVP II pro vzájemnou možnou korelaci výsledků. Rozmístění EDZ vrtů je zřejmé z Obr. 142. Celkem bylo navrženo pro monitorování EDZ 27 vrtů oproti projektu, kde bylo plánováno 36 vrtů délky 2 m (33 % vrtů) a 1 m (67 % vrtů) s celkovou metráži 48 m. Menší počet navržených vrtů pro měření EDZ byl vyprojektován z důvodu většího podílu navržených vrtů s 2 m délkou (89 % vrtů, Tab. 22) Celková metráž projektovaných vrtů byla dodržena, tj. 51 m.

Na základě geofyzikálních měření lze konstatovat, že EDZ zóna bývá zachycena od líce výrubu do vzdálenosti od 0,5 m až do cca 1 m, objevují se ale i úseky do hloubky až 1,5 m. Z tohoto důvodu byly navrženy dvoumetrové vrty, aby bylo možné vypovídajícím způsobem zachytit případné rozdíly hydraulických poměrů v zóně EDZ do hloubky HM od líce výrubu.

Na základě zkušebního měření ve štole Josef byly vrty projektovány s úklonem -10° a -15° z důvodu jejích zavodnění kvůli zamezení nadměrného rozpouštění vzduchu ve zkušební vodě

v měřicím intervalu. Stěna chodby v okolí ústí vrtu byla upravena pomocí speciálního vyhlazovacího vrtného dláta, tak aby bylo možné prodloužit ústí vrtu připravenou přírubu o vnitřním průměru 76 mm fixovanou pomocí tří nainstalovaných kotvících šroubů (viz Obr. 143). Příruba byla na mezikruží vytvořeném vyhlazovacím dlátem těsněna pomocí pryžového těsnění.



Obr. 142 Schéma rozmístění EDZ vrtů na chodbách PVP II

Chodba	Staničení (m)	Umístění v díle	délka vrtu k proměření (m)	úklon vrtu
	5	pravý bok	2	-10°až-15°
	12,3	pravý bok	1	-10°až-15°
	29,2	levý bok	1	-10°až-15°
L8	32,7	levý bok	2	-10°až-15°
	47,2	pravý bok	2	-10°až-15°
	52,2	pravý bok	1	-10°až-15°
	76 (L8-76P)	pravý bok	2	
	28	levý bok	2	-10°až-15°
	42	levý bok	2	-10°až-15°
	50 (L7-50L)	levý bok	2	
	58	levý bok	2	-10°až-15°
L7	72	levý bok	2	-10°až-15°
	42	pravý bok	2	-10°až-15°
	57	pravý bok	2	-10°až-15°
	71	pravý bok	2	-10°až-15°
	76– 77	pravý bok (roh JZ)	2	-10°až-15°
1768	87 (L7-87L)	levý bok	2	
E7 83	100 (L7-90F)	čelba	2	
	L4d 5-6	levý bok zapad	2	-10°až-15°
	L4c 5-6	pravý bok východ	2	-10°až-15°
Oblact als 1.4. Noviet	L4b 5-6	levy bok sever	2	-10°až-15°
Oblast ch. L4+ Napjat.	72 (L4a 72L)	levý bok	2	
- Pill	72 (L4a 72I)	levý bok nahoru	2	
	62	levý bok	2	-10°až-15°
	62	levý bok inkline	2	+30-45°
1.5	10	pravý bok	2	-10°až-15°
LJ	40	pravý bok	2	-10°až-15°

Tab. 22 Seznam EDZ vrtů s jejich projektovanými parametry

Pozn. Založení ústi vrtů od počvy cca 0,8– 1,4m; šedě podbarvené řádky označují již navrtané EDZ vrty



Obr. 143 Schéma úpravy ústí vrtu – vlevo, nainstalovaná extenzní přírubou – vpravo

2.11.4 Popis způsobu měření

Přípravné práce

V rámci zadání bylo stanoveno provést in-situ měření propustnosti horninového masivu formou měření průtoku na izolovaných intervalech ve vrtech. Měření probíhalo v chodbě L8 ve 3 dvoumetrových, 3 jednometrových vývrtech a první dvoumetrové části průzkumného vrtu (staničení L8-76 m) o standardních průměrech 76 mm. Vrty byly vedeny kolmo do levého i pravého boku chodby L8 a mírně úpadně (viz Tab. 22). Pro potřebu měřit propustnost in-situ bezprostředně i v okolí ústí vrtu každý vrt vyžadoval speciální úpravu. Ta spočívala ve vyrovnání a k ose vrtu kolmém zabroušení okolí ústí vrtu pro účely aplikace speciální nadstavby. Nadstavba ve formě příruby s navařenou trubkou prodlužuje vrtný stvol (pracovní prostor sondy) a umožňuje umístit pracovní interval sondy i do oblasti bezprostředně k ústí vrtu. Příruba s plochým mezikružným pryžovým těsněním zajistí nepropustný kontakt mezi přírubou nadstavby a horninovým masivem. Pro uchycení příruby k vrtu je potřeba vymezit pozice a následně instalovat vhodné kotevní šrouby (viz Obr. 143).

Před samotným měřením je tedy potřeba ověřit kvalitu stěn předmětných vrtů. To je provedeno subjektivní rekognoskací kvality a přípravy ústí vrtů a dále video-inspekcí EDZ vrtů. Tato fáze je realizována před vlastními experimentálními tlakovými zkouškami, nemusí časově bezprostředně navazovat.

Kalibrace

Po přesunu zařízení na lokalitu a sestavení jeho komponent do zapojení umožňujícího zahájení měření bylo nutno provést kontrolní kalibraci zařízení. Metoda kalibrace spočívala ve vytvoření aktualizovaného nomogramu porovnání velikosti průtoku vypočteného z objemu vody prošlého přes systém měřicího zařízení za určitý čas a výsledku průměrování zaznamenávaných digitalizovaných hodnot průtoku zařízením během každého kalibračního experimentálního kroku.

V rámci kalibrace použité pro toto měření bylo provedeno 12 experimentálních srovnávacích kroků s rozsahem průtoku mezi 0–1350 ml/min. Pro potřeby kalibrace všech tří používaných průtokoměrů zároveň byly propojeny výstupy na měřicím panelu tak, že umožňovaly sestavení potřebné vodní cesty v zařízení se sériově připojenými průtokoměry.

K zjištění skutečného objemu vody proteklého systémem (přibližně 0,5–1 litr v každém kroku) bylo využito vážení získaného objemu vody v odměrném válci na digitálních vahách s přesností 0,2 g. Čas experimentálního kroku pro získání dostatečného objemu vody k vážení byl měřen ručními stopkami. Takto získaný digitální nomogram je pak využit při interpretaci reálných měření.

Měření in-situ

Zařízení, které používáme, je konstruováno jako sonda se dvěma 15 cm pakry izolujícími 10 cm interval (etáž) v EDZ vrtu. Sonda umožňuje realizovat měření 2 způsoby. Standardně je využíván interval (I2) mezi dvěma pakry, tj. k přímému měření průtoku standardně vymezeným (10 cm) úsekem vrtu. Konstrukce sondy však také umožňuje měřit v rozsahu intervalu od umístění vzdálenějšího pakru sondy ve vrtu až do dna vrtu (I1). Tento způsob využíváme k měření pozicí u dna vrtu, kdy již není k dispozici prostor ve vrtu pro umístění vzdálenějšího pakru (viz Obr. 144).



Obr. 144 Schéma aplikace dvou metod měření: I1 – izolovaný úsek měření za sondou až ke dnu vrtu, I2 – izolovaný úsek mezi dvěma pakry sondy.

Samotné měření začíná instalací vrtné nadstavby (příruby) na monitorovaný vrt. Tím je umožněno měření v oblasti bezprostředně u ústí vrtu. Pozice intervalu měření na sebe navazují po 10 cm směrem od ústí.

Měření v každém určeném stanovišti ve vrtu vyžaduje nastavení sondy do správné pozice, její fixaci a zajištění izolace zájmového intervalu od zbytku vrtu natlakováním pakrů. Následně je na měřicím pultu nastavena vodní cesta tak, aby došlo k zavodnění a odvzdušnění celého systému vstupujícího do měření – zejména odvzdušnění oddělené větve měřící tlak media v intervalu. Nedostatečné odvzdušnění systému změkčuje systém, mění charakter fyzikálních procesů a tím prodlužuje zbytečně dobu nezbytnou pro stabilizaci hledané – charakteristické hodnoty průtoku média do intervalu v daném experimentálním kroku.

Po zavodnění systému je přerušen průtok ve větvi s manometrem, takže měření tlaku v intervalu není ovlivňováno tlakovými ztrátami v propojovací cestě. Po spuštění měření jsou zaznamenávána data ze všech 3 průtokoměrů a všech 3 manometrů. Základní frekvence odečítání byla nastavena na 0,01 s.

Data jsou prostřednictvím datalogeru Dewetron primárně zapisována do souborů *.dwx. Zároveň jsou zapisovaná data on-line vizualizována na obrazovce NB pro účely bezprostřední kontroly průběhu experimentu operátorem. Jde zejména o sledování a zajištění dostatečného časového prostoru pro ustálení sledovaných hodnot průtoku média do intervalu. V našem případě se jednalo o cca 5 a více minut.

Vyhodnocení

Po skončení celého experimentu jsou data exportována ze souborů *.dwx do čitelné podoby *.csv a dále manuálně zpracována interpretátorem. Pro tuto kampaň byl zvolen jednotný režim sledování průtoku vody do masivu – průměrování přímého průtoku za stejného tlakového zatížení intervalu (tlak v pakrech cca 1,5 MPa, tlak zkušební vody 1–1,1 MPa). Na Obr. *145* je zobrazen charakteristický průběh záznamu jednoho experimentálního kroku měření.

Na grafu průtoku je dobře patrné napouštění intervalu do pracovního tlaku a pak dále rychlost spotřeby média během experimentu do času T2 uzavření přívodu vody. Lze odhadnout, že k ustálenému stavu průtoku v tomto případě došlo přibližně v době od cca 150 s. Pro průměrování byl zde využit časový interval 150–250 s. V některých experimentech jsme vyzkoušeli i alternativní metodu - měření poklesu tlaku ve sledovaném intervalu po uzavření přívodu vody. Na obrázku jde o část za časem T2. Tato metoda byla aplikována jen v některých případech (nesystematicky) a zatím nebyla vyhodnocována, ale zdá se být vhodná zejména v případech nízké propustnosti v daném úseku, kdy hodnoty průtoku klesají k hranici rozlišovací schopnosti čidla.


Obr. 145 Ukázka typického průběhu průtoku a tlaků v jednom z kroků experimentálního měření. Pro zviditelnění chování průtoku po ustálení je zobrazen průtok (červená) i v jednotkách 0,01 ml/min (žlutá); čára T2 vyznačuje okamžik uzavření zdroje vody a sledování poklesu tlaku v měřeném intervalu (modrá)

2.11.5 Zpracování a diskuze výsledků měření

Naměřené hodnoty průtoků a tlaků v jednotlivých experimentálních krocích v měřených intervalech EDZ vrtů jsou zpracovány v grafech na Obr. 146 až Obr. *151*. V grafech jsou rovněž uvedeny rozměrově upravené snímky vrtných jader pro potřebu vzájemné korelace stavu HM zastiženého EDZ vrty vzhledem k naměřeným hodnotám průtoku získaných během tlakových zkoušek. Není zachován skutečný poměr stran snímků vrtných jader z důvodu lepší porovnatelnosti stavu vrtného jádra vzhledem k rozměrům grafu. V grafech jsou rovněž uvedeny poznámky z pozorování během realizace tlakových zkoušek na chodbě L8.



Obr. 146 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_4,5_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



Obr. 147 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_12,37_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



Obr. 148 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_29,20_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



Staničení pozice testovaného intervalu (cm)

Obr. 149 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_32,70_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



Obr. 150 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_47,20_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



151 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_52,15_DR se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM



Obr. 152 Výsledné hodnoty průtoků tlakové zkoušky v měřených intervalech vrtu L8_76 se snímkem jeho vrtného jádra odrážející stav HM

Z prvotních měření EDZ vrtů na chodbě L8 (viz Obr. 146 až Obr. 152) můžeme konstatovat, že u tří vrtů L8_12,37_DR; L8_52,15_DR a L8_76 (Viz Obr. 147, Obr. 150 a Obr. 152) tlakové zkoušky ukázaly zhoršené hydraulické vlastnosti horninového masivu do vzdálenosti 30-40 cm od líce výrubu v porovnání s vývojem hodnot průtoku měřicího média na úrovni cca ± 0,5 ml.min⁻ ¹ zjištěných ve vzdálenějších partiích vrtů. U vrtu L8_29,2_DR byly zaznamenány tyto hodnoty až do vzdálenosti cca 0,5–0,6 m. U dvou vrtů L8 4,5 DR a L8 47,2 DR (viz Obr. 146 a Obr. 150) byly zvýšené hodnoty průtoku naměřeny pouze v prvních 10 cm délky vrtu, o něco vyšší nízké hodnoty průtoku cca 0,5–1,0 ml.min⁻¹ (viz Obr. 146) ve vzdálenějších partiích vrtů byly zaznamenány u vrtu L8 4,5 DR, nacházející se ve špatné kvalitě HM dle geofyziky (viz Obr. 142). U vrtu L8 47,2 DR, nacházející se v oblasti s výbornou kvalitou, byly naměřeny tyto nízké hodnoty průtoku ve vzdálenějších partiích vrtů na úrovni pod cca 0,5 ml.min⁻¹. Můžeme konstatovat, že ve všech měřených etážích 0-10 cm byla zaznamenána jejich hydraulická komunikace se stěnou chodeb, jednalo se vždy o komunikaci přes jednu trhlinu v HM. Co se týká korelace naměřených průtoků se stavem (porušenosti) horninového jádra EDZ vrtů lze prozatím pouze v některých případech vypozorovat spojitost s vyššími naměřenými hodnotami průtoku v měřicích intervalech, například u vrtu L8_32,70_DR (viz Obr. 149), popřípadě L8_4,5_DR (viz Obr. 146). Ve většině případů vlastní porušenost horninového jádra přímo neindikuje horninový masiv se zvýšenou hydraulickou vodivostí.

2.12 Systém klasifikace horninových bloků

Nově ražené prostory PVP II a data získaná během realizace projektu slouží k vytvoření a testování nového klasifikačního systému hodnocení horninového prostředí. Tento klasifikační systém je vyvíjen za účelem kvantitativního porovnání různých vlastností a parametrů horninového prostředí. Klasifikační systém hraje důležitou roli při vyhodnocení vhodnosti horninového prostředí pro budování hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a jeho bezpečné ukládání. Cílem vyvíjeného klasifikačního systému je systematické a objektivní hodnocení vlastností horninových bloků. Základním přístupem je kategorizace horninových bloků na základě jejich geologických, strukturních, mechanických a hydrogeologických vlastností, které ovlivňují jejich stabilitu a schopnost zadržovat radioaktivní látky (resp. dovolit jejich únik a migraci).

Nový klasifikační systém hodnocení horninových bloků vyvíjený v rámci projektu byl v roce 2023 detailněji specifikován a jednotlivé vstupní parametry a jejich význam pro výsledné zhodnocení byly revidovány. Návrh klasifikace horninových bloků (dále v textu KHB) vychází v základních přístupech z podkladů a doporučení zpracovaných společností POSIVA (Hagros et al. 2022, workshop 2/2022), které navazují na práci Hagros (2006). Za účelem testování byly podle upraveného klasifikačního schématu, navrženého v rámci předchozí etapy projektu (Bukovská et al. 2023), hodnoceny chodby L4a (a v ní ležící průzkumný vrt S-24) a L4b (a v ní ležící průzkumný vrt S-33). Podklady pro hodnocení dle všech sledovaných parametrů jsou uvedeny v příloze (Elektronická příloha 15), graficky jsou výsledky vyneseny v situaci PVP II (viz Elektronická příloha 16).

2.12.1 Úpravy KHB během testování

Během testování klasifikačního systému došlo k několika úpravám. V prvním stupni klasifikace došlo k úpravě hodnocení průzkumného vrtu v případě, že nebyly realizovány vodní tlakové zkoušky (parametr c). V takovémto případě je snížen požadovaný minimální počet hodnotících bodů o dva. To znamená, že pro označení úseku vrtu za vhodný postačí a + b \geq 4.

Dále byla do klasifikace v prvním stupni zakomponována kromě navrhované karotáže i geologická dokumentace vrtu a měření metodou Possiva Flow Log. Výsledkem všech tří metod jsou konkrétní diskrétní hodnoty výskytu kritických struktur. To, že je poloha těchto struktur ve vrtu různá, je dáno metodami získání těchto údajů, předpokládáme, že chyba ve staničení vrtu je u všech metod zanedbatelná.

Ve druhém stupni klasifikace byl z hodnocení vyřazen parametr d (klasifikace výrubu podle Bartona et al. 1974). Primárním účelem stanovování tohoto parametru je určení stability čelby vzhledem k jejímu zajištění při ražbě. Tato klasifikace je poměrně citlivá na výskyt rozevřených vyplněných diskontinuit. Klasifikace hodnotí oblast danou délkou postupu a plochou výrubu. Ve skutečnosti však šikmá diskontinuita, která okrajově zasahuje do tohoto hodnoceného prostoru, znemožní výběr celé této oblasti jako místo pro vybudování úložného prostoru. V kontextu druhé metody hodnocení v druhém stupni (měření rychlosti seismických vln na bocích chodby) není tento parametr příliš přesný.

Oproti předchozímu návrhu jsou polohy kritických struktur odvozeny z geologické dokumentace po skončení ražby. Takto lze komplexněji a s vyšší přesností určit polohu kritické struktury.

Do hodnocení jsou zakomponovány i výsledky hydrogeologické dokumentace chodeb. Hydrogeologické posouzení je zde vztaženo k chodbě jako celku a není členěno na pravý a levý bok. To je dáno malými přítoky do díla a jejich částečnou migrací v čase. I těmto kritickým strukturám je přiřazen kritický obsah CV = 1 m. Za hydrogeologicky kritické struktury jsou uvažovány ty, u kterých lze odebírat vzorky a hodnotit jejich chemický charakter (ne vždy je však zřejmé z jaké struktury voda přitéká, tzn. nelze vždy ztotožnit s geologicky dokumentovanou kritickou strukturou).

Pro představu, co jaká metoda použitá v KHB hodnotí a jaké jsou projevy kritické struktury viz obrázek (Obr. 153).





Obr. 153 Prostorové zobrazení záběru použitých hodnotících metod a projev kritické struktury v těchto metodách

V předložené klasifikaci není zhodnoceno geochemické působení prostředí na inženýrské bariéry (citlivost vůči ukládacímu obalovému souboru – uhlíková a korozivzdorná ocel a těsnícímu jílovému materiálu - bentonit). Tento nedostatek jsme se snažili eliminovat zakomponováním hydrogeologických pozorování do kritických struktur v rámci II. stupně KHB. Vzhledem k již získanému rozsahu hodnot dat posuzovaných klasifikačním systémem na PVP Bukov II, nepředpokládáme při hodnocení dalších chodeb v rámci obdobného prostředí výrazné změny v rámci bodového hodnocení sledovaných parametrů v KHB. Rovněž v chápání kritické struktury zřejmě nedojde k výraznému posunu její definice. Jediným parametrem, který je nutno dále posuzovat a upřesňovat, je rozsah kritického objemu (CV) okolo kritických struktur. Snížení velikosti kritického objemu povede ke zvýšení rozsahu oblastí splňujících požadavky KHB pro budování úložných komor.

Pro vrt S-24 byly použity rychlosti šíření seismických vln (parametr b) z tomografického měření ve vrtu vztažené vždy k polovině metrového úseku. Pro vrt S-33 byly použity hodnoty rychlosti šíření seismických vln odečtených z tomografického rychlostního řezu spočtené pro pozici vrtu (vrt v době měření seismické tomografie ještě nebyl realizován). Prezentované hodnoty jsou

vztaženy do dílčích metrových úseků. Pro hodnocení masívu považujeme za vhodné realizaci měření rychlosti seismických vln přímo ve vrtu.

Pro vrt S-24 byly použity zjištěné parametry hydraulické konduktivity (parametr c) metodou vodních tlakových zkoušek, které byly realizovány v úsecích 2–15 m a 15,0–75,5 m. Ve vrtu S-33 vodní tlakové zkoušky realizovány nebyly, nejsou tedy pro hodnocení použity.

Kritické struktury, definované ve zprávě Bukovká et al. (2023), byly na vrtném jádře a ve vrtu detekovány na základě karotáže, geologické dokumentace vrtu a podle měření Possiva flow log. Zjednodušeně ji lze definovat takto: *"Jedná se o libovolnou detekovatelnou diskontinuitu v rámci geologické dokumentace, nebo pomocí karotážních, případně jiných metod (dle geotechnické klasifikace je to rozevřená diskontinuita) s mocností mechanicky slabší výplně ("měknoucí" - typicky jílové minerály, chlorit, kataklazit a další) alespoň 30 mm, nebo s detekovaným přítokem větším než 2 ml/s/1 m chodby nebo vrtu (7200 ml/hod), za diskontinuitu je považována i poloha foliované horniny s horšími mechanickými vlastnostmi (bohatší biotitem, chloritem apod.)." V rámci níže prezentovaného hodnocení byla snížena požadovaná mocnost až k hodnotě 10 mm.*

2.12.2 Výsledky testování KHB na chodbách L4a a L4b

I. stupeň KHB

Výsledkem prvního stupně KHB je procentuální podíl délky vrtu, který splňuje požadavky dané zvolenými parametry omezené výskytem kritických struktur a jejich kritických objemů. Pokud výsledný procentuální podíl splní požadavky dané projektem, dojde k ražbě ukládací chodby. Stanovení konkrétní minimální hodnoty leží mimo rámec návrhu této klasifikace.

Ve vrtu S-24 (v chodbě L4a, délka 89 m) bylo určeno, že 51,5 % jeho délky splňuje požadavky dané KHB.

Ve vrtu S-33 (v chodbě L4b, délka 75,41 m) bylo určeno, že 60,7 % jeho délky splňuje požadavky dané KHB.

II. stupeň KHB

V rámci druhého stupně KHB jsou hodnoceny oba boky již vyražené chodby. Boky chodby se hodnotí proto, že se budují zkušební komory v laboratorních chodbách, které nám v tuto chvíli reprezentují ukládací místa. Hodnocení počvy není s ohledem na její provedení možné.

Geofyzikální měření rychlosti šíření seismických vln (parametr e) v bocích je udáváno ve vzdálenosti 2 m za ostěním chodby.

Výsledkem II. stupně KHB je grafické zhodnocení vhodných úseků na bocích chodeb, kde je možné realizovat ukládací komoru (viz Elektronická příloha 16).

Jako vhodnou oblast pro hloubení ukládacích komor lze v případě levého (severního) boku chodby L4a označit úseky o souhrnné délce 41,0 m (54,7 %). Na pravém jižním boku chodby L4a splňují požadavky dané KHB úseky souhrnné délky 38,6 m (51,5 %).

Levý (severní) bok chodby L4b disponuje 44,6 m (58,4 %) vhodnými pro realizaci ukládacích komor, pravý (jižní) bok chodby L4b pak 37,0 m (49,1 %).

3 Plán prací 3/24-2/25

V rámci posledního roku řešení projektu budou práce postupovat dle aktuálního plánu ražeb a zejména dle Realizačního projektu prací (Bukovská et al. 2021). Dokončení ražeb posledních dvou zkušebních komor v chodbě L5 je plánováno na konec března 2024. Charakterizační práce se budou přímo odvíjet od stavu a postupu díla v podzemí a budou mu přizpůsobeny. Dále budou dokončeny všechny plánované laboratorní práce a v druhé polovině poslední etapy projektu budou všechna data zpracována, interpretována. Bude připravena jejich grafická a textová prezentace, která bude jádrem závěrečné zprávy projektu.

3.1 Geologická a strukturně-geologická charakterizace

V poslední etapě projektu budou v první polovině roku 2024 práce pokračovat obdobným způsobem jako v předchozích letech řešení a budou zpracovány doposud nezdokumentované nebo nevyražené části PVP II. V rámci této etapy bude realizována geologická a strukturně-geologická charakterizace chodeb L4c, L4d, konec chodby L7 a plánovaných experimentálních rozrážek v L5 a L6. Tyto práce budou přímo odvislé od dokončení ražeb. Bude dokončena primární geologická a geotechnická charakterizace čeleb, strukturně-geologická a petrografická charakterizace chodeb a zkušebních komor. Závěrečná fáze projektu povede k dopracování veškerých laboratorních i in-situ prací, interpretaci a sumarizaci dat a sestavení závěrečné zprávy z realizace projektu.

3.2 Petrografická a geochemická charakteristika

V roce 2024 bude provedena petrografická charakterizace chodeb L4c, L4d, konec chodby L7 a plánovaných experimentálních rozrážek v L5 a L6. Dále budou detailněji charakterizovány a popsány zastižené litologie v PVP II a vybrané výbrusy budou podrobeny analýzám chemického složení na elektronovém mikroskopu. Zároveň proběhnou výpočty PT podmínek vybraných litologií za účelem stanovení podmínek metamorfózy horninového prostředí. Také bude dokončeny analytické práce a interpretace a dat ze vzorků hydrotermálních karbonátových a sulfidických mineralizací z chodeb L4a a L4b. Z vybraných vzorků budou vyseparovány minerály na jednotlivé analýzy, následně budou provedeny analytické práce, grafické zpracování a interpretace získaných dat, které budou podkladem pro zpracování závěrečné zprávy. Budou dokončeny celohorninové geochemické analýzy všech odebraných vzorků a všechny data budou společně zpracována včetně detailních petrogenetckých a geotektonických interpretací. V návaznosti na celkovou geochemickou charakteristiku proběhne studium indikátorů redoxních podmínek v horninovém prostředí, charakterizace metasomatických procesů a stanovení vývoje redoxního potenciálu a redukční kapacity horninového prostředí směrem do hloubky.

3.3 3D strukturně-geologický model

V posledním roce řešení bude dokončena tvorba finálního 3D strukturně-geologického modelu oblasti PVP II, která se rozšíří o prostory vyražené koncem roku 2023 a zbývající plánované chodby cca do dubna 2024 – zejména chodby L4c, L4d a zkušební komory v chodbách L5 a L5 – obdobným způsobem jako stávající část modelu. Model bude v případě relevance doplněn o další získaná data z jiných metod než základní strukturněgeologické a petrografické

dokumentace (seismická tomografie, vrty v geotechnických stanicích, reálné průběhy vrtů dle inklinometrie aj.). Model bude opět sestaven na základě fotogrammetrie chodeb a zkušebních komor a vynesených dat z in-situ měření a petrologického popisu. Finální verze modelu se všemi dostupnými daty bude k dispozici na konci projektu.

3.4 Hydrogeologická charakterizace

V následujícím roce řešení projektu bude pokračovat dokumentace průsaků do prostoru PVP II s postupem ražeb zkušebních komor v chodbě L5 ve stejném rozsahu a se stejnou metodikou, jako byly prováděny dosavadní práce. V intervalu 1x za rok proběhne revize dokumentovaných přítoků. Její výsledky budou vzhledem k termínům odevzdání zpráv zahrnuty v příští etapové zprávě. V závěru projektu budou veškerá hydrogeologická data sumarizována v závěrečné zprávě.

Hydrogeologický monitoring bude pokračovat i v dalším roce řešení projektu a zohlední návrhy vzniklé během hydrogeologického mapování. V intervalu 1x za 3 měsíce bude realizováno vzorkování podzemních vod. Výsledky hydrogeologického monitoringu budou zpracovány v závěrečné zprávě.

V rámci studia původu a stáří vody byly na začátku roku 2024 odebrány vzorky podzemní vody z vrtu S-25 (doposud nevzorkován), opakovaný odběr z 296HCR0007, opakovaný odběr z 296HCR0038 a vzorek technické vody používané při vrtání a vyplachování vrtů. Účelem je zjistit původ kontaminace v objektech 296HCR0007, 296HCR0027 (zaniklý) a 296HCR0030 (zaniklý). Pozornost bude věnována analýzám stabilních izotopů δ^{34} S, protože při opakovaném odběru v roce 2023 byly zjištěny výrazně vyšší hodnoty δ^{34} S. Pracovní hypotézou je v současnosti vliv redoxních procesů a vlivu bakteriálního osídlení.

Bude zhodnocen vrt L8-54DL pro odběry vzorků podzemní vody pro analýzy stabilních a radioaktivních izotopů. Tento vrt má nízkou vydatnost, bude tedy provedeno jeho zčerpání a měření vzestupu hladiny pro ověření vydatnosti přítoků.

Důkladnější interpretace výsledků datování a původu vod bude provedena, až budou k dispozici kompletní analýzy odebraných vzorků podzemní vody a technické vody jako potenciálního zdroje kontaminace.

3.5 Transportní charakteristiky

V roce 2024 bude dokončeno stanovení difúzních a sorpčních parametrů odebraných vzorků Výsledky těchto měření budou hotové během první poloviny 2024 a během tohoto roku budou zpracovány a interpretovány a budou sloužit k porovnání a doplnění dat z dolu Rožná získaných v rámci předchozích projektů. Data budou prezentována souhrně spolu s dalšími souvisejími parametry jako je porozita, mineralogické a chemické složení hornin či složení podzemní vody.

3.6 Stanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin laboratorně

V průběhu kalendářního roku 2024 budou na velkoobjemových vzorcích dokončeny všechny plánované laboratorní zkoušky dle realizačního projektu. Všechny data budou zpracována a interpretována v závěrečné zprávě.

3.7 Stanovení fyzikálně mechanických a geotechnických vlastností hornin in-situ testy

V únoru roku 2024 budou realizována měření napětí horninového masivu v geotechnické stanici na L4a v úpadním vrtu L4a-72D (ÚGN). V oblasti odběru hornin pro FMV ve staničení 85,8 m chodby L07, staničení 10,0 m chodby L06 a ve staničení cca 32 m na chodbě L5 bude v roce 2024 prováděno orientační stanovení pevnosti hornin in situ na základě korelace naměřených hodnot odrazivosti na bocích důlních děl PVP Bukov II a naměřených hodnot pevnostních parametrů hornin v laboratoři; měření bude realizováno horizontálně orientovaným Schmidtovým kladívkem na identických litologických typech hornin vybraných pro testování v laboratoři (ÚGN). V druhé polovině roku 2024 proběhne v horizontálních vrtech L7-87L a L4a-72L měření OBI a Goodman Jack.

3.8 Geofyzikální charakterizace

V návaznosti na dokončení zkušebních komor v laboratorní chodbě L7 bude provedeno geofyzikální sledování stavu HM v okolí komor a laboratorní chodby. Cílem je pokusit se srovnat rozsah indukovaného oslabení HM v závislosti na způsobech provádění trhacích prací, které byly při ražbě ZK v L7 modifikovány. V rámci projektu geofyzikální charakterizace bude provedeno měření v chodbách L4c a L4d s využitím seismické refrakční tomografie, ERT a georadaru. Obdobně pak bude proměřena i větrací chodba V-56. Získaná data budou zpracována a výsledky získané během celého projektu budou zpracovány v závěrečné zprávě.

3.9 Seismické účinky trhacích prací

Monitorování seismických účinků trhacích prací bude pokračovat v období 2/24–4/24 v konfiguraci se 6 třísložkovými snímači. Ukončení monitorování se předpokládá po dokončení ražeb v březnu či dubnu 2024. Výsledky monitoringu budou následně vyhodnoceny a vliv trhacích prací na horninové prostředí bude zhodnocen v rámci závěrečné zprávy.

3.10 Charakterizace EDZ/EdZ

V posledním roce projektu budou pokračovat tlakové zkoušky ve vrtech EDZ na chodbách L7 a L5 a po navrtání posledních vrtů v oblasti chodeb L4 i v těchto EDZ vrtech. Zároveň bude probíhat vyhodnocování tlakových zkoušek (ÚGN i SGG). Výsledně bude rozsah a charakter EDZ studovaných chodeb diskutován v závěrečné zprávě.

3.11 Klasifikace horninových bloků

Během závěrečné etapy projektu je třeba definovat rozsah kritických objemů (CV) okolo kritických struktur (CS). V návaznosti na to proběhne finální testování celého klasifikačního systému, který bude v ucelené formě prezentován v rámci samostatné zprávy.

4 Zhodnocení horninového prostředí chodeb L4a a L4b

4.1 Zhodnocení horninového prostředí L4a

Na základě průběžné geotechnické a geologické dokumentace čelebí během ražby díla, strukturně-geologické dokumentace stěn chodby, hydrogeologického mapování a s využitím výsledků geofyzikálních měření provedených na stěnách chodby L4a (mělká refrakční seismika, elektrické odporová tomografie, georadar a v předstihu provedená seismická tomografie mezi vrty) bylo vytvořeno korelační schéma (Elektronická příloha 17), které zobrazuje zjištěné skutečnosti. Dle jednotlivých metod jsou vymezeny jednak úseky tvořené málo porušenou horninou s nízkou četností diskontinuit, a také intervaly, ve kterých předpokládáme zvýšenou intenzitu rozpukání a tudíž relativní oslabení horninového masivu.

Petrograficky převažují v chodbě L4a biotitické migmatity místy pozvolna přecházející do migmatitizovaných biotit-amfibolických pararul a migmatitizovaných amfibolitů. Zároveň jsou zde zastoupeny budiny amfibolitů a vzácněji polohy hrubozrnného pegmatitu.

Průběžný popis čeleb a prováděná geotechnická klasifikace výrubu vymezuje úseky nejmenšího porušení masivu v intervalech staničení 4–24, 46–60, a 67–74 m. Úsek staničení 14–46 m se jeví podle geotechnických hodnocení jako relativně více porušený zejména díky častějšímu výskytu lokálních poruch a kvůli většímu počtu diskontinuit na m³ horniny. Hodnocení masivu je také snižováno díky přítomnosti podzemní vody.

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že porušení horninového masivu je poměrně homogenní, většina puklin je vyhojená, nevýrazná, neprůběžná napříč chodbou a nevýznamná. Strukturně geologická dokumentace zachytila několik výraznějších průběžných zlomových struktur lokalizovaných ve staničení cca. 22,9, 34,0, 35–36, 37,9, 39,4, 48,2, 62 a 70,3 m. Mocnost a výplň těchto zón se mění v měřítku metrů a je svou mocností silně variabilní (2–60 cm). Většinou je tvořena kataklastickou směsí jílových minerálů, chloritu a karbonátů, místy se silně alterovanými fragmenty okolní horniny. Na puklinách je také častý i výskyt sulfidů. V některých případech se jedná o zóny křehce reaktivované foliace, projevující se silnou altarací (chloritizací) biotitem bohatých restitových partií.

V chodbě L4a byl v prosinci 2022 zaznamenán slabý průsak ve stropě na metráži 24 až 25 m s nejasným strukturním vztahem. Při revizi v únoru 2023 a v lednu 2024 byl tento průsak součástí široké, téměř souvisle zvodnělé zóny v úseku 24 až 35 m. Výraznější průsak na metráži 29 m je vázaný na dokumentovaný zlom. V lednu 2024 byly zaznamenány občasné kapky v okolí zlomu ve stropě a souvisle zvodnělá zóna běžící šikmo chodbou od 25 m až k výstroji chodby a dále za ní na metráži cca 35 m. Tato zóna je vázaná na řadu foliací a struktur rovnoběžných s chodbou. Slabé průsaky byly v únoru 2023 dokumentovány v úseku 40 až 45 m ve stropě a levé stěně chodby a červnu 2023 byl tento úsek prakticky suchý pouze s lokálními náznaky vlhkosti. V lednu 2024 se v tomto úseku vyskytovala pouze vlhká skvrna na 46 m na levé stěně dole. Široký slabě zvodnělý pás se vyskytoval v únoru 2023 na metráži 50 až 60 m. V červnu 2023 byl celý pás prakticky suchý s lokálními náznaky vlhkosti na velmi malých plochách. V lednu 2024 byl úsek suchý jen s větší vlhká skvrnou na levé stěně 50,5–52 m. Nově byla v lednu 2024 zdokumentována na metráži 3 až 4 m vlhká zóna na pravé stěně vybíhající do stropu na křížení foliace s průběžnou puklinou (289/80) ve stropě.

Geofyzikální měření provedené na stěnách chodby mělo hloubkový dosah v prvních jednotkách metrů. Sledovány byly rychlosti šíření seismických vln a elektrické odpory hornin. Úvodní část profilových řezů v blízkosti stěny díla je více či méně ovlivněna ražbou, od vzdálenosti cca 1 m od líce stěn je tento vliv již velmi malý či zanedbatelný a metody charakterizují horninu prakticky v původním stavu. Podle výsledků refrakční seismiky byly na základě rychlostních profilových řezů vymezeny intervaly s výskytem málo porušené horniny charakterizované střední vzdáleností diskontinuit (200–600 mm). Jedná se o následující intervaly:

- Levá stěna: 8–25 m, 34–49 m;
- Pravá stěna: 11–19 m, 45–61 m, 66–75 m.

Velmi kompaktně se projevuje úsek ve staničení 45–61 m na pravé straně chodby, a to z hlediska výsledků odporového i seismického měření. Jeho protějškem na levé straně chodby je úsek staničení 34–49 m, kde jsou zachyceny vyšší seismické rychlosti a elektrické odpory. Kompaktně se také v levém boku chodby projevuje interval mezi metrážemi 8–25 m. Oslabení masivu je naopak patrné v úseku mezi metrážemi 24–45 m v pravém boku a úsek mezi staničením 50–60m v levém boku.

Seismická tomografická měření provedená před zahájením ražby laboratorních chodeb mezi průzkumnými vrty umožnila sestavit horizontální rychlostní řez v celém horninovém bloku zájmového prostoru. Relativní oslabení horniny bylo podle výsledků tohoto měření zachyceno v úvodní části chodby v rozmezí metráží 0–10 m.

Celkově lze horninové prostředí v místě laboratorní chodby L4a charakterizovat jako málo až středně porušené. V některých oblastech je míra oslabení HM vyšší, zejména ve střední části trasy laboratorní chodby (úsek 24–45 m), zde je také dokumentována většina přítoků do chodby. Stav HM je v místě ražby poměrně proměnlivý, oslabení detekované v jednom boku chodby je často v protějším boku zachycené s několikametrovým posunem nebo jen s menší intenzitou

4.2 Zhodnocení horninového prostředí L4b

Na základě průběžné geotechnické a geologické dokumentace čelebí během ražby díla, strukturně-geologické dokumentace stěn chodby, hydrogeologického mapování a s využitím výsledků geofyzikálních měření provedených na stěnách chodby L4b (mělká refrakční seismika, elektrické odporová tomografie, georadar a v předstihu provedená seismická tomografie mezi vrty) bylo vytvořeno korelační schéma (Elektronická příloha 18), které zobrazuje výsledky provedených prací. V souladu s poznatky jednotlivých metod jsou vymezeny úseky tvořené málo porušenou horninou s nízkou četností diskontinuit, a také intervaly, ve kterých předpokládáme vyšší míru oslabení HM, která se projevuje zvýšenou intenzitou rozpukání.

Vzhledem k těsné blízkosti je chodba L4b litologicky identická jako chodba L4a. Je tvořena hlavně biotitickým migmatitem místy pozvolna přecházející do migmatitizovaných biotit-amfibolických pararul a migmatitizovaných amfibolitů. Zároveň jsou zde přítomné i budiny amfibolitů a vzácněji polohy hrubozrnného pegmatitu.

Průběžný popis čeleb a prováděná geotechnická klasifikace výrubu vymezuje úseky nejmenšího porušení masivu v intervalech staničení 9–19, 40–64 m. Úseky staničení 0–9 m, 19–40 m a 64–75 m se jeví podle geotechnických hodnocení jako relativně více porušený zejména díky častějšímu výskytu lokálních poruch a kvůli většímu počtu diskontinuit na m³ horniny. Hodnocení masivu je také snižováno díky přítomnosti podzemní vody. Výrazné porušení je registrováno ve

stropě chodby ve staničení 35–38 m (úsek nestabilního výrubu způsobený polohou s vysokým podílem biotitu v hornině).

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že porušení horninového masivu je poměrně homogenní, většina puklin je vyhojená, nevýrazná a neprůběžná. Strukturně-geologická dokumentace zachytila několik výraznějších průběžných zlomových struktur lokalizovaných ve staničení cca. 1,5, 3, 8,5, 10–10,7, 19,2, 25,9, 30,9, 34, 64, 66 a 73 m. Mocnost a výplň těchto zlomů je svou mocností silně variabilní (2–40 cm) a mění se také podél průběhu jednotlivých struktur. Většinou je tvořena kataklastickou směsí jílových minerálů, chloritu a karbonátů, místy se silně alterovanými fragmenty okolní horniny. V některých případech se jedná o zóny křehce reaktivované foliace, projevující se silnou altarací (chloritizací) biotitem bohatých restitových partií. Na puklinách je také častý i výskyt sulfidů.

V rámci hydrogeologického mapování vyly v chodbě L4b v červnu 2023 dokumentovány slabé průsaky související se střižnou zónou s průběžnou puklinou na levé stěně na 13,5 až 16 m. V lednu 2024 měl průsak charakter vlhké levé stěny o šířce 3 m částečně vybíhající do stropu. Na metráži 8,5 až 11 m se vyskytují průsaky v okolí zlomové zóny. Napříč přes zónu běží průběžná puklina, která je pravděpodobně také zdrojem zvodnění. V červnu 2023 byl z této poruchy odebrán vzorek podzemní vody. V lednu 2024 bylo zvodnění ve formě zóny v levé stěně o šířce cca 4 m vybíhající do stropu s občasnou kapkou. Průsaky v okolí jedné z větví zlomu byly zaznamenány na metráži 3 až 4 m. Vlhkost na pravé stěně v okolí zlomu je vázaná na foliační plochy. V lednu 2024 byl stav obdobný, intenzivnější úkapy umožnily odběr vzorku. Na metráži 22 až 26 m se nachází porušená zóna částečně stabilizovaná pletivem a v centrální části je zlom o šířce 5 až 30 cm. V září 2023 byly v této části zaznamenány intenzivní kapky a byl odebrán vzorek podzemní vody. Při revizní dokumentaci v lednu 2024 byl stav a rozsah obdobný. Jedná se o nejvydatnější přítok do chodby L4b. Na křížení puklin a foliací je vázaná vlhkost v pravé stěně na metráži 27,5 m. V lednu 2024 byla vlhká pravá stěna v šířce cca 2 m, vlhkost výrazně vybíhala do stropu s občasnými kapkami ze stropu. Na metráži 32 m byla zaznamenána slabá vlhkost na stropě vázáná na průběžný zlom, který se ve stropě větví. Na levé stěně byla vlhká skvrna na metráži 24 m.

Geofyzikální měření provedené na stěnách chodby mělo hloubkový dosah v prvních jednotkách metrů. Sledovány byly rychlosti šíření seismických vln a elektrické odpory hornin. Úvodní část profilových řezů v blízkosti stěny díla je více či méně ovlivněna ražbou, od vzdálenosti cca 1 m od líce stěn je tento vliv již zanedbatelný a metody popisují horninu prakticky v původním stavu. Podle výsledků refrakční seismiky byly na základě rychlostních profilových řezů vymezeny intervaly s výskytem málo porušené horniny charakterizované střední vzdáleností diskontinuit (200–600 mm). Jedná se o následující intervaly:

- Levá stěna: 36–60 m;
- Pravá stěna: 12–23 m, 40–60 m.

Jako málo porušený se jeví zejména úsek ve staničení 40–60 m v obou bocích, a to z hlediska výsledků odporového i seismického měření. Oslabení masivu je naopak patrné v úseku mezi metrážemi 23–36 m, kde jsou indikovány snížené seismické rychlosti a elektrické odpory. Jako více oslabená (rozpukaná) se jeví také oblast začátku chodby v blízkosti hlavního překopu (staničení 0–12 m), ve které je také lokalizováno několik přítoků do díla.

Seismická tomografická měření provedená v průzkumných vrtech před zahájením ražby laboratorních chodeb umožnila sestavit horizontální rychlostní řez v celém horninovém bloku

zájmového prostoru podzemní laboratoře. Relativní oslabení horniny bylo podle výsledků tohoto měření zachyceno jednak v úvodní části chodby v rozmezí metráží 0–10 m, dále pak je patrný pokles rychlostí v rozmezí staniční 59–65 m (zde v pravém boku podle seismického měření na stěně patrné oslabení HM).

Celkově lze horninové prostředí v místě laboratorní chodby L4b charakterizovat jako převážně středně porušené, vzdálenost diskontinuit převažuje malá. Především jde o oblasti v rozmezí metráží 0–12 m, 23–36 m a 60–75 m. Relativně stabilní HM se střední vzdáleností puklin je zastižen v rozmezí metráží 40–60 m v obou bocích chodby.

5 Shrnutí

V rámci tohoto roku řešení projektu byly zpracovány prostory chodeb: L4a, L4b a zkušební komory v L7 a L6. Většina těchto prostor byly zdokumentovány z hlediska charakterizace čeleb, petrografické a strukturní dokumentace stěn podzemních děl a vrtů. Pro dokumentaci vrtů byly sestaveny vrtné kolonky.

Z hlediska stability podzemního díla probíhala roce 2023 ražba ve velmi dobrých geotechnických podmínkách. Zhoršené vlastnosti horninového masivu byly pozorovány pouze v místě křížení tektonických poruch v místech, kde je vlivem zvětrání a deformace výrazně sníženou pevnost. V chodbě L4a se mírně zhoršily některé sledované parametry na staničení 48,7 m, 65,5–66,8 a v úseku 46,9–52,9 a 57,0 m. V chodbě L4b dochází k výraznějšímu poklesu bodového hodnocení horniny pouze na staničeních 7,3 m a v úsecích 21,4–29,0 a 70,6–74,5 m. V chodbách L4c, L4d, ZK7-1J, i zkušebních komorách v L6 a L7 byly zaznamenány pouze drobné poklesy bodového hodnocení horniny.

Ve studovaných částech PVP II má metamorfní foliace relativně homogenní orientaci a upadá uniformě k ~JZ pod středními úhly. Často obsahuije relikty vrásových struktur s generelně subhorizontálními vrásovými osami. Foliační plochy jsou často křehce reaktivované, což se projevuje vznikem zón intenzivní alterace předečím biotitem bohatých restitových poloh. Křehké poruchy jsou zastoupeny v profilu chodby relativně homogenně a jedná se nejčastěji o extenzní pukliny typu I. Ty se vyskytují individuálně nebo v puklinových zónách s různou hustotou puklin, jen výjimečně se vyskytují pukliny střižné. Pukliny a puklinové zóny mají obvykle průběh V–Z až SV–JZ a SZ–JV. Zlomy jsou relativně vzácné a jejich mocnost obvykle dosahuje max. několika cm. V chodbě L4a bylo identifikováno 11 zlomových zón lokalizovaných především na metrážích 23 m, 35 m, 49 m, 62 m a 70 m. V chodbě L4b je jich také 11, nicméně se vyskytují hlavně na prvních deseti metrech a na metrážích 20 m, 32 m a 67 m.

Oblast chodeb L4a a L4b je dominantně tvořena biotitickým migmatitem. Místy zde dochází k pozvolným přechodům podél ploch foliace do migmatitizované pararuly a migmatitizovaného amfibolitu. V celém dokumentovaném prostředí se vyskytují budiny amfibolitů a vzácněji polohy hrubozrnného pegmatitu. Také se vyskytuje poměrně vysoké množství zlomových poruch, jejichž okolí je charakterizováno různým stupněm alterace. Vzhledem k charakteru litologického prostředí, kde biotitem bohaté litologie často plynule přechází do amfibolem bohatých litologiích, jsou hranice mezi definovanými litologiemi obtížně mapovatelné. Litologické prostředí lze i přes tyto přechody považovat za poměrně homogenní. Přibližně na metráži 65 m protíná chodby L4a a L4b výrazná střižná zóna paralelní s okolní foliací, která je téměř kompletně vyplněná chloritizovaným biotitem. Zkušební komory v chodbě L7 jsou tvořeny biotitickým migmatitem, který místy přechází do amfibol-biotitického migmatitu či pararuly. Ve všech zkušebních komorách se vyskytují budiny amfibolitu a na stěnách se vyskytují rezavé povlaky oxidů a hydroxidů Fe. V chodbách L4a a L4b se vyskytují především strmé křemen-karbonátové žíly vícegeneračním kalcitem a křemenem. Lokálně se vyskytuje i dolomiticko-ankeritický karbonát. Sulfidická mineralizace je na plochách puklin a v žilách zastoupena především pyritem, méně pak pyrhotinem. V dutinách se vyskytují drobné zeolity a baryt. Nově analyzované vzorky mají variabilní obsahy jak hlavních, tak i stopových prvků, nicméně v základních rysech vykazují podobné geochemické vlastnosti jako vzorky studované v předchozí etapě projektu (Bukovská et al. 2023). Geochemické charakteristiky ukazují, že metasedimentární horniny odpovídají původně nevytříděnému pískovci derivovaného z nezralých zdrojů klastického materiálu, zatímco metavulkanické horniny svým chemickým složením reprezentují původně

bazaltické lávy. Drobné odchylky jsou nejspíše způsobené rozdíly v deformačním a metamorfním přetisku.

Míra zvodnění podzemí v prostoru PVP II je velmi nízká. V chodbách a zkušebních komorách ražených v letech 2022 se nevyskytují žádné vydatné přítoky podzemních vod. Většina průsaků do chodeb má charakter vlhnutí stěn s občasnými úkapy. Aktuálně nejvyšší měřitelná vydatnost relativně soustředěného průsaku v rámci PVP II v chodbě L8 je přibližně 0,001 I.s⁻¹. Vydatnosti výtoků z vrtů ústících do hlavní chodby PŠ1-123 se pohybovaly u většiny vrtů do 0,003 I.s⁻¹, výtok z vrtu S-33 byl v době před ražbou chodby L4a cca 0,01 I.s⁻¹. Vydatnosti průsaků byly v chodbách silně ovlivněny technickými pracemi, které tam probíhaly (vrtání, ražba). Výraznější zvodnění je vázáno na subvertikální zlomy a pukliny s převládajícím směrem zapadání 250° až 310° a sklonem 70° až 90°.

PVP II se v rámci dolu Rožná nachází v zóně výskytu podzemních vod s převahou sodíku. Vzájemný podíl síranů a hydrogenuhličitanů postihuje míru ovlivnění primárních podzemních vod odpovídající hloubkové úrovně (typ Na-HCO₃) a jejich posun k silně ovlivněným důlním vodám (typ Na-SO₄). V prostoru chodeb L7 a L8, je ovlivnění podzemních vod oxidačním prostředím dolu nižší. Mezi méně ovlivněné přítoky dále patří výtok z vrtu S-24 (296 HCR0030) a částečně také monitorovaný průsak 296HCR0025 v chodbě L6. Analýzy vzorků izotopů (stabilních i radioaktivních) a freonů v podzemní vodě, v kombinaci se studiem chemického složení, slouží ke stanovení původu a stáří vod. Podle předběžných výsledků radiokarbonového datování je minimální střední stáří podzemní vody v širším okolí PVP II přibližně 19 tisíc let. Reálná stáří podzemní vody zjištěná v PVP II jsou nicméně nižší, v rozsahu od 5 do 12 tisíc let. Vody v PVP II mají také zvýšené obsahy tritia a freonů. Je to způsobeno především mísením s izotopicky mladší vodou, která pochází z povrchu a/nebo antropogenně ovlivněného prostředí dolu (např. technická voda zanesena do horninového prostředí vrtnými pracemi). Bližší studium stabilních izotopů a potenciálních zdrojů izotopicky mladší vody (kontaminace) v další fázi prací umožní charakterizaci rezervoáru podzemní vody v puklinovém prostředí PVP II.

Vodní tlakové zkoušky soužily k určení hydraulických parametrů puklinového prostředí (především hydraulické konduktivity) zastiženého průzkumnými vrty v PVP II. Práce probíhaly v roce 2022 a v roce 2023 a byly zaměřeny na vrty L7-50P (horizontální; délka 10,8 m), L7-35P (horizontální, délka 10,5 m), L7-87D (vertikální, délka 50,6 m), S-33 (horizontální; délka 75,5 m), L4-73D (vertikální; délka 50,5 m) a L8-54DL (ukloněný pod úhlem 44°; délka 30,3 m). Celková proměřená délka vrtů byla 219 m, hydraulické parametry byly změřeny ve 13 intervalech. Nejnižší hodnota hydraulické konduktivity byla zjištěna ve vrtu L7-87D (3.5·10-¹³ m·s⁻¹). Naopak nejvyšší hodnota hydraulické konduktivity byla zjištěna v intervalu 2-15 m vrtu S-33 (3.8·10⁻⁹ m·s⁻¹). Střední hodnota hydraulické konduktivity zastižená vrty v PVP Bukov II byla 5.1·10⁻¹¹ m·s⁻¹.

Z dosud stanoveného spektra FMV vyplývá, že horniny VO vzorku z chodby L5 se vyznačují vysokou objemovou hmotností a tomu odpovídajícími vysokými rychlostmi průchodu ultrazvukových vln, velmi nízkou nasákavostí a vysokou pevností v příčném tahu. Dále na velkooběmovém vzorku byly stanoveny L5-32P tepelné vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita a tepelná difuzivita) a pevnostní a deformační vlastnosti (pevnost v příčném tahu horniny). Výsledky těchto analýz zatím nejsou kompletní a budou celkově zpracovány v závěrečné zprávě projektu.

Na základě analýzy parametru RQD na vrtném jádře celkem čtyř vrtů geotechnické stanice GS-L4 byla prokázána velmi vysoká kvalita hornin v daném hodnoceném místě. Index RQD se pro celé hodnocené délky vrtů pohybuje v rozmezí 75–84 %, což je přibližně o 10–20 % více, než hodnoty RQD, známé z jiných částí dolu Rožná (Bukovská et al. 2020; Vavro et al. 2015). Vyšší kvalitu HM potvrzují také menší rozdíly mezi hodnotami RQD stanovenými na vrtném jádře a stanovené na základě záznamů metodami OBI a ABI, než tomu bylo v jiných částech dolu Rožná (Bukovská et al. 2020; Vavro et al. 2015).

Studium porušenosti horninového masivu na dvou vrtech geotechnické stanice GS-L4, která byla umístěna v laboratorní chodbě L4a na staničení 72,5 m, bylo realizováno pomocí metod OBI a ABI. V obou vrtech byly zachyceny tři výraznější puklinové systémy. Většina otevřených puklin je predisponována metamorfní foliací. V úpadním vrtu L4a-72D byly lokalizovány dvě výraznější porušené zóny v hloubce 28,7 a 30,45 m s mocnosti až 359 mm, zatímco ve vrtu L4a-72L byla zachycena pouze jedna výraznější porušená zóna v hloubce 7,34 m s mocností porušení 51 mm. Dále bylo provedeno detailní sledování horninového prostředí ve vrtech geotechnické stanice GS-L4 aplikací seismické tomografie mezi jednotlivými vrty. Výsledkem zpracování jsou rychlostní řezy, které zprostředkovaně popisují stav horninového masivu v prostoru mezi jednotlivými vrty. Provedená interpretace dokládá oslabení horninového masivu v prostoru mezi vrty L4-72L a L4-72UL, kde rychlostní řezy ukazují na výrazné poklesy hodnot seismických rychlostí. Relativně méně porušený je HM přímo v nadloží klenby chodby (sledované vrtem L4-72U) ve vzdálenostech – 12 m nad stropem chodby. Také v prostředí v podloží chodby je horninového masivu relativně kompaktní (vrt L7-72D).

Geofyzikální charakterizace prostředí v místě laboratorních chodeb L4a a L4b byla provedena bezprostředně po dokončení hornických prací. Výsledkem je rozčlenění HM v obou stěnách chodeb dle oslabení horniny, které je způsobené přítomností puklin a jehož intenzita je závislá na četnosti diskontinuit v objemové jednotce. HM v okolí obou chodeb je proměnlivý, jsou zachyceny úseky málo porušené horniny charakterizované vysokými hodnotami seismických rychlostí i elektrických odporů - v trase chodby L4a to jsou zejména úseky staničení 45–61 m a 66–75 m v pravém boku, 8–25 m a 34– 49 m v levém boku, v trase chodby L4b pak v pravém boku úsek 40–60 m a v levém boku interval 36–61 m. Naopak výrazněji oslabený HM byl chodbě L4a detekován v úseku 19–45 m v pravém boku a v části 25–34 m v levém boku, v prostoru chodby L4b pak v pravém boku v rozmezí metráží 23–40 m a v levém boku v odpovídajícím rozsahu 18–36 m.

Z měření tlakových zkoušek v EDZ vrtech na chodbě L8 lze v prvním přiblížení konstatovat, že oblast horninového masivu se zvýšenou hydraulickou vodivostí se nachází do vzdálenosti cca 0,5 m, pozorováno u čtyř vrtů ze sedmi. To mimo jiné ukazuje, že porušenost vrtného jádra z EDZ vrtů není prokazatelným přímým indikátorem vypovídající o zvýšené hydraulické vodivosti horninového masivu.

Klasifikace horninových bloků byla v upravené verzi použita na hodnocení chodeb L4a a L4b a průzkumných vrtů, které ležely v těchto chodbách. V první etapě KHB byla pro chodbu L4a, respektive pro vrt S-24 bylo zhodnoceno, že 51,5 % jeho délky splňuje požadavky klasifikace. Pro chodu L4b, respektive vrt S-33 pak požadavky KHB splňuje 60,7 % délky vrtu. V druhé etapě KHB pak lze v levém (severním) boku chodby L4a hloubit úložný prostor v délce 41,0 m (54,7 %). Na pravém jižním boku chodby L4a splňují požadavky dané KHB úseky souhrnné délky 38,6 m (51,5 %). Levý (severní) bok chodby L4b disponuje 44,6 m (58,4 %) vhodnými pro realizaci ukládacích komor, pravý (jižní) bok chodby L4b pak 37,0 m (49,1 %).

Reference

- BARTON N., LIEN R., LUNDE J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics 6(4), 189-236.
- BLATT H., MIDDLETON G., MURRAY R. (1980): Origin of sedimentary rocks. Prentice-Hall, New Jersey.
- BIENIAWSKY, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: A complete manual for for engineers and geologist in minig, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons, Inc., 251 p.
- BOYNTON W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (ed.) Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- BUKOVSKÁ, Z., VERNER, K., BURIÁNEK, D., DOBEŠ, P., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ, B., ERBAN, V., FRANĚK, J., HALODOVÁ, P., HOLEČEK J., JAČKOVÁ, I., JELÉNEK, J., KOPAČKOVÁ V., KOUCKÁ, L., LAUFEK, F., LNĚNIČKOVÁ, Z., KOČERGINA, J., MYŠKA, O., NAHODILOVÁ, R., PERTOLDOVÁ, J., RUKAVIČKOVÁ, L., SOEJONO, I., ŠVAGERA, O., VESELOVSKÝ, F. (2017): Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov - závěrečná zpráva. – TZ 191/2017, Archiv SÚRAO, Praha, 692 pp.
- BUKOVSKÁ, Z., Soejono I., VONDROVIC L., VAVRO M., SOUČEK K., BURIÁNEK D., DOBEŠ P., ŠVAGERA O., WACLAWIK P., ŘIHOŠEK J., VERNER K., SLÁMA J., VAVRO L., KONÍČEK P., STAŠ L., PÉCKAY Z., VESELOVKÝ F. (2019): Characterization and 3D visualization of underground research facility for deep geological repository experiments: A case study of underground research facility Bukov, Czech Republic. Engineering Geology, 259, 105186.
- BUKOVSKÁ Z., RUKAVIČKOVÁ L., CHABR T., LEVÝ O., SOSNA K., SOUČEK K., VAVRO M., SOEJONO I., ŘÍHA V., ŠVAGERA O., KRYL J., DOBEŠ P., ZELINKOVÁ T., ŘIHOŠEK J., HOLEČEK J., MORÁVEK R., ŠVANDA J., ČERMÁK F., MAREČEK L., ŘÍHA V., STAŠ L., WACLAWIK P., HAVLOVÁ V., ZUNA M. (2021): Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II – realizační projekt. – TZ 542/2021, Archiv SÚRAO
- BUKOVSKÁ Z., RUKAVIČKOVÁ L., CHABR T., MORÁVEK R., LEVÝ O., SOSNA K., SOUČEK K., VAVRO M., ZELINKOVÁ T., DOBEŠ P., ŠVAGERA O., KRYL J., SOEJONO I., ŘIHOŠEK J., HOLEČEK J., HANÁK J., ČERMÁK F., KAŠPAR R., MAREČEK L., NEDVĚD J., VAVRO L., MYŠKA O., JANEČEK I. (2022): Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II – první průběžná zpráva – TZ596/2022, SÚRAO, Praha.
- BUKOVSKÁ Z., RUKAVIČKOVÁ L., CHABR T., MORÁVEK R., LEVÝ O., SOSNA K., SOUČEK K., VAVRO M., ZELINKOVÁ T., DOBEŠ P., ŠVAGERA O., KRYL J., SOEJONO I., ŘIHOŠEK J., HOLEČEK J., HANÁK J., ČERMÁK F., KAŠPAR R., MAREČEK L., NEDVĚD J., VAVRO L., VACLAWIK P., STAŠ L., MYŠKA O. (2023): Geologická a geotechnická charakterizace horninového prostředí – PVP Bukov II – druhá průběžná zpráva. – TZ 664/2023, SÚRAO, Praha, 172 s.
- COX K.G., BELL J.D., PANKHURST R.J. (1979): The Interpretation of Igneous Rocks. George Allen & Unwin, London.
- DEBON F, LE FORT P (1983): A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Trans Roy Society of Edinburg, Earth Sciences, 73, 135–149.

- DEERE D.U. (1989): Rock quality designation (RQD) after twenty years. Contract Report GL-89-1, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 67 pp.
- DEERE D. U., HENDRON, A. J., PATTON F. D., CORDING E. J. (1967): Design of surface and near surface construction in rock. In Proceedings of the 8th U. S. Symposium on Rock Mechanics, Minneapolis, Minn., September 1966. Society of Mining Engineers, The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (AIME), New York, 237–302.
- Floyd P.A., Winchester J.A., Park R.G. (1989): Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, NW Scotland. Precambrian Research, 45, 203–214.
- GEHÖR S. ET AL. (2002): Fracture calcites at Olkiluoto Evidence from quaternary infills for palaeohydrogeology. Posiva Reports, 118, Helsinki.
- HAGROS A. (2006). HRC (Host Rock Classification) system for Nuclear Waste Disposal in Crystaline Bedrock, Academic Dissertation. Helsinky.
- HAGROS, A., JOUTSEN, A., JUNNILA, J., KOSUNEN, P. KUUSISTO, M. (2022). Rock Suitability Classification (RSC), Utilization of foreign experience in the siting process for a deep geological repository for radioactive waste in the Czech Republic, SÚRAO TZ 608/2022.
- HERRON M.M. (1988): Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Research. 58, 820-829.
- IRVINE T., BARAGAR W. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523–548.
- Komulainen J., Heikkinen P., Jänkävaara H., Vencl M. (2023): Posiva Flow Log measurements in four boreholes at the Bukov underground research facility in the Czech Republic. - TZ 646/2022, Archiv SÚRAO
- MCLENNAN S.M., HEMMING S., MCDANIEL D.K., HANSON G.N. (1993): Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. Geological Society of America Special Papers, 284, 21–40.
- MIYASHIRO A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. American Journal of Science, 274, 321–355.
- NOHÁL M. (ED.) (2019): Geologicko strukturní mapa rudního pole Rožná Olší v úrovni cca 600 m pod povrchem (12. patro dolu Rožná = 10. patro dolu Olší). MS DIAMO s.p., o.z. GEAM
- PEARCE, J.A. (1996): A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A. (Ed.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 79–113.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R. (2012): Sand and Sandstone (Springer Science & Busi ness Media).
- SHAND S.J. (1943): Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-deposits with a Chapter on Meteorite, 2nd edition. John Wiley & Sons, New York, pp. 1–444.
- SUN S.S., MCDONOUGH W.F. (1989): Chemical and isotopic systematizes of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (eds) Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society London Special, 42, 313-345.

- ŠŤASTNÍK, S. (2005): Těžba, lomařství a úpravnictví, modul M01, Těžba a lomařství. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 105 s.
- TAYLOR S.R., MCLENNAN S.M. (1985): The Continental Crust: Its Composition and Evolution.Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, p. 312.
- TESAŘ, O. 1989. Klasifikace skalních a poloskalních hornin pro podzemní stavby. Autoreferát k disertační práci. Věd. rada UK Praha, 23 s.
- Tullborg E.L., Drake H., Sandstrom B. (2008): Palaeohydrology: A methodology based on fracture mineral studies. Applied Geochemistry, 23, 1881–1897.
- VAVRO M., SOUČEK K., STAŠ L., WACLAWIK P., VAVRO L., KONÍČEK P., PTÁČEK J. (2015): Application of alternative methods for determination of rock quality designation (RQD) index: A case study from the Rožná I uranium mine, Strážek Moldanubicum, Bohemian Massif, Czech Republic. Canadian Geotechnical Journal, 52, 10, 1466–1476.



info@surao.cz | www.surao.cz