

HYDROGEOLOGICKÝ
A HYDROCHEMICKÝ
MONITORING PODZEMNÍCH
A DŮLNÍCH VOD
V PROSTORU PVP BUKOV –
ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

Autoři: Pavlína Vylamová,
Tomáš Kocman
a kolektiv

Brno, 2023

NÁZEV ZPRÁVY: Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov, závěrečná zpráva

NÁZEV PROJEKTU: Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU:

Závěrečná zpráva

ČÍSLO SMLOUVY: SO2018-010

Bibliografický zápis:

VYLAHOVÁ P., KOČMAN T., MUSIL R., PRŮCHA P., BARTOŇ J. (2023): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov, závěrečná zpráva. – TZ 679/2023, Archiv SÚRAO.

ŘEŠITELÉ:

GEOtest, a. s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno¹

Kocman envimonitring, s.r.o., Šimáčkova 674/137, 628 00 Brno²

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Kocman T.², Musil R.¹, Průcha P.², Vylamová P.¹, Bartoň J.¹

Marek Vencí

Manažer projektu (SÚRAO)

31. 01. 2023

Pavλίna Vylamová

Manažer projektu (GEOtest, a.s.)

31. 01. 2023

Obsah

1	Úvod	1
2	Geologické a hydrogeologické poměry PVP Bukov	2
3	Plán monitoringu, revize stávající monitorovací sítě	4
3.1	Plán monitoringu	4
3.2	Revize stávající monitorovací sítě	4
3.3	Nové značení měrných bodů podle pravidel SÚRAO	6
4	Monitoring na povrchu lokality PVP Bukov	10
4.1	Hydrochemický monitoring	10
4.1.1	Určení geochemického typu vody	11
4.1.2	Kvalitativní parametry vody	14
4.1.3	Radiologie	14
4.1.4	Vydatnost pramenů	14
4.1.5	Automaticky naměřená data	15
5	Monitoring v prostoru PVP Bukov	18
5.1	Hydrochemický monitoring PVP Bukov	18
5.1.1	Určení typu vody	20
5.1.2	Kvalitativní parametry vody a stáří vod	22
5.1.3	Radiologie	23
5.2	Automatické měřící systémy	23
5.3	Vyhodnocení trendu měření	24
5.3.1	BK07	24
5.3.2	BK29/33	24
5.3.3	BK15	25
5.3.4	BK18 (S1)	25
5.3.5	BK31+BK31/1	26
5.3.6	BK32	26
5.3.7	BK34	27
5.3.8	BK35	27
5.3.9	S20	28
5.3.10	S21	28
5.3.11	BK38	29
6	Monitoring v ostatních patrech dolu Rožná	30
6.1	Hydrochemický monitoring	30

6.2	Určení typu vody	31
6.2.1	Kvalitativní parametry vody	34
6.2.2	Radiologie	34
6.2.3	Stáří vod.....	34
7	Vodní tlakové zkoušky.....	36
8	Doporučení	37
8.1	Monitorovací síť	37
8.2	Povrch lokality	37
8.3	PVP Bukov	38
9	Závěr	39
9.1	Monitorovací plán.....	39
9.2	Kvantitativní monitoring	40
9.3	Monitoring kvality	40
9.4	Vodní tlakové zkoušky.....	41
10	Citace a seznam literatury.....	42

Seznam textových příloh:

Příloha 1 Hydrologický a meteorologický monitoring v prostoru PVP Bukov a v zájmovém území Bukov. Vyhodnocení monitoringu a provozu monitorovací sítě ve sledovaném období 2018-2022. Závěrečná zpráva

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přehledná situace zájmového území	3
Obrázek 2 Grafický návrh cedulí označujících měrný bod	9
Obrázek 3 Označení měrného bodu a ukázka instalace	9
Obrázek 4 Ukázka informačních tabulek	9
Obrázek 5 Přehledná mapa dokumentovaných pramenů a bodů hydrogeologické monitorovací sítě na povrchu lokality	11
Obrázek 6 Durovův diagram vývoje chemického složení pramenů	12
Obrázek 7 Piperův diagram vývoje chemického složení pramenů	13
Obrázek 8 Vývoj vydatnosti pramenů v povrchové části lokality	15
Obrázek 9 Kontinuální měření hladiny podzemní vody ve vrtech	16
Obrázek 10 Schématická situace prostoru PVP Bukov (12. patro)	19
Obrázek 11 Durovův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků	21
Obrázek 12 Piperův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků	21
Obrázek 13 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků	32
Obrázek 14 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků (BR06, BR07, BR10, BR21, BR32)	32
Obrázek 15 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků	33
Obrázek 16 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků (BR06, BR07, BR10, BR21, BR32)	33

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam měrných bodů PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25), nové označení 7	
Tabulka 2 Bukov, ostatní patra – nové označení	8
Tabulka 3 Povrch lokality – nové označení	8
Tabulka 4 Seznam monitorovacích bodů na povrchu lokality	11
Tabulka 5 Seznam monitorovacích bodů v prostoru PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25)	18
Tabulka 6 Přehled hydrochemických typů vod z vybraných přítoků	20
Tabulka 7 Odhad doby zdržení vody v horninovém prostředí na základě obsahu tritia v podzemní vodě	22
Tabulka 8 Seznam monitorovacích bodů v ostatních patrech dolu Rožná	30
Tabulka 9 Přehled hydrochemických typů vod	31

Seznam použitých zkratk:

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
OB	Odměrný bod
PVP	Podzemní výzkumné pracoviště
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
VTZ	Vodní tlakové zkoušky

Abstrakt

Předkládaná závěrečná zpráva popisuje a vyhodnocuje hydrogeologický a hydrochemický výzkum – monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov za období 2018-2022.

Cílem hydrogeologického výzkumu v PVP Bukov a jeho širším okolí bylo získání informací o charakteru podzemních vod mělkého i hlubokého oběhu a jejich kvalitativních a kvantitativních parametrech v čase a prostoru. Zároveň byl hydrogeologický výzkum zaměřen na posouzení vzájemných vazeb jednotlivých typů vod a charakterizaci prostředí jejich vzniku, proudění a akumulace.

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov byl prováděn jak na povrchu lokality ležící bezprostředně nad PVP Bukov, tak také v okolí těžní jámy B1, v samotném PVP Bukov, které se nachází na 12. patře dolu Rožná a v ostatních patrech dolu Rožná (3.-12. patro).

Klíčová slova

PVP Bukov, podzemní voda, monitorovací plán, monitorovací síť, údržba a provoz monitorovací sítě, monitoring

Abstract

This final report describes and evaluates hydrogeological and hydrochemical research – monitoring of groundwater and mine water in the area of the Bukov URF for 2018-2022.

The aim of hydrogeological research in the Bukov URF and its wider surroundings was to obtain information about the character of the shallow and deep groundwater flow and qualitative and quantitative parameters of groundwater in time and space. Furthermore, hydrogeological research is focused on assessing the interrelationships of individual types of water and characterizing the environment of their formation, flow and accumulation.

Hydrogeological research at the Bukov URF site is carried out on the surface of the site immediately above the Bukov URF, and also near the mining pit B1, in the Bukov URF itself, located on the 12th floor of the Rožná Mine and on the other floors of the Rožná Mine (3rd-12th floor).

Key words

Bukov URF, groundwater, monitoring plan, monitoring network, network maintenance and operation, monitoring

1 Úvod

Předkládaná závěrečná zpráva popisuje a vyhodnocuje hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov za období 2018-2022. Monitoring v prostoru PVP Bukov byl naplánován na 5 let, tedy do roku 2022.

Samotný hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov započal již od roku 2015, kdy bylo zahájeno hydrogeologické mapování, jehož výsledky jsou prezentovány v závěrečné zprávě charakterizace PVP Bukov (Bukovská et al. 2017). Z těchto poznatků bylo využito zejména:

- rozsah monitorovací sítě
- chemismus vod

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov byl prováděn jak na povrchu lokality ležící bezprostředně nad PVP Bukov (prameny, vrty na skládce Bukov, Bukovský potok), tak také v okolí jámy Bukov (vrty S-23 a S-25), v samotném PVP Bukov, které se nachází na 12. patře jámy Bukov, dále na 12. patře jámy R1 (BR47, BR51, BR53) a na ostatních patrech dolu Rožná (BR06, BR07, BR10, BR21, B3-01, R3-02, R8-03, R11-04). Monitoring hlubších pater (BR06, BR07, BR10, BR21) byl optimalizován z důvodu zatápění spodních pater dolu od března 2021. Od června 2021, po konzultaci s DIAMO s. p., závod GEAM Dolní Rožínka a následném odsouhlasení SÚRAO, byly body ve spodních částech dolu nahrazeny monitoringem 3., 8. a 11. patra dolu Rožná.

Veškeré práce byly realizovány v souladu s plánem monitoringu (TZ 332/2018). Změny v průběhu monitoringu týkající se zařazení či vyřazení jednotlivých měrných bodů či změny jejich měření (způsob, rozsah) byly možné na základě Změnových listů, kde byla změna popsána, odůvodněna zhotovitelem a odsouhlasena zadavatelem.

Realizované práce byly průběžně prezentovány a vyhodnoceny v ročních zprávách:

- Etapová zpráva za rok 2018 (TZ 366/2019)
- Etapová zpráva za rok 2019 (TZ 487/2020)
- Etapová zpráva za rok 2020 (TZ 545/2021)
- Etapová zpráva za rok 2021 (TZ 564/2021)
- Etapová zpráva za rok 2022 (TZ xxx/2022)

Práce byly prováděny za koordinace a spolupráce SÚRAO (management projektu) a DIAMO, s. p., závod GEAM Dolní Rožínka. Pracovníky závodu GEAM Dolní Rožínka byla poskytnuta technická podpora při vstupu do podzemí a rovněž byl pracovníky GEAM realizován odběr vzorků vod z ostatních pater dolu Rožná mimo PVP Bukov.

V rámci hydrogeologického výzkumu na lokalitě PVP Bukov byly realizovány vodní tlakové zkoušky (VTZ) na geotechnických stanicích na 20. patře dolu Rožná, které byly vybudovány v rámci průzkumných prací, s cílem získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná (zjištění základních hydraulických parametrů krystalických hornin 20. patra dolu Rožná, jejich kapacitní, odporové a odporově-kapacitní charakteristiky). Práce byly realizovány v souladu s realizačním projektem VTZ (TZ 399/2019) a vyhodnoceny v závěrečné zprávě o VTZ (TZ 427/2019).

2 Geologické a hydrogeologické poměry PVP Bukov

Zájmové území PVP Bukov (Obrázek 1) je tvořeno jednotkami Strážeckého moldanubika, které na východě přechází do Svrateckého krystalinika. Na základě hydrogeologické rajonizace (Olmer et al. 2006) náleží zájmové území do hydrogeologického rajónu 65601 Krystalinikum v povodí Svatky – střední část.

Pro prostředí krystalinických hornin (tzv. hydrogeologický masív) je charakteristický puklinový oběh podzemních vod. Pro svrchní části krystalinika tvořených zvětralinovým pláštěm (eluvium) a v kvartérních pokryvných útvarech (fluviální sedimenty, deluviální sedimenty) je charakteristická propustnost průlinová.

Zvodnění prostředí krystalinických hornin je vázáno převážně na přípovrchovou zónu rozpojených puklin a zvětralinového pláště. Hloubkový dosah přípovrchové zóny rozvolnění puklin s aktivním oběhem podzemních vody se pohybuje v rozmezí 40–100 m (Bukovská et al. 2017). Ve větších hloubkách krystalinika je propustnost vázána na puklinové zóny a tektonická pásma.

Proudění podzemních vod v oblasti je dáno morfologií terénu a charakterem zvodněného puklinového prostředí. Směr proudění podzemní vody je dán především morfologií terénu, místní povrchové toky jsou zároveň erozní bází. Hladina podzemních vod v přípovrchové zóně je volná a přibližně konformně s terénem.

K doplňování zásob podzemních vod dochází především prostřednictvím infiltrace atmosférických srážek. Přirozené odvodnění struktury probíhá, jak již bylo uvedeno výše, v úrovni místní erozní báze, do fluviálních sedimentů, na kontaktu hornin s různou hydraulickou vodivostí či v místě výskytu zlomů a tektonických zón s drenážní, nebo naopak izolační funkcí.

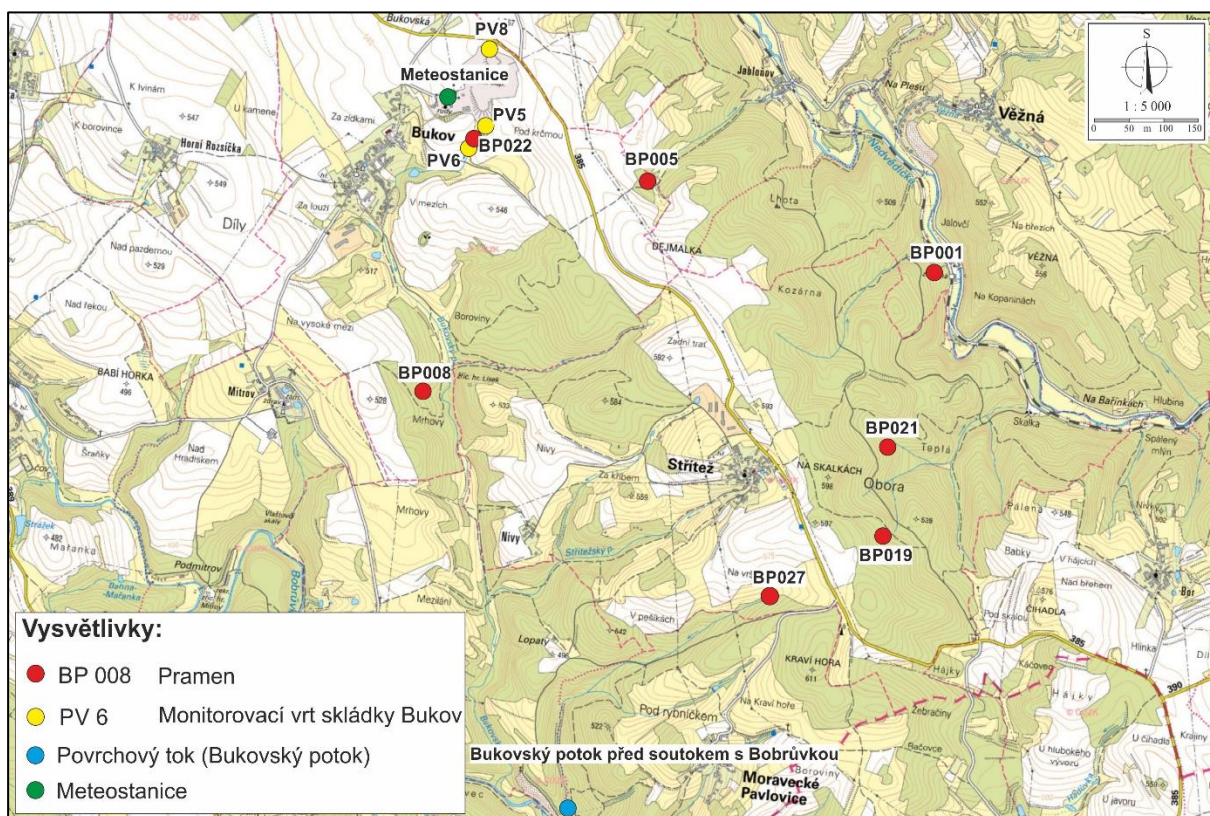
Pro oběh podzemních vod jsou významné regionální zlomy SSZ-JJV směru, přičemž tyto zlomy jsou lemovány pramenními vývěry. Druhým směrem „vodivých“ struktur je směr SV-JV – tento směr odpovídá diagonálním dislokacím směru 55–70°, které jsou uváděny ve starších pracích jako otevřené, s průběžností desítky až stovky metrů a s drenážní funkcí (Bukovská et al. 2017).

Vydatnosti pramenních vývěrů vázaných na mělký oběh podzemních vod se poměrně rychle mění, prameny, které jsou vázány na hluboký oběh podzemních vod, mají vydatnosti relativně stabilní. Charakter pramenních vývěrů monitorovaných na povrchu PVP Bukov, vzájemné posouzení jejich hydrochemického složení a posouzení vývoje jejich kvantitativních a kvalitativních parametrů v čase je předmětem realizovaného monitoringu.

Základní hydrogeologické charakteristiky kolektoru tvořeného převážně metamorfity jsou: puklinová propustnost, hladina podzemní vody volná, transmisivita nízká (řádově kolem $<1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), mineralizace 0,3-1 g/l a chemický typ vody Ca-Mg-HCO₃-SO₄. Horniny moldanubika hlubších částí krystalinika v širším okolí dolů Rožná vykazují koeficient propustnosti $k_f = 0,5 \times 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $0,5 \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, žíly a tektonické zóny na ložisku mají koeficient propustnosti cca $5 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Horniny strážeckého moldanubika lze tedy považovat za málo propustné. Zvýšená propustnost je charakteristická, jak již bylo výše uvedeno, pro tektonicky porušené oblasti.

Hydrogeologické poměry v prostoru ložiska jsou značně ovlivněny dřívější hlubinnou těžbou na dole Rožná. Podzemní vody byly původně drénovány prameny a skrytým příronem do toků

a jejich aluvií. Vlivem těžby však došlo k rozevření starých a ke vzniku druhotných puklin (trhlin), což výrazně přispělo ke vzniku intenzivní infiltrace povrchových a mělkých podzemních vod do prostoru důlního díla. Rozsáhlá oblast byla hydraulicky propojena důlním dílem. Celkem 580 km důlních chodeb ve 24 patrech a na ploše cca 18,5 km² (největší plocha dobývacího prostoru z roku 1978) působí při odvodňování dolu jako efektivní drenáž podzemních vod. Největší koncentrace důlních děl je v prostoru mezi obcemi Rozsochy a Bukov, takže právě v tomto prostoru došlo k nejvýraznějším změnám hydrogeologických poměrů. Tyto změny se na povrchu projevují poklesem až ztrátou vydatnosti pramenů a průtoků v tocích. To je patrné především u dolního toku Rožínky a celého Milasínského potoka, u nichž v minulosti došlo a stále dochází ke značným ztrátám průtoků a v případě Milasínského potoka až k jeho úplnému vyschnutí (Horálková et al. 1996). Právě v prostoru těchto toků dochází k největším poklesům způsobeným zavalování opuštěných důlních chodeb (Hájek et al. 1997b), a tedy i ke vzniku zálomových trhlin usnadňujících infiltraci vod do dolu. Nedaleko ložiska Rožná se nachází již zaplavené důlní dílo Olší-Drahonín. Průnik jeho důlních vod do dolu Rožná však nebyl zaznamenán.



Obrázek 1 Přehledná situace zájmového území

3 Plán monitoringu, revize stávající monitorovací sítě

3.1 Plán monitoringu

Před zahájením monitoringu bylo nezbytné zpracovat Monitorovací plán PVP Bukov (TZ 322/2018). Pro zpracování Monitorovacího plánu PVP Bukov byla nezbytná revize stávající monitorovací sítě vybudované v rámci předchozích výzkumných prací na lokalitě. Byla převzata již stávající monitorovací síť a provedena její optimalizace. Monitorovací síť je detailně popsána v Monitorovacím plánu PVP Bukov (TZ 332/2018), kapitola 6.

Součástí monitorovacího plánu byla pasportizace monitorovací sítě, jejíž výsledky byly základem pro jeho zpracování, návrh její optimalizace a návrh způsobu monitoringu jednotlivých monitorovacích bodů.

Způsob monitoringu jednotlivých monitorovacích bodů byl se zadavatelem průběžně konzultován a odsouhlasován. Zejména se jednalo o:

- technické vybavení a způsob datových přenosů z měrných bodů na povrchu
- změna metody měření průtoků v PVP Bukov (náhrada původní nefunkční techniky za člunkové průtokoměry)
- doplnění měřicí techniky na měrné body, které pro svoji obtížnost nebyly doposud monitorovány
- datový tok z měrných bodů, který je založen na jednotné platformě měření a archivace dat, parametrizace jednotek, přenosu dat, sběru dat a cloudové vizualizaci měřených dat

Zpracování monitorovacího plánu bylo započato v březnu 2018, ovšem s ohledem na skutečnosti zjištěné v rámci pasportizace a při nové instalaci a reinstalaci jednotlivých monitorovacích zařízení vyžadujících specifické technické zabezpečení, a v souladu se závěry jednotlivých kontrolních dnů, byl jeho text s postupem prací aktualizován a doplňován a jeho aktuální verze je uložena na serveru SÚRAO.

Tato skutečnost však neměla vliv na vlastní monitorovací a vzorkovací práce, které byly zahájeny v březnu 2018 a prováděny v souladu s požadavky zadavatele. Současně byla vedena řádná evidence dat a probíhala příprava datových struktur.

Zpracování monitorovacího plánu – resp. návrh hydrogeologického a hydrochemického monitoringu navazoval na realizovaný hydrogeologický monitoring „Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov“ (Bukovská et al. 2017). Zároveň respektoval výsledky provedených prací, jak v prostoru zájmové lokality Bukov, tak v prostoru lokality Kraví hora.

3.2 Revize stávající monitorovací sítě

Monitorovací síť je pravidelně kontrolována a revidována s ohledem na výsledky realizovaného výzkumu a aktuální stav poznání. Monitorovací síť je detailně popsána v Monitorovacím plánu PVP Bukov (TZ 332/2018), kapitola 6. Veškeré průběžné revize a změny jsou rovněž popsány v etapových zprávách za jednotlivém roky monitoringu. Monitorovací plán byl v roce 2022 aktualizován s ohledem na změny v monitorovací síti, které vyvstaly během monitoringu v letech 2018-2022 a jeho aktuální verze je uložena na serveru SÚRAO.

Změny v průběhu monitoringu týkající se zařazení či vyřazení jednotlivých měrných bodů či změny jejich měření (způsob, rozsah) jsou možné na základě Změnových listů, kde je změna popsána, odůvodněna zhotovitelem a odsouhlasena zadavatelem. Na základě dohod zadavatele se zhotovitelem bylo dohodnuto, že pro změnu bodů se budou používat Změnové listy. Návrh na změnu podá zhotovitel na základě dokladů z monitoringu, poté se k věci vyjádří SÚRAO a následně je rozhodnuto o změnách v součinnosti a s ohledem na vědecké poznatky.

V souladu s Monitorovacím plánem (TZ 332/2018) PVP Bukov a na základě výše uvedených informací o instalaci jednotlivých měřících prvků na povrchu a v PVP Bukov jsou uvedeny souhrnné informace o zahájení provozu monitorovací sítě:

Vrty

měření zahájeno od 04/2018

Meteorologická stanice

měření zahájeno od 06/2018

Prameny

instalace měrných přelivů dokončena 09/2018

Bukovský potok

měření zahájeno 11/2018

PVP Bukov

instalace lokální záznam dokončeno 10/2018, ke konci roku 2018 pokračovaly úpravy na měrných bodech BK26, BK27, BK31/1 a celkový odtok a optické kabely byly zapojeny do sítě internet (SÚRAO). Po zapojení optických kabelů bylo v lednu 2019 provedeno posouzení funkční způsobilosti měrných bodů, jehož součástí bylo úřední měření průtoků.

Od druhé poloviny roku 2020 jsou dokumentovány zásadní změny režimu vytékajících vod z puklin na některých dokumentačních bodech, zejména pak až dvojnásobné zvýšení průtoků na bodě BK26. Byla provedena změna vzdouvacího objektu u celkového odtoku, který převede větší množství vod a díky své konstrukci došlo ke snížení hloubky vody v odtokovém korytě před dokumentačním bodem i před sedimentační nádrží.

V průběhu listopadu 2021 bylo zaznamenáno ucpání odtoku ze sběrné nádoby dokumentačního bodu BK27 (S-2). Vody ze sběrné nádoby přetékal a byl poškozen indukční průtokoměr. Bylo provedeno vyčištění ucpaného ventilu a výměna potrubního vedení s ohledem na potřebnou údržbu v případě zanešení unášenými pevnými částicemi. Dodán byl i nový vodoměr, který je nyní optimálně zaplaven a osazen vč. potřebných uklidňovacích délek potrubí. Zpětné zprovoznění měření na měrném bodě bylo zahájeno 9. 12. 2021.

Omočené povrchy původních průtokoměrů na bodech BK27 (S-2) a BK31 vzhledem k charakteru a složení měřených vod postupně zarůstaly a docházelo k ovlivnění měření. V předešlých obdobích toto ovlivnění bylo možné kompenzovat korekčními rovnicemi. Měrný bod BK31 však začal vykazovat závažné chyby měření. Na měrném bodě se se zužujícím se průtočným profilem postupně vzdouvala a stoupala hladina ve sběrné nádobě až po její zahlcení a kompletní přetékání bokem.

V květnu 2022 byl indukční průtokoměr na bodě BK27 (S2) demontován a předán výrobcí měřidla k vyčištění a prověření. Oprava byla komplikovanější, aby nedošlo k dlouhému

přerušení měření, byl v červnu nainstalován jiný průtokoměr. Ve zbytku roku docházelo dále k zanášení průtokoměru a přetoku přes sběrnou nádobu i přes častější čištění výtakového otvoru a průtokoměru samotného. Vzhledem k tomu, že vydatnost tohoto měrného bodu je dlouhodobě stabilní, je průběh nyní vyhodnocován na základě pravidelných kontrolních ručních měření a dle kontinuálního měření na společném bodě BK26+BK27.

Na měrném bodě BK31 již došlo z obdobných příčin k poškození měřících elektrod indukčního průtokoměru a výrobce shledal stav jako neopravitelný. Po dobu závad měření byl průtok stanoven opět na základě série pravidelných ručních měření. Vzhledem k blízkosti k měrnému bodu BK31/1 a skutečnosti, že na BK31/1 je svedena druhá polovina záchytných ploch ve stejném místě dokumentačního bodu BK31, bylo v listopadu provedeno přepojení bodu BK31 a výtok sveden na člunkový průtokoměr BK31/1. Nadále tedy měrné body budou měřeny společně a vedeny jako BK31+BK31/1.

Nový měrný bod 296HGM0057 (BK40) byl vytvořen v chodbě BZ1 XII mezi prostory ZK-3S a ZK-3J. Na měrný bod jsou svedeny úkapy a výtoky z puklin především ve stropě chodby. Zvětšující se množství těchto výtoků bylo postupně evidováno při servisních činnostech na přelomu let 2021 a 2022. Instalaci záchytných ploch a svedení do předem odsouhlasené pozice provedli pracovníci společnosti DIAMO, závod GEAM. Následně byl pracovníky společnosti KOCMAN envimonitoring s.r.o. dodán a instalován nový člunkový průtokoměr a bylo provedeno rozšíření měření stanicí AMS 3. Číslo nového dokumentačního bodu je 296HGM0057.

Výtok z čelby VrK-2 chodby BZ-XIIJ je měřen jako rozdíl pomocného bodu BK26+BK27 a dokumentačního bodu BK27 (S-2). Na pomocném bodě BK26+BK27 je v odtokovém korytě instalován vzdouvací objekt, pro který je zpracovaná Q/h charakteristika průtoku na přepadové výšce hladiny obdobně, jako např. na dokumentačním bodě BK26.

V předešlých letech byla Q/h charakteristika zpracovávána na základě součtu kontrolních a úředních měření vázicí či objemovou metodou, a to jímáním kapaliny vytékající ze výtakového plechu. Tato metoda však dostatečně nereprezentuje celkový výtok z čelby. Vzhledem k tomu, že byla v odtokovém korytě v předešlých letech také prováděna hydrometrická měření metodou rychlostního pole, byla zpracována nová Q/h charakteristika, která popisuje kompletní výtok z čelby prostoru VrK-2.

Data z předešlých let budou vyhodnocena touto přesnější metodou také a budou součástí předání závěrečné zprávy hodnotící kompletní období monitoringu (2018-2022).

Kompletní informace o provozu a údržbě měřících systémů v prostoru PVP Bukov jsou součástí tištěné přílohy č. 4 a el. přílohy č. 4. jednotlivých etapových zpráv.

3.3 Nové značení měrných bodů podle pravidel SÚRAO

Na základě požadavku zadavatele bylo v rámci monitoringu PVP Bukov provedeno nové označení jednotlivých měrných bodů. Označení bodů bylo provedeno na základě směrnice SÚRAO MP23. Nové značení měrných bodů uvádí Tabulka 1, Tabulka 2 a Tabulka 3.

Zhotovitelem byl na základě podkladů SÚRAO zpracován grafický návrh cedulí k měrným bodům. Pro PVP a další zabezpečené prostory na povrchu byla realizována úplná verze návrhu cedulí (viz Obrázek 2). Cedule byly vyrobeny UV tiskem na podklad DIBOND (sendvičová deska do exteriéru).

V PVP Bukov byly cedule nýtovány na nerezový plech, který byl centrální závitovou tyčí připevněn na měrném bodě (viz Obrázek 3).

Pro případ ovlivnění měření, kalibrace měřidla nebo jeho poruchy, byly vyrobeny informační cedule, kterými jsou v daném případě dokumentační body označeny (Obrázek 4). Další organizace participující na výzkumných a monitorovaných činnostech a návštěvy jsou tak bezprostředně informováni o aktuálním průběhu monitoringu.

Tabulka 1 Seznam měrných bodů PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25), nové označení

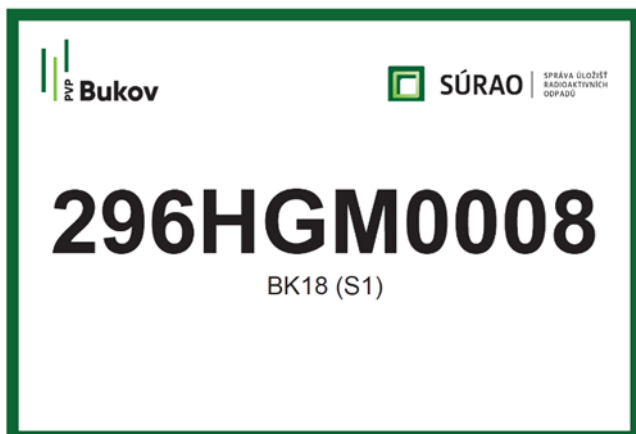
původní označení	Označení části důlního díla dle pravidel DIAMO	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
celkový odtok	BZ-XIIJ	296HGM0001
Bk23	BZ-XIIJ	296HGM0002
Bk06	BZ-XIIJ	296HGM0003
Bk06b	BZ-XIIJ	296HGM0004
Bk07	BZ-XIIJ	296HGM0005
Bk29/33	BZ-XIIJ	296HGM0006
Bk15	BZ-XIIJ	296HGM0007
Bk18 (S1)	VrK-1	296HGM0008
Bk30 (S8)	VrK-1	296HGM0009
Bk31	BZ1-XII	296HGM0010
Bk32	BZ1-XII	296HGM0011
Bk34	BZ1-XII	296HGM0012
Bk35	BZ1-XII	296HGM0013
S18	ZK-3S	296HGM0014
S20	ZK-3S	296HGM0015
S21	ZK-3S	296HGM0016
Bk38	ZK-3S	296HGM0017
Bk26	BZ1-XII	296HGM0018
Bk27 (S2)	BZ1-XII	296HGM0019
technologická voda	BZ-XIIJ	296HGM0040
Bk31/1	BZ1-XII	296HGM0046
Teplota a vlhkost	BZ-XIIJ	296HGM0048
Teplota a vlhkost	VrK-1	296HGM0049
Teplota a vlhkost	ZK-3S	296HGM0050
S23	PŠ1-123	296HGM0042
S25	PŠ1-123	296HGM0044
Bk39	BZ1-XII	296HGM0056
Bk40	ZK-3S	296HGM0057

Tabulka 2 Bukov, ostatní patra – nové označení

původní označení	patro	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
BR47	12	296HGM0020
BR51	12	296HGM0021
BR53	12	296HGM0022
BR21	12	296HGM0023
BR32	20	296HGM0024
BR06	24	296HGM0025
BR07	24	296HGM0026
BR10	17	296HGM0027
BR16	21	296HGM0028
R3-02	3	296HGM0051
R8-03	8	296HGM0052
R11-04	11	296HGM0053
B3-01	3	296HGM0054

Tabulka 3 Povrch lokality – nové označení

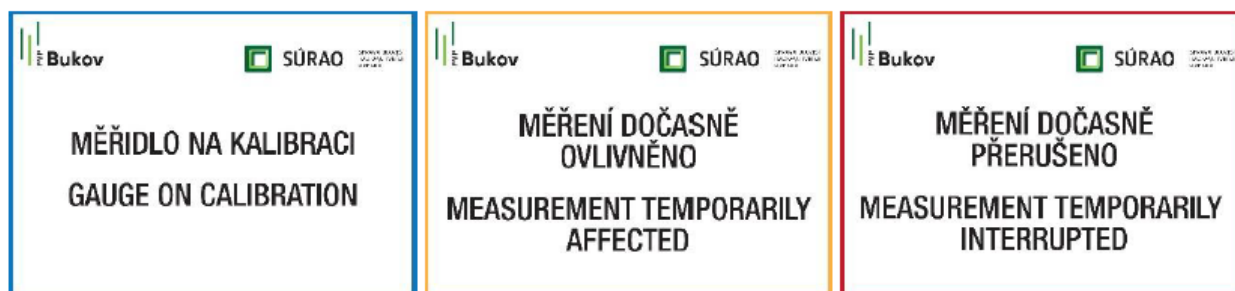
původní označení	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO	Popis místa
PV-5	296HGM0029	Monitorovací vrt skládky Bukov
PV-6	296HGM0030	Monitorovací vrt skládky Bukov
PV-8	296HGM0031	Monitorovací vrt skládky Bukov
BP001	296HGM0032	Pramen
BP005	296HGM0033	Pramen
BP008	296HGM0034	Pramen
BP019	296HGM0035	Pramen
BP021	296HGM0036	Pramen
BP022	296HGM0037	Bukovský potok (u pramene)
BP026	296HGM0038	Pramen
BP027	296HGM0055	Pramen
Bukovský p.	296HGM0039	Potok
Meteo stanice	296HGM0047	Meteostanice na skládce Bukov



Obrázek 2 Grafický návrh cedulí označujících měrný bod



Obrázek 3 Označení měrného bodu a ukázka instalace



Obrázek 4 Ukázka informačních tabulek

4 Monitoring na povrchu lokality PVP Bukov

Pro proudění podzemních vod v přípovrchové části lokality je významná morfologie oblasti, která určuje hodnotu hydraulického gradientu. V širším okolí Bukova dosahuje nejvyšší nadmořské výšky 611 m vrchol Kraví hory, nejnižší nadmořské výšky (350–400 m n. m.) jsou v poměrně hluboce zaříznutých údolích říček Loučky a Nedvědičky. Oba hlavní vodní toky představují současně hlavní erozní báze oblasti a drénují mělký a částečně i hlubší oběh podzemních vod. Průměrné roční úhrny srážek se pohybují od 600 do 680 mm, vyšší srážkové úhrny jsou od května do srpna.

Pro ložiskovou oblast Rožná je charakteristický střední specifický odtok podzemních vod v hodnotách 2-3 l.s⁻¹.km⁻². Směrem k JV klesá specifický odtok podzemních vod na nízký s hodnotou 1-2 l.s⁻¹.km⁻² (Krásný et al. 1982).

Území spadá do hydrogeologického rajonu 65601 Krystalinikum v povodí Svratky – střední část. Ložisko Rožná tvoří hydrogeologický masiv s převažující puklinovou propustností pevných hornin.

Charakter propustnosti závisí na petrologickém složení a typu zvětrávání hornin, míře tektonického postižení, hloubce hornin pod terénem, morfologických a klimatických podmínkách. U mramorů a erlanů v pestré skupině dochází často ke zkrasovění hornin, propustnost je zde puklinově-krasová nebo krasová. Ve svrchních částech krystalinika tvořených zvětralinovým pláštěm (eluvium), svahovými a fluvialními sedimenty se jedná o propustnost průlinovou.

Svahové a fluvialní sedimenty jsou v těsné hydraulické spojitosti se svým podložím a společně tvoří hlavní kolektor krystalinika. Hlubkový dosah přípovrchové zóny rozvolnění puklin s aktivním oběhem podzemních vod se pohybuje v rozmezí 40–100 m. V hlubších částech krystalinika dochází k postupnému svírání puklin tíhou nadložních hornin, hydraulická vodivost se snižuje a proudění podzemních vod se soustředí téměř výhradně na zlomy a puklinové zóny.

4.1 Hydrochemický monitoring

V rámci kvantitativního monitoringu a monitoringu chemického složení vod na povrchu lokality bylo s četností 1× za čtvrt roku monitorováno celkem 8 objektů (viz Tabulka 4, Obrázek 5).

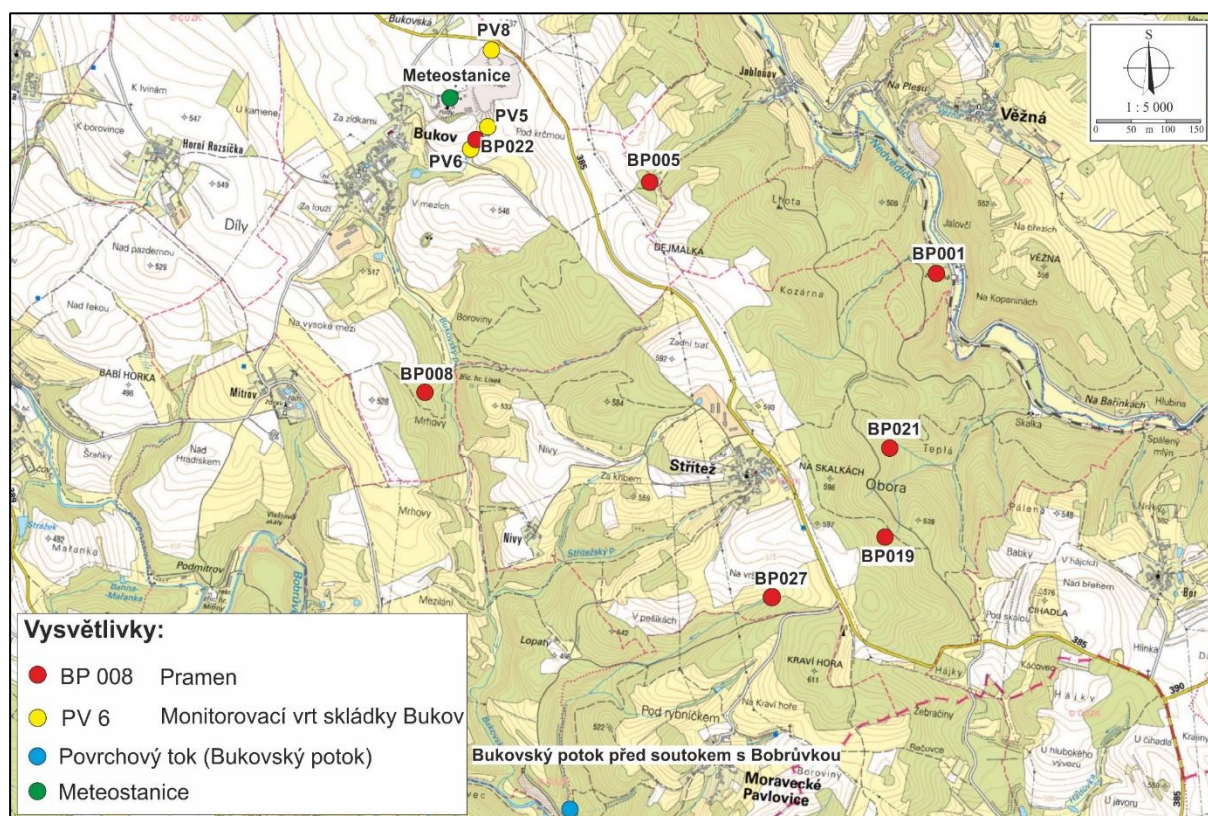
Všechny vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO₃, NO₃, SO₄, SiO₂, NH₄, pH, vodivost (4× ročně)
- **Stopové prvky:** Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe (4× ročně)
- **Radioaktivní látky:** celk. objemová aktivita alfa, celk. objemová aktivita beta, U, Rn (1× ročně)

V polovině roku 2019 byl pramen 296HGM0038 (BP026) zlikvidován. Pramen se nacházel na okraji zemědělsky využívané plochy a při 2. kole vzorkování v červnu 2019 bylo zjištěno, že pramen je zaházený balvany a jeho okolí rozoráno. Po zjištění této skutečnosti již nebyl objekt BP026 sledován a spolu s investorem byla projednána možnost náhrady tohoto bodu. Tento bod byl nahrazen novým bodem BP027 (296HGM0055). Během monitoringu, zejména v suchém letním, případně podzimním období docházelo k občasnému vysychání bodů BP019 a BP022. prameny jsou závislé na množství infiltrované srážkové vody.

Tabulka 4 Seznam monitorovacích bodů na povrchu lokality

původní označení	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO	Monitoring Kvalita/kvantita
PV-5	296HGM0029	kvantita
PV-6	296HGM0030	kvantita
PV-8	296HGM0031	kvantita
BP001	296HGM0032	Kvantita + kvalita
BP005	296HGM0033	Kvantita + kvalita
BP008	296HGM0034	Kvantita + kvalita
BP019	296HGM0035	Kvantita + kvalita
BP021	296HGM0036	Kvantita + kvalita
BP022	296HGM0037	Kvantita + kvalita
BP026	296HGM0038	Kvantita + kvalita
BP027	296HGM0055	Kvantita + kvalita
Bukovský p.	296HGM0039	Kvantita + kvalita
Meteostanice	296HGM0047	Meteorologické jevy



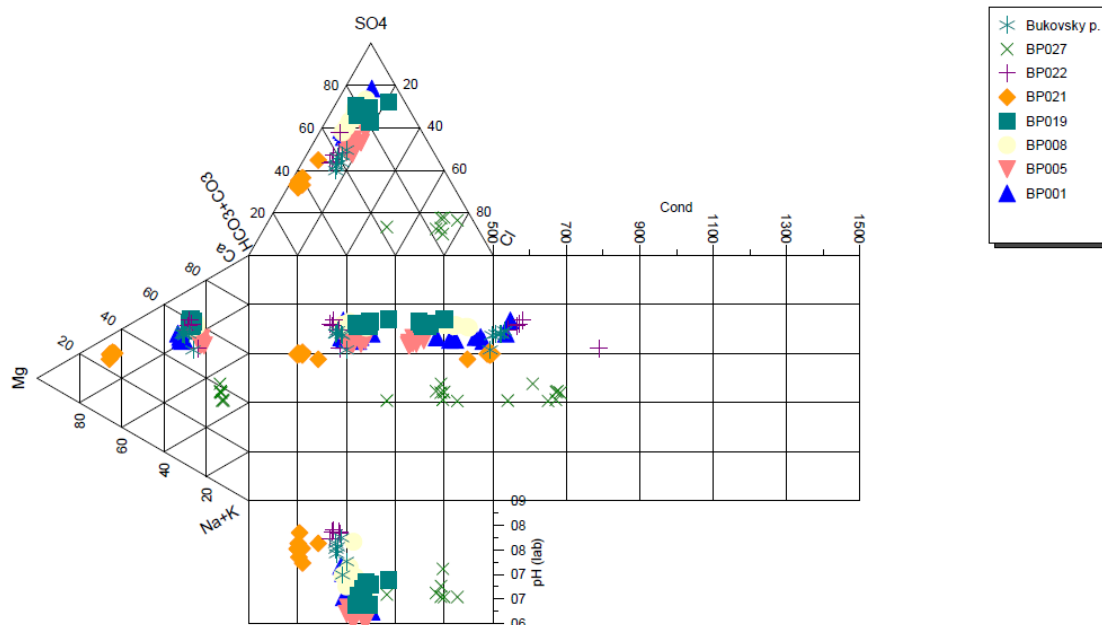
Obrázek 5 Přehledná mapa dokumentovaných pramenů a bodů hydrogeologické monitorovací sítě na povrchu lokality

4.1.1 Určení geochemického typu vody

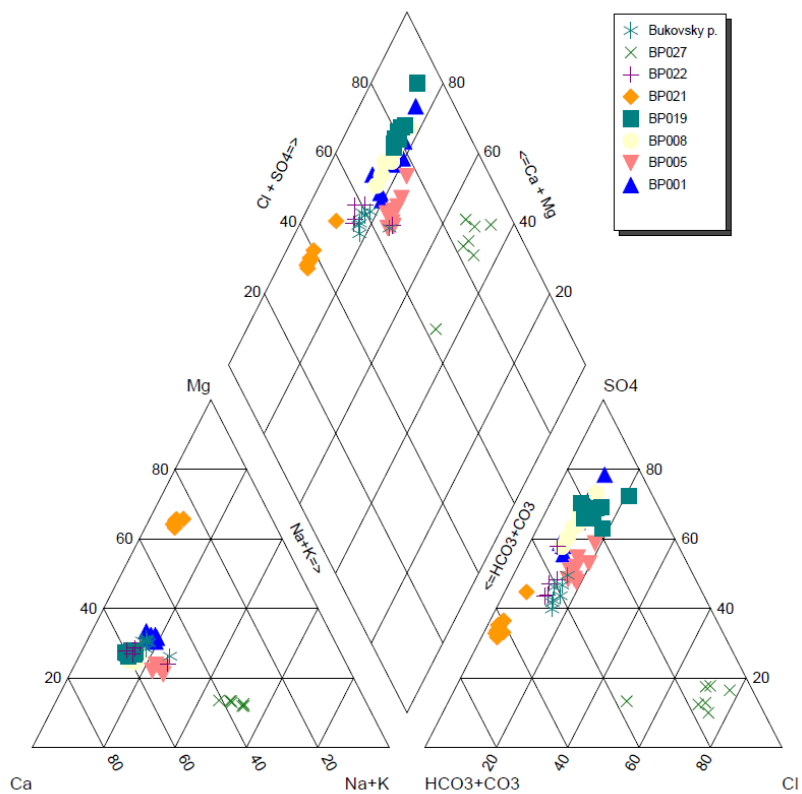
U podzemních vod na lokalitě převažuje chemický typ Ca-SO₄, doplněný typem Ca-Mg-SO₄-HCO₃ typický pro mělký oběh podzemních vod v oxidační zóně krystalinika. Hlavními minerály, které tvoří sírany (SO₄²⁻) jsou sádrovec a anhydrid. Z antropogenních zdrojů jsou

obecně zdrojem např. městské a průmyslové exhalace, obsahující značná množství SO_2 a SO_3 . Spolu s hydrogenuhličitanu a chloridy patří sírany mezi hlavní anionty přírodních vod, zpravidla v pořadí kvantitativního zastoupení $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl}$, resp. $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$. V prostých podzemních a povrchových vodách jejich koncentrace obvykle činí desítky až stovky mg/l (Pitter 1999). Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu (

Obrázek 6, Obrázek 7).



Obrázek 6 Durovův diagram vývoje chemického složení pramenů



Obrázek 7 Piperův diagram vývoje chemického složení pramenů

4.1.2 Kvalitativní parametry vody

Jak již bylo uvedeno v přechodí kapitole, u podzemních vod na lokalitě převažuje chemický typ Ca-SO_4 typický pro mělký oběh podzemních vod v oxidační zóně krystalinika. Odlišné složení má pramen 296HGM0036 (BP021) s převahou Mg a HCO_3 . U tohoto pramene se předpokládá drenáž hlubšího oběhu podzemních vod. Hlubší oběh předpokládáme i u pramene 296HGM0033 (BP005). Chemické složení podzemní vody z těchto pramenů je poměrně stabilní. Čím hlubší je oběh podzemních vod, tím je složení podzemní vody stabilnější. Hydrogenuhličitan (HCO_3^-) jsou běžnou makrokomponentou přírodních vod a u nepříliš mineralizovaných vod nad ostatními přítomnými anionty většinou převládají. Avšak se vzrůstající celkovou mineralizací vod se z hlediska kvantitativního zastoupení posouvají někdy na druhé až třetí místo za sírany, resp. i za chloridy. V prostých podzemních a povrchových vodách se jejich koncentrace pohybuje řádově v desítkách až stovkách mg/l (Pitter 1999).

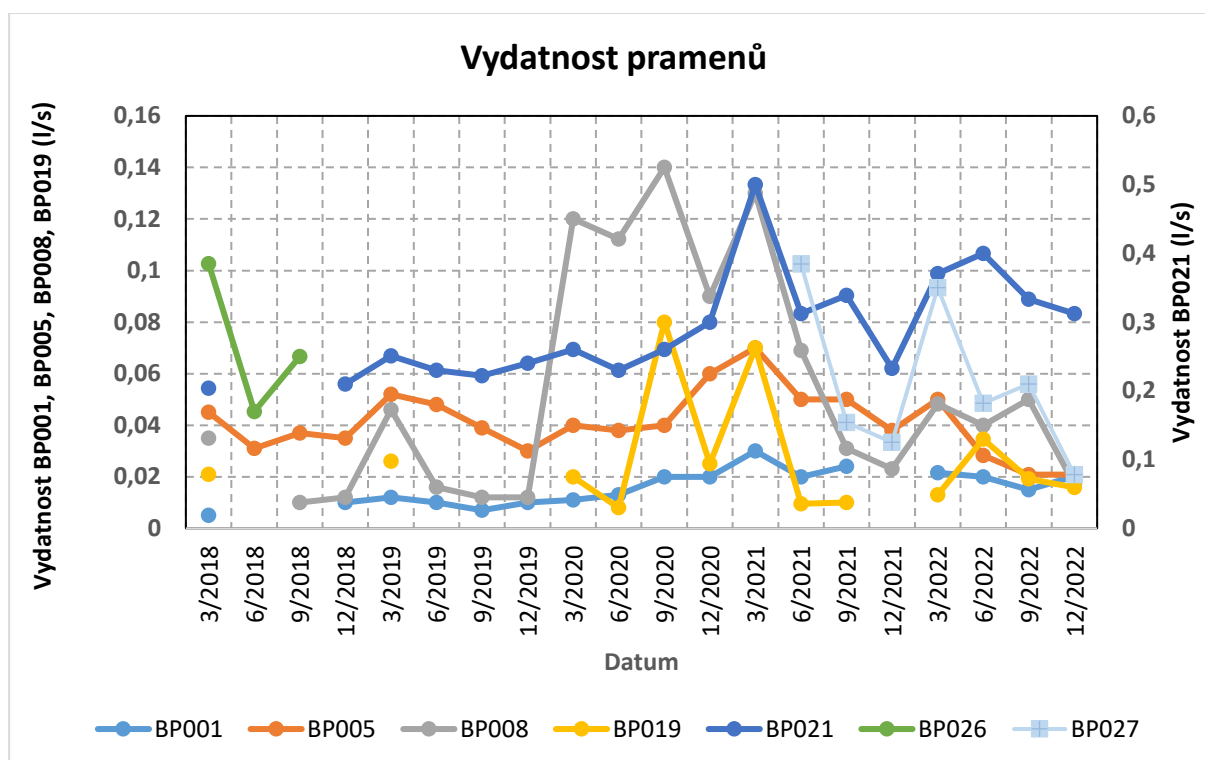
4.1.3 Radiologie

Na povrchu lokality PVP Bukov byly odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody.

Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jsou $0,2 \text{ Bq.l}^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu α a $0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu β . Vyšetřovací úrovně objemové aktivity α i β byly ojediněle v letech 2018 a 2019 překročeny ve vzorcích vody z pramene BP022 a Bukovského potoka. Referenční hodnota pro Rn_{222} stanovená vyhláškou č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, je 100 Bq.l^{-1} . Referenční hodnota pro Rn byla překročena místy u pramene BP001. Výsledky stanovení uranu byly vždy v souladu s mezní hodnotou $15 \mu\text{g/l}$ stanovenou vyhláškou 252/2004 Sb.

4.1.4 Vydátnost pramenů

Časový vývoj vydátnosti monitorovaných pramenů znázorňuje Obrázek 8. Vybrané prameny charakterizují různé úrovně oběhu podzemních vod a jejich režim. Pramen 296HGM0036 (BP021) reprezentuje drenáž hlubšího oběhu podzemních vod, nachází se poblíž výrazné regionální poruchy a svým chemickým složením je blízký vodám v PVP Bukov. Vydátnost tohoto pramene je v čase relativně stabilní, v březnu 2021 byl však zaznamenán nárůst vydátnosti až na téměř $0,5 \text{ l/s}$ (dozvuk na srážky bohatého roku 2020), poté došlo k postupnému poklesu vydátnosti na hodnoty korespondující s přechodními lety. V roce 2022 se vydátnost pohybovala od $0,4$ do $0,31 \text{ l/s}$. Časový průběh vydátnosti pramene 296HGM0033 (BP005) dobře koresponduje s vývojem výšky hladiny ve vrtech PV6 a PV8. Vydátnost pramenů je závislá na atmosférických srážkách. Velmi nízká až nulová vydátnost (stojatá voda, suchý pramen) se projevila zejména v letním období.



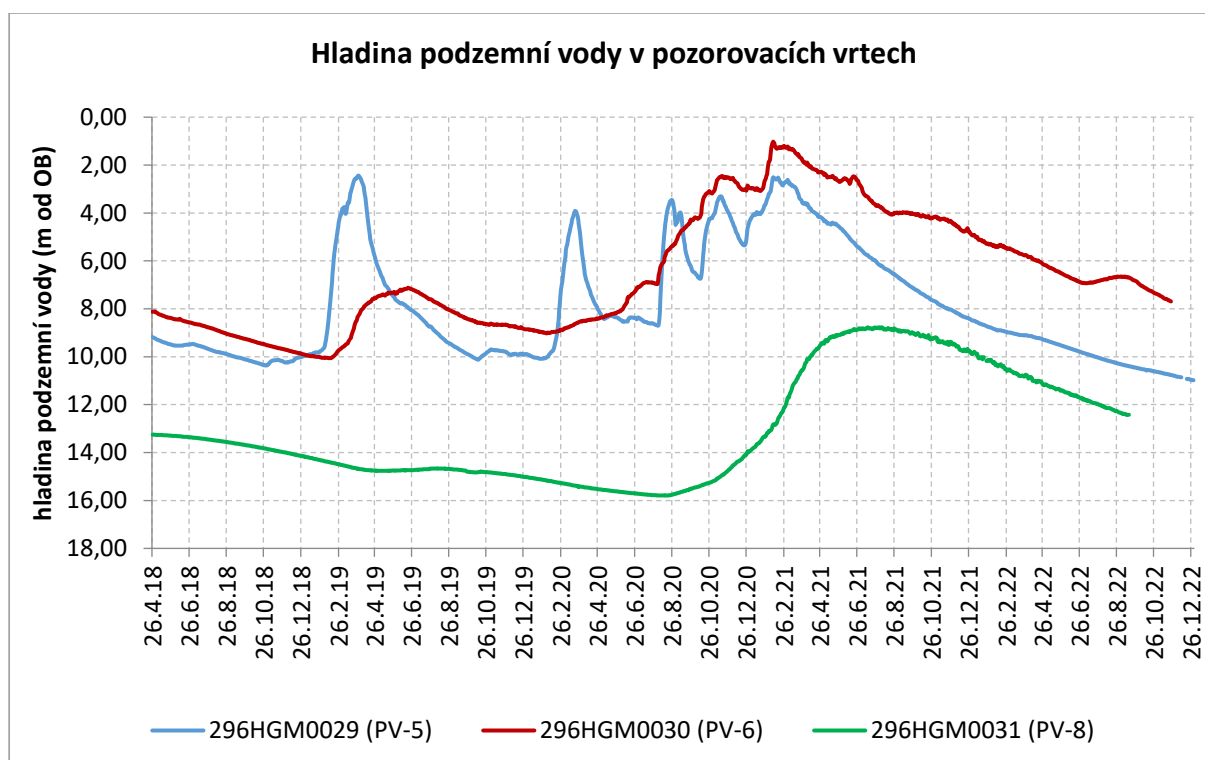
Obrázek 8 Vývoj vydatnosti pramenů v povrchové části lokality

4.1.5 Automaticky naměřená data

V rámci hydrogeologického monitoringu byla kontinuálně sledována hladina podzemní vody ve vrtech PV-5 (296HGM0029), PV-6 (296HGM0030) a PV-8 (296HGM0031). Ukázka průběhu hladiny podzemní vody v těchto objektech za období 26. 4. 2018 až 31. 12. 2022 graficky znázorňuje Obrázek 9.

Ve vrtech PV-5 (296HGM0029), PV-6 (296HGM0030) a PV-8 (296HGM0031) bylo zahájeno měření v úplné formě ihned po instalaci měřicí techniky. Meteorologická stanice (296HGM0047) měřila základní veličiny od své instalace, po doplnění napájení 230 V (12/2018) byla zprovozněna zbývající čidla. Vodoměrná stanice na Bukovském potoce (296HGM0039) zahájila měření stavů hladin v čase instalace.

Hladina podzemní vody ve vrtech je do jisté míry závislá na množství spadlých atmosférických srážek, kdy po mimořádně vlhkém podzimu roku 2020 byly zaznamenány maximální stavy hladiny podzemní vody (u vrtu PV-8 se toto projevilo se zpožděním v červnu 2021). V průběhu let 2021 a 2022 došlo opět k postupnému poklesu hladiny podzemní vody na hodnoty odpovídající trendu v letech 2018-2020.



Obrázek 9 Kontinuální měření hladiny podzemní vody ve vrtech

V souladu s požadavkem zadavatele a Monitorovacím plánem byla v prostoru skládky Bukov nainstalována meteorologická stanice se sadou čidel pro měření meteorologických veličin, stožár 3 m s výložníky pro měřicí čidla, vyhřívaný srážkoměr se zachytnou plochou 500 cm². Interval záznamu dat je 10 minut a interval přenosu dat je 8× denně. Mezi měřené veličiny patří:

- Teplota pod povrchem v hloubce 50 cm [°C]
- Teplota pod povrchem v hloubce 20 cm [°C]
- Teplota pod povrchem v hloubce 10 cm [°C]
- Teplota pod povrchem v hloubce 5 cm [°C]
- Půdní teplota 5 cm nad povrchem [°C]
- Teplota ovzduší 2 m nad povrchem [°C]
- Relativní vlhkost vzduchu [%]
- Půdní vlhkost [%]
- Srážky dešťové [mm]
- Rychlost větru [m·s⁻¹]
- Směr větru [°]
- Sluneční svit/globální radiace [W·m⁻²]

Souhrnné grafické zpracování dat je součástí přílohy č. 1 zprávy o hydrogeologickém a meteorologickém monitoringu prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov (Kocman 2023), která je zařazena jako příloha č. 1 této závěrečné zprávy.

V uzávěrovém profilu na Bukovském potoce, před soutokem s tokem Bobrůvka, byl vybrán měrný bod pro monitorování stavů hladin a výpočet průtoků podle Q/H charakteristiky profilu. Vodoměrná stanice obsahuje přívodní kanál zaústěný do toku, na tento kanál navazuje kalník s propojovací rourou pro umístění ochranné budky s měřicí stanicí. Ochranná budka je proti vandalismu ochráněna dodatečným ocelovým rámem. V přívodním kanále je instalován tlumič. Vodočetná lať je umístěna na levém břehu a je součástí technického vybavení měrného

bodů. První hydrometrické měření bylo provedeno dne 9. 11. 2018. Interval záznamu dat je 10 minut a interval přenosu dat je 1× denně. Mezi měřené veličiny patří:

- Hladina vody [m]
- Průtok a protečené množství [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, m^3]

V průběhu roku je prováděna série hydrometrických měření průtoku vod, na základě kterých je stanovena a aktualizována funkční závislost hodnoty průtoku na hloubce vody v měřeném profilu, kterou lze vyjádřit dvěma konzumpční rovnicí ve tvaru:

$$\text{pro } H \leq 0,146 \text{ m:} \quad \mathbf{Q = 9,3438 \cdot H^2 + 0,0336 \cdot H + 0,0095}$$

$$\text{pro } H > 0,146 \text{ m:} \quad \mathbf{Q = -4,6344 \cdot H^2 + 4,3581 \cdot H - 0,3228}$$

kde Q je průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];

H vodní stav v měřeném profilu [m].

Souhrnné grafické zpracování dat je součástí přílohy č. 1 zprávy o hydrogeologickém a meteorologickém monitoringu prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov (Kocman 2022), která je zařazena jako příloha č. 1 této závěrečné zprávy.

5 Monitoring v prostoru PVP Bukov

5.1 Hydrochemický monitoring PVP Bukov

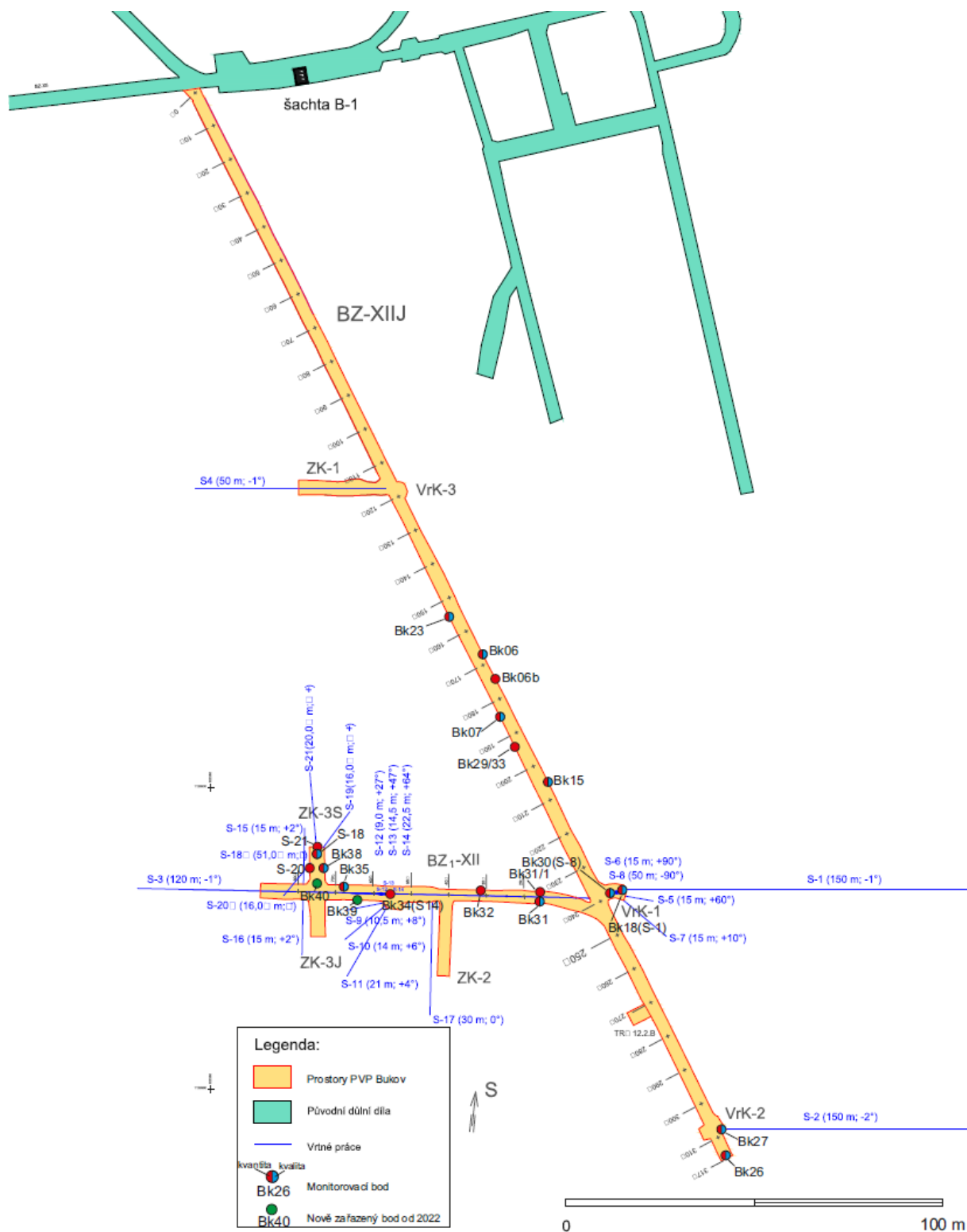
V rámci monitoringu chemického složení vod v prostoru PVP Bukov bylo s četností 1× za čtvrt roku monitorováno celkem 15 objektů (viz Tabulka 5, Obrázek 10). Bod Bk40 byl nově do monitoringu zařazen od června 2022. Stejně tak je na bodu Bk39 monitorována vydatnost, nicméně ta je monitorována pouze manuálně se čtvrtletní četností.

Všechny vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO₃, NO₃, SO₄, SiO₂, NH₄, pH, vodivost (4× ročně)
- **Stopové prvky:** Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe (4× ročně)
- **Radioaktivní látky:** celk. objemová aktivita alfa, celk. objemová aktivita beta, U, Rn (1x ročně)

Tabulka 5 Seznam monitorovacích bodů v prostoru PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25)

původní označení	Označení části důlního díla dle pravidel DIAMO	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
Bk23	BZ-XIIJ	296HGM0002
Bk06	BZ-XIIJ	296HGM0003
Bk07	BZ-XIIJ	296HGM0005
Bk15	BZ-XIIJ	296HGM0007
Bk18 (S1)	VrK-1	296HGM0008
Bk30 (S8)	VrK-1	296HGM0009
Bk31	BZ1-XII	296HGM0010
Bk35	BZ1-XII	296HGM0013
S18	ZK-3S	296HGM0014
Bk38	ZK-3S	296HGM0017
Bk26	BZ1-XII	296HGM0018
Bk27 (S2)	BZ1-XII	296HGM0019
S23	PŠ1-123	296HGM0042
S25	PŠ1-123	296HGM0044
Bk39	BZ1-XII	296HGM0056
Bk40	ZK-3S	296HGM0057



Obrázek 10 Schématická situace prostoru PVP Bukov (12. patro)

5.1.1 Určení typu vody

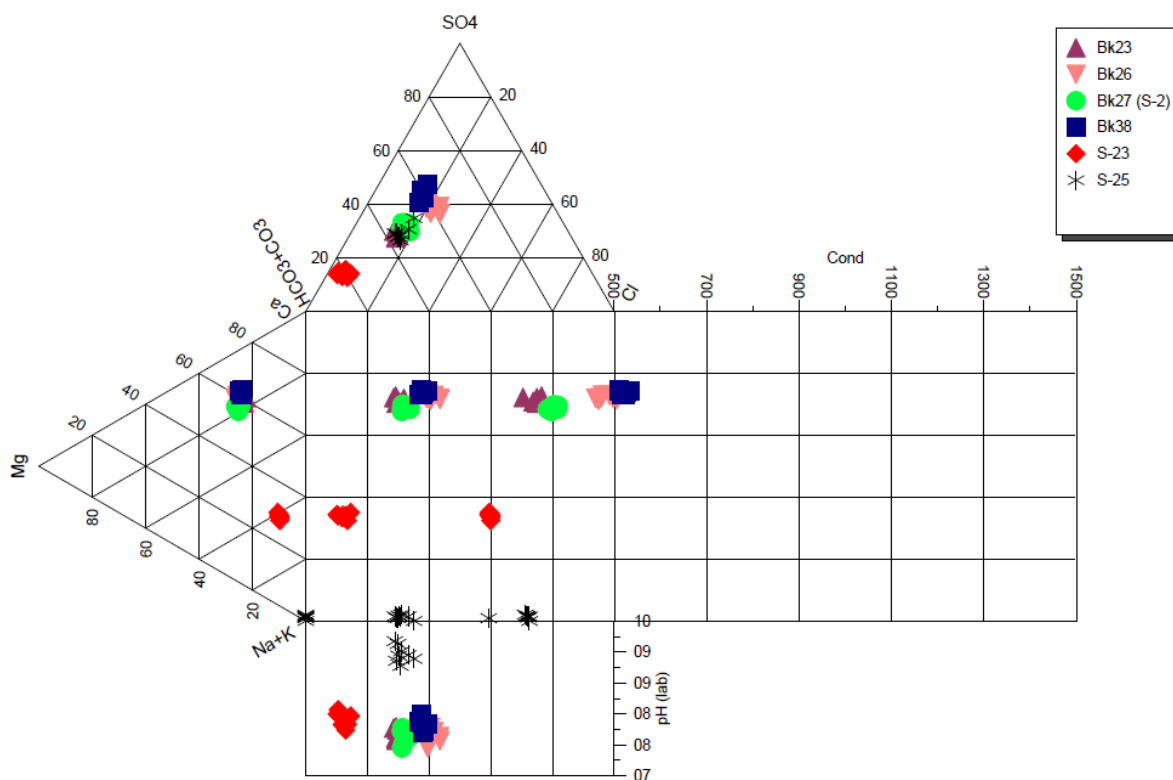
Určení typu vody vychází z převládajících iontů vyjádřených jako součin molární koncentrace iontu a jeho náboje – $c_i z_i$, kde c je molární koncentrace iontu, z je jeho náboj, a i je označení iontu. U jednomocných iontů je výpočet proveden z jeho molární koncentrace, u dvojmocných iontů je do výpočtu zahrnut součin jeho molární koncentrace a náboje ($2\times$), shodně i u vícemocných iontů. Při výpočtu se uvažují kationty jako 100 % a anionty 100 %. Přehled hydrochemických typů vod je uveden v Tabulka 6. Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu (Obrázek 11, Obrázek 12).

U vod přitékajících do prostoru PVP Bukov převažuje chemický typ Ca-Mg-HCO₃-SO₄ a Ca-Mg-SO₄-HCO₃. Hydrogenuhličitan (HCO₃⁻) jsou běžnou makrokomponentou přírodních vod a u nepříliš mineralizovaných vod nad ostatními přítomnými anionty většinou převládají. Avšak se vzrůstající celkovou mineralizací vod se z hlediska kvantitativního zastoupení posunují někdy na druhé až třetí místo za sírany, resp. i za chloridy. V prostých podzemních a povrchových vodách se jejich koncentrace pohybuje řádově v desítkách až stovkách mg/l (Pitter 1999). U podzemní vody z vrtů S-23 a S-25 na 12. patře jámy B1 je typ vody Na-Ca-HCO₃ a Na-HCO₃-SO₄.

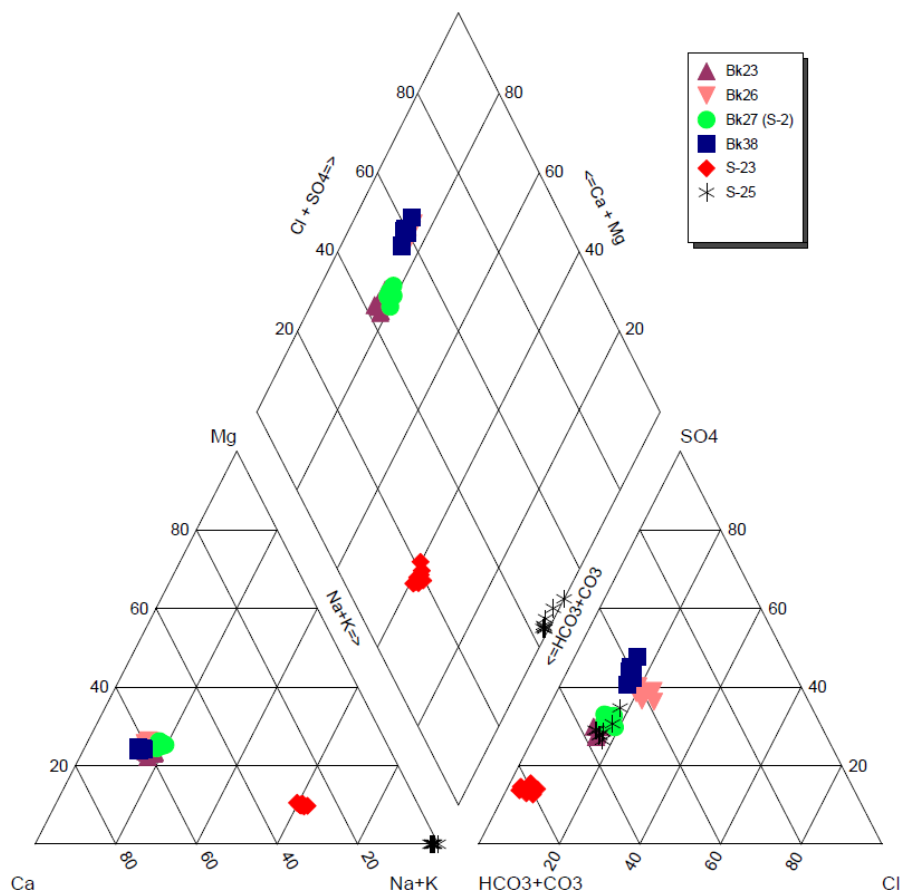
Naproti tomu voda z pramenů na povrchu lokality je převážně hydrogeochemického typu Ca-SO₄, což odpovídá vodám mělkého oběhu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.2, pouze prameny BP021, příp. BP005 indikují drenáž hlubšího oběhu a přibližují se svým složením vodám v prostoru PVP.

Tabulka 6 Přehled hydrochemických typů vod z vybraných přítoků

objekt	typ vody	typ vody	typ vody	typ vody
Bk23	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Bk26	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Bk27 (S-2)	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Bk38	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	-
S-23	Na-Ca-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃
S-25	Na-HCO ₃ -SO ₄	Na-HCO ₃ -SO ₄	Na-HCO ₃ -SO ₄	Na-HCO ₃ -SO ₄



Obrázek 11 Durovův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků



Obrázek 12 Piperův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků

5.1.2 Kvalitativní parametry vody a stáří vod

Kvalitativní parametry podzemní vody vykazují během celého období monitoringu (2018-2022) stabilní složení s mírnými výkyvy. K „nejzásadnějším“ výkyvům docházelo v ukazatelích hydrogenuhličitanů (HCO_3) a sírany (SO_4), kdy ojediněle došlo k převaze síranů nad hydrogenuhličitanů. Zásadní změny chemismu nebyly zjištěny.

Během monitoringu byly odebrány z vybraných měrných bodů vzorky na stanovení stáří vod. V prostoru PVP Bukov (12. patro dolu Rožná) byl jednorázově odebrán jeden vzorek vody z přítoku 296HGM0008 (Bk18 (S-1)), na 24. patře dolu Rožná byl jednorázově odebrán vzorek vody z přítoku 296HGM0026 (BR07) a na 17. patře dolu Rožná byl jednorázově odebrán vzorek vody z přítoku 296HGM0027 (BR10). Na vzorcích vody byla provedena tritiová analýza. Stanovení spočívá v rozpadu radioaktivního vodíkového izotopu tritia (^3H). Stanovení stáří prostřednictvím metody degradace freonů CFC-11, CFC-12, CFC-113 a SF6 bylo provedeno v rámci Komplexní geologické charakterizace prostorů PVP Bukov. Na základě výsledků tohoto výzkumu bylo konstatováno, že tato metoda se jeví jako nerelevantní. Odběry vzorků lze provádět za přísných podmínek bez kontaktu vzorku s atmosférou z důvodu kontaminace freony z atmosféry. Tuto podmínku nelze splnit u všech objektů. Datování stáří vod prostřednictvím radiouhlíkové metody již bylo provedeno ČGS v rámci Komplexní geologické charakterizace prostorů PVP Bukov, vzorky byly odebrány z bodů Bk06, Bk26+27, Bk18 (S-1) a Bk28 (S-3).

Princip metody stanovení doby zdržení podzemní vody v horninovém prostředí podle obsahu tritia vychází ze skutečnosti, že v letech 1950 až 1970 v atmosféře vzrostl obsah tritia na hodnoty stovek Bq/l, jako důsledek provádění atmosférických atomových testů. Obsah tritia před zahájením atomových testů (tj. do roku 1950) byl odhadnut na 0,5 až 0,9 Bq/l.

Ve vodě byly stanoveny obsahy tritia $0,171 \pm 0,045$ Bq/l, $0,265 \pm 0,053$ Bq/l a $0,239 \pm 0,048$ Bq/l (Tabulka 7). Vzhledem k obsahu tritia jde tedy o srážkovou vodu, která do horninového prostředí infiltrovala před rokem 1950 a které se omezeně mísí se současnou srážkovou vodou, případně jde o srážkovou vodu z let těsně po zahájení jaderných testů (tj. po roce 1950).

Tabulka 7 Odhad doby zdržení vody v horninovém prostředí na základě obsahu tritia v podzemní vodě

Označení vzorku	Datum odběru	jednotka	výsledek
296HGM0008 (Bk18 (S-1)) – 12. patro	11. 9. 2018	Bq/l	$0,171 \pm 0,045$
296HGM0026 (BR07) – 24. patro	24. 9. 2018	Bq/l	$0,265 \pm 0,053$
296HGM0027 (BR10) – 17. patro	24. 9. 2018	Bq/l	$0,239 \pm 0,048$

Pro určení stáří a původu vody z přítoku Bk-26, u kterého se po srážkově bohatém roce 2020 dvojnásobně zvýšila vydatnost, která se výrazně podílela na zvýšení celkového odtoku z PVP Bukov byl odebrán vzorek pro stanovení radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C . Tato metoda byla zvolena s ohledem na interpretaci stáří vod. U tritiové metody lze určit, zda voda infiltrovala před rokem 1950 nebo po roce 1950. Metoda stanovení radioaktivního izotopu uhlíku ^{14}C dokáže stanovit dobu zdržení vody v horninovém masivu. Určení stáří vody mělo za úkol napovědět, zda má na zvýšení vydatnosti u bodu Bk-26 podíl povrchová voda, přičemž zvýšená vydatnost se projevila po srážkově velmi bohatém roce 2020.

Vzorky pro stanovení ^{14}C byly odeslány do Radicarbon laboratory v Poznani, stanovení stáří radiokarbonovou metodou zde provedl profesor Tomasz Goslar. Podle výsledků analytických stanovení je doba zdržení vody v horninovém masivu u přítoku Bk-26 přibližně **4 895 let**.

Kompletní výsledky analytických stanovení za období monitoringu jsou v tabelární a grafické podobě součástí elektronické přílohy č. 1 etapové zprávy za rok 2022.

5.1.3 Radiologie

Z přítoků podzemní vody z prostoru PVP Bukov byly odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody stanovením celkové objemové aktivity α , celkové objemové aktivity β , radonu a uranu. Analýzy provedla laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o. Vyšetřovací úroveň pro pitnou vodu stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jsou $0,2 \text{ Bq.l}^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu α a $0,5 \text{ Bq.l}^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu β . Limitní hodnoty celkové objemové aktivity alfa byly ojediněle překročeny ve vzorcích vod z přítoků Bk23, Bk06, Bk26, Bk35 a S25 v letech 2018 a 2019. Referenční hodnota pro Rn_{222} stanovená vyhláškou č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, je 100 Bq.l^{-1} . Referenční hodnotu překračuje podzemní voda přítoku 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) a to pravidelně. Koncentrace uranu nepřekračují mezní hodnotu $15 \mu\text{g/l}$ stanovenou vyhláškou 252/2004 Sb.

5.2 Automatické měřicí systémy

Na měřicím systému byly prováděny pravidelné servisní činnosti a údržba měřicího systému, které byly zaměřeny na údržbu a kontrolu měřidel, předcházení vzniku závad (např. zadrhnutá ložiska) a ruční kontrolní měření hloubek vody ve vzdouvacích objektech a ruční měření průtoku. V rámci servisních činností jsme se také prováděli kontrolu měrných bodů a jejich okolí s ohledem na odstraňování prvků s možností ovlivnění měření.

Výstupem ze servisních činností jsou provozní deníky, které jsou jedním z podkladů pro následnou autorizaci režimových dat.

Měřicí systém je dále vybaven výstupem měřených přes ethernetovou síť na datahostingový server s aktualizací dat po 10 minutách. Ve webové aplikaci je možno prohlížet operativní data prostřednictvím běžných internetových technologií. Díky tomu bylo možné provádět nad monitorovací sítí průběžný vzdálený dohled a koordinovat kontrolní činnosti i s pracovníky DIAMO.

Servisní činnosti a údržba měřicího systému ve dvouměsíčních intervalech lze považovat za naprosté minimum pro provoz takové robustní monitorovací sítě zvláště v prostředí, které je náchylné na ovlivnění měřidel například mechanickými částicemi či zarůstáním omočených povrchů. Provozní knihy a provozní deníky jsou zásadním zdrojem informací pro následnou autorizaci režimových dat. Datové přenosy nejen že umožňují spolupracujícím organizacím přístup k měřeným údajům, umožňují také koordinovat kontrolní a servisní činnosti.

Při návrhu monitorovací sítě byla zvolena procesní instrumentace – automatický měřicí systém, který je dobrým dlouhodobým standardem pro aplikace ve vodním hospodářství a staniční síti ČHMÚ a státních podniků povodí. Jedná se o multiparametrické stanice, které lze jednoduše dále rozšiřovat běžnými čidly různých výrobců se standardním výstupem a monitorovací sítí tak rozšiřovat.

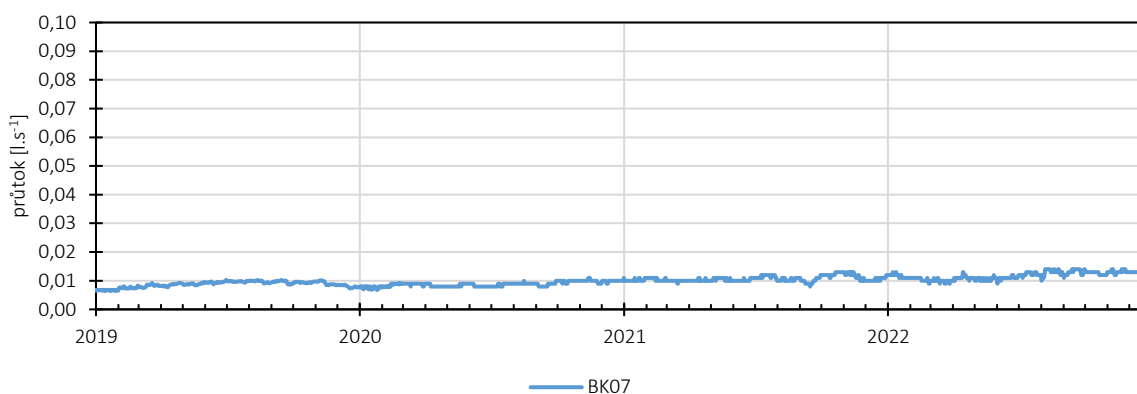
Výhodou těchto stanic je i provoz na bateriové zdroje. Při výpadku externího napájení tak proces měření je zajištěn ze záložních bateriových zdrojů vč. napájení připojených nízkonapěťových čidel. Měřicí systém umožňuje výstup běžnými datovými přenosy, a to jak pomocí ethernetu, tak prostřednictvím technologie GSM/GPRS v místech bez možnosti přivedení externího napájení a ethernetu.

Zvolený měřicí systém byl v průběhu sledovaného období funkční, spolehlivý a bez výpadku procesu měření i při výpadku externího napájení. Zajištění datových přenosů a zapojení do ethernetové sítě vyvedené na povrch bylo zásadní pro dobrý provoz monitorovací sítě. Monitorovací síť byla dále rozšířena o měrné body na povrchu vč. bodů velice vzdálených, u kterých byly rovněž zajištěny datové přenosy.

5.3 Vyhodnocení trendu měření

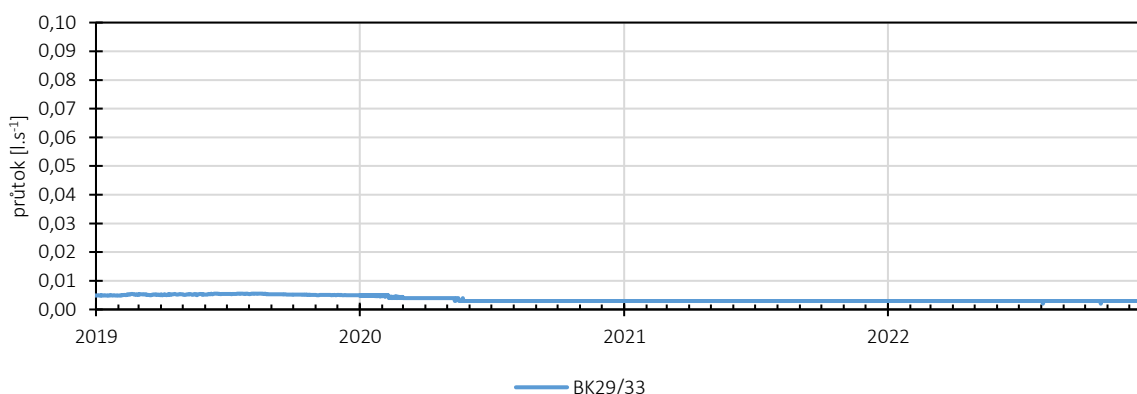
5.3.1 BK07

Na měrném bodě byl zaznamenán prakticky lineární nárůst z 6 ml/s na 11 ml/s, tedy téměř o + 100 % v průběhu celého sledovaného období.



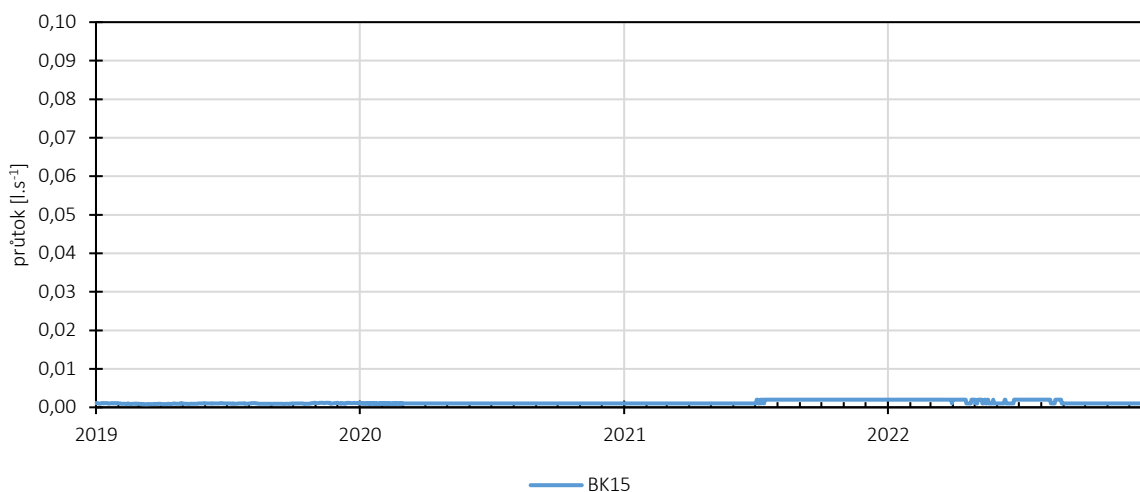
5.3.2 BK29/33

Na měrném bodě byl zaznamenán pokles z 5 ml/s na 3 ml/s do druhého kvartálu 2020, vydatnost následně zůstává konstantní.



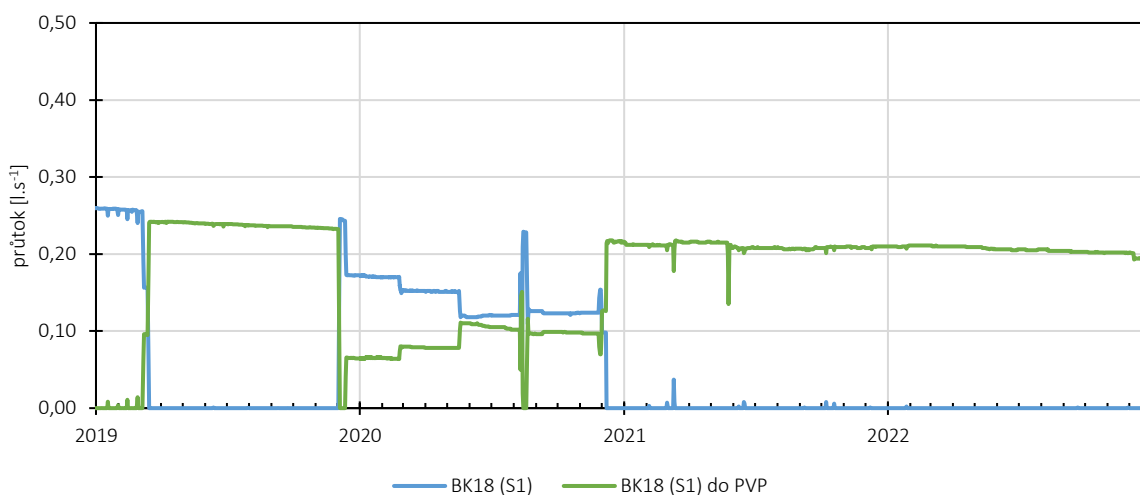
5.3.3 BK15

Vydatnost měrného bodu je velice nízká (1 ml/s) a spíše konstantní. Pouze ve druhé polovině roku 2021 byl zaznamenán nárůst na 2 ml/s, od podzimu 2022 pak opět pokles na 1 ml/s.



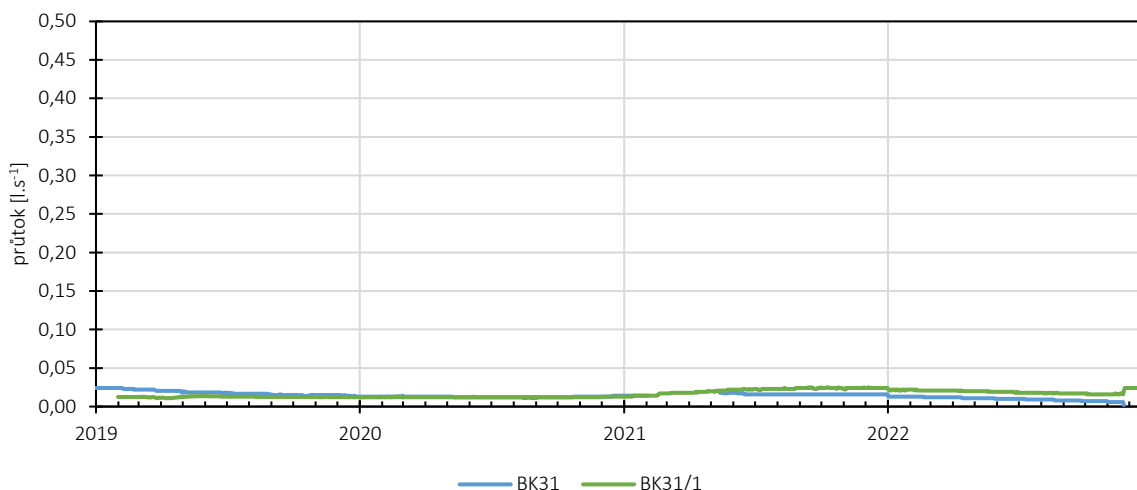
5.3.4 BK18 (S1)

Měřený průtok na tomto měrném bodě je závislý na momentálním nastavení a uzavření kulových ventilů na soupravě za pakrem horizontálního vrtu S1, která výtok rozděluje do dvou větví a také na tlakových podmínkách na výtlačném potrubí (voda je využívána pro další experimenty). Trend vydatnosti je spíše mírně sestupný.



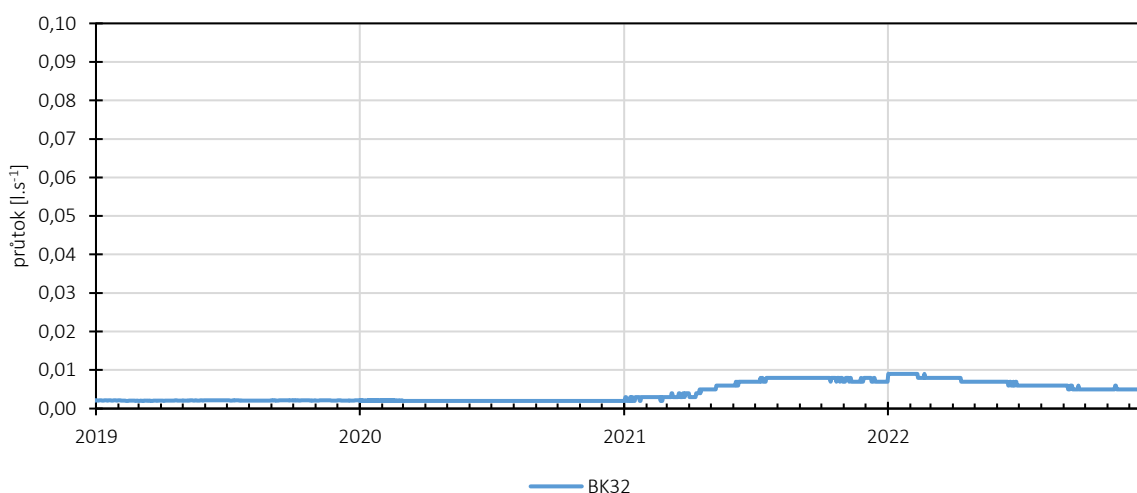
5.3.5 BK31+BK31/1

Měrné body BK31 a BK31/1 měří výtok ze stropních puklin, na BK31 byla svedena jedna část záchytných ploch, na BK31/1 polovina z opačné části chodby. V současnosti je měření sloučeno, jedná se o jeden měrný bod. Z počátku je dokumentován mírný pokles vydatnosti z 35 ml/s na 25 ml/s v průběhu roku 2019 a tato vydatnost byla zaznamenána i následně v roce 2020. Na začátku roku 2021 se vydatnost začala zvedat ke 40 ml/s. Od začátku roku 2022 pak pozorujeme pokles vydatnosti k 23 ml/s.



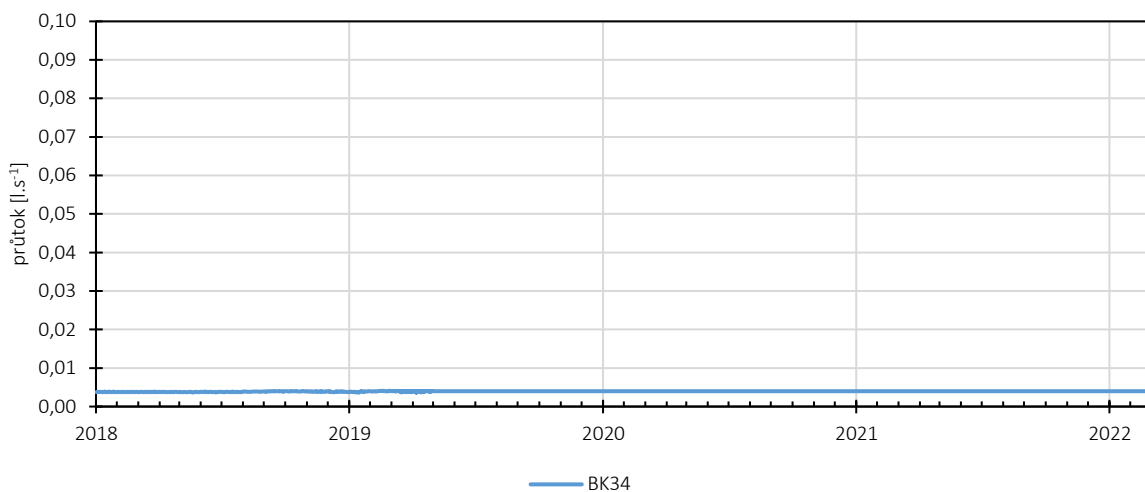
5.3.6 BK32

Vydatnost měrného bodu byla od počátku konstantní až do začátku roku 2021, kdy se začala podobně jako na BK31+BK31/1 zvedat, a to až čtyřnásobně z 2 ml/s na 8 ml/s. Od roku 2022 vydatnost opět postupně klesá k 5 ml/s.



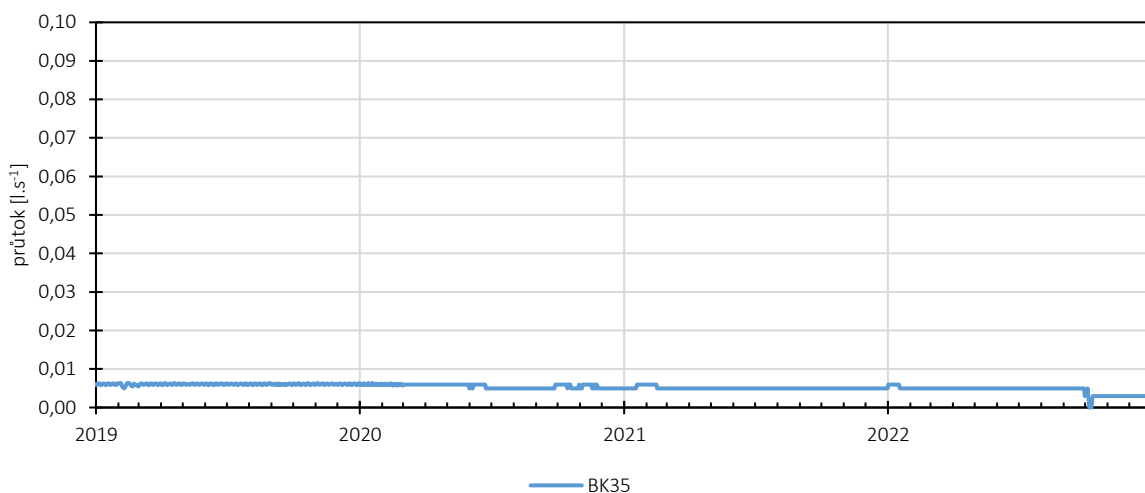
5.3.7 BK34

Vydatnost měrného bodu je po celé sledované období konstantní 4 ml/s.



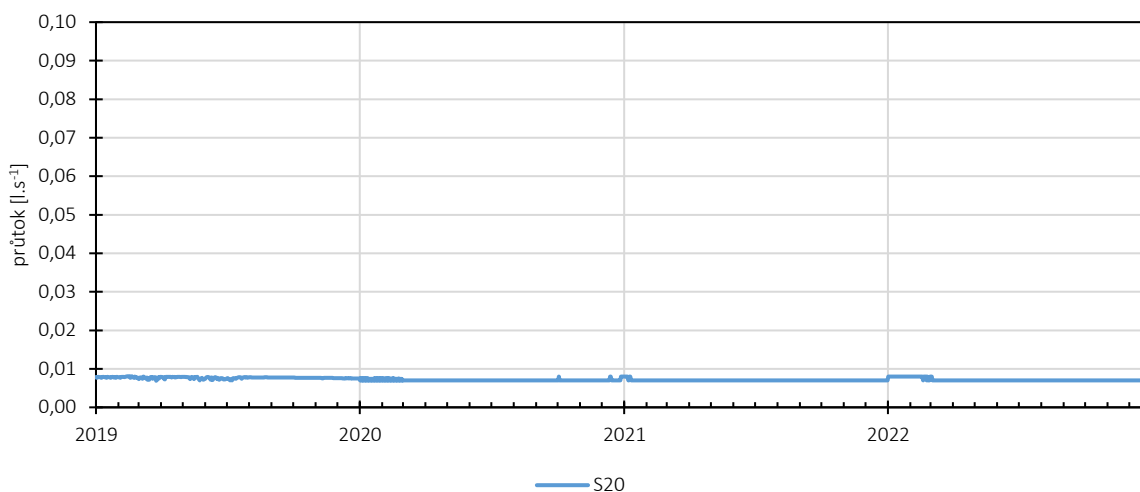
5.3.8 BK35

Na měrném bodě byl zaznamenán setrvale mírný pokles z 6 ml/s k 5 ml/s až do září 2022 kdy došlo pravděpodobně vlivem jiného experimentu ke skokové změně a vydatnost prudce klesla na 3 ml/s.



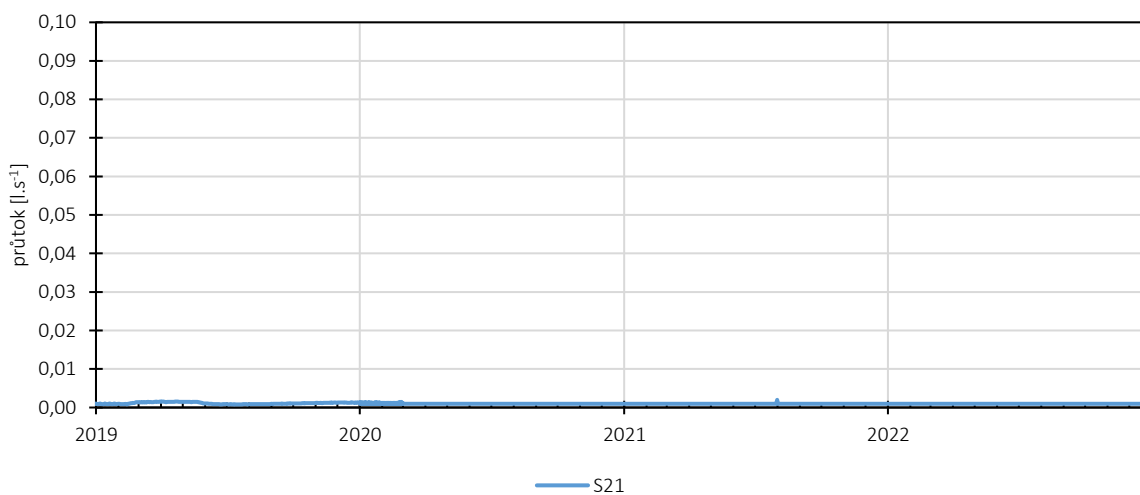
5.3.9 S20

Vydatnost měrného bodu je v celém sledovaném období velmi mírně sestupná a to z 7,6 ml/s na 7 ml/s.



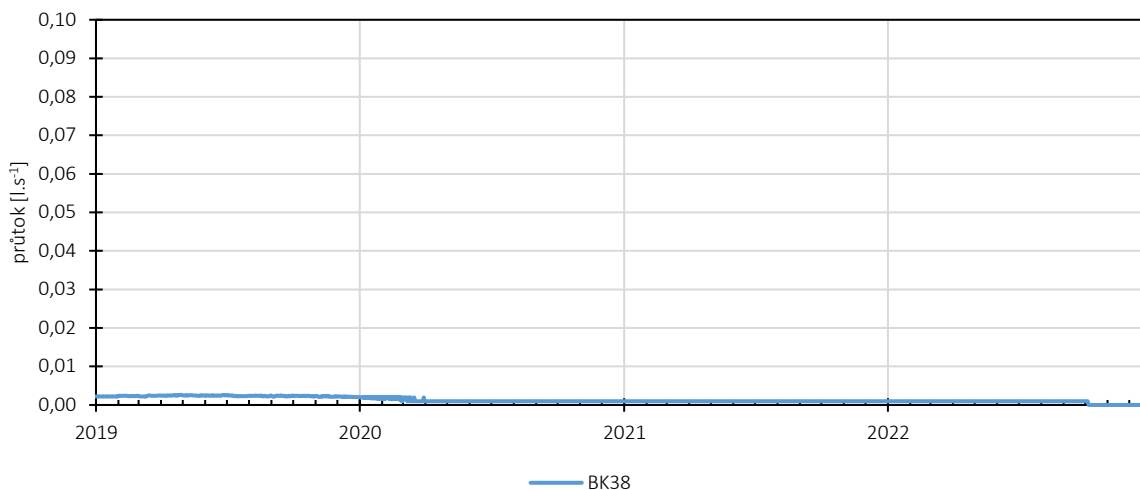
5.3.10 S21

Vydatnost měrného bodu je velmi nízká. V průběhu roku 2019 byla mírně kolísavá, od roku 2020 je konstantní 1 ml/s.



5.3.11 BK38

Vydatnost měrného bodu se v roce 2019 pohybovala kolem 2,5 ml/s. V prvním kvartálu roku 2020 klesla na 1 ml/s a na této hodnotě zůstala konstantní až do září 2022, kdy podobně jako na měrném bodě BK35 pravděpodobně vlivem jiného experimentu došlo k zásadní a skokové změně průtoku, který se nyní pohybuje kolem 1 l/den.



Detailně jsou naměřená data tabelárně zpracována v příloze č. 6 závěrečné zprávy o hydrologickém a meteorologickém monitoringu prostoru PVP Bukov a zájmového území Bukov za rok 2022.

6 Monitoring v ostatních patrech dolu Rožná

6.1 Hydrochemický monitoring

V rámci monitoringu chemického složení vod v ostatních patrech dolu Rožná bylo od začátku projektu monitorováno celkem 8 objektů situovaných na 12. až 24. patře dolu Rožná. Z důvodu plánovaného zatápění dolu Rožná, nebylo dále od března 2021 možné realizovat monitoring na bodech BR06, BR07, BR10 na 24. p., a na bodech BR21 a BR32 jámy R3, která je od března 2021 nepřístupná. Z tohoto důvodu bylo nutné tyto body nahradit novými body. Ve spolupráci s pracovníky DIAMO, s.p., odštěpný závod GEAM byly vytypovány a při terénní rekognoskaci z dubna 2021 vybrány (po odsouhlasení investorem) čtyři nové body na 3., 8. a 11. patře dolu Rožná a 1 nový bod na povrchu (BP027). Tyto body jsou od června 2021 zařazeny do monitoringu, viz Tabulka 8.

Vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO₃, NO₃, SO₄, SiO₂, NH₄, pH, vodivost (4× ročně)
- **Stopové prvky:** Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe (4× ročně)
- **Radioaktivní látky:** celk. objemová aktivita alfa, celk. objemová aktivita beta, U, Rn (1× ročně)

Tabulka 8 Seznam monitorovacích bodů v ostatních patrech dolu Rožná

původní označení	jáma	patro	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
BR47	R1	12	296HGM0020
BR51	R1	12	296HGM0021
BR53	R1	12	296HGM0022
BR21*	R3	12	296HGM0023
BR32*	R3	20	296HGM0024
BR06*	R1	24	296HGM0025
BR07*	R1	24	296HGM0026
BR10*	R1	17	296HGM0027
R3-02	R1	3	296HGM0051
R8-03	R1	8	296HGM0052
R11-04	R1	11	296HGM0053
B3-01	B1	3	296HGM0054

*Od 2. čtvrtletí roku 2021 vyřazeno z monitoringu z důvodu zatápění spodních pater dolu Rožná

6.2 Určení typu vody

Přehled hydrochemických typů vod prezentuje Tabulka 9. Ze zjištěných hydrochemických typů vod je patrné, že v hlubších částech dolu Rožná (12.-24. patro) se vyskytují podzemní vody převážně hydrochemického typu Na-HCO₃.doplněné typem Na-SO₄. Naopak vody v prostoru PVP Bukov jsou převážně hydrochemického typu Ca-Mg-HCO₃. Podobné složení jako vody z ostatních pater dolu Rožná mají vody z vrtů S-23 a S-25 na 12. patře jámy B1. To je podpořeno i obdobnými hodnotami pH, kdy vody z ostatních pater i z vrtů S-23 a S-25 na 12. patře jámy B1 mají mírně zásadité až zásadité pH (v průměru cca 7,5-8,1).

Tabulka 9 Přehled hydrochemických typů vod

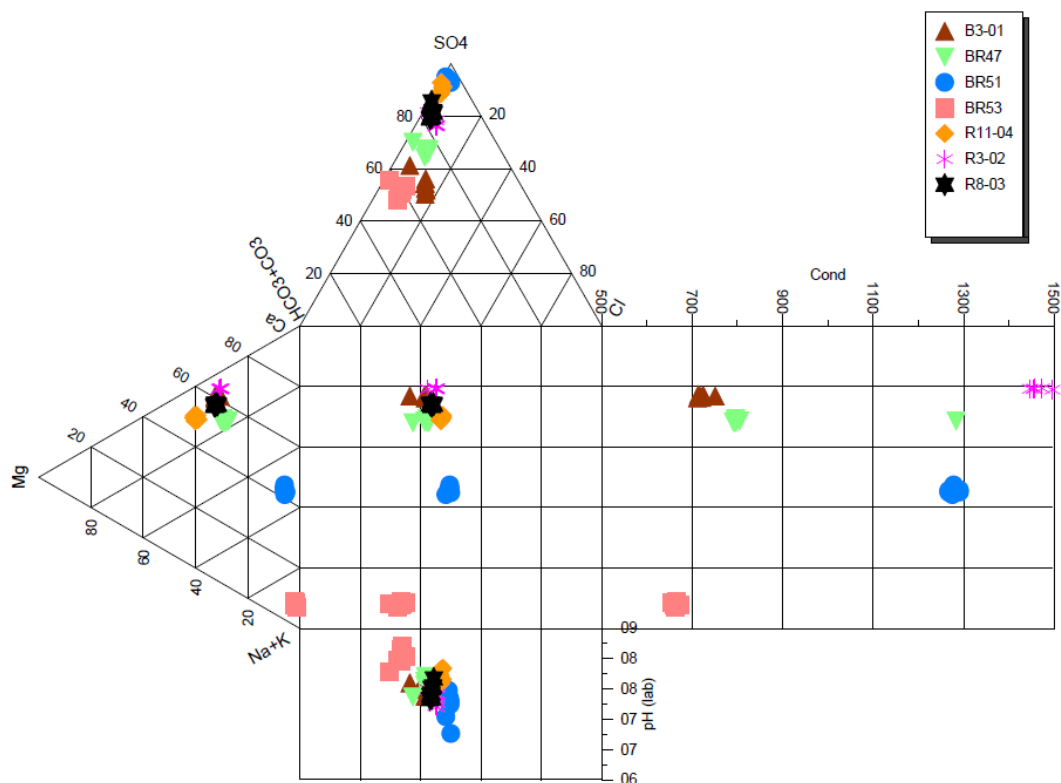
objekt	patro	typ vody	typ vody	typ vody	typ vody
B3-01	3	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
R3-02	3	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄
R8-03	8	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄
R11-04	11	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄
BR47	12	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
BR51	12	Na-Ca-SO ₄	Na-Ca-SO ₄	Na-Ca-SO ₄	Na-Ca-SO ₄
BR53	12	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃
BR06	24	Na-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Na-SO ₄ -Cl	Na-HCO ₃ -SO ₄	Na-HCO ₃ -SO ₄
BR07	24	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄
BR10	17	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
BR21	12	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃	Na-SO ₄ -HCO ₃
BR32	20	Na-SO ₄	Na-SO ₄	Na-SO ₄	Na-SO ₄

Důlní vody z hlubších částí dolu Rožná vykazovaly během 5 let monitoringu stabilní chemické složení s minimálními výkyvy a odchylkami. Na základě chemismu vod lze konstatovat, že se jedná o prakticky stagnující podzemní vody uložené hluboko pod místními i regionálními erozními bázemi. Mezi kationty zcela převažuje Na⁺, poměrné zastoupení HCO₃⁻ je nad 80 mekv%.

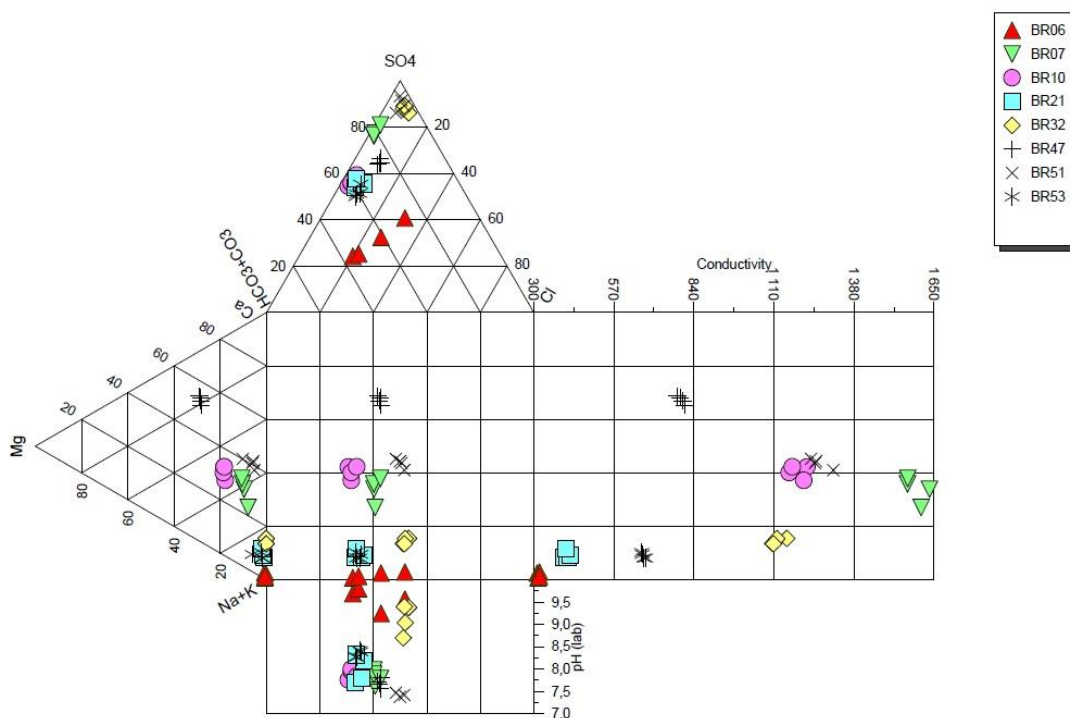
Vody typu Na-SO₄ vznikají z podzemních vod typu Na-HCO₃, mají opět stejné poměrné zastoupení kationtů (naprostá převaha Na⁺) jako jejich původní zdroj. I zde je možné zastihnout řadu přechodných typů s postupně se měnícím poměrem HCO₃⁻/SO₄²⁻. V prostředí dolu Rožná platí, že s hloubkou oběhu (rostoucí dobou zdržení v horninovém masivu) roste střední hodnota pH z hodnoty 7 v mělkých částech až na pH 10 v nejhlubších patrech dolu.

V geologicky pestrém, ložiskovém prostředí Rožné se v prostoru dolu nevyskytují podzemní vody typu Ca-HCO₃, pouze vody Ca-SO₄. U stabilních přítoků se odchylky obsahů jednotlivých hlavních kationtů a aniontů od průměrné hodnoty v převážné většině pohybují do 10 až 20 %.

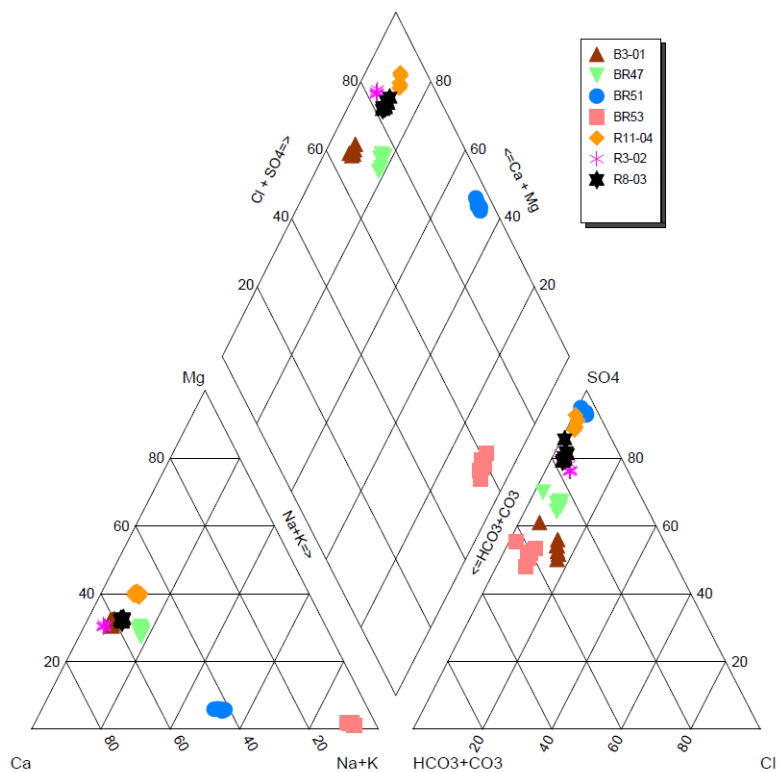
Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu, viz Obrázek 13, Obrázek 14, Obrázek 15 a Obrázek 16).



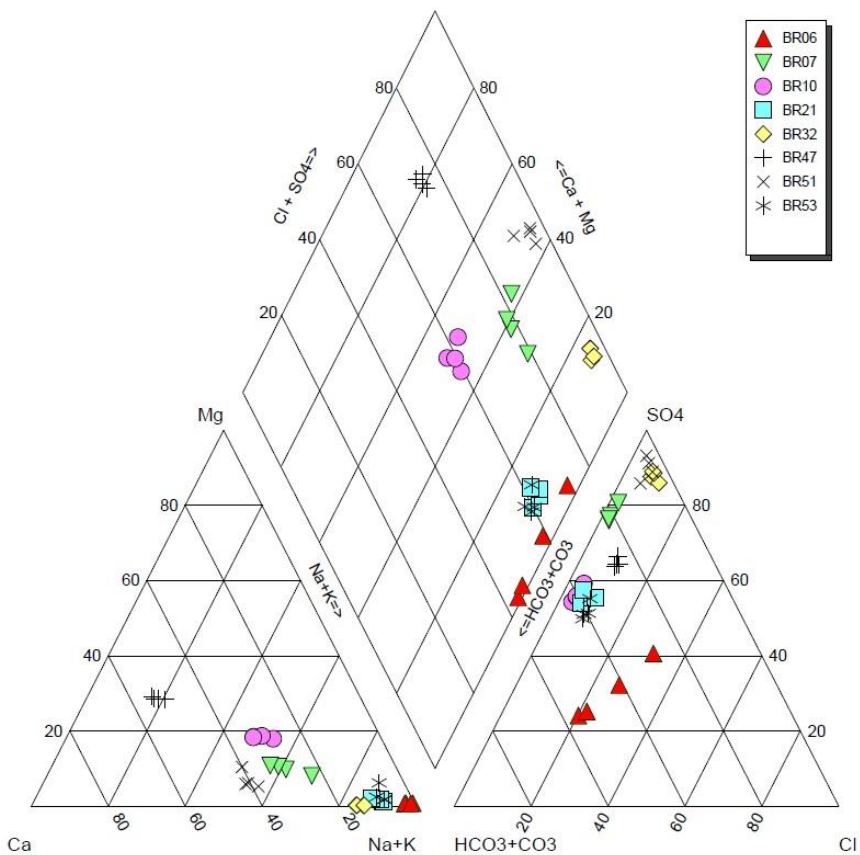
Obrázek 13 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků



Obrázek 14 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků (BR06, BR07, BR10, BR21, BR32)



Obrázek 15 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků



Obrázek 16 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků (BR06, BR07, BR10, BR21, BR32)

6.2.1 Kvalitativní parametry vody

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, podzemní vody v hlubších částech dolu Rožná jsou hydrochemického typu převážně Na-HCO₃ a Na-SO₄. Přítoky z hlubších pater dolu Rožná (17.-24. patro) reprezentuje hluboké podzemní vody s výskytem hluboko pod místními i regionálními erozními bázemi. Mezi kationty zcela převažuje sodík. Zdrojem sodíku může být výměna iontů Ca²⁺ za Na⁺ při styku vody s některými jílovými minerály. Jde o modifikující přeměnu, kdy se původně hydrochemický typ Ca-HCO₃ změní až na typ Na-HCO₃ (Pitter, 1999. Vody typu Na-SO₄ vznikají z podzemních vod typu Na-HCO₃. Změna složení je dána vlivem toku a stagnace podzemních vod v otevřených prostorách důlního díla, kde se vody dostávají do oxidačního prostředí. Vliv dolu se projevuje zejména ve změně poměrného zastoupení aniontů, původně hydrogenuhličitanové vody se mění na síranové díky zvyšování obsahu rozpuštěných síranových iontů ve vodách (Bukovská et al., 2017). Vody z hlubších pater dolu Rožná mají rovněž vyšší pH až okolo 9,5.

Podzemní vody monitorované na 3. až 11. patře mají hydrochemické složení převážně Ca-Mg-SO₄ a odpovídají svým chemickým složením spíše mělkým podzemním vodám či vodám na povrchu lokality (prameny drénující svrchní přípovrchovou zónu zvětrávání).

6.2.2 Radiologie

Z přítoků podzemní vody z ostatních pater dolu Rožná (konkrétně z BR47, BR51, BR53, B3-01, R3-02, R8-03 a R11-04) byly odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody stanovením celkové objemové aktivity α , celkové objemové aktivity β , radonu a uranu. Obecně vyšší radioaktivitu vykazují vody z hlubších pater dolu Rožná, kdy zejména na bodech BR07, BR10, méně pak na bodech BR21 a BR32 byly zjištěny zvýšené až vysoké obsahy celk. objem. aktivity alfa i beta, Radonu i uranu. V případě radonu a uranu až hodnoty v řádu stovek až tisíců Bq/l.

Kompletní výsledky analytických stanovení za období monitoringu jsou v tabelární a grafické podobě součástí elektronické přílohy č. 1 etapové zprávy za rok 2022.

6.2.3 Stáří vod

Během monitoringu byly odebrány z vybraných měrných bodů vzorky na stanovení stáří vod. Na 24. patře dolu Rožná byl jednorázově odebrán vzorek vody z přítoku 296HGM0026 (BR07) a na 17. patře dolu Rožná byl jednorázově odebrán vzorek vody z přítoku 296HGM0027 (BR10). Na vzorcích vody byla provedena tritiová analýza. Stanovení spočívá v rozpadu radioaktivního vodíkového izotopu tritia (3H).

Princip metody stanovení doby zdržení podzemní vody v horninovém prostředí podle obsahu tritia vychází ze skutečnosti, že v letech 1950 až 1970 v atmosféře vzrostl obsah tritia na hodnoty stovek Bq/l, jako důsledek provádění atmosférických atomových testů. Obsah tritia před zahájením atomových testů (tj. do roku 1950) byl odhadnut na 0,5 až 0,9 Bq/l.

Ve vodě byly stanoveny obsahy tritia $0,171 \pm 0,045$ Bq/l, $0,265 \pm 0,053$ Bq/l a $0,239 \pm 0,048$ Bq/l (Tabulka 10). Vzhledem k obsahu tritia jde tedy o srážkovou vodu, která do horninového prostředí infiltrovala před rokem 1950 a které se omezeně mísí se současnou srážkovou vodou, případně jde o srážkovou vodu z let těsně po zahájení jaderných testů (tj. po roce 1950).

Tabulka 10 Odhad doby zdržení vody v horninovém prostředí na základě obsahu tritia v podzemní vodě

Označení vzorku	Datum odběru	jednotka	výsledek
296HGM0008 (Bk18 (S-1)) – 12. patro	11. 9. 2018	Bq/l	0,171 ±0,045
296HGM0026 (BR07) – 24. patro	24. 9. 2018	Bq/l	0,265 ±0,053
296HGM0027 (BR10) – 17. patro	24. 9. 2018	Bq/l	0,239 ±0,048

7 Vodní tlakové zkoušky

V rámci hydrogeologického výzkumu na lokalitě PVP Bukov byly realizovány vodní tlakové zkoušky (VTZ) na geotechnických stanicích na 20. patře dolu Rožná, které byly vybudovány v rámci průzkumných prací, s cílem získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná (zjištění základních hydraulických parametrů krystalických hornin 20. patra dolu Rožná, jejich kapacitní, odporové a odporově-kapacitní charakteristiky).

Vodní tlakové zkoušky měly za úkol získat informace o hydraulických parametrech krystalinických hornin, které se na lokalitě vyskytují. Výsledky prací mají poskytnout detailnější informace o charakteru horninového masívu – pochopení vlivu významnějších tektonických zón na jeho porušení pro účely lokalizace a hodnocení bezpečnosti lokality hlubinného úložiště.

Práce probíhaly podle Realizačního projektu prací (TZ 399/2019), který definoval rozsah prací, metodiku provádění i požadavky na vyhodnocení získaných poznatků.

Předmětem zadání bylo prostřednictvím vodních tlakových zkoušek zjistit základní hydraulické parametry krystalinických hornin 20. patra dolu Rožná, jejich kapacitní, odporové a odporově-kapacitní charakteristiky.

Z hlediska etapovitosti průzkumných prací se jednalo o základní etapu hydrogeologického průzkumu. V této základní etapě byly metoda a rozsah prací voleny tak, aby zkoumané vrty byly pokryty v celé délce standardními VTZ se stabilním intervalem pakrů a jednotným vstupním tlakem, a tak byla dodržena jednotná metodika umožňující srovnání výsledků pro jednotlivé testované úseky. Primárním úkolem této základní etapy tak bylo získat informace o chování v jednotlivých vrtech a zkoumaných úsecích a na základě nich dále vybrat významné pukliny, puklinové systémy a zajímavé polohy pro následnou detailní etapu hydrogeologického výzkumu.

Provedené vodní tlakové zkoušky prokázaly, že horninové prostředí tvořené v zájmové oblasti převážně amfibolickými rulami a pararulami představuje z hlediska propustnosti heterogenní prostředí, z velké části pouze slabě propustné s koeficientem k dosahujícím hodnot $\times 10^{-7}$ m/s, ale v určitých částech propustné s koeficientem k dosahujícím hodnot $\times 10^{-5}$ m/s.

Nebyla prokázána přímá souvislost mezi mírou porušení horninového masívu a propustností. Platí, že některé části horninového masívu popsané ve vrtech jako slabě nebo téměř neporušené mají propustnost vyšší než oblasti silně porušené. V částech méně porušených postačuje jedna ne zcela sevřená puklina k tomu, aby parametry propustnosti výrazně ovlivnila. Naopak parametry propustnosti stanovené pro silněji porušené části mají platnost pouze ve zkoumaných oborech tlaků, tj. do 0,6 MPa a je nutné počítat s tím, že při vyšších hodnotách tlaků může dojít i ke skokovému zvýšení měrné spotřeby vody souvisejícímu s otevřením dalších puklin.

Kompletní výsledky VTZ jsou shrnuty a vyhodnoceny v závěrečné zprávě o vodních tlakových zkouškách (TZ 427/2019).

8 Doporučení

8.1 Monitorovací síť

Na základě vyhodnocení provozu monitorovací sítě a průběhu monitoringu za celé sledovací období lze obecně definovat následující doporučení:

1. Volba vhodné metody měření průtoku a měřidla pro měrné body s různou vydatností a různým složení měřených vod vč. přítomnosti nerozpuštěných látek.
2. Správná volba měřeného rozsahu čidel a rozlišení měřených hodnot.
3. Pravidelná servisní činnosti a údržba měřidel spojená s ručními kontrolními měřeními a základní kalibrací.
4. Zavedení metrologického řádu a plánu kvality.
5. Posouzení funkční způsobilosti měřicího systému vč. výkonu úředního měření průtoku vod a dokladů o úředním měření, zajištění jednotnosti a správnosti měření.
6. Zavedení databáze operativních dat a databáze režimových dat.
7. Volba standardních multiparametrických měřicích stanic, které lze snadno rozšiřovat dalšími čidly i v průběhu monitoringu.

8.2 Povrch lokality

V případě monitoringu na povrchu lokality (prameny, vrty na skládce Bukov, meteorologická stanice, Bukovský potok) doporučujeme do dalších etap výzkumných prací provedení následujících opatření:

1. **Vrty na skládce Bukov** – vrty je monitorována podzemní voda mělkého oběhu. Na základě kontinuálního monitoringu pohybu hladiny podzemní vody je zřejmé, že pohyb podzemní vody je závislý na množství infiltrovaných srážek a režim pohybu hladiny podzemní vody nemá spojitost s hlubšími strukturami horninového prostředí. Doporučujeme vyřadit tyto vrty z monitorovacích prací.
2. **Meteorologická stanice** – V průběhu roku se meteorologické podmínky výrazně mění a pohybují mezi extrémy, proto pro měření těchto veličin je třeba volit ověřené přístroje a čidla, která jsou standardem ve staniční síti ČHMÚ a dodržet správné podmínky na umístění a instalaci čidel. Důležité jsou také kvalitní radiační kryty, pravidelná kontrola záchytné plochy srážkoměru a její případně čištění, kontrola vypínání kotvících lan. Následně je možné měřené údaje porovnávat a používat do dalších modelů, jako je třeba vyhodnocení vodní bilance řešeného území.
3. **Měření průtoku na Bukovském potoce** – Pro měření průtoku povrchových vod zvláště na malých tocích je zásadní správný výběr měřeného profilu. I tak bude v průběhu roku docházet ke změnám průtočného profilu daným například změnou vegetačního období a zarůstání břehů zelení, případně po přechodném zvýšení stavů hladin vlivem zvýšených srážek na zájmovou plochu povodí. Proto je důležité pravidelné měření průtoku

hydrometrováním a důkladné dokumentování proudových změn. Důležité je také měrný profil vždy vybavit vodočtem.

8.3 PVP Bukov

1. **Člunkové průtokoměry** doporučujeme volit pro monitorovací místa z vydatností cca do 0,05 l/s. Pro vyšší průtoky lze případně vyrobit větší sběrné nádoby. Je také důležité mít dostatečný prostor pro záchyt a svedení vod nad střed průtokoměru.
2. **Nádoby s výpustními ventily** zvláště v důlním prostředí jsou velice náchylné na zanášení ventilů. Při volbě této metody měření průtoku je třeba počítat s chybou měření, která je způsobená souběhem vypouštění a současně stálým jímáním kapaliny do sběrné nádoby. Část vod tak není měřena, chyba se zvětšuje s rostoucími průtoky. Pro tyto aplikace je spíše vhodnější zvolit člunkové průtokoměry.
3. **Mechanické a magneticko-indukční vodoměry** doporučujeme volit s ohledem na místo a složení měřených vod. Pro instalaci je třeba dodržet podmínky dané technickou normou ČSN EN ISO 4064-5 (257811) Vodoměry pro studenou pitnou vodu a teplou vodu – Část 5: Požadavky na instalaci, především pak ukliďňovací délky před a za vodoměrem a trvalé zaplavení vodoměrů tak, jako je provedeno na měrném bodě BK18 (S1). Vodoměry jsou stanovená měřidla, která jsou vyhláškou MPO č. 345/2002 Sb. určena k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam. Vzhledem k složení měřených vod doporučujeme provádět častější ověření vodoměrů v Autorizovaných metrologických střediscích, než je dáno zmíněnou vyhláškou pro měřidla na studenou vodu, tj. zvolit interval kratší než 6 let.
4. **Vzdouvací objekty** jsou dlouhodobě velice vhodné pro měření vyšších průtoků. Tato měřidla jsou v ČR nejčastěji používána v závazkových vztazích pro měření množství vypouštěných odpadních vod (nejčastěji z ČOV do recipientu). Nejvíce se osvědčil zejména měrný Parshallův žlab typ PARS v kombinaci s ultrazvukovým snímačem pro měření hloubky vody. Při návrhu a instalaci je třeba vyházet z technické normy vodního hospodářství TNV 25 9305 Měřicí systémy protékajícího objemu vody v profilech s volnou hladinou.
5. **Kontinuální měřicí systémy – celkový odtok:** S ohledem většinou na potřebné úpravy koryta v místě měření a vytvoření vhodných proudových podmínek pro správnou funkci kontinuálních měřicích systémů, doporučujeme, pokud to místní podmínky umožňují, raději zvolit vzdouvací objekt, jako je např. měrný Parshallův žlab typ PARS, který se pro měření průtoku v prostoru PVP Bukov osvědčil. Jeho provoz a údržba je také jednodušší. Pokud by došlo k poškození měřicího systému (nejčastěji snímač hloubky vody) případné pořízení nové sondy je ekonomicky příznivější oproti až desetkrát dražšímu kontinuálnímu měřicímu systému. Pokud místní proudové podmínky neumožní zvolit vzdouvací objekt, doporučujeme kontinuální měřicí systém zvolit v kombinaci s ultrazvukovým snímačem hladiny za předpokladu, že měření nebude v uzavřené trati s možností vzniku tlakového režimu proudění nebo významným rozvlněním hladiny. V takových případech je pak třeba zvolit kontinuální měřicí systém s integrovaným hydrostatickým, snímače hladiny.

9 Závěr

Předkládaná závěrečná zpráva popisuje a vyhodnocuje výsledky hydrogeologického a hydrochemického monitoringu podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov za období 2018-2022. Detailní prezentace dat získaných během 5 let monitoringu je obsažena v průběžných zprávách za jednotlivé roky monitoringu:

- TZ 366/2019 – etapová roční zpráva za rok 2018
- TZ 487/2020 – etapová roční zpráva za rok 2019
- TZ 545/2021 – etapová roční zpráva za rok 2020
- TZ 564/2021 – etapová roční zpráva za rok 2021
- TZ xxx/202x – etapová roční zpráva za rok 2022

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov byl prováděn jak na povrchu lokality ležící bezprostředně nad PVP Bukov, tak také v okolí těžní jámy Bukov, v samotném PVP Bukov, které se nachází na 12. patře dolu Rožná (550 m p. t.) a v ostatních patrech dolu Rožná. Hydrogeologické poměry v prostoru ložiska jsou značně ovlivněny dřívější hlubinnou těžbou na dole Rožná. Rozsáhlá oblast byla hydraulicky propojena důlním dílem. Celkem 580 km důlních chodeb ve 24 patrech a na ploše cca 18,5 km² (největší plocha dobývacího prostoru z roku 1978) působí při odvodňování dolu jako efektivní drenáž podzemních vod. Největší koncentrace důlních děl je v prostoru mezi obcemi Rozsochy a Bukov, takže právě v tomto prostoru došlo k nejvýraznějším změnám hydrogeologických poměrů. Tyto změny se na povrchu projevují poklesem až ztrátou vydatnosti pramenů a průtoků v tocích. To je patrné především u dolního toku Rožínky a celého Milasínského potoka, u nichž v minulosti došlo a stále dochází ke značným ztrátám průtoků. Od března 2021 dochází po ukončení těžby (rok 2017) k postupnému zatápnění spodních pater dolu.

Cílem prací bylo, na základě série měření a sběru dat ze stávající hydrogeologické monitorovací sítě, získat a vyhodnotit relevantní data pro další výzkumné práce související s problematikou PVP Bukov.

9.1 Monitorovací plán

Po převzetí monitorovací sítě v roce 2018 byl zpracován návrh její optimalizace a rekonstrukce. Monitorovací síť byla vybudována v rámci komplexní geologické charakterizace prostorů PVP Bukov (Bukovská et al., 2017). Před zahájením monitoringu bylo nezbytné zpracovat Monitorovací plán PVP Bukov (TZ 322/2018). Pro zpracování Monitorovacího plánu PVP Bukov byla nezbytná revize stávající monitorovací sítě vybudované v rámci předchozích výzkumných prací na lokalitě. Zpracování monitorovacího plánu – resp. návrh hydrogeologického a hydrochemického monitoringu navazoval na realizovaný hydrogeologický monitoring „Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov“ (Bukovská et al. 2017). Zároveň respektoval výsledky provedených prací, jak v prostoru zájmové lokality Bukov, tak v prostoru lokality Kraví hora. Monitorovací plán byl v roce 2022 aktualizován s ohledem na změny v monitorovací síti, které vyvstaly během monitoringu v letech 2018-2022 a jeho aktuální verze je uložena na serveru SÚRAO.

Optimalizace byla provedena na podzim 2018 a na začátku roku 2019 bylo provedeno první posouzení funkční způsobilosti, tedy metrologický výkon zajišťující jednotnost a správnost měření a navázání měřidel na etalony vyšších řádů.

9.2 Kvantitativní monitoring

Podmínky důlního díla si vyžadovaly pravidelné servisní činnosti. Docházelo k problémům s ložisky a dalšími mechanickými částmi na měřidlech. Po celou dobu hydrogeologického výzkumu byly prováděny pravidelné servisní činnosti zajišťující údržbu a provoz měřidel a měřicího systému a v ročních intervalech posouzení funkční způsobilosti měřidel, dle kterých byla autorizována režimová data. O provozu monitorovací sítě a autorizaci dat byly vypracovány roční zprávy, které jsou zařazeny jako příloha č. 4 etapových zpráv za jednotlivé roky monitoringu.

Při návrhu monitorovací sítě byly zvoleny standardní multiparametrické měřicí přístroje – vyhodnocovací jednotky používané v aplikacích vodního hospodářství a staniční síti ČHMÚ a státních podniků Povodí. Jedná se prověřené měřicí přístroje, které nejsou uzavřené a lze je jednoduše rozšiřovat a doplňovat o další čidla a měřené veličiny.

Velmi důležité je, že **architektura měřicího systému je jednotná pro celou monitorovací síť, a to jak v prostoru PVP Bukov, tak na povrchu lokality**. Výstupy z měření (operativní data) tak bylo možné okamžitě poskytnout v jednotné aplikaci všem skupinám provádějící experimenty v řešených prostorách.

Zavedení kontinuálního monitoringu s velmi krátkým intervalem záznamu dat, volba standardních měřicích přístrojů, návrh a volba vhodných měřidel, proces provozu a pravidelné údržby měřidel, posouzení funkční způsobilosti měřidel a proces autorizace režimových dat. To vše vedlo ke zkvalitnění monitoringu a zajištění jednotnosti a správnosti měření velmi široké škály různých průtoků a dalších veličin. **Jedná se o ojedinělou robustní monitorovací síť, která je funkční a je připravena na rozšíření měření o další body ať už v současných lokalitách**, či ji lze vhodně doplnit o kontinuální měření na lokalitách dalších.

9.3 Monitoring kvality

V mělkých částech krystalinika se přirozeně vyskytuje podzemní voda typu Ca-HCO₃, v hlubších částech převažuje typ Na-HCO₃. V dole Rožná je hloubkové rozhraní mezi těmito typy v hloubce cca 550 m (12. patro, úroveň PVP). Na úrovni 24. patra dolu (cca 1200 m pod povrchem) jsou podzemní vody hydrochemického typu Na-HCO₃.doplňené typem Na-SO₄, případně Na-SO₄-Cl. Na základě chemismu vod lze konstatovat, že se jedná o prakticky stagnující podzemní vody uložené hluboko pod místními i regionálními erozními bázemi. Důlní vody z hlubších částí dolu Rožná vykazovaly během 5 let monitoringu stabilní chemické složení s minimálními výkyvy či odchylkami.

U vod přítékajících do prostoru PVP Bukov převažuje chemický typ Ca-Mg-HCO₃-SO₄ a Ca-Mg-SO₄-HCO₃. Hydrogenuhličitan (HCO₃⁻) jsou běžnou makrokomponentou přírodních vod a u nepřilíš mineralizovaných vod nad ostatními přítomnými anionty většinou převládají. Avšak se vzrůstající celkovou mineralizací vod se z hlediska kvantitativního zastoupení posouvají někdy na druhé až třetí místo za sírany, resp. i za chloridy. V prostých podzemních a povrchových vodách se jejich koncentrace pohybuje řádově v desítkách až stovkách mg/l (Pitter 1999).

U podzemní vody z vrtů S-23 a S-25 na 12. patře jámy B1 je typ vody Na-Ca-HCO₃ a Na-HCO₃-SO₄. Kvalitativní parametry podzemní vody vykazují během celého období monitoringu (2018-2022) stabilní složení s mírnými výkyvy. K „nejzásadnějším“ výkyvům docházelo v ukazatelích hydrogenuhličitanu (HCO₃) a sírany (SO₄), kdy ojediněle došlo k převaze síranů nad hydrogenuhličitanu. Zásadní změny chemismu nebyly zjištěny.

Naproti tomu voda z pramenů na povrchu lokality je převážně hydrogeochemického typu Ca-SO₄, což odpovídá vodám mělkého oběhu. Naprostá většina pramenů a povrchových toků je závislá na množství infiltrovaných srážek a drénuje podzemní vodu mělkého oběhu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.2, pouze prameny BP021, příp. BP005 indikují drenáž hlubšího oběhu a přibližují se svým složením vodám v prostoru PVP.

9.4 Vodní tlakové zkoušky

V rámci hydrogeologického výzkumu na lokalitě PVP Bukov byly realizovány vodní tlakové zkoušky (VTZ) na geotechnických stanicích na 20. patře dolu Rožná, které byly vybudovány v rámci průzkumných prací, s cílem získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná (zjištění základních hydraulických parametrů krystalických hornin 20. patra dolu Rožná, jejich kapacitní, odporové a odporově-kapacitní charakteristiky).

Pro realizaci VTZ byly vybrány celkem 4 vrty, z toho 2 svislé (BGS20/1-VD, BGS20/2-VD) a 2 sub horizontální (BGS20/1-H, EDZ20-HD). Původně byl ke zkouškám vybrán vrt EDZ20-HA, který se nachází nejbližší poruchové grafitické zóny. Při přípravě bylo však zjištěno, že cca v hloubce 5 m se nachází zbytek pažnice a přes toto místo není možné protáhnout obturátor. Jako náhradní tak byl vybrán vrt BGS20/1-H.

Vodní tlakové zkoušky měly za úkol získat informace o hydraulických parametrech krystalinických hornin, které se na lokalitě vyskytují.

Provedené vodní tlakové zkoušky prokázaly, že horninové prostředí tvořené v zájmové oblasti převážně amfibolickými rulami a pararulami představuje z hlediska propustnosti heterogenní prostředí, z velké části pouze slabě propustné s koeficientem k dosahujícím hodnot $\times 10^{-7}$ m/s, ale v určitých částech propustné s koeficientem k dosahujícím hodnot $\times 10^{-5}$ m/s.

Nebyla prokázána přímá souvislost mezi mírou porušení horninového masívu a propustností. Platí, že některé části horninového masívu popsané ve vrtech jako slabě nebo téměř neporušené mají propustnost vyšší než oblasti silně porušené. V částech méně porušených postačuje jedna ne zcela sevřená puklina k tomu, aby parametry propustnosti výrazně ovlivnila. Naopak parametry propustnosti stanovené pro silněji porušené části mají platnost pouze ve zkoumaných oborech tlaků, tj. do 0,6 MPa a je nutné počítat s tím, že při vyšších hodnotách tlaků může dojít i ke skokovému zvýšení měrné spotřeby vody souvisejícímu s otevřením dalších puklin

10 Citace a seznam literatury

Bartoň J et al. (2018): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Monitorovací plán – TZ 332/2018. Archiv SURAO.

Bukovská Z., Verner K., Brázda L., Buriánek D., Dobeš P., Dudíková Schulmannová B., Erban V., Franěk J., Halodová P., Hanák J., Havlová V., Holeček J., Jačková I., Jelének J., Kašpar V., Kolomá K., Kopačková V., Koucká L., Kučera P., Laufek F., Lněničková Z., Kočergina J., Myška O., Nahodilová R., Novotná I., Pertoldová J., Rukavičková L., Soejono I., Švagera O., Tomek F., Veselovský F., Zuna M. (2017): Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov, závěrečná zpráva. – TZ 191/2017, Archiv SÚRAO

Hájek A., Nohál M., Pech E., Ingerle, J., Koscielniak P., Tomášek J. (1997b): Likvidační záměr, Část B, Začerpání a uložení odkalištních vod do hlubokých horizontů dolu Rožná - Diamo s. p., o. z. Geam, Dolní Rožínka.

HOKR, M. et al. (2010): Tunel Bedřichov – charakterizace granitoidů in situ, Závěrečná zpráva, SÚRAO

Hokr M., Rukavičková L., Havlová V., Balvín A., Bárta J., Dědeček P., Hofmanová E., Holeček J., Málek J., Petružálek M., Rálek P., Rowberry M. D., Šafanda J., Žanda L. (2016): Vývoj a ověřování metodik pro charakterizaci horninového prostředí – první etapa monitoringu v přivaděči Bedřichov. – TZ 52/2016, Archiv SÚRAO

Horálková E., Lundáková I., Tomášek J. (1996): Problematika povrchových vod ložiska Rožná a okolí (Podkladový materiál pro studii likvidace ložiska Rožná) - Středisko odpadů Mníšek, s.r.o., Mníšek pod Brdy.

Krásný J. et al. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. ČHMÚ Praha

Morosini, M, 2013. Hydrogeological monitoring at Äspö HRL – Motivation and case study. In Monitoring in geological disposal of radioactive waste: objectives, strategies, technologies and public involvement: proceedings of an International Conference and Workshop, Luxembourg, 19–21 March 2013. Deliverable D-No: 5.4.1, European Commission

Olmer M. et al. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. Sborník geologických věd, hydrogeologie, inženýrská geologie, 23. Česká geologická služba, Praha.

Pitter P. (2009): Hydrochemie. 2th ed. Praha: VŠCHT Praha, 1999.

Rhén I, Magnusson J, Alm P, (2003): Äspö Hard Rock Laboratory. Prototype Repository. Hydrogeological, hydrochemical, hydromechanical and temperature measurements in boreholes during the operation phase of the Prototype Repository tunnel section II. SKB IPR-03-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sawada A, Saegusa H, Takeuchi S, Sskamoto K, Dershowitz W, (2015): Äspö Task Force on modelling of groundwater flow and transport of solutes. Task 7 – Groundwater flow and transport modelling of fracture system at regional, block, and single-fracture scale flow and transport, Olkiluoto. SKB P-13-46, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Vylamová P et al. (2019): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2018 – TZ 366/2019. Archiv SURAO.

Vylamová P, Polák M (2019): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Vodní tlakové zkoušky – realizační projekt prací – TZ 399/2019. Archív SURAO.

Vylamová P, Polák M (2019): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Vodní tlakové zkoušky – závěrečná zpráva – TZ 427/2019. Archív SURAO.

Vylamová P et al. (2020): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2019 – TZ 487/2020. Archív SURAO.

Vylamová P et al. (2021): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2020 – TZ 545/2021. Archív SURAO.

Vylamová P et al. (2022): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2021 – TZ 564/2021. Archív SURAO.

Vylamová P et al. (2023): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2022 – TZ. Archív SURAO.

Legislativa:

Vyhláška č. 252/2004 Sb., Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

Vyhláška č. 422/2016 Sb., Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

Příloha 1

**Hydrologický a meteorologický monitoring v prostoru PVP Bukov
a v zájmovém území Bukov.**

**Vyhodnocení monitoringu a provozu monitorovací sítě ve sledovaném
období 2018-2022.**

Závěrečná zpráva



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

info@suraao.cz | www.suraao.cz