

# Pilotní korozní experiment v PVP Bukov – Instalace sestav do vrtů

Kašpar, Zuna a kolektiv

Praha, 2023



**NÁZEV ZPRÁVY:** Pilotní korozní experiment v PVP Bukov – Instalace sestav do vrtů

**NÁZEV PROJEKTU:** Pilotní korozní experiment v PVP Bukov

**IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU:**

Průběžná zpráva

**ČÍSLO SMLOUVY:** SO 2020–086

Kašpar V., Zuna M., Jankovský F., Götz D., Dobrev D., (2023) Pilotní korozní experiment v PVP Bukov – Instalace sestav do vrtů, SÚRAO TZ 715/2023

**ŘEŠITELÉ:**

ÚJV Řež, a. s.<sup>1</sup>,

**AUTORSKÝ KOLEKTIV:** Kašpar V.<sup>1</sup>, Zuna M.<sup>1</sup>, Jankovský F.<sup>1</sup>, Götz D.<sup>1</sup>, Dobrev D.<sup>1</sup>

**Jméno Příjmení**

Michaela Matulová (SÚRAO)

8. 12. 2023

**Jméno Příjmení**

Vlastislav Kašpar (ÚJV Řež, a. s.)

8. 12. 2023

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Změny v návrhu korozních modulů a vzorkovačů vody</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Sestavení korozních modulů a vzorkovačů vody</b> .....	<b>10</b>
3.1	Příprava kovových vzorků .....	10
3.2	Příprava bentonitu .....	10
3.3	Sestavení korozních modulů .....	11
<b>4</b>	<b>Transport modulů do PVP Bukov, instalace sestav do vrtů, zahájení topení a monitoringu</b> .....	<b>17</b>
4.1	Přípravné práce – monitoring a odběry podzemní vody .....	17
4.2	Transport modulů .....	19
4.3	Instalace korozních modulů .....	19
4.4	Test odběrového systému a utěsnění .....	23
4.5	Vyhřívání a monitoring experimentu .....	24
<b>5</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>27</b>



**SÚRAO**

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ  
RADIOAKTIVNÍCH  
ODPADŮ

## Seznam použitých zkratk:

UOS	Ukládací obalový soubor
LDO	Obsah rozpuštěného kyslíku
ORP	Oxidačně-redukční potenciál

## Abstrakt

Cílem předložené zprávy (Etapa 6) je popis sestavení korozních modulů pro in-situ korozní zkoušku v PVP Bukov, které umožní stanovení korozního chování materiálů navržených pro ukládací obalový soubor. Zpráva obsahuje popis upraveného korozního modulu a vzorkovače podzemních vod, dále popisuje sestavení korozních modulů, jejich sycení v anaerobním boxu a následný převoz do podzemní laboratoře PVP Bukov. Před samotnou instalací byly provedeny odběry podzemní vody pro hydrochemické a mikrobiologické analýzy, bylo rozhodnuto o zapuštění modulů do vybraných vrtů a následně byla provedena instalace modulů na připravené obturátory a jejich zapouštění do vrtů. Po instalaci modulů do vrtů byl zahájen teplotní monitoring experimentu a samotný ohřev modulů.

## Klíčová slova

Korozní modul, PVP Bukov, in-situ korozní zkouška, koroze, materiály UOS, bentonit, experiment

## Abstract

The aim of the report (Phase 6) is to describe the construction of corrosion modules for in-situ corrosion experiments at the PVP Bukov, which will enable the determination of the corrosion behaviour of the materials designed for the containment assembly. The report includes a description of the modified corrosion modules and groundwater sampler, and describes the assembly of the corrosion modules, their saturation in the anaerobic box and subsequent transport to the PVP Bukov underground laboratory. Before the installation, groundwater sampling for hydrochemical and microbiological analyses was carried out, the decision to embed the modules in selected boreholes was made, and then the modules were installed on prepared obturators and installed in the boreholes. After the installation of the modules in the boreholes, the temperature monitoring of the experiment and the actual heating of the modules started.

## Keywords

Corrosion module, Bukov URF, in-situ corrosion experiment, corrosion, waste disposal package materials, bentonite, experiment

# 1 Úvod

V rámci projektu „*Pilotní korozní experiment v PVP Bukov*“ byly navrženy korozní moduly, které umožňují stanovení korozní rychlosti vybraných kovových materiálů a zároveň poskytují dostatečné množství bentonitových vzorků pro studium vývoje celého systému v čase. V předešlých etapách projektu byla vypracována metodika a technické řešení korozního experimentu (TZ 576/2022), následně byl proveden podrobný návrh korozních modulů pro in-situ korozní zkoušku v PVP Bukov, který byl popsán ve zprávě TZ 627/2022. S ohledem na neustálé podmínky kyslíku bylo na základě jednání řešitelského týmu a zadavatele rozhodnuto o modifikaci řešení (č. SO2020-086-03) a původně navržený zahraniční bentonit BARA KADE® 200 byl nahrazen stejným kandidátským materiálem BCV s 5% přídavkem práškového železa.

V rámci 6. etapy byly připraveny bentonitové segmenty a bylo provedeno sestavení modulů včetně instalace korozních vzorků a teplotních čidel. Po kompletaci bylo provedeno svaření modulů, následně byly moduly umístěny do anaerobního boxu. V anaerobních podmínkách bylo provedeno předsycení modulů pro minimalizaci intruze kyslíku do modulů se vzorky v průběhu instalace do vrtů. Transport modulů se vzorky do PVP Bukov byl proveden pod argonovou atmosférou, aby se zamezilo přístupu kyslíku k modulům.

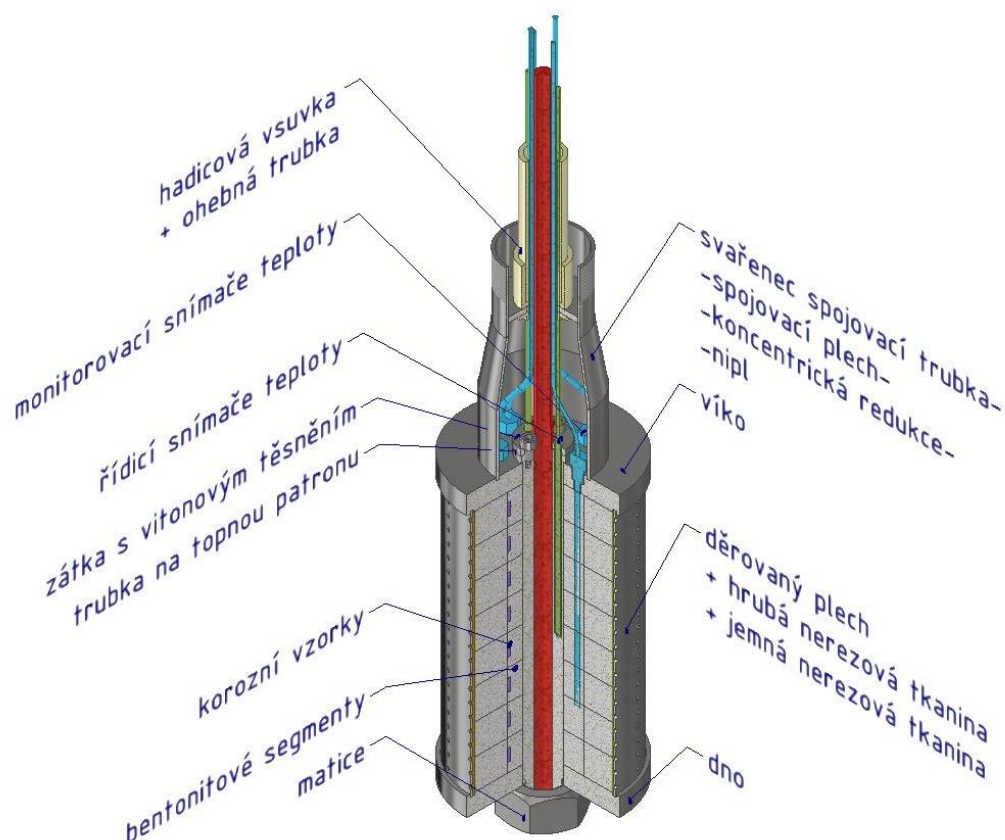
Po převozu do podzemní laboratoře PVP Bukov byly moduly instalovány na mechanické obturátory a spuštěny do jednotlivých vrtů. Po zapuštění byl zahájen monitoring teplot v podzemní vodě i uvnitř korozních modulů. Následně byl zahájen ohřev modulů.

## 2 Změny v návrhu korozních modulů a vzorkovačů vody

Oproti návrhu uvedenému v TZ 627/2022 doznala finální verze korozního modulu drobné úpravy. Aby nemohlo dojít k vytrhnutí topidla a řídicích snímačů z modulu během manipulace, byla hlava trubky na topnou patronu opatřena závity, ke kterým byly přišroubovány aretační zátky s vloženým vitonovým těsněním. Při testování topení bylo experimentálně ověřeno, že vliv teplovodivé pasty na rozložení teplot po délce trubky na topnou patronu je zanedbatelný, proto bylo od použití teplovodivé pasty upuštěno. Z důvodu lepší manipulace s monitorovacími snímači byl svařenec nipl-spojovací plech-spojovací trubka nahrazen svařencem spojovací trubka-spojovací plech-koncentrická redukce-nipl. Pro zvýšení pevnosti (proti bobtnacímu tlaku) a zvýšení bezpečnosti modulu byly nerezové spony W4 nahrazeny svařenými nerezovými pásky. Současně tím bylo eliminováno riziko zaseknutí modulů při dismantlingu.

Závity snímačů nebyly po konzultacích se svářeči utěsněny stříbrnou pájkou, protože by hrozilo jejich poškození zvýšenou teplotou. Přechody mezi hlavou teplotního snímače a kabelem byly pro zvýšení ochrany proti vlhkosti opatřeny dvojicí smršťovacích bužírek. Jako další vrstva ochrany byly přidány ohebné trubky (polyamid), které byly převlečeny přes všechny kabely vedoucí z modulu a těsně spojeny se spojovací částí modulu pomocí vsuvky IP54.

Finální podoba korozního modulu je zobrazena na Obr. 1.

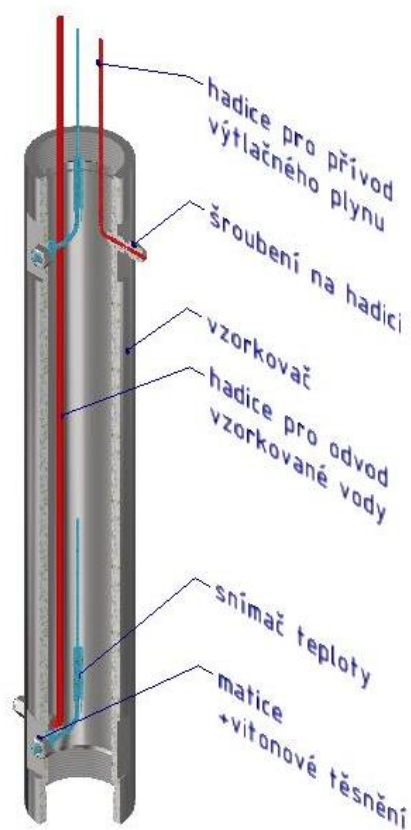


Obr. 1 Korozní modul – finální podoba

Drobnou změnu doznaly také vzorkovače vody, do vzorkovačů byly z důvodu zvýšení ochrany proti pronikající vodě dodatečně vyfrézovány drážky pro vsazení vitonového těsnění pod matici snímačů. Finální podoba vzorkovačů vody je zobrazena na Obr. 2.



Podrobný popis vzorkovače podzemní vody je součástí TZ 576/2022. Pro spojení vzorkovače, modulů a obturátorů byl oproti původnímu návrhu systém doplněn o instalaci šroubení s převlečnými matkami. Úprava umožňuje lepší manipulaci s odběrákem a modulem bez rizika poškození kabelů, které by mohlo nastat při původně navrženém šroubování na závit (nutnost rotace modulem). Použití olověné fólie pro těsnění spojů se ukázalo nereálným, proto byly tyto spoje utěsněny pomocí kombinace speciálního lepidla na závity (Loctite). Lepidlo bylo vždy aplikováno na vnitřní konec závitů a odděleno od vnějšího prostředí teflonovou šňůrou, aby bylo minimalizováno jeho případnému průniku do vrtu.

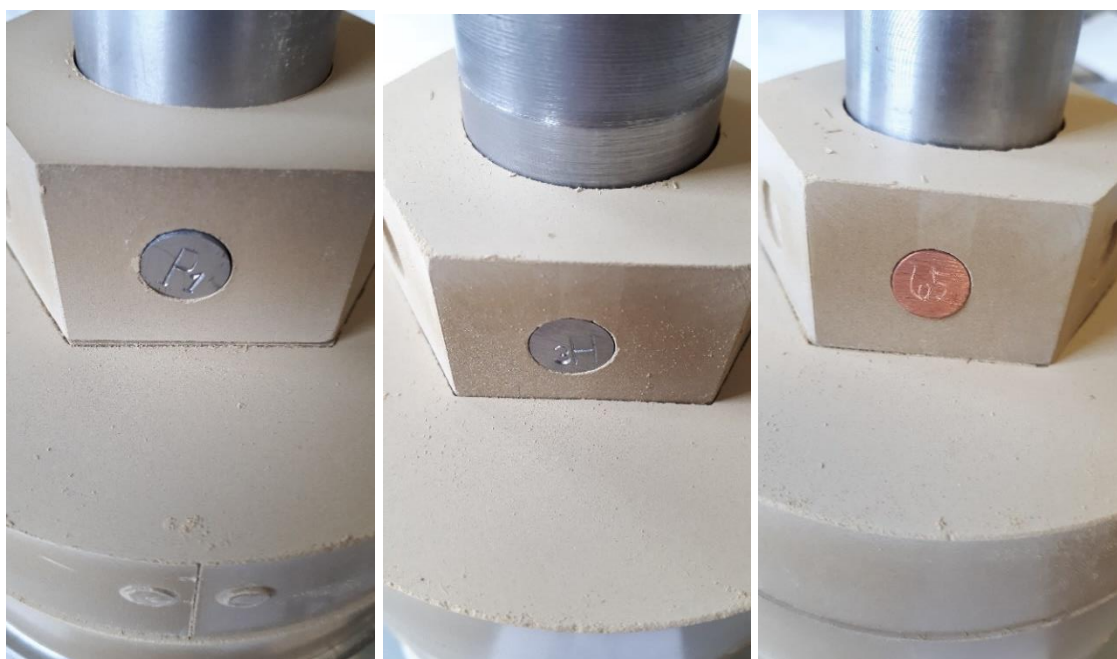


Obr. 2 Vzorkovač vody – finální podoba

## 3 Sestavení korozních modulů a vzorkovačů vody

### 3.1 Příprava kovových vzorků

Kovové vzorky byly vyrobeny z materiálu S355J2H+N, který dodala Škoda JS. Materiál byl dodán ve tvaru desky se svarem. Svar provedla Škoda JS v rámci projektu *Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru do stádia realizace vzorku*. Vzorky byly připraveny ve tvaru disku o průměru 1 cm a tloušťce 2,5 mm a následně přebroušeny. Poté proběhlo očištění pod vodou pomocí kartáče, vzorky byly omyty lihem a okamžitě usušeny. Kromě oceli S355J2H+N byly do bentonitu BCV umístěny i vzorky mědi, konkrétně se jedná o měď Cu-OF (EN1652/1997) testovanou ve výše uvedeném projektu. Vzorky byla vyrobeny z plechu dodaného Škodou JS, jedná se disky o průměru 1 cm a tloušťce 1 mm (tloušťka plechu). Příprava vzorků před experimentem byla provedena stejně jako v případě oceli. Ilustrační fotografie korozních vzorků jsou na Obr. 3.



Obr. 3 Ilustrační fotografie korozních vzorků. Vlevo uhlíková ocel – základní materiál, uprostřed uhlíková ocel – svar, vpravo měď

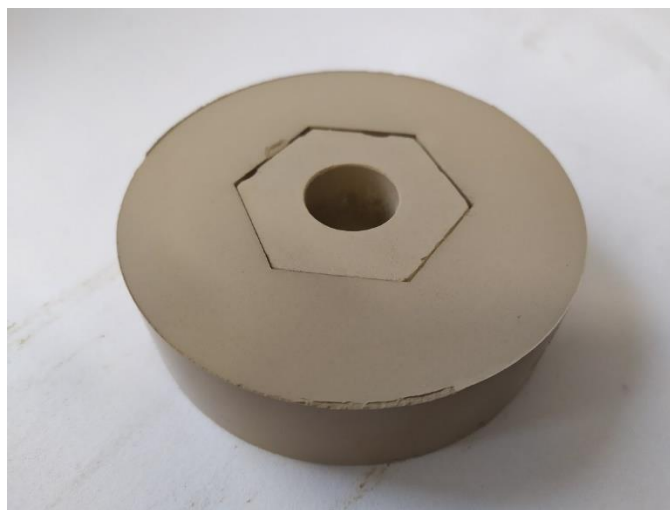
Před instalací byly vzorky zváženy na analytických vahách s přesností 1  $\mu\text{g}$ . Před vážením a před instalací do bentonitu byly vzorky uloženy v exsíkátoru. Na základě dodatku č. 3 (č. SO2020-086-03) bylo pro každý modul obsahující bentonit BCV 2017 bez práškového železa připraveno 12 ks vzorků uhlíkové oceli – základního materiálu a 12 vzorků uhlíkové oceli – svaru; pro každý modul obsahující bentonit BCV 2017 s 5% přídatkem práškového železa ve vnějším bentonitovém segmentu bylo připraveno 12 ks vzorků základního materiálu a 12 vzorků mědi Cu-OF (EN1652/1997). Celkem se tedy jedná o 120 ks vzorků uhlíkové oceli – základního materiálu, 60 ks vzorků uhlíkové oceli – svaru a 60 ks vzorků mědi. Detailní charakterizace materiálůvých vzorků je uvedena ve zprávě Šachlová et al. 2022.

### 3.2 Příprava bentonitu

Bentonit BCV byl nejprve zhomogenizován a poté byla stanovena jeho přirozená vlhkost. Na základě stanovených hodnot vlhkostí byly provedeny korekce na navážky pro lisování jednotlivých segmentů. Cílová suchá objemová hmotnost segmentů je po nabobtnání do rozměrů

modulů  $1600 \text{ kg m}^{-3}$ . Tato hodnota byla zvolena z důvodu navázání na předchozí experimentální práce. Pro sestavení modulů bylo nutné provést lisování bentonitu tak, aby mezi segmenty zůstaly drobné vůle pro sestavení modulů. Rozměry výlisku jsou z tohoto důvodu o něco menší než finální rozměry segmentu po nabobtnání, reálná hodnota suché objemové hmotnosti výlisků je tudíž větší než požadovaných  $1600 \text{ kg m}^{-3}$ , této hodnoty je dosaženo až po nabobtnání bentonitu do rozměrů modulů. Lisování bylo prováděno jednoosým tlakem v hydraulickém lise (MEGA 11-300 DM1S, FORM+TEST).

Bentonity byly nalisovány do segmentů tvaru vnějšího a vnitřního šestiúhelníku, viz Obr. 4. Do stran šestiúhelníků byly poté vyfrézovány drážky pro umístění vzorků, jednotlivé segmenty o výšce 2,5 cm tedy obsahují vždy 6 korozních vzorků. Všechny 12 ks vzorků stejného typu v jednotlivých modulech je osazeno ve dvou patrech těsně nad sebou. Mezi jednotlivými typy vzorků jsou umístěny dva segmenty bentonitu bez vzorků, celková vzdálenost mezi jednotlivými vzorky tedy činí 6,5 cm.



Obr. 4 Ilustrační obrázek lisovaných šestiúhelníků – vnější šestiúhelník ve vnitřním šestiúhelníku

### 3.3 Sestavení korozních modulů

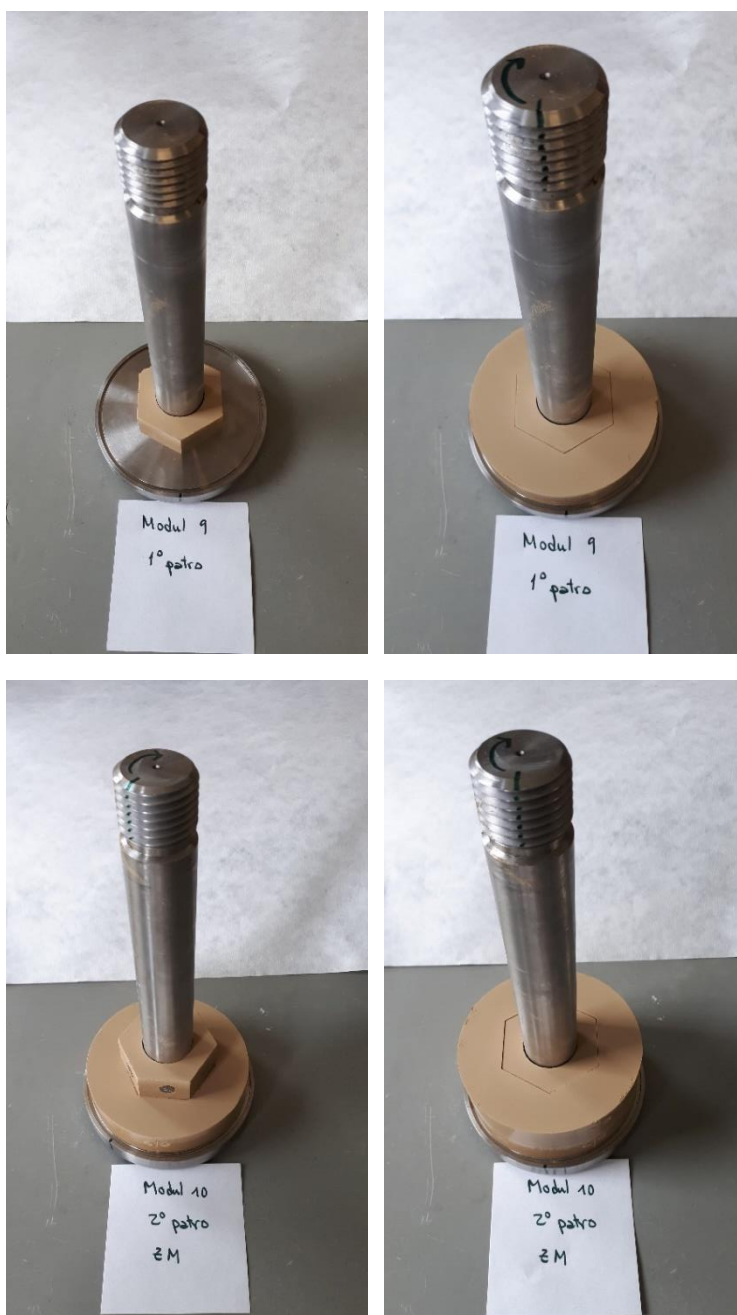
Postup sestavení korozních modulů byl následující. Trubka na topnou patronu byla postavena závitem nahoru a bylo na ni navlečeno víko modulu. Pomocí lisovacího přípravku byl připraven vnější bentonitový šestiúhelník (viz kap. 3.2), do jeho stěn byly vyfrézovány otvory pro vsazení korozních vzorků. Byl navlečen na trubku tak, aby vrcholy šestiúhelníku souhlasily s připravenými otvory pro monitorovací čidla ve víku. Poloha vrcholu šestiúhelníku byla vyznačena na vnějším líci víka. Pomocí lisovacího přípravku byl poté připraven vnitřní bentonitový šestiúhelník. V případě modulů obsahujících vzorky uhlíkové oceli – svar byl dle dodatku č. SO2020-086-03 pro nalisování vnitřního šestiúhelníku použit 5 % hmot. přídavek práškového železa. Pomocí pinzety byly do otvorů opatrně vsazeny korozní vzorky (bez dotyku rukou). Přes vnější šestiúhelník byl poté převlečen vnitřní šestiúhelník, čímž došlo k zafixování vzorků ve správné poloze. Vzorky byly takto vloženy vždy do 2., 3., 6. a 7. patra modulu. 1. a 8. patro modulu slouží k oddělení korozních vzorků od dna a čela modulu, 4. a 5. patro slouží pro oddělení obou druhů korozních vzorků uzavřených v jednom modulu, do těchto šestiúhelníků tedy nebyly frézovány otvory. Celkový přehled vzorků v jednotlivých modulech je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Celkový přehled modulů včetně instalovaných kovových vzorků (ZM: uhlíková ocel – základní materiál, svar: uhlíková ocel – svar, Cu: měď)

Modul	Datum lisování	Poznámka	Vzorky							
<b>M1</b>	15.08.2023	BCV bez Fe <b>BEZ TOPIDLA</b>	svar!	2. patro	2A	3A	4A	5A	6A	7A
			svar!	3. patro	8A	9A	1B	2B	3B	4B
			Cu	6. patro	1	2	3	4	5	6
			Cu	7. patro	9	10	11	12	13	14
<b>M2</b>	17.08.2023	BCV bez Fe	ZM	2. patro	B2	B7	B9	C1	C2	C3
			ZM	3. patro	C4	C5	C6	C7	C8	C9
			Cu	6. patro	15	16	17	18	19	20
			Cu	7. patro	21	22	23	24	25	26
<b>M3</b>	18.08.2023	BCV bez Fe	ZM	2. patro	D1	D2	D4	D5	D7	D8
			ZM	3. patro	D9	E1	E2	E3	E4	E5
			Cu	6. patro	27	28	29	31	32	33
			Cu	7. patro	34	35	36	37	39	43
<b>M4</b>	22.08.2023	BCV bez Fe	ZM	2. patro	E6	E9	F1	F3	F4	F5
			ZM	3. patro	F6	F7	F8	G1	G2	G3
			Cu	6. patro	42	44	45	46	47	49
			Cu	7. patro	50	51	52	53	54	55
<b>M5</b>	23.08.2023	BCV bez Fe	ZM	2. patro	G4	G5	G7	G8	G9	H1
			ZM	3. patro	H2	H3	H4	H5	H7	H8
			Cu	6. patro	56	57	58	60	61	62
			Cu	7. patro	65	66	67	68	69	70
<b>M6</b>	23.08.2023	BCV s Fe	ZM	2. patro	H9	J3	J5	J6	J9	K1
			ZM	3. patro	K2	K3	K4	K7	K8	K9
			Svar	6. patro	5B	6B	7B	9B	1C	2C
			Svar	7. patro	4C	6C	7C	8C	9C	1D
<b>M7</b>	28.08.2023	BCV s Fe	ZM	2. patro	L2	L3	L4	L6	L7	L8
			ZM	3. patro	L9	M1	M3	M5	M6	M7
			Svar	6. patro	2D	3D	4D	5D	6D	7D
			Svar	7. patro	8D	9D	2E	3E	4E	5E
<b>M8</b>	29.08.2023	BCV s Fe	ZM	2. patro	M8	M9	N1	N2	N3	N4
			ZM	3. patro	N5	N6	N7	N8	N9	O1
			Svar	6. patro	6E	8E	9E	2F	3F	4F
			Svar	7. patro	5F	6F	7F	8F	1G	2G
<b>M9</b>	30.08.2023	BCV s Fe	ZM	2. patro	O2	O5	O6	O7	O8	O9
			ZM	3. patro	P1	P3	P5	P6	P7	P8
			Svar	6. patro	3G	4G	5G	6G	8G	9G
			Svar	7. patro	1H	3H	4H	6H	7H	9H
<b>M10</b>	23.08.2023	BCV s Fe	ZM	2. patro	P4	P9	R1	R2	R3	R4
			ZM	3. patro	R6	R7	R8	R9	S1	S2
			Svar	6. patro	1A	8B	3C	5C	1E	1F
			Svar	7. patro	9F	7G	2H	5H	8H	1J
<b>M11</b>	23.08.2023	BCV bez Fe	ZM	2. patro	A1	A4	A5	A7	A8	A9
			ZM	3. patro	B1	B4	B5	B6	B8	B3
			Cu	6. patro	77	78	79	80	81	82
			Cu	7. patro	84	85	86	87	88	89

Po dokončení modulu M1 bylo zjištěno, že omylem došlo k dodání nesprávných vzorků do tohoto modulu ze strany VŠCHT (původně předpokládané vzorky základního materiálu byly zaměněny za svar); po dohodě se zadavatelem byl vyroben jako náhrada navíc modul M11, do kterého byly vloženy správné vzorky. Modul M1 byl použit k instalaci do nevytápěného monitorovacího vrtu, pro možné zhodnocení vlivu teploty oproti nevyhřívávanému modulu.

Dle výše uvedeného postupu byla na sebe vyskládána všechna patra modulu tak, aby poloha vnějšího šestiúhelníku vůči víku modulu byla vždy stejná. Po dokončení posledního patra modulu byla do drážky ve víku zkusmo vložena jemná tkanina z korozivzdorné oceli; v případě potřeby byla výška posledního patra modulu upravena buď seškrabáváním bentonitu pomocí ostrého dláta, nebo dosypáním a ručním zhutněním práškového bentonitu. Následně byla do drážky ve víku opět vložena jemná tkanina z korozivzdorné oceli, přes ni hrubá tkanina z korozivzdorné oceli a perforovaný plech. Plech byl postupně stahován pomocí nerezových hadicových spon tak, aby byla mezi oběma okraji plechu co nejmenší spára. Poté bylo na trubku nasazeno dno modulu tak, aby perforovaný plech a obě tkaniny zapadly do připravené drážky; dno bylo posléze přitáhnuto k trubce pomocí podložky a matice. Postup je zobrazen na Obr. 5.







*Obr. 5 Sestavování korozního modulu*

Modul byl posléze obrácen a postaven na matici. Do otvorů v trubce byla vsazena řídicí teplotní čidla a nainstalována topná patrona (topidlo), která byla zatěsněna pomocí zátky. Pomocí nerezového vrtáku byly do bentonitu vyvrtány otvory pro usazení monitorovacích čidel (skrz díry ve víku). Přechody mezi hlavou čidel a kabely byly pro zvýšení ochrany proti případné pronikající vodě opatřeny dvojicí smršťovacích bužírek. Čidla byla poté zašroubována do víka tak, aby dvojice krátkých a dlouhých čidel byly symetricky proti sobě. Závity byly pečlivě utěsněny PTFE páskou. Modul s instalovanými čidly a topidlem je zobrazen na Obr. 6.



*Obr. 6 Korozní modul s instalovanými čidly a topidlem*

Takto připravený modul byl přenesen na svařovací pracoviště ÚJV Řež a.s. Předem byl připraven nerezový svařenec nipl-koncentrická redukce-spojovací plech. Do závitu ve spojovacím plechu byla zašroubována hadicová vsuvka a zajištěna pojistnou maticí. Do drážky ve víku modulu byla vsunuta spojovací trubka a byla přivařena. Do vzniklého prostoru byla nasypána bentonitová drť, která slouží jako další vrstva ochrany proti případnému průniku vody k teplotním čidlům. Ke spojovací trubce byl poté přivařen předpřipravený svařenec. Svařování modulu je zobrazeno na Obr. 7.

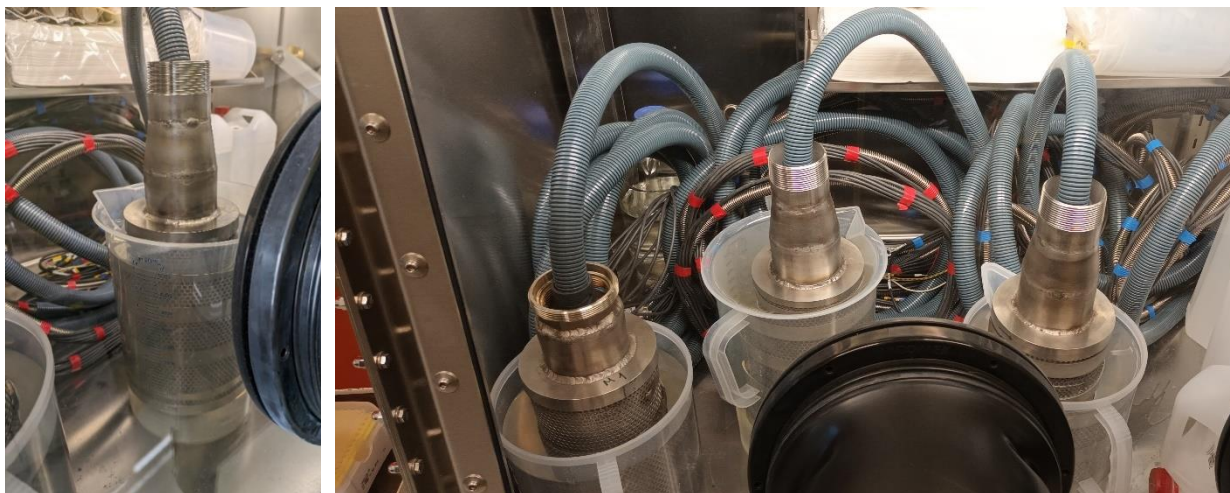


*Obr. 7 Svařování korozního modulu, (vpravo) zavařený modul*

Na závit niplu byla našroubována polovina převlečné matice pro následnou instalaci na vzorkovač. Nakonec byla přes kabely vedoucí z modulu přetažena ohebná trubka („husí krk“ z polyamidu), zacvaknuta do vsuvky a zajištěna.



Kompletně připravený korozní modul byl poté přemístěn do anaerobního rukavicového boxu a ponechán k odkysličení v suchém stavu po dobu nejméně dvou týdnů. Po ukončení odkysličování byl modul v boxu ponořen do nádoby s demineralizovanou vodou, která byla předem také odkysličována v boxu nejméně po dobu dvou týdnů. Sycení svařeného modulu anaerobní vodou v anaerobním rukavicovém boxu je zobrazeno na Obr. 8. S ohledem na kapacity dvou anaerobních boxů muselo být sycení prováděno postupně tak, aby byla zaručena dostatečná doba saturace odkysličenou vodou.



*Obr. 8 Sycení korozních modulů anaerobní vodou v rukavicovém anaerobním boxu*

K vzorkovačům vody byla instalována teplotní čidla. Při přípravě prvních vzorkovačů bylo použito přivaření šestihranů teplotních čidel do těla vzorkovače, posléze bylo z bezpečnostních důvodů přikročeno k připevňování teplotních čidel pomocí matic, pod které byly vkládány nerezové těsnicí kroužky s vitonovým těsněním. Stejný postup byl poté použit i na šroubení k hadicím pro vzorkování podzemní vody. Do šroubení byly následně prostrčeny hadice 6/4 mm (PTFE), které byly utěsněny pomocí nerezových ferulek. Obě hadice a oba kabely teplotních čidel byly vyvedeny jedním koncem vzorkovače ven. Vzorkovač vody s instalovanými teplotními čidly a vzorkovacími hadicemi je zobrazen na Obr. 9.



*Obr. 9 Vzorkovač vody s nainstalovanými teplotními čidly a vzorkovacími hadicemi*



## 4 Transport modulů do PVP Bukov, instalace sestav do vrtů, zahájení topení a monitoringu

### 4.1 Přípravné práce – monitoring a odběry podzemní vody

Před zahájením instalace bylo provedeno měření hydrochemických parametrů, zaměřených především na koncentrace kyslíku (LDO) a oxidačně-redukční potenciály (ORP) (Obr. 11). Dále byly provedeny odběry podzemní vody z jednotlivých vrtů pro hydrochemické a mikrobiologické analýzy.

Pro zvolení konkrétního rozmístění korozních modulů s čistým bentonitem (BCV) a s bentonitem s přídavkem práškového železa (BCV + Fe) bylo uvažováno několik kritérií. Rozhodujícími kritérii pro umístění modulů do vrtů byly vývoj hydrochemických parametrů v nezapakrovaných a následně zapakrovaných vrtech, jednak informace o vydatnosti přítoků do jednotlivých vrtů a podobnost hydrochemického složení (Zuna et al. 2022). Pro možné porovnání jednotlivých „párů“ byly moduly instalovány do podobných hydrochemických podmínek; do vrtu s vyšší koncentrací kyslíku byl instalován modul s přídavkem práškového železa.

Monitoring koncentrace rozpuštěného kyslíku (LDO) a oxidačně-redukčního potenciálu (ORP) byl proveden před zapuštěním (19.10.2023) pomocí měřicího systému WTW (Obr. 10). Nárůst hladin ve vrtech byl detailně monitorován po utěsnění (zapakování) horních úseků vrtů, které významně komunikovaly s „počvovou“ vodou, pomocí hladinoměru (Zuna et al. 2022).

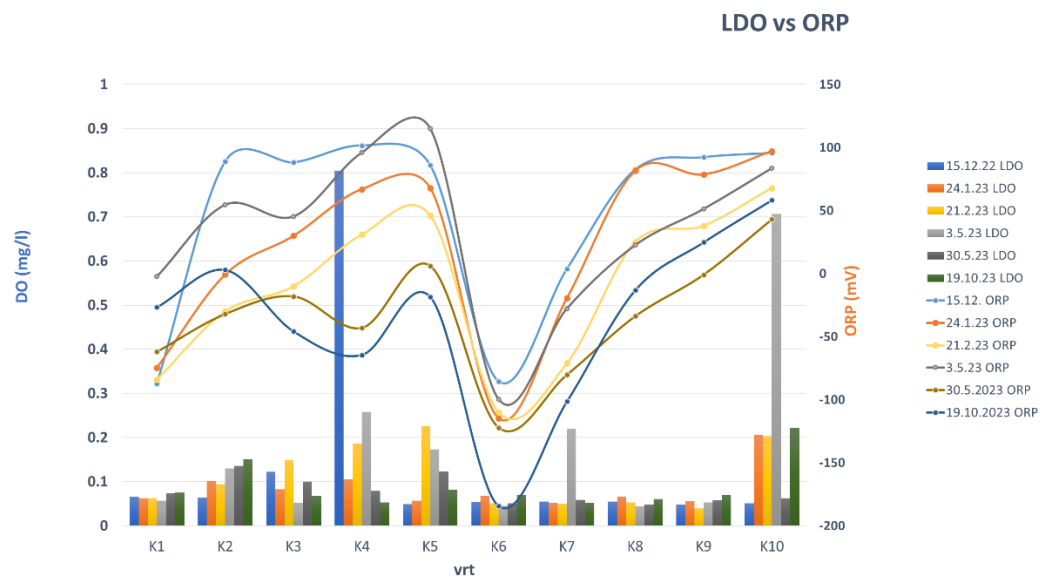


Obr. 10 WTW měřicí systém pro monitoring hydrochemických parametrů v průtočné cele anebo přímo ve vrtu (možné zapuštění středem pakru)

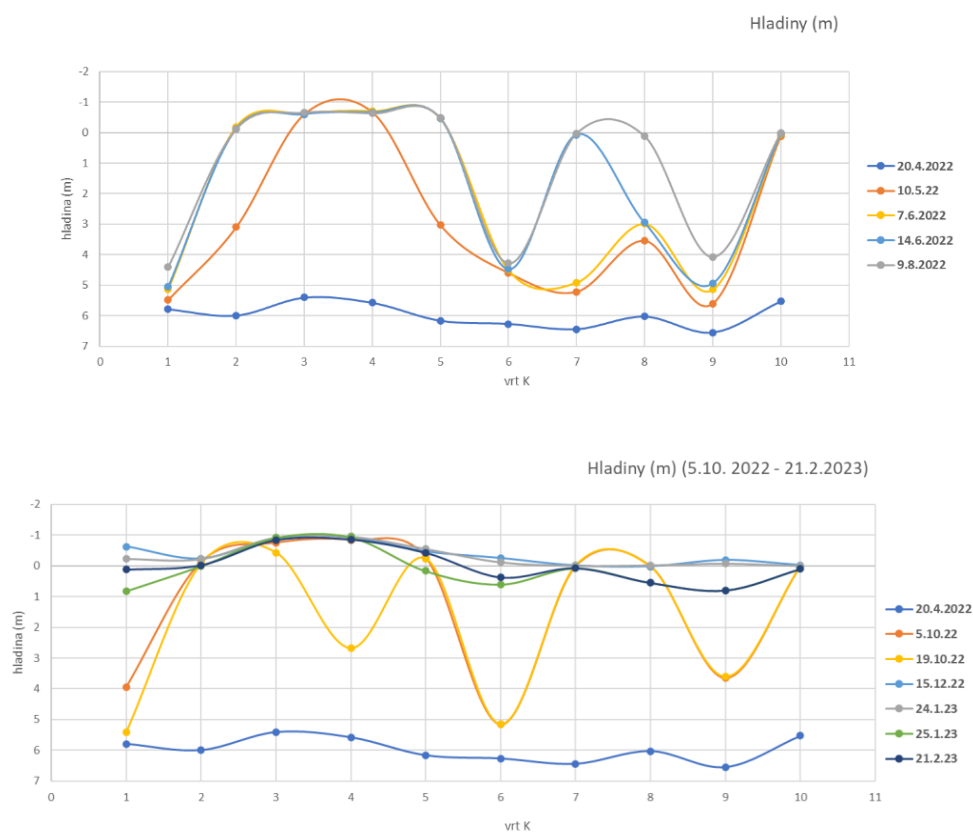
Vývoj hydrochemických parametrů (LDO x ORP) a nárůstu hladiny pozemní vody v zatěsněných úsecích vrtů v čase je zobrazen na Obr. 11 a Obr. 12. Na základě těchto výsledků byla navržena instalace modulů následovně:

K2, K4, K5, K7, K10 – moduly s přídavkem práškového železa (BCV+Fe)

K1, K3, K6, K8, K9 – moduly bez přídavku práškového železa (BCV)



Obr. 11 Vývoj LDO – ORP v čase



Obr. 12 Vývoj hladin v úseku pod pakrem před (nahore) a po (dole) zaplnění vrtů K1, K6, K9 (vodou z vrtu K4)

## 4.2 Transport modulů

Po nasycení modulů odkysličenou vodou v anaerobních boxech byly moduly v anaerobním boxu instalovány do PE sáčků a následně důkladně zabaleny pomocí strečové folie pro minimalizaci přístupu kyslíku. Každý modul včetně stočené kabeláže byl vložen do samostatného transportního sudu. Každý sud byl poté důkladně propláchnut argonem a při mírném přetlaku argonu neprodyšně uzavřen. Sudy byly poté neprodleně dopraveny do PVP Bukov a připraveny pro instalaci (Obr. 13).



Obr. 13 Transport modulů do podzemní laboratoře PVP Bukov za přetlaku argonu

## 4.3 Instalace korozních modulů

Samotná instalace modulů do vrtů probíhala následovně. Ze zvoleného vrtu byla odčerpána voda nad pakrem, aby nedošlo při vyjmutí pakru k průniku této vody do spodního intervalu. Čerpaní vody bylo prováděno miničerpádem Gigant a dočištěno odsátím průmyslovým vysavačem Hilti. Následně byl instalovaný pakr vyjmut a vrt dočasně zatěsněn hydraulickým obturátorem pro



omezení přítoku „počvové“ vody do vrtu (Obr. 14).





Obr. 14 Odčerpání vody nad pakrem, (vpravo) instalovaný hydraulický pakr

Přestože byly pakry při prvotní instalaci testovány a spoje dle návodu dodavatele ošetřeny, během vyjímání mechanických pakrů se ukázalo, že závity byly z výroby nedoříznuté a u některých pakrů došlo při povolování k poškození závitu. Poškozené závity byly na místě opraveny pomocí závitového očka a závitníku. Závity byly následně předpřipraveny k zašroubování, a to tak, že na vnitřní konec závitů bylo aplikováno speciální lepidlo na závity (Loctite), které bylo odděleno od vnějšího prostředí teflonovou šňůrou umístěnou na vnějším konci závitu, aby bylo minimalizováno jeho případné uvolňování do vrtu. Zatěsnění bylo prováděno z důvodu zamezení průniku vody do vnitřního prostoru pakru a současně tak, aby bylo možné při dismantlingu pakry opětovně rozebrat.

Následně byl také připraven vzorkovač vody. Kabely snímačů ve vzorkovači byly protaženy ohebnou trubkou. U vrtů, kde bylo možné vyjmutí pakru bez nutnosti rozšroubování z důvodu nízkého stropu, byly pakry pro urychlení procesu instalace vyjmuty vcelku a výše uvedeným postupem byly ošetřeny pouze závity na obou koncích pakru.

Během kompletace byl modul umístěn co nejdále v transportním sudu. Poté byl ze sudu vyjmut příslušný korozní modul zabalený ve strečové folii, ohebná trubka s kabely byla prostrčena skrz vzorkovač vody a modul byl k vzorkovači přišroubován pomocí převlečné matice (Obr. 15).

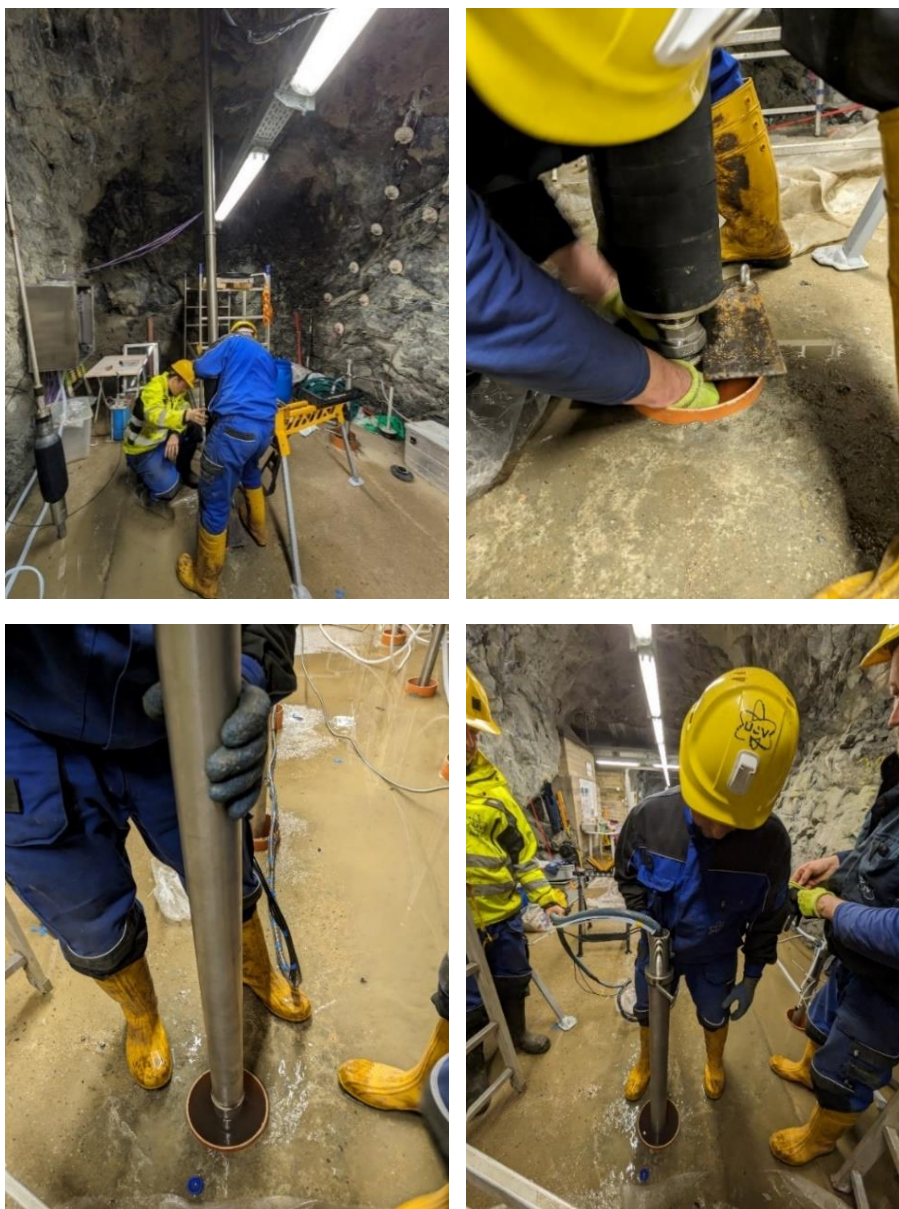


*Obr. 15 Korozní modul při instalaci na vzorkovač podzemní vody (umístění modulu v transportním sudu)*

U vrtů, kde byla možná instalace pakru vcelku (s ohledem na výšku stropu), byla poté odčerpána voda nad hydraulickým pakrem a pakr byl vytažen. Modul byl vybalen ze strečové folie a vzorkovač s přišroubovaným modulem byl částečně spuštěn do vrtu. Tato sestava byla následně zajištěna aretačním plechem, který byl vsunut pod horní převlečnou matici. Poté byly skrz pakr provlečeny obě ohebné trubky a vzorkovací hadičky, pakr byl nasazen na sestavu uvnitř vrtu a pomocí převlečné matice byl k sestavě přišroubován. Následně byla kompletní sestava spuštěna do finální polohy a mechanický pakr byl utažen, čímž bylo zamezeno přítoku vody z horní části vrtu. Postup instalace modulu při použití „nerozšroubovaného“ pakru („vcelku“) je zobrazen na Obr. 16.







Obr. 16 Instalace korozních modulů za použití „nerozšroubovaných“ pakrů – instalace „vcelku“

U vrtů, kde bylo nutné pakry rozdělit/rozšroubovat s ohledem na výšku stropu rozrážky, byl postup odlišný. Nejdřív byly skrz pakr provlečeny obě ohebné trubky a vzorkovací hadičky, poté bylo ke vzorkovači přišroubováno tělo pakru a k němu byla přišroubována spodní část pakrového soutyčí. Těsně před instalací byl modul vybalen ze strečové folie, sestava byla částečně spuštěna do vrtu a zajištěna pomocí řetězových kleští. Obě ohebné trubky a vzorkovací hadičky byly posléze provlečeny horní částí soutyčí, která byla poté přišroubována ke spodní části. Kompletní sestava byla spuštěna do finální polohy a pakr byl utažen. Postup instalace modulu při použití „rozšroubovaného“ pakru je zobrazen na Obr. 17.



Obr. 17 Instalace korozních modulů za použití „rozšroubovaných“ pakrů

#### 4.4 Test odběrového systému a utěsnění

Po instalaci pakrového systému včetně vzorkovače a modulu bylo provedeno testování odběru podzemní vody a těsnosti pakru. Na vzorkovací hadice vyvedené z pakru byly nainstalovány trojcestné nerezové kohouty, které slouží ke vzorkování podzemní vody pod pakrem z vymezeného intervalu. Při testování bylo ze všech intervalů možné pomocí přetlaku argonu odebrat vzorky podzemní vody (Obr. 17). Současně byly vrty ponechány v mírném přetlaku argonu (cca 0,4 bar) k minimalizaci obsahu kyslíku po instalaci modulů. Přetlak byl také využit pro kontrolu těsnosti pakrů.





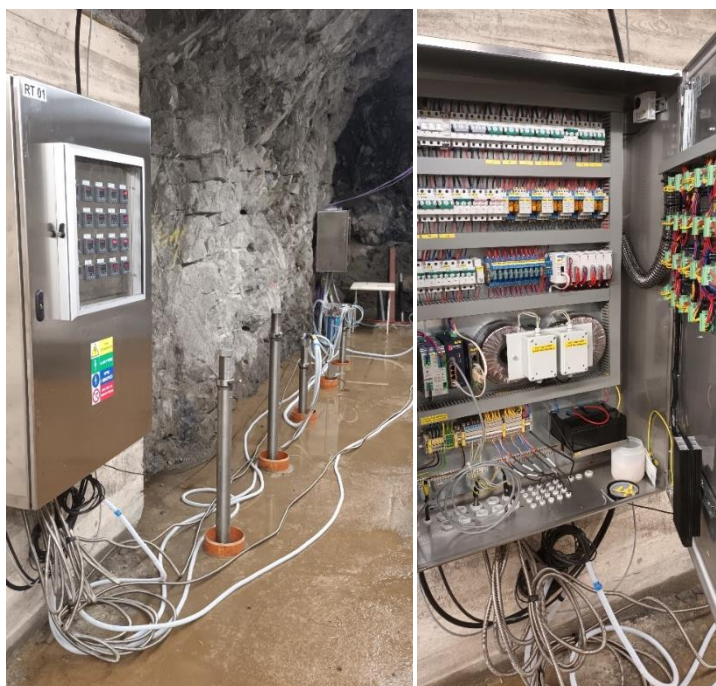
*Obr. 18 Instalace a testování odběrového systému podzemní vody pomocí argonu*

Odběr vzorků podzemních vod je navržen pomocí vzorkovačů na principu vytlačování vody z vrtu pomocí argonu a systému dvou hadic (přívodní hadice pro argon, odběrová hadice pro podzemní vodu). Následné měření elektrochemických parametrů při odběru podzemní vody je řešeno pomocí speciální modulární cely, která umožňuje proplach argonem a následné napuštění podzemní vodou. Cella může být modifikována podle požadavku na počet elektrod a je odzkoušena v rámci projektu MaCoTe. Vzorky podzemních vod pro chemické analýzy budou odebírány do speciálních plastových vzorkovnic poskytovaných certifikovanou laboratoří. Budou odebírány i vzorky podzemních vod pro mikrobiologické analýzy a stanovení přítomnosti koloidních částic.

## **4.5 Vyhřívání a monitoring experimentu**

Zapojení čidel teploty a topných patron do rozvaděče vytápění bylo provedeno po instalaci sestav do vrtů. Pro vyhřívání a regulaci teploty experimentálních modulů byl vyroben a následně instalován rozvaděč RT 01 (Obr. 19), který umožňuje vyhřívání jednotlivých modulů na předem zvolenou teplotu pomocí instalovaných regulačních čidel.





*Obr. 19 Instalace rozvaděče RT01 v ZK3\_J, (vpravo) zapojení topidel a regulačních čidel*

Celý systém byl v laboratorních podmínkách zapojen a testován (viz Obr. 20) v průběhu cca jednoho měsíce včetně monitoringu a záznamu datovými ústřednami.



*Obr. 20 Testování topných patron a systému regulace v laboratoři ÚJV*

Regulace teploty je jistěna proti nekontrolovanému ohřevu bezpečnostními prvky, které vypnou topení systému při překročení nastavených teplotních limitů. Současně je možné rozvaděč sledovat přes vzdálený přístup a monitorovat i výpadky elektrické sítě, takže je zaručena možnost na tyto události v dostatečné krátké době reagovat.

Monitorování experimentu bude prováděno záznamem teplot na pozicích vzorků teplotními snímači Pt1000 připojenými k měřicím ústřednám Comet MS5 (Obr. 21), které je také možné sledovat online přes vzdálený přístup a následně pracovat se zaznamenanými daty. Současně

bude prováděn monitoring teploty podzemní vody pomocí stejného typu teplotních čidel instalovaných ve vzorkovačích podzemní vody (viz kap. 3.3).



*Obr. 21 Monitorovací ústředny Comet MS5, instalace ústředen v rozrážce ZK3\_J*

Monitorování bude probíhat průběžně po celou dobu experimentu. Zároveň bude fyzicky prováděna kontrola při odběru podzemních vod. V případě zaznamenání problémů budou tyto stavy operativně řešeny.

Na Obr. 22 je patrný celý instalovaný systém korozního experimentu včetně systému monitoringu a regulace vytápění. Přívodní kabely v chráničkách budou vloženy do kabelových žlabů. U modulů již zapuštěných ve vrtech bylo postupně zapnuto vytápění, v prvním kroku byla nastavena teplota 40 °C, která bude postupně zvyšována na teplotu takovou, aby bylo na monitorovacích čidlech dosaženo dohodnuté teploty 70 °C.



*Obr. 22 Instalované sestavy korozního experimentu včetně systému monitoringu a regulace vytápění*

## 5 Závěr

Původní návrh korozního modulu a vzorkovače vod (Dobrev et al. 2022) byl modifikován tak, aby byla zvýšena jeho odolnost proti nechtěnému proniknutí vody z vrtů a současně zlepšena možnost manipulace s instrumentací v sestavě s pakrovým systémem. V rámci této etapy byl navržen a vyroben řídicí a regulační topný systém. Pro monitoring teploty v korozních modulech a podzemní vodě byl realizován monitorovací systém s možností on-line přístupu. Podle upraveného návrhu byly sestaveny korozní moduly s korozními vzorky a byly osazeny topidly a teplotními snímači. Vzorkovač podzemní vody byl osazen teplotními čidly a vzorkovacími hadicemi a byl upraven pro bezpečnou instalaci modulů. Korozní moduly byly anaerobně nasyceny a transportovány do PVP Bukov, kde byly instalovány do vrtů. Instalace sestav přes drobné problémy (nesprávně dodané korozní vzorky, poškozené závity pakrů) proběhla úspěšně.

## Reference

DOBREV D., HOFMANOVÁ E., MENDOZA MIRANDA A. N., KAŠPAR V., KOUŘIL M., PUSZTAI M., STEINOVÁ J., STOULIL J., ZELINKOVÁ T., ZUNA M. (2022): METODIKA A TECHNICKÉ ŘEŠENÍ KOROZNÍHO EXPERIMENTU, SÚRAO TZ 576/2022

DOBREV D., JANKOVSKÝ F., KAŠPAR V., KOUŘIL M., MENDOZA MIRANDA A. N., PUSZTAI M., STEINOVÁ J., STOULIL J., SVOBODA J., ZUNA M. (2022): Výroba korozních modulů. SÚRAO TZ 627/2022, Praha.

ŠACHLOVÁ Š., KOUŘIL M., ČERNOCHOVÁ K., PUSZTAI M., BEDRNÍKOVÁ E., ČERNÁ K., DOBREV D., JANKOVSKÝ F., KAŠPAR V., MENDOZA MIRANDA A. N., STEINOVÁ J., STOULIL J., SVOBODA J., VAŠÍČEK R., ZUNA M. (2022): Charakterizace testovaných materiálů, Zpráva SÚRAO TZ 621/2022, Praha

ZUNA M., JANKOVSKÝ J., DOBREV D., PUSZTAI M., STEINOVÁ J., ČERNÁ K., (2022): Pilotní korozní experiment v PVP Bukov – Monitoring podzemních vod v ZK-3J. SÚRAO TZ 598/2022, Praha



**SÚRAO**

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ  
RADIOAKTIVNÍCH  
ODPADŮ

NAŠE  
BEZPEČNÁ  
BUDOUCNOST

info@suraao.cz | [www.suraao.cz](http://www.suraao.cz)