Technická zpráva TZ 545/2021

HYDROGEOLOGICKÝ A HYDROCHEMICKÝ MONITORING PODZEMNÍCH A DŮLNÍCH VOD V PROSTORU PVP BUKOV – ROČNÍ ZPRÁVA ZA ROK 2020

Autoři: Pavlína Vylamová,

Tomáš Kocman

a kolektiv

Brno, 2021

SÚRAO

NÁZEV ZPRÁVY: Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov, etapová zpráva za rok 2020

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

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU:

Průběžná zpráva

ČÍSLO SMLOUVY: *SO2018-010*

Bibliografický zápis:

VYLAMOVÁ P., KOCMAN T., MUSIL R., PRŮCHA P. (2021): Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov, etapová zpráva za rok 2020. – TZ 545/2021, Archiv SÚRAO.

ŘEŠITELÉ:

GEOtest, a. s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno[1]

Kocman envimonitoring, s.r.o., Říčanská 1000/29, 641 00 Brno[2]

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Kocman T.[2], Musil R.[1], Průcha P.[2], Vylamová P.[1]

Marek Vencl

Manažer projektu (SÚRAO)

31. 01. 2021

Pavlína Vylamová

Manažer projektu (GEOtest, a.s.)

31. 01. 2021

SÚRAO

Obsah

1 Úvod 3

2 Geologické a hydrogeologické poměry PVP Bukov 4

3 Revize stávající monitorovací sítě (Shrnutí dosavadně provedených technických prací) 6

3.1 Revize stávající monitorovací sítě 6

3.2 Zpracování monitorovacího plánu 6

3.3 Instalace měřící techniky 7

3.4 Zahájení provozu monitorovací sítě 8

3.5 Nové značení měrných bodů podle pravidel SÚRAO 8

4 Monitoring na povrchu lokality PVP Bukov 12

4.1 Hydrochemický monitoring 12

4.1.1 Určení geochemického typu vody 14

4.1.2 Kvalitativní parametry vody 16

4.1.3 Stopové kovy 19

4.1.4 Radiologie 20

4.2 Hydrogeologický monitoring – režimní měření 22

4.2.1 Přímá měření 22

4.2.2 Automaticky naměřená data 25

5 Monitoring v prostoru PVP Bukov 29

5.1 Hydrochemický monitoring PVP Bukov 29

5.1.1 Určení typu vody 31

5.1.2 Kvalitativní parametry vody 33

5.1.3 Stopové kovy 38

5.1.4 Radiologie 39

5.2 Hydrogeologický monitoring PVP Bukov – režimní měření 43

5.2.1 Přímá měření 43

5.2.2 Automatické měřící systémy 46

6 Monitoring v ostatních patrech dolu Rožná 50

6.1 Hydrochemický monitoring 50

6.1.1 Určení typu vody 51

6.1.2 Kvalitativní parametry vody 53

6.1.3 Stopové kovy 57

6.1.4 Radiologie 58

7 Návrh optimalizace monitorovací sítě pro rok 2021 61
7.1 PVP Bukov 61
7.1.1 Nezbytná opatření 61
7.1.2 Doporučená opatření 61
7.2 Povrch lokality 62
7.2.1 Nezbytná opatření 62
7.2.2 Doporučená opatření 63
7.3 Ostatní patra dolu Rožná 63
7.3.1 Nezbytná opatření 63
8 Závěr 67
9 Citace a seznam literatury 68

Seznam textových příloh:

Příloha 1 Mapa objektů monitoringu na povrchu PVP Bukov

Příloha 2 Schéma objektů monitoringu v prostoru PVP Bukov

Příloha 3 Schéma objektů monitoringu v ostatní částech dolu

Příloha 4 Hydrogeologický a meteorologický monitoring prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov – zpracování automatizovaných měření za rok 2019 (Kocman, 2020).

Seznam elektronických příloh:

Příloha 1 Kvalitativní parametry podzemní a důlní vody – tabulky

Příloha 2 Laboratorní protokoly

Příloha 3 Manuální měření vydatnosti jednotlivých přítoků v PVP, přímá měření

Příloha 4 Kontinuální monitoring pohybu hladin, grafické výstupy (Kocman)

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přehledná situace zájmového území 5

Obrázek 2 Grafický návrh cedulí označujících měrný bod 11

Obrázek 3 Označení měrného bodu 11

Obrázek 4 Ukázka instalace měrného bodu 11

Obrázek 5 Přehledná mapa dokumentovaných pramenů a bodů hydrogeologické monitorovací sítě na povrchu lokality 13

Obrázek 6 Durovův diagram vývoje chemického složení pramenů 15

Obrázek 7 Piperův diagram vývoje chemického složení pramenů 15

Obrázek 8 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0036 (BP021) – vybrané anionty a kationty 17

Obrázek 9 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0033 (BP005) – vybrané anionty a kationty 17

Obrázek 10 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0032 (BP001) – vybrané anionty a kationty 17

Obrázek 11 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0034 (BP008) – vybrané anionty a kationty 18

Obrázek 12 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0035 (BP019) – vybrané anionty a kationty 18

Obrázek 13 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0037 (BP022) – vybrané anionty a kationty 18

Obrázek 14 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0039 (Bukovský potok) – vybrané anionty a kationty 19

Obrázek 15 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0032 (BP001) 22

Obrázek 16 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0033 (BP005) 23

Obrázek 17 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0034 (BP008) 23

Obrázek 18 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0035 (BP019) 23

Obrázek 19 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0036 (BP021) 24

Obrázek 20 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0039 (Bukovský potok) 24

Obrázek 21 Vývoj vydatnosti pramenů v povrchové části lokality 25

Obrázek 22 Kontinuální měření hladiny podzemní vody ve vrtech 26

Obrázek 23 Ukázka dat z meteostanice 11-12/2020 27

Obrázek 24 Ukázka průběhu průtoku Bukovského potoka v období 11-12/2020 28

Obrázek 25 Schématická situace prostoru PVP Bukov (12. patro) 30
Obrázek 26 Durovův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků 32
Obrázek 27 Piperův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků 32
Obrázek 28 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0002 (Bk23) – vybrané anionty a kationty 34
Obrázek 29 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0003 (Bk06) – vybrané anionty a kationty 34
Obrázek 30 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0005 (Bk07) – vybrané anionty a kationty 35
Obrázek 31 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0007 (Bk15) – vybrané anionty a kationty 35
Obrázek 32 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0008 (Bk18 (S-1)) – vybrané anionty a kationty 35
Obrázek 33 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0009 (Bk30 (S-8)) – vybrané anionty a kationty 36
Obrázek 34 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0010 (Bk31) – vybrané anionty a kationty 36
Obrázek 35 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0013 (Bk35) – vybrané anionty a kationty 36
Obrázek 36 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0017 (Bk38) – vybrané anionty a kationty 37
Obrázek 37 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0018 (Bk26) – vybrané anionty a kationty 37
Obrázek 38 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) – vybrané anionty a kationty 37
Obrázek 39 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0042 (S-23) – vybrané anionty a kationty 38
Obrázek 40 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0044 (S-25) – vybrané anionty a kationty 38
Obrázek 41 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0002 (Bk23) 44
Obrázek 42 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0013 (Bk35) 44
Obrázek 43 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0018 (Bk26) 44
Obrázek 44 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) 45
Obrázek 45 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0042 (S-23) 45
Obrázek 46 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0044 (S-25) 45

Obrázek 47 Kontinuální měření vydatnosti přítoků v prostoru PVP Bukov 48
Obrázek 48 Kontinuální měření vydatnosti přítoků v prostoru PVP Bukov 49
Obrázek 49 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků 52
Obrázek 50 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků 52
Obrázek 51 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0025 (BR06) – vybrané anionty a kationty 55
Obrázek 52 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0026 (BR07) – vybrané anionty a kationty 55
Obrázek 53 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0027 (BR10) – vybrané anionty a kationty 55
Obrázek 54 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0023 (BR21) – vybrané anionty a kationty 56
Obrázek 55 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0024 (BR32) – vybrané anionty a kationty 56
Obrázek 56 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0020 (BR47) – vybrané anionty a kationty 56
Obrázek 57 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0021 (BR51) – vybrané anionty a kationty 57
Obrázek 58 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0022 (BR53) – vybrané anionty a kationty 57
Obrázek 59 Situace nově navržených objektů k monitoringu na povrchu lokality 64
Obrázek 60 Pramenní jímka 65
Obrázek 61 Jezírko 65
Obrázek 62 Výtok z jezírka 66
Obrázek 63 Vrt v Moraveckých Pavlovicích 66

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam měrných bodů PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25), nové označení 9
Tabulka 2 Bukov, ostatní patra – nové označení 10
Tabulka 3 Povrch lokality – nové označení 10
Tabulka 4 Seznam monitorovacích bodů na povrchu lokality 13
Tabulka 5 Přehled hydrochemických typů vod 14
Tabulka 6 Výsledky radiologického stanovení 21
Tabulka 7 Výsledky radiologického stanovení (pokračování tabulky 6) 21
Tabulka 9 Seznam monitorovacích bodů v prostoru PVP Bukov a okolí PVP (vrty S23 a S25) 29
Tabulka 10 Přehled hydrochemických typů vod z vybraných přítoků 31
Tabulka 11 Stanovení radioaktivity podzemní vody 42

Tabulka 12 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 11) 42
Tabulka 13 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 12) 42
Tabulka 14 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 13) 43
Tabulka 15 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 14) 43
Tabulka 15 Tabulka kódů ovlivnění v režimových datech 46
Tabulka 17 Seznam monitorovacích bodů v ostatních patrech dolu Rožná 50
Tabulka 18 Přehled hydrochemických typů vod.....51
Tabulka 19 Stanovení radioaktivity podzemní vody 59
Tabulka 20 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračováni tabulky č. 19).....59
Tabulka 21 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračováni tabulky č. 20).....60

Seznam použitých zkratek:

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
HÚ	Hlubinné úložiště
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
OB	Odměrný bod
ORP	Oxidačně-redukční potenciál
PVP	Podzemní výzkumné pracoviště
PÚ	Průzkumné území
PÚZZZK	Průzkumné území pro zvláštní zásah do zemské kůry
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
VÚVH	Výzkumný ústav vodohospodářský
ZBZS	Závodní báňská záchranná stanice

Abstrakt

Předkládaná zpráva popisuje a vyhodnocuje hydrogeologický a hydrochemický výzkum – monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov za rok 2020. Navazuje tedy na zprávu SURAO TZ 487/2020 a je jedním z průběžných výsledků projektu Hydrogeologického a hydrochemického monitoringu vod v prostoru PVP Bukov.

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

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov je 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.

Cílem prací ve třetím roce projektu bylo navázat na výsledky prací z předchozích let, údržba a provoz monitorovací sítě, aby mohla být získána a vyhodnocena relevantní data pro další výzkumné práce související s problematikou PVP Bukov.

Klíčová slova

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

Abstract

This report describes and evaluates hydrogeological and hydrochemical research – monitoring of groundwater and mine water in the area of the Bukov URF for 2020. It is a follow-up to the report SURAO TZ 487/2020 and is one of the interim results of the project Hydrogeological and Hydrochemical Monitoring of Water in the Area of the Bukov URF.

The aim of hydrogeological research in the Bukov URF and its wider surroundings is 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.

The aim of the work in the third year of the project was to build on the results of work from previous years, maintenance and operation of the monitoring network in order to obtain and evaluate relevant data for further research work related to PVP Bukov.

Key words

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

1 Úvod

Předkládaná zpráva popisuje a vyhodnocuje hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov za rok 2020. Monitoring v prostoru PVP Bukov je naplánován na 5 let, tedy do roku 2022.

Samotný hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov probíhá 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

Výsledky hydrogeologického a hydrochemického monitoringu za rok 2020 přímo navazují na výsledky z monitoringu za období 2018-2019 a ukazují na setrvalý trend vývoje chemismu podzemních a důlních vod. Detailně jsou výsledky popsány v následujících kapitolách.

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov byl v roce 2020 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 dolu Rožná a ve 12. (body BR21, BR47, BR51 a BR53), 20., 17. a 24. patře dolu Rožná (přístup do ostatních pater dolu Rožná je v souvislosti s omezením jeho činnosti značně problematický). Od počátku roku 2021 nebude možné, z důvodu plánovaného zatápění dolu, monitoring ostatních pater dolu Rožná provádět. Monitoring hlubších pater tak bude pravděpodobně, po konzultaci s DIAMO s. p., závod GEAM Dolní Rožínka a následném odsouhlasení SÚRAO, nahrazen monitoringem 3., 5. a 9. patra dolu Rožná.

Cílem našich prací v třetím roce projektu bylo navázat a pokračovat v měření a sběru dat ze stávající hydrogeologické monitorovací sítě tak, aby mohla být získána a vyhodnocena relevantní data pro další výzkumné práce související s problematikou PVP Bukov.

Práce, které na výše uvedený hydrogeologický výzkum prováděný Českou geologickou službou, navazovaly a byly zahájeny v únoru 2018, byly:

- Pasportizace (revize) stávající hydrogeologické monitorovací sítě vybudované ČGS
- Zpracování monitorovacího plánu hydrogeologického a hydrochemického monitoringu PVP Bukov
- Zahájení hydrochemického monitoringu
- Optimalizace monitorovací sítě – Instalace měřící techniky na povrchu a v prostoru PVP Bukov
- Zahájení provozu monitorovací sítě

Realizované práce jsou prezentovány a vyhodnoceny v předkládané průběžné zprávě za rok 2020. Práce byly prováděny za koordinace a spolupráce SÚRAO a DIAMO, s. p., závod GEAM Dolní Rožínka.

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 Svratky – střední část.

Pro prostředí krystalinických hornin (tzv. hydrogeologický masív) je charakteristický puklinový oběh podzemních vod. Pro svrchní části krystalinika tvořených zvětralinovým pláštěm (eluviem) 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.

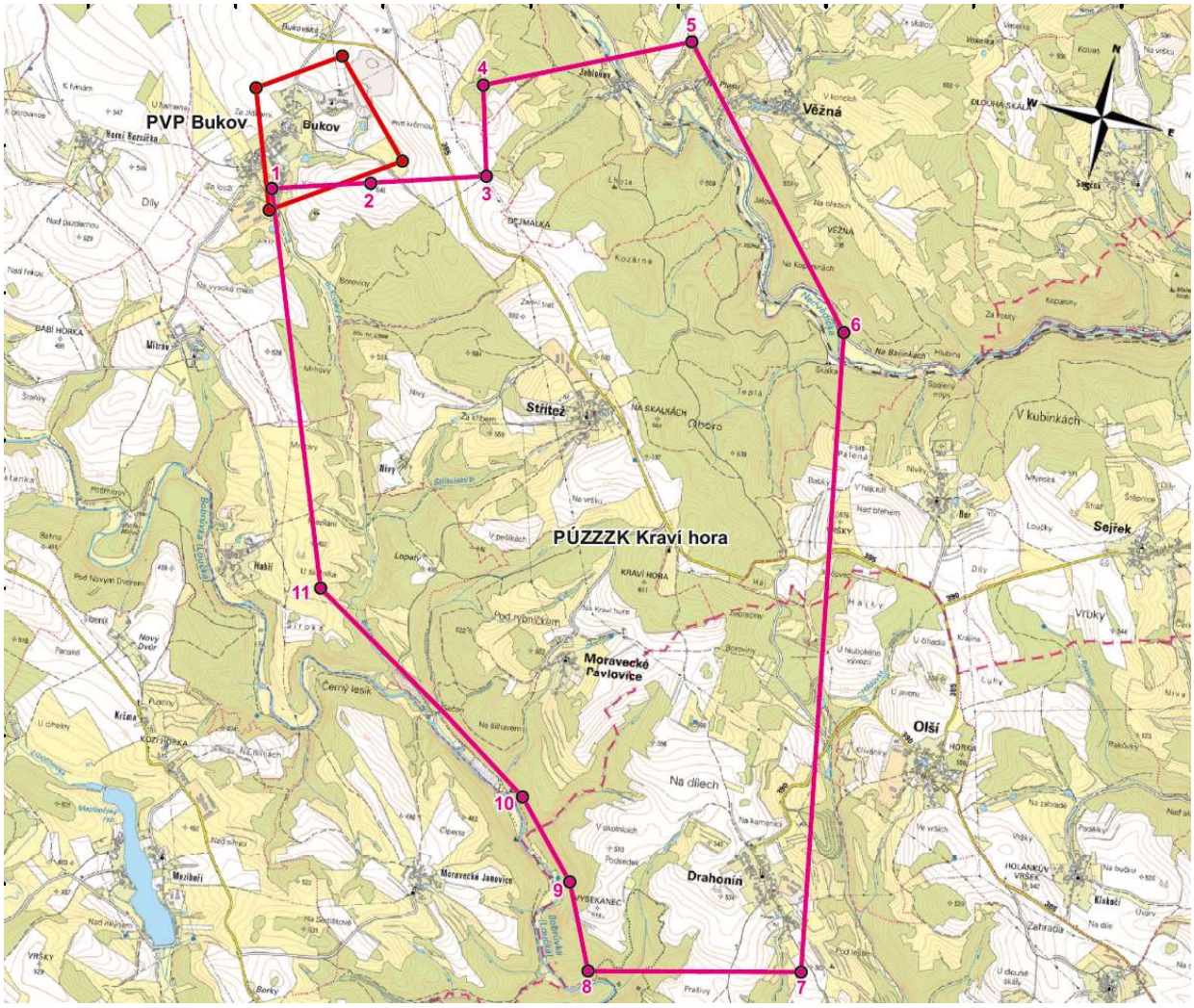
Pro oběh podzemních vod jsou významné regionální zlomy SSZ-JJV směru, přičemž tyto zlomy jsou lemovány pramenními vývěry. Druhým směrem „vodivých“ struktur je směr SV-JV – tento směr odpovídá diagonálním dislokacím směru 55–70°, které jsou uváděny ve starších pracích jako otevřené, s průběžností desítky 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 $<1\times10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$), mineralizace 0,3-1 g/l a chemický typ vody Ca-Mg-HCO_3-SO_4. Horniny moldanubika hlubších částí krystalinika v širším okolí dolů Rožná vykazují koeficient propustnosti kf=$0,5\times10^{-9}$ $m.s^{-1}$ až $0,5\times10^{-10}$ $m.s^{-1}$, žíly a tektonické zóny na ložisku mají koeficient propustnosti cca 5×10^{-6} $m.s^{-1}$. 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 přírodním 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 km^2 (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 zavalováním 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 Revize stávající monitorovací sítě (Shrnutí dosavadně provedených technických prací)

3.1 Revize stávající monitorovací sítě

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 sít je detailně popsána v Monitorovacím plánu PVP Bukov (TZ 332/2018), kapitola 6.

Monitorovací síť je pravidelně kontrolována a revidována s ohledem na výsledky realizovaného výzkumu a aktuální stav poznání. Návrh optimalizace monitorovací sítě pro rok 2021 na základě výsledků a poznání z předchozích let je součástí kapitoly 10 závěrečné zprávy za rok 2020.

3.2 Zpracování monitorovacího plánu

Nezbytnou součástí hydrogeologického a hydrochemického monitoringu PVP Bukov bylo zpracování Monitorovacího plánu, ve kterém jsou shrnuty všechny náležitosti programu monitorování včetně metodických postupů a vybraných bodů k pozorování. Tato zpráva je uložena v archivu SÚRAO pod evidenčním označením TZ 332/2018. 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 měřící 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.

Návrh optimalizace monitorovací sítě byl proveden v souladu s poznatky a ověřenými postupy pro hydrogeologický a hydrochemický monitoring, které byly získány při realizaci projektů obdobného charakteru. V České republice se jednalo o projekt „Vývoj a ověřování metodik pro charakterizaci horninového prostředí“ (Hokr et al. 2016), jehož náplní byl dlouhodobý monitoring ve vodovodním přivaděči Bedřichov v Jizerských horách, ze zahraničních projektů byly inspirací projekt podzemní laboratoře v Grimsel ve Švýcarsku (Morosini, 2013) a Äspo ve Švédsku (Savada et al., 2015, Rhen et al., 2003).

3.3 Instalace měřící techniky

Výroba a instalace měřící techniky jednotlivých prvků monitoringu probíhala na základě Monitorovacího plánu (TZ 332/2018) a po odsouhlasení zadavatelem. Detaily o jejich parametrech jsou uvedeny ve zprávě SÚRAO TZ 366/2019.

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.

S ohledem na co nejkvalitnější měření v souladu s plánem kvality a monitoringu je prováděno na všech automatizovaných měrných bodech kontrolní měření a servisní činnosti. V březnu 2020 byl změněn měsíční interval kontrolních měření a servisní činnosti na dvouměsíční a tyto servisní činnosti jsou prováděny jak v prostorách PVP Bukov, tak na povrchu lokality. Výstupem je evidence provozu každého měrného bodu, která je naprosto zásadní pro správné vyhodnocení a autorizaci operativních dat.

Podrobně jsou informace o instalaci měřící techniky na povrchu lokality a v prostoru PVP Bukov popsány v kapitole č. 5, roční zprávy o monitoringu za rok 2018 (TZ 366/2019).

3.4 Zahájení provozu monitorovací sítě

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 (SURAO). Po zapojení optických kabelů bylo v lednu 2019 provedeno Posouzení funkční způsobilosti měrných bodů, jehož součástí bylo úřední měření průtoků. Následně během roku 2020 byla provedena revize a oprava části překlopných člunků. V lednu 2021 provedeno Posouzení funkční způsobilosti.

Cílem bylo zahájení měření a datových přenosů k 1. 2. 2018. K tomuto datu byl aktualizován monitoring ze stávajících měrných bodů, byla provedena archivace dat, jejich autorizace a odstranění dat z měřicích systémů a cloudFM.

3.5 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. Tabelárně je nové značení měrných bodů uvedeno v 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, Obrázek 4).

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

Tabulka 2 Bukov, ostatní patra – nové označení

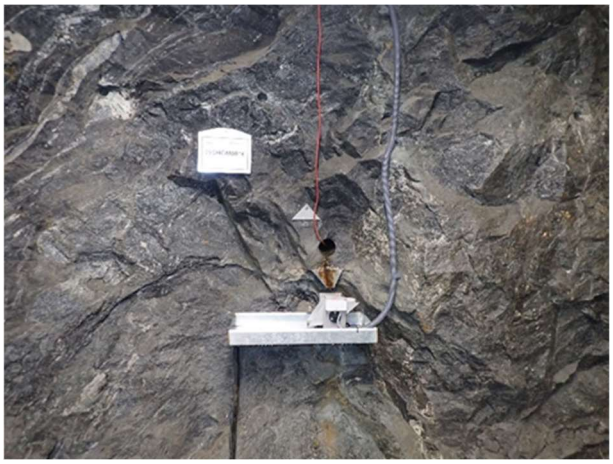
původní označení	patro	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
BR47	12	296HGM0020
BR51	12	296HGM0021
BR53	12	296HGM0022
BR21	12	296HGM0023
BR32	20	296HGM0024
BR06	24	296HGM0025
BR07	24	296HGM0026
BR10	17	296HGM0027
BR16	21	296HGM0028

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)
Bukovský p.	296HGM0039	Potok
Meteo stanice	296HGM0047	Meteostanice na skládce Bukov

Obrázek 2 Grafický návrh cedulí označujících měrný bod

Obrázek 3 Označení měrného bodu



Obrázek 4 Ukázka instalace měrného bodu

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 (eluviem), svahovými a fluviálními sedimenty se jedná o propustnost průlinovou.

Svahové a fluviální sedimenty jsou v těsné hydraulické spojitosti se svým podložím a společně tvoří hlavní kolektor krystalinika. Hloubkový 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 7 objektů (viz Tabulka 4, Obrázek 5).

V rámci monitoringu kvalitativních parametrů podzemní vody bylo v roce 2020 ovzorkováno šest pramenů a jeden povrchový tok (Bukovský potok před soutokem s Bobrůvkou). Všechny vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

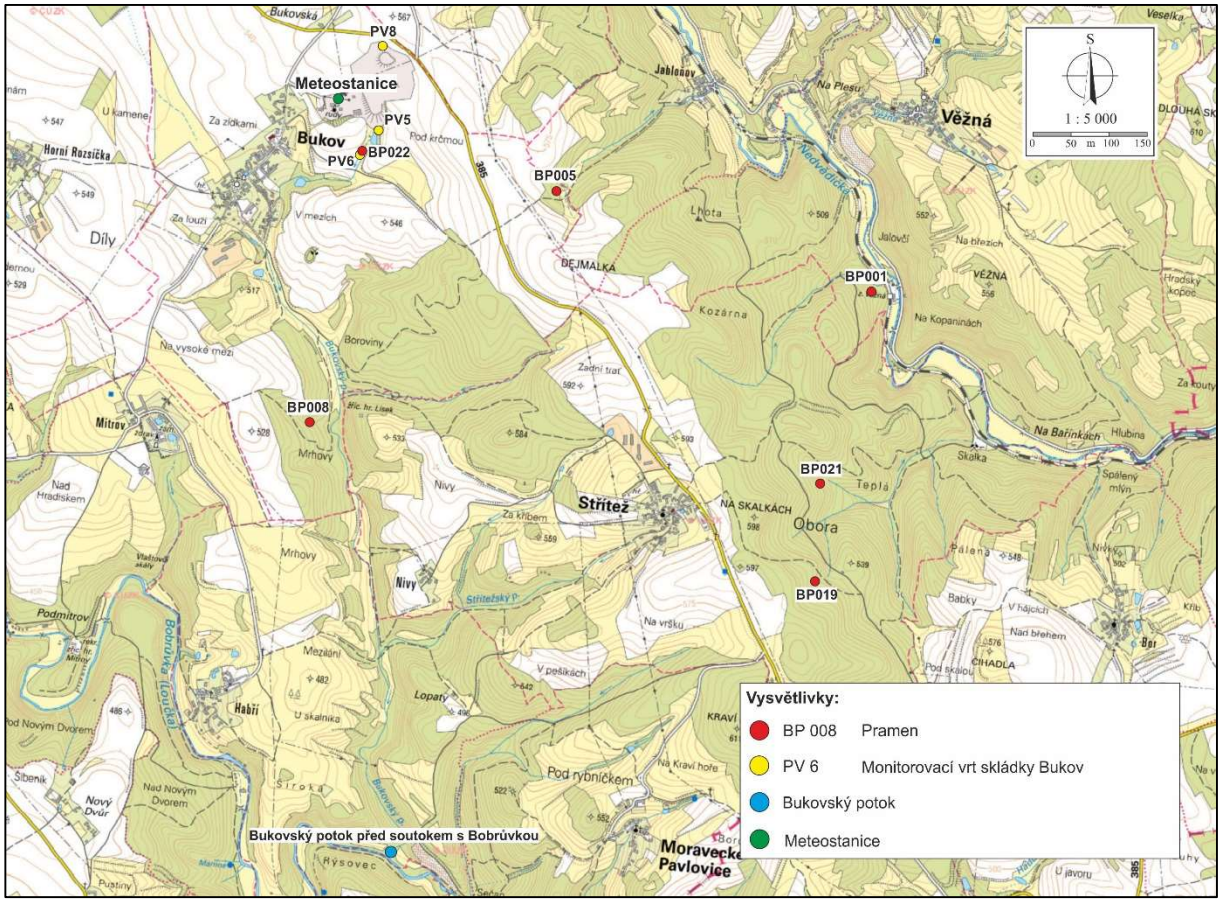
- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO_3, NO_3, SO_4, SiO_2, NH_4, pH, vodivost (4× ročně)
- **Stopové prvky:** Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe (4× ročně)
- **Radioaktivní látky:** celk. objemová aktivita alfa, celk. objemová aktivita beta, U, Rn (1× ročně)

Rozsah analytických prací odpovídá potřebám a v tuto chvíli není třeba provádět změny v rozsahu analýz.

Zejména v letních měsících byly některé prameny suché a neměřitelné, v případě podchycených pramenů se v jejich místě občasně nacházela stojatá voda (BP001, BP019, BP022).

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
Bukovský p.	296HGM0039	Kvantita + kvalita
Meteo stanice	296HGM0047	Meteorologické jevy



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

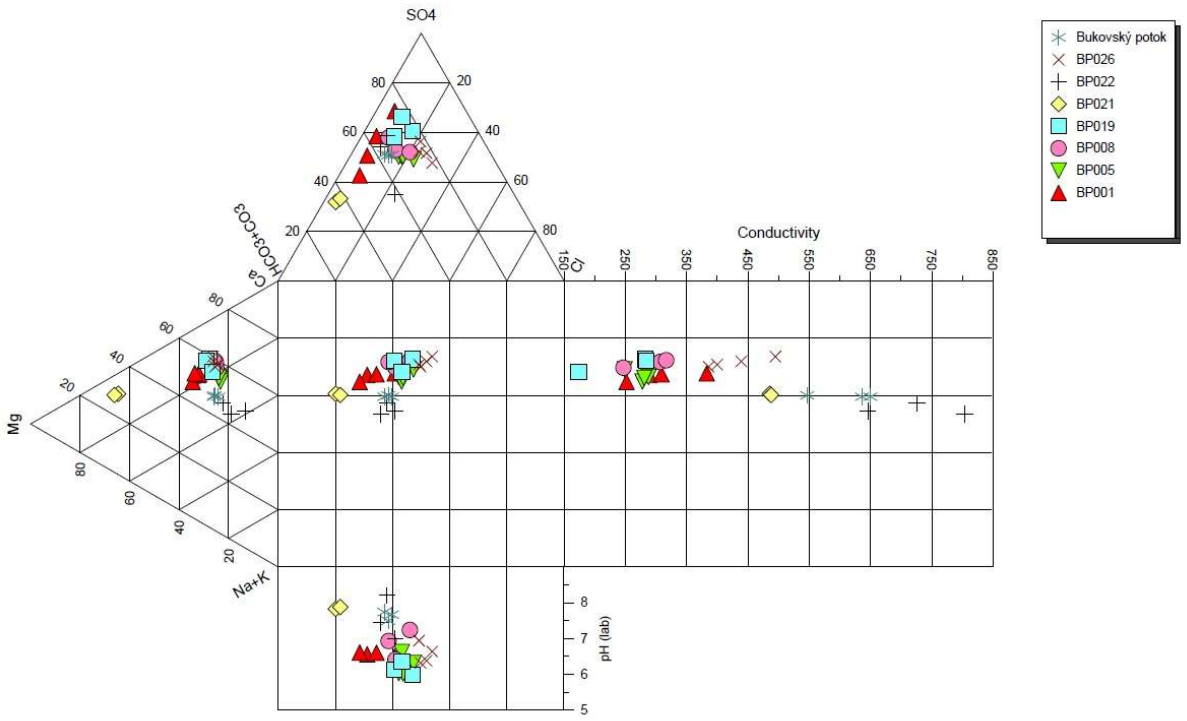
4.1.1 Určení geochemického typu vody

Určení geochemického typu vody vychází z převládajících iontů vyjádřených jako součin molární koncentrace iontu a jeho náboje – $\mathbf{c_i z_i}$, 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 zahnut součin jeho molární koncentrace a náboje (2×), shodně i u vícemocných iontů. Při výpočtu se uvažují kationty jako 100 % a anionty 100 %. Při klasifikaci prostých vod se do názvu (vzorce) v sestupném pořadí uvádí ionty do 25 cize %, 20 cize % nebo 10 cize % (teoreticky až čtyři ionty) pro kationty i anionty. Přehled hydrochemických typů vod je uveden v Tabulka 5. Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu (Obrázek 6, Obrázek 7).

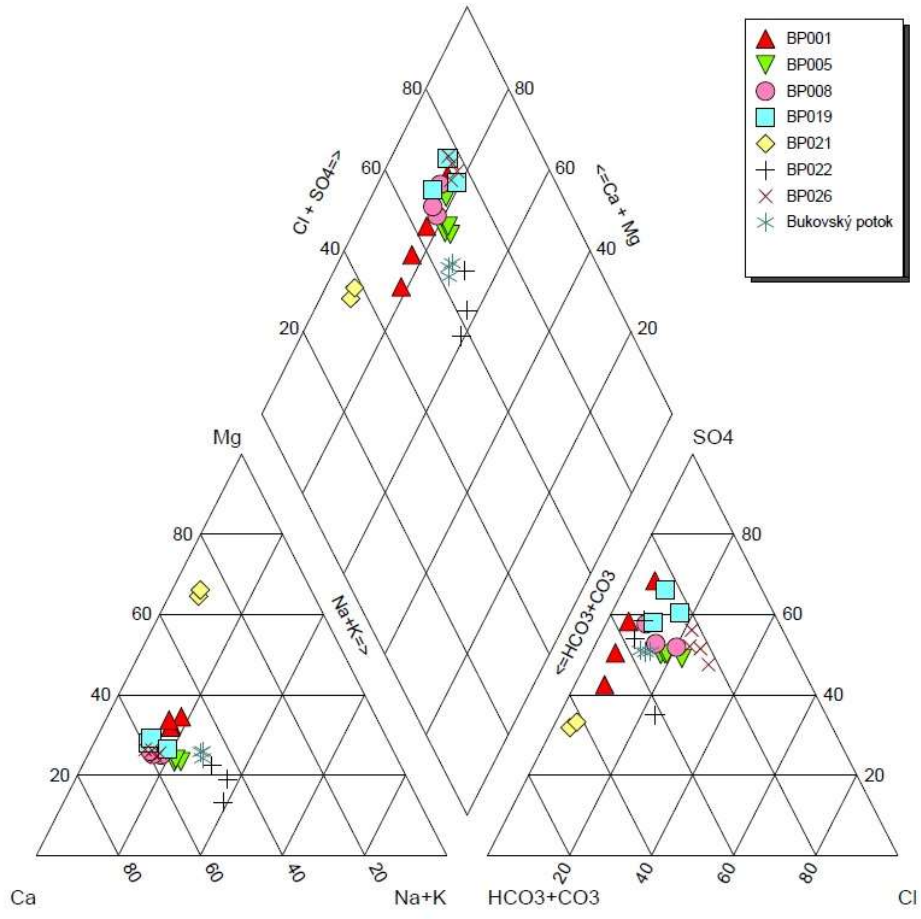
U podzemních vod na lokalitě převažuje chemický typ Ca-SO_4 typický pro mělký oběh podzemních vod v oxidační zóně krystalinika. Hlavními minerály, které tvoří sírany (SO_4^{2-}) jsou sádrovec a anhydrid. Z antropogenních zdrojů jsou zdrojem např. městské a průmyslové exhalace, obsahující značná množství SO_2 a SO_3. Spolu s hydrogenuhličitany a chloridy patří sírany mezi hlavní anionty přírodních vod, zpravidla v pořadí kvantitativního zastoupení HCO_3-SO_4^--Cl, SO_4^--HCO_3-Cl, resp. HCO_3-Cl-SO_4. V prostých podzemních a povrchových vodách jejich koncentrace obvykle činí desítky až stovky mg/l (Pitter 1999). Vývoj koncentrací podzemních vod odebíraných z jednotlivých měrných bodů na povrchu lokality je graficky znázorněn na Obrázek 8 až Obrázek 14.

Tabulka 5 Přehled hydrochemických typů vod

objekt	typ vody	typ vody	typ vody	typ vody
	3/2020	6/2020	9/2020	12/2020
BP001	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-HCO_3-SO_4	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
BP005	Ca-Mg-Na-SO_4-NO_3-HCO_3	Ca-Mg-NO_3-SO_4	Ca-Mg-Na-SO_4-NO_3-HCO_3	Ca-Mg-SO_4-NO_3-HCO_3
BP008	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
BP019	Ca-Mg-SO_4-NO_3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3	Ca-Mg-SO_4	-
BP021	Mg-Ca-HCO_3-SO_4	Mg-Ca-HCO_3-SO_4	Mg-Ca-HCO_3-SO_4	Mg-Ca-HCO_3-SO_4
BP022	Na-Ca-SO_4-HCO_3	Ca-Na-SO_4-HCO_3	Ca-Na-HCO_3-SO_4-Cl	-
Bukovský potok	Ca-Na-SO_4-HCO_3	Ca-Na-SO_4-HCO_3	Ca-Na-SO_4-HCO_3	Ca-Na-SO_4-HCO_3



Obrázek 6 Durovův diagram vývoje chemického složení pramenů



Obrázek 7 Piperův diagram vývoje chemického složení pramenů

4.1.2 Kvalitativní parametry vody

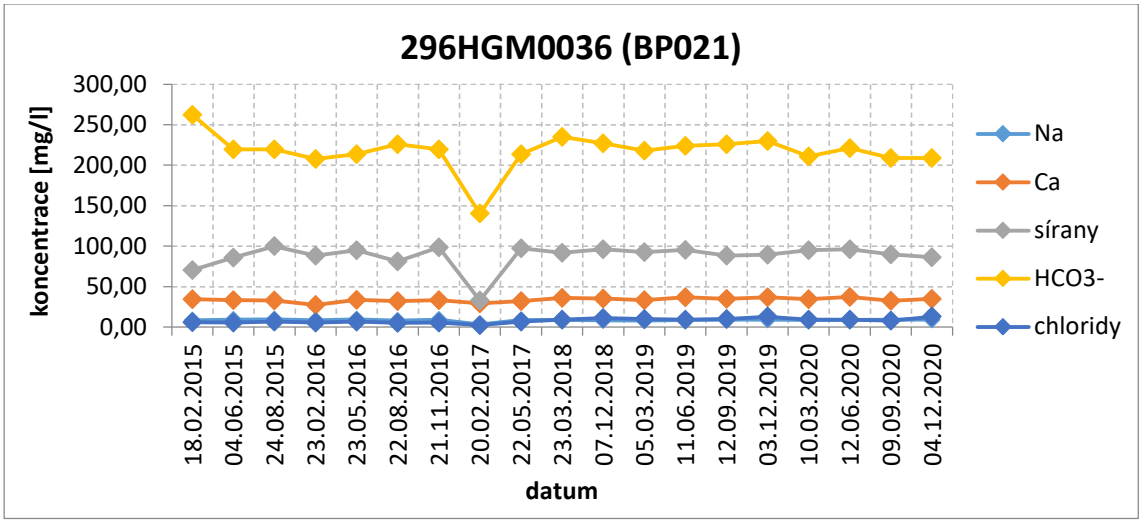
Jak již bylo uvedeno v přechozí kapitole, u podzemních vod na lokalitě převažuje chemický typ Ca-SO_4 typický pro mělký oběh podzemních vod v oxidační zóně krystalinika. Odlišné složení má pramen 296HGM0036 (BP021) s převahou Mg a HCO_3. U tohoto pramene se předpokládá drenáž hlubšího oběhu podzemních vod. Hlubší oběh předpokládáme i u pramene 296HGM0033 (BP005). Chemické složení podzemní vody z těchto pramenů je poměrně stabilní s odchylkami od průměrných obsahů hlavních kationtů a aniontů do 35 %. Čím hlubší je oběh podzemních vod, tím je složení podzemní vody stabilnější. Hydrogenuhličitany (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 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 pramene BP022 byl zjištěn zvýšený obsah sodíku (Na) a chloridů (Cl). Pramen je situován pod skládkou Bukov a voda z něj volně odtéká jako Bukovský potok a dá se předpokládat jeho antropogenní ovlivnění. Obsah chloridů se u této vody pohybuje v rozmezí od 28 až 210 mg/l a sodíku v rozmezí 41,3 až 111 mg/l. Běžné obsahy u pramenů nezasažených znečištěním jsou u chloridů do 20 mg/l a do 10 až 15 mg/l u sodíku (Pitter 1999). V březnu 2020 byl ve vodě z pramene BP022 zaznamenán nárůst sodíku a chloridů, a naopak pokles koncentrace síranů a hydrogenuhličitanů. Tato změna souvisela s vypouštěním důlních vod do Bukovského potoka. Pramen 296HGM0037 (BP022) se potýká s vysycháním v průběhu suchých období nebo se zde vyskytuje jen zachycená stojatá voda. V červnu 2020 nebyl odběr vody z tohoto pramene uskutečněn, protože byl vyschlý.

Voda z pramene 296HGM0034 (BP008) je hydrochemického typu Ca-SO_4. Pramen se nachází v blízkosti zlomu. Voda z toho pramene má relativně stabilní obsahy Na a Cl s minimálními výkyvy. V březnu a červnu 2020 došlo ke zvýšení obsahu síranů a mírně i vápníku a oproti tomu k poklesu hydrogenuhličitanů. V dalších kolech monitoringu (září a prosinec 2020) došlo ke snížení obsahu síranů a vápníku a pozvolnému nárůstu hydrogenuhličitanů. Vysoký obsah síranů v červnu 2020 je dán vyšším podílem povrchové vody v oblasti pramene v důsledku srážkově bohatšího jara 2020. Stejný případ nastal i u pramenů BP019 a BP001, kdy v důsledku srážkově bohatšího jara a léta 2020 byl zaznamenán zvýšený obsah síranů jako projev dotace povrchové vody.

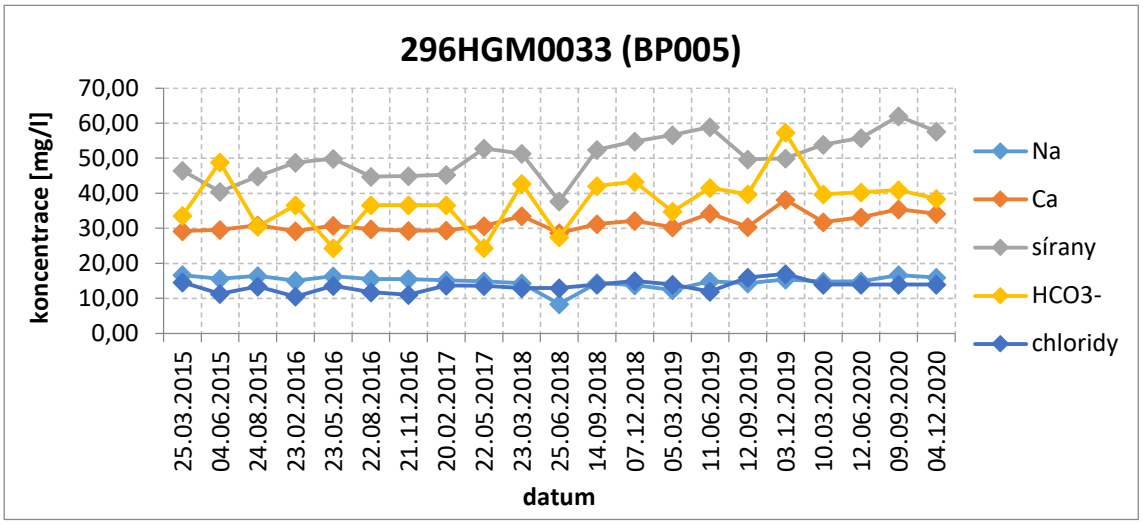
Voda z Bukovského potoka má převážně hydrochemický typ Ca-SO_4. Do Bukovského potoka je vypouštěna přečištěná důlní voda z dekontaminační stanice Bukov. Na základě analýz poskytnutých DIAMO, voda z dekontaminační stanice splňuje referenční úroveň uranu (0,100 μg/l), i vyšetřovací úroveň ^{226}Ra (400 mBq/l) a neměla by mít vliv na chemismus vody v Bukovském potoce. Referenční úrovně uranu a ^{226}Ra jsou stanoveny rozhodnutím Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). V roce 2020 došlo nejprve v březnu k poklesu síranů, hydrogenuhličitanů, v dalším kole byl pak zaznamenán pozvolný nárůst obsahu těchto ukazatelů, které vesměs korelovali s výsledky z roku 2018.

Vývoj koncentrací sledovaných ukazatelů v podzemních vodách jednotlivých monitorovacích objektů je patrný na následujících grafech. Data z období 2015-2017, která jsou v grafech prezentována, byla převzata ze závěrečné zprávy Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov (Bukovská et al. 2017).

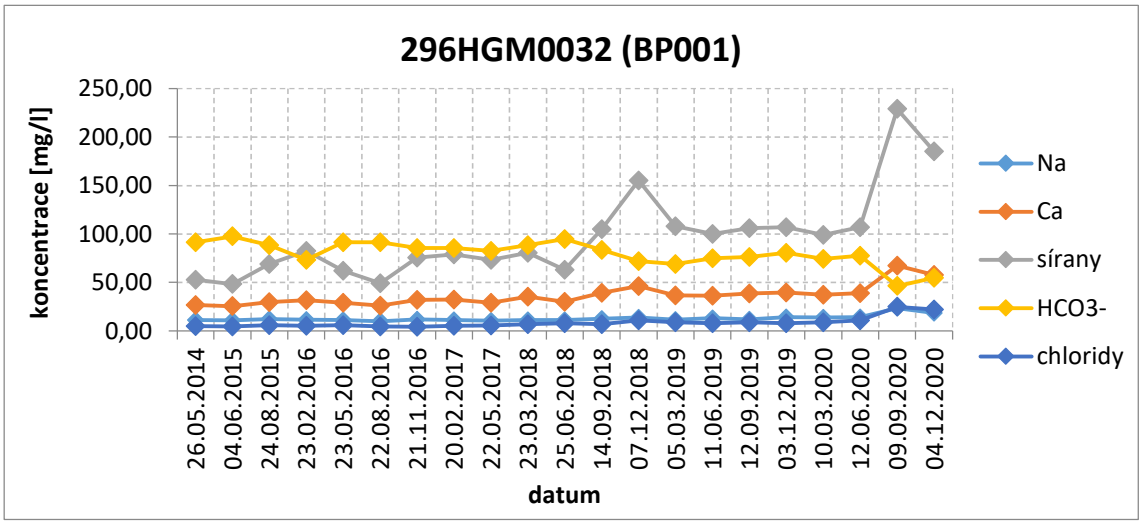
Chemické analýzy podzemních vod ze vzorkovaných pramenů obsahuje elektronická příloha č. 1, laboratorní protokoly jsou součástí elektronické přílohy č. 2.



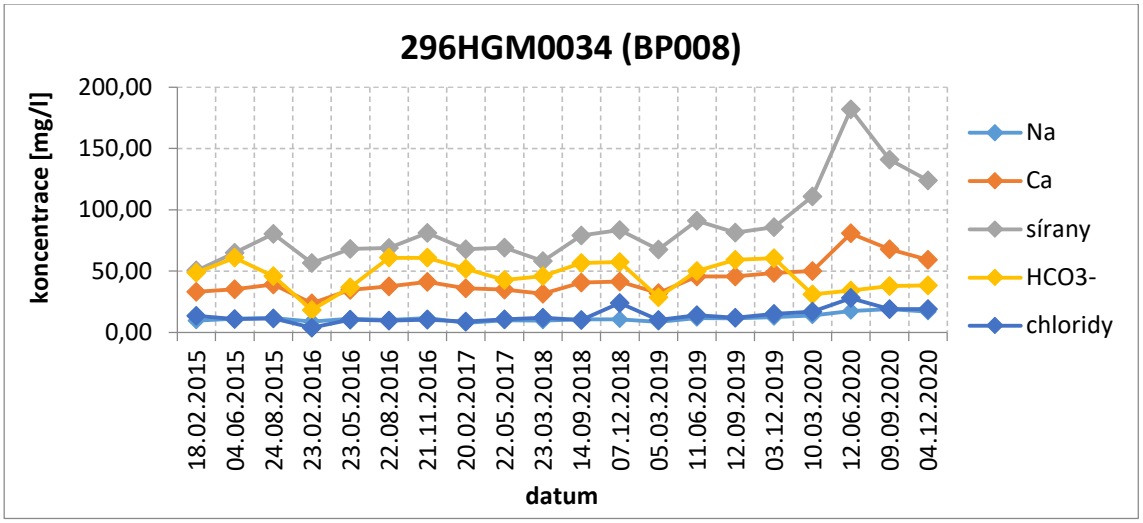
Obrázek 8 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0036 (BP021) – vybrané anionty a kationty



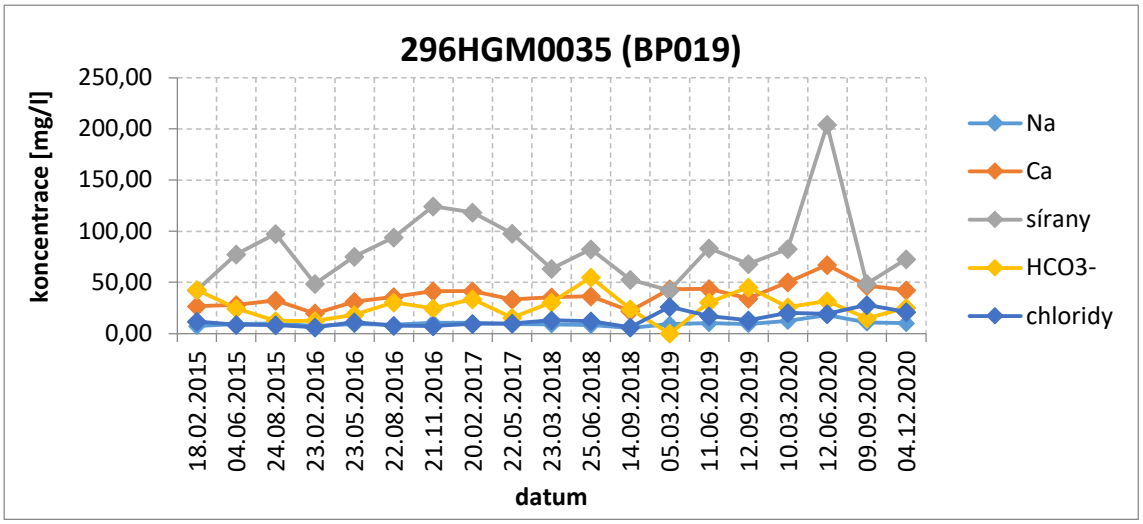
Obrázek 9 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0033 (BP005) – vybrané anionty a kationty



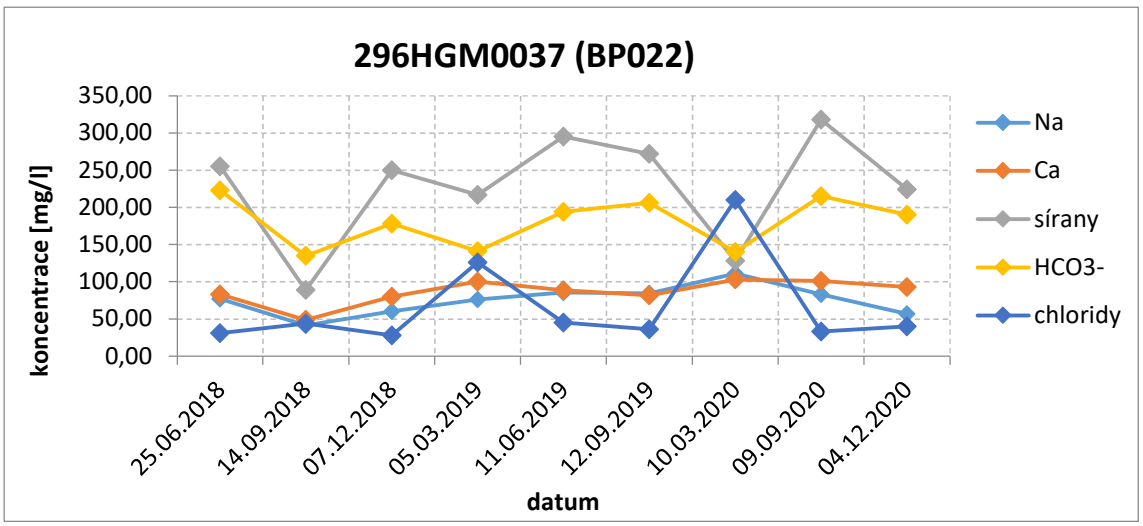
Obrázek 10 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0032 (BP001) – vybrané anionty a kationty



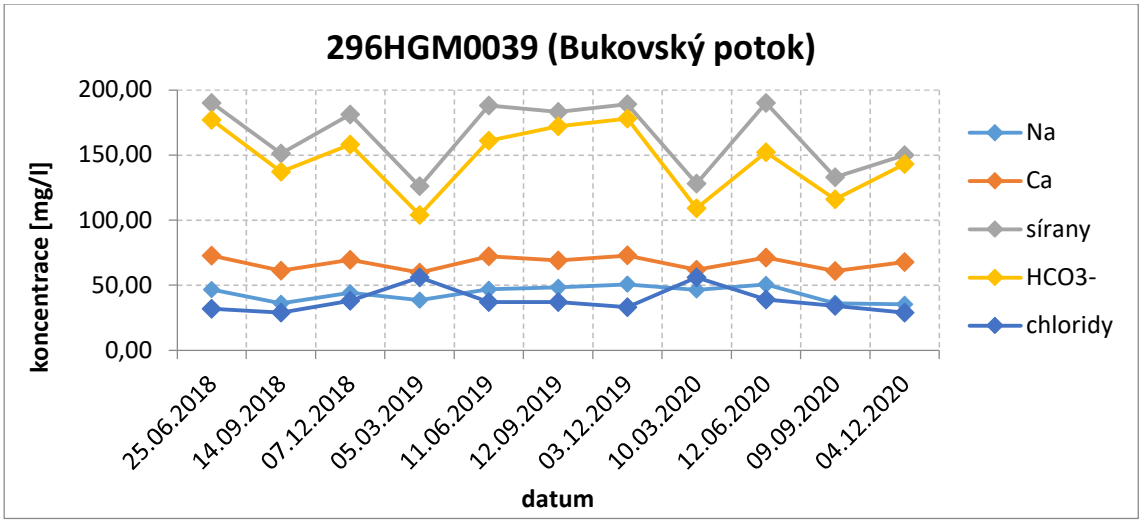
Obrázek 11 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0034 (BP008) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 12 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0035 (BP019) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 13 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0037 (BP022) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 14 Vývoj chemického složení podzemní vody u pramene 296HGM0039 (Bukovský potok) – vybrané anionty a kationty

4.1.3 Stopové kovy

Koncentrace **arsenu** byly ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <10 µg/l. Koncentrace **olova** byly téměř ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <10 µg/l. Pouze ve vzorku vody z pramene 296HGM0033 (BP005) z června 2020 byla zjištěna koncentrace olova 10,60 µg/l a ve vzorku vody z pramene 296HGM0036 (BP021) z června 2020 byla zjištěna koncentrace olova 11,40 µg/l. Koncentrace **hliníku** byly zjištěny pouze ve vzorcích vody z pramene 296HGM0035 (BP019) ze dne 10. 3. 2020 (58,00 µg/l). Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace asi do 100 µg/l (Pitter 1999). Koncentrace **zinku** byly zjištěny ve vzorku z pramene 296HGM0037 (BP022) ze dne 10. 3. 2020 (28,30 µg/l). Nejrozšířenějšími zinkovými rudami jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$). Zinek je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů. V prostých podzemních a povrchových vodách bývá zinek obvykle přítomen v koncentračním rozmezí asi od 5 do 200 µg/l (Pitter 1999). **Mangan** se v drtivé většině případů vyskytuje v koncentracích <0,05 mg/l. Pouze u pramene 296HGM0035 (BP019) byla v červnu 2020 zjištěna koncentrace 0,06 mg/l. **Železo** se ve všech případech vyskytuje v koncentracích <0,1 mg/l. **Baryum** se vyskytuje ve vzorcích vod převážně v koncentracích od 20 do 110 µg/l. Vyšší koncentrace byly stanoveny ve vzorcích z pramene 296HGM0032 (BP001), a to od 139 do 268 µg/l. U pramene 296HGM0037 (BP022) se koncentrace barya pohybovala od 112 do 151 µg/l. Ve vzorcích vody z Bukovského potoka se koncentrace barya pohybovala od 68,7 do 91,7 µg/l. **Stroncium** většinou dominuje nad baryem vyjma pramene 296HGM0032 (BP001). Koncentrace stroncia se převážně pohybují od 100 do 145 µg/l. Ve vzorcích vod z pramene 296HGM0036 (BP021) byly zjištěny koncentrace stroncia okolo 70-80 µg/l, ve vzorcích vody z pramene 296HGM0037 (BP022) byly zjištěny koncentrace od 351 do 544,90 µg/l, ve vodě z Bukovského potoka pak od 235 do 293 µg/l. Stroncium není limitováno v žádném druhu vod. Výjimkou z relativně netoxického přírodního stroncia je radionuklid ^{90}Sr (Pitter 1999). **Molybden** se ve vodách stanovuje jen výjimečně. Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace cca 5 µg/l. V přírodě se molybden vyskytuje např. jako minerál molybdenit (MoS_2). Antropogenní původ molybdenu je z odpadů z hutních závodů, z odpadních vod z povrchové úpravy kovů nebo mohou být součástí některých maziv (Pitter 1999). Molybden byl stanoven ve všech vzorcích vody pod mezí

detekce (<20,0 μg/l. Koncentrace **lithia** byly ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <0,10 mg/l. Obsahy **rubidia** se pohybovaly u většiny pramenů v koncentracích do 1,15 μg/l. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány u přítoků 296HGM0036 (BP021), tj. 6,16-8,03 μg/l a 296HGM0037 (BP022), tj. 5,32-8,25 μg/l. Ve vzorcích vody z Bukovského potoka (296HGM0039) se obsahy rubidia pohybovaly od 2,54 do 3,62 μg/l.

Výsledky hydrochemického monitoringu jsou v tabelární formě součástí elektronické přílohy č. 1 této zprávy.

4.1.4 Radiologie

Na povrchu lokality PVP Bukov byly odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody (Tabulka 6 a Tabulka 7). Stanovení proběhlo v rozsahu celkové objemové aktivity α, celkové objemové aktivity β, radonu a uranu. Analýzy provedla laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o.

Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jsou 0,2 $Bq.l^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu α a 0,5 $Bq.l^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu β. Hodnoty celkové objemové aktivity α i β nebyly v roce 2020 překročeny v žádném ze vzorků vod. 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 100 $Bq.l^{-1}$ mírně překračuje vzorek vody z pramene 296HGM0032 (BP001). U tohoto pramene byla stanovena koncentrace Rn 101 $Bq.l^{-1}$. Hodnoty rozpuštěného uranu nepřekračují mezní hodnotu 15 μg/l stanovenou vyhláškou 252/2004 Sb. Nejvyšší koncentrace 8,69 μg/l byly zaznamenány ve vzorku vody z pramene 296HGM0037 (BP022).

Tabulka 6 Výsledky radiologického stanovení

POVRCH LOKALITY	jednotka	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	limit 422/2016 Sb.
		BP001	BP001	BP001	BP005	BP005	BP005	BP008	BP008	BP008	BP019	BP019	BP019	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	<0,06	<0,04	<0,05	0,11	<0,04	<0,04	<0,05	<0,04	<0,04	0,06	<0,04	<0,05	0,20
celková objemová aktivita beta	Bq/l	0,17	0,12	0,10	0,17	0,22	<0,10	0,13	<0,10	0,13	0,37	0,13	0,14	0,5
Radon (Rn 222)	Bq/l	127,00	81,70	101,00	12,30	28,10	23,70	3,30	<5,0	10,80	5,20	13,60	19,50	100
Uran rozpuštěný	µg/l	<1	0,35	0,33	<1	<0,15	<0,15	<1	<0,15	<0,15	<1	0,32	<0,15	15

Tabulka 7 Výsledky radiologického stanovení (pokračování tabulky 6)

POVRCH LOKALITY	jednotka	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	limit 422/2016 Sb.
		BP021	BP021	BP022	BP022	BP022	Bukovský potok	Bukovský potok	Bukovský potok	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	<0,04	<0,08	1,19	<0,04	<0,08	0,34	0,20	<0,09	0,20
celková objemová aktivita beta	Bq/l	0,15	0,12	1,46	0,48	0,37	0,4	0,22	0,11	0,5
Radon (Rn 222)	Bq/l	<5,0	7,50	4,10	<5,0	<5,0	1,1	<5,0	<5,0	100
Uran rozpuštěný	µg/l	3,08	2,98	10,90	12,90	8,69	7,63	9,36	2,80	15

4.2 Hydrogeologický monitoring – režimní měření

4.2.1 Přímá měření

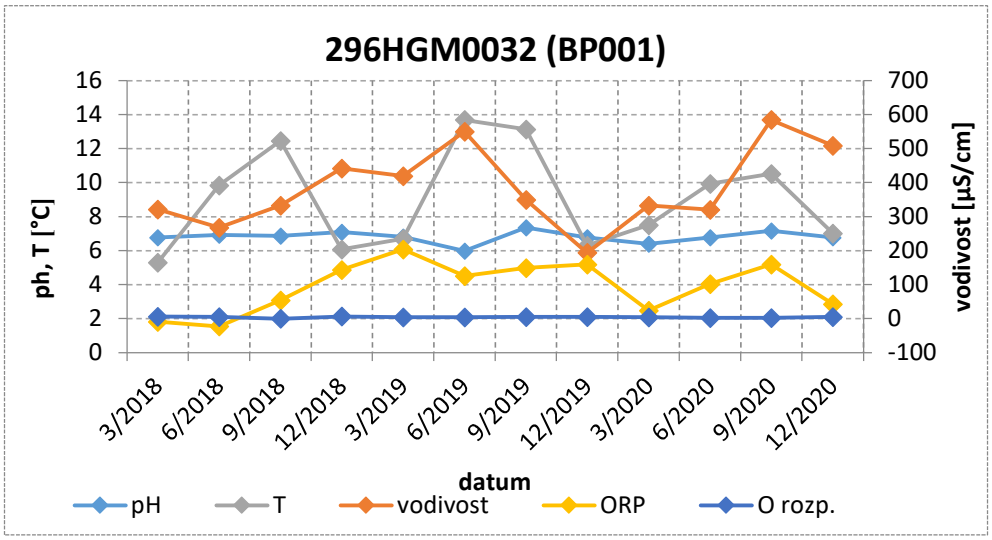
Na základě provedených měření lze konstatovat, že v roce 2020 podzemní vody na lokalitě vykazovaly převážně slabě kyselé až neutrální pH (6,32-7,85).

Vodivost vody se v roce 2020 u sledovaných pramenů pohybovala převážně od 260 do 600 µS/cm. Ojediněle byly zjištěny i zvýšené hodnoty vodivosti (např. 1226 µS/cm u pramene BP022).

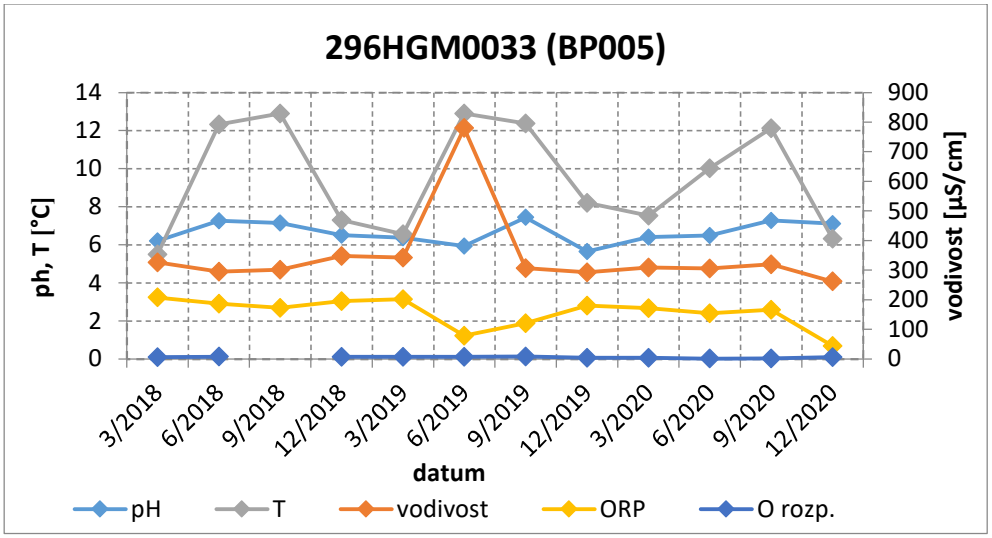
Oxidačně-redukční potenciál (ORP) přírodních vod je obvykle dán koncentrací rozpuštěného kyslíku. Při nízkých koncentracích rozpuštěného kyslíku přestává být kyslík dominantním oxidačním činidlem a ORP je určován dalšími oxidačně-redukčními systémy (např. Fe^{II}-Fe^{III}, H_2S-SO_4^{2-}). Obvyklý rozsah ORP v přírodních vodách je asi od -500 mV do +500 mV. Na základě hodnot ORP se rozlišují podmínky aerobní, anaerobní a podmínky anoxické (oblast cca od -50 mV do +50 mV). Hodnoty ORP se téměř ve všech objektech pohybovaly převážně od +40 mV do +173 mV, což indikuje aerobní (oxické) podmínky. U objektu BP021 byla v prosinci 2020 naměřena hodnoty ORP 16,3 mV. Nejnižší hodnoty ORP byly u všech vzorků vod naměřeny v prosinci 2020.

Hluchá místa v grafech znázorňují ty etapy monitorovacích prací, při kterých došlo k vyschnutí pramene a s tím spojenou nemožností provést měření a odběr vzorků vody.

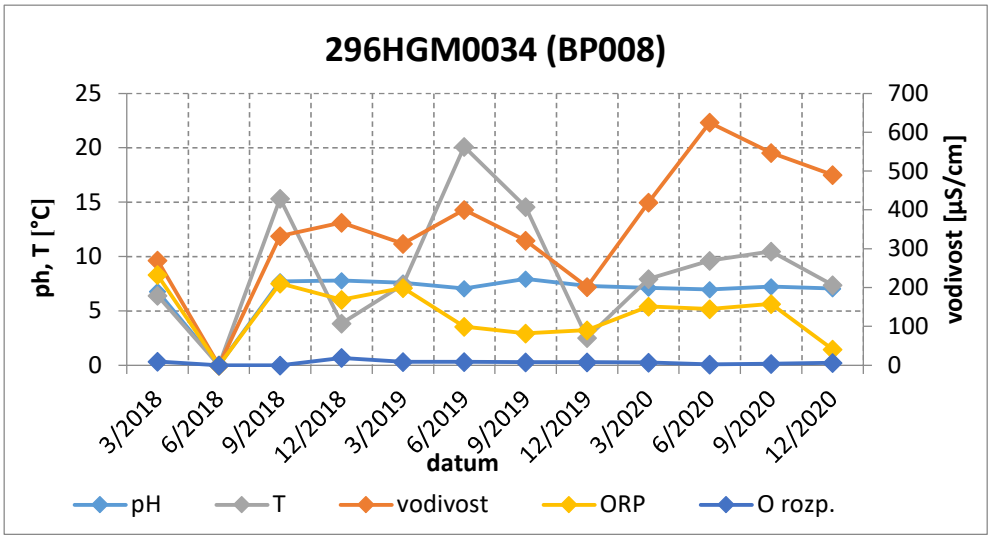
Graficky je vývoj fyzikálně-chemických parametrů vody u vybraných pramenů znázorněn na Obrázek 15, Obrázek 16, **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, Obrázek 18, Obrázek 19, Obrázek 20 a vydatnost pramenů je graficky znázorněna na Obrázek 21.



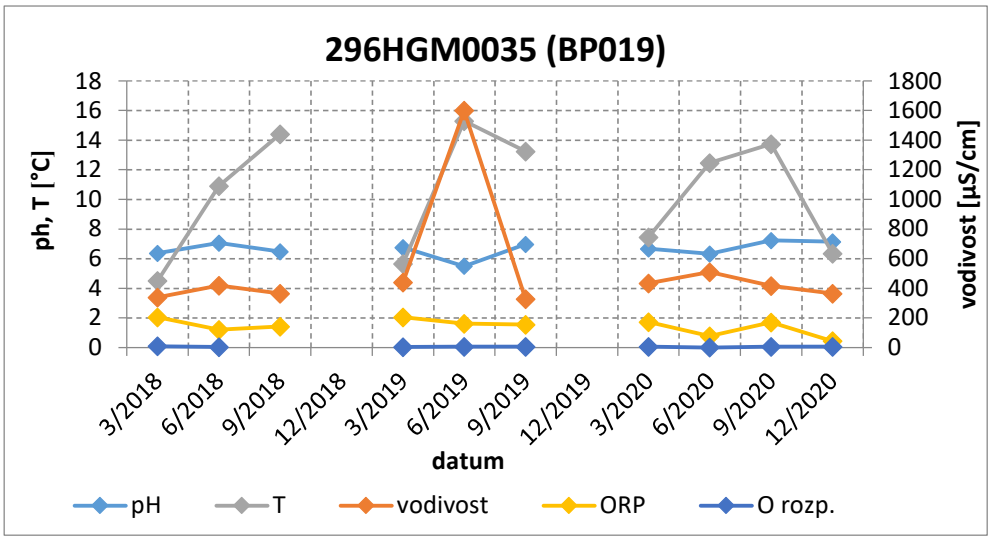
Obrázek 15 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0032 (BP001)



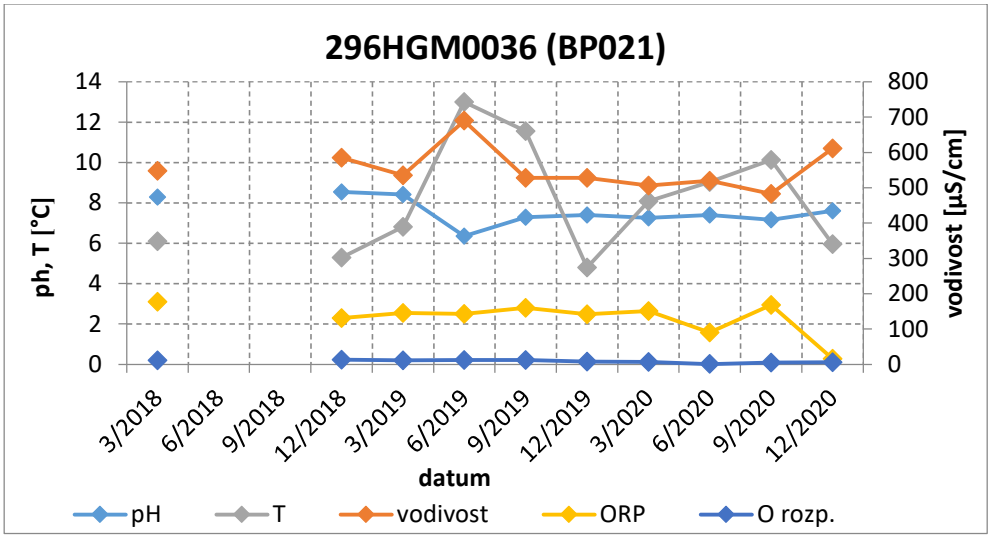
Obrázek 16 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0033 (BP005)



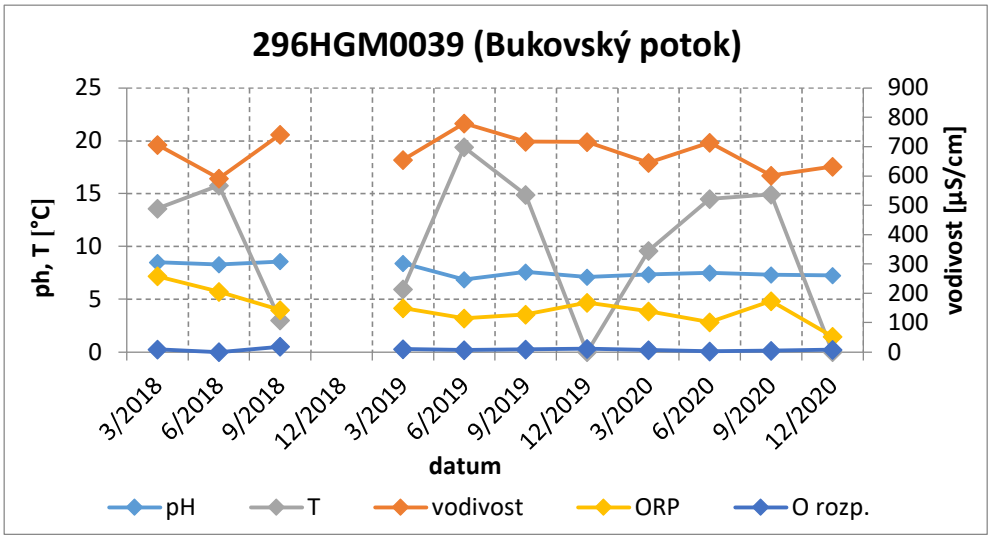
Obrázek 17 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0034 (BP008)



Obrázek 18 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0035 (BP019)

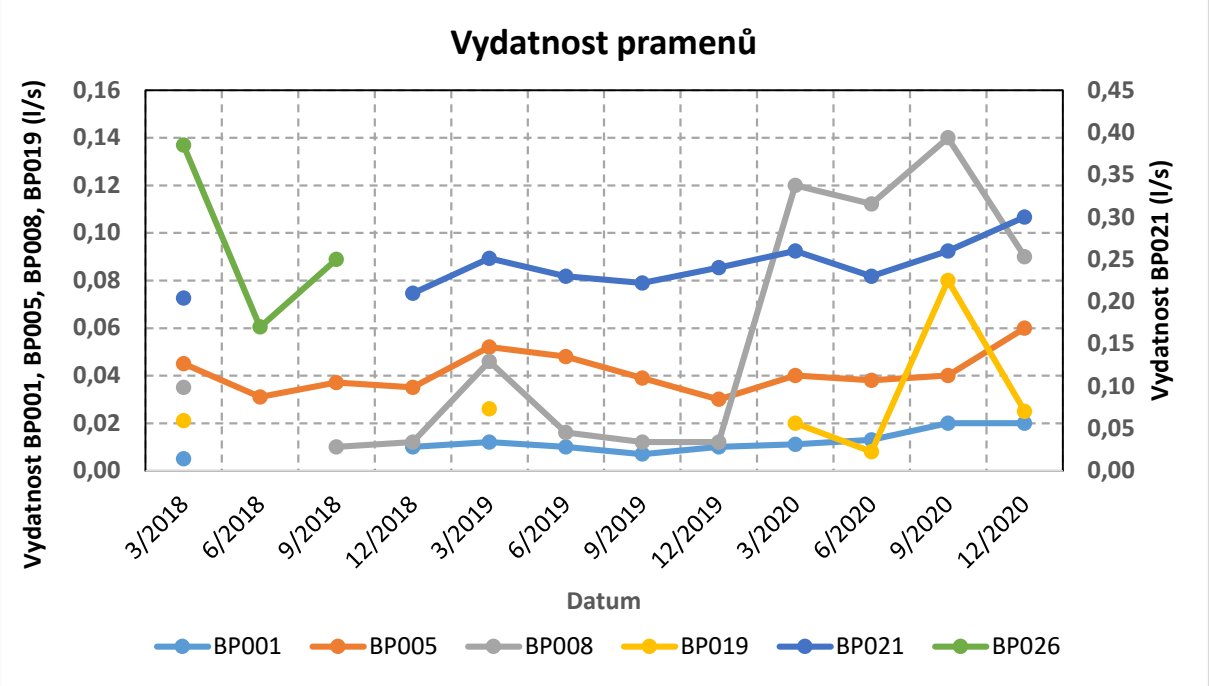


Obrázek 19 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0036 (BP021)



Obrázek 20 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0039 (Bukovský potok)

Časový vývoj vydatnosti monitorovaných pramenů znázorňuje Obrázek 21. 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. Vydatnost tohoto pramene je v čase relativně stabilní, v roce 2020 s mírným nárůstem vydatnosti. Časový průběh vydatnosti pramene 296HGM0033 (BP005) dobře koresponduje s vývojem výšky hladiny ve vrtech PV6 a PV8. Zvýšená vydatnost byla zaznamenána u pramene 296HGM0034 (BP008) jako projev intenzivnějších srážek během roku. Vydatnost pramenů je závislá na atmosférických srážkách. Velmi nízká až nulová vydatnost (stojatá voda, suchý pramen) se projevila zejména v letním velmi suchém období.



Obrázek 21 Vývoj vydatnosti pramenů v povrchové části lokality

4.2.2 Automaticky naměřená data

V rámci hydrogeologického monitoringu je 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. 2020 je graficky znázorněn na Obrázek 22.

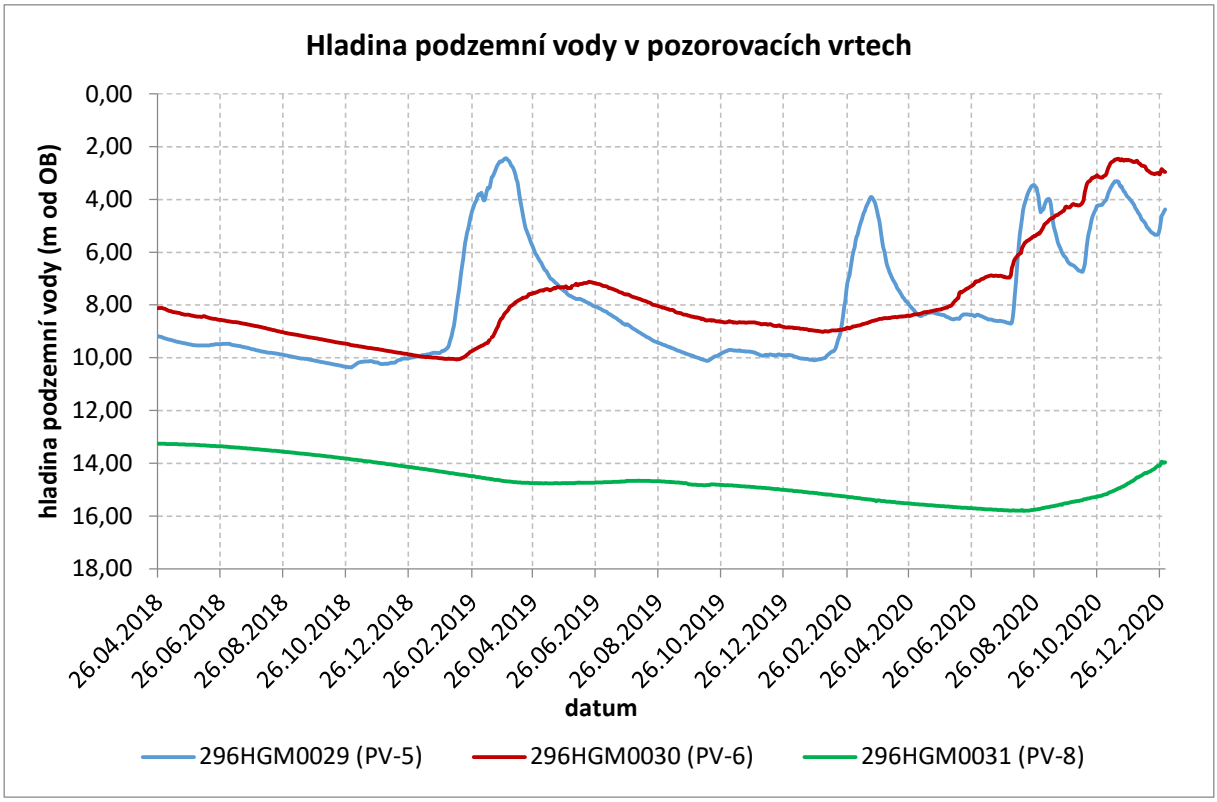
Ve vrtech PV-5 (296HGM0029), PV-6 (296HGM0030) a PV-8 (296HGM0031) bylo zahájeno měření v úplné formě ihned po instalaci měřicí techniky. Meteorologická stanice (296HGM0047) měřila základní veličiny od své instalace, po doplnění napájení 230 V (12/2018) byla zprovozněna zbývající čidla. Vodoměrná stanice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

Hladina podzemní vody ve vrtu PV-5 vykazovala od začátku měření klesající trend. Po počátečním klesajícím trendu hladina od poloviny června 2018 mírně narostla, ovšem od července 2018 opět došlo k poklesu hladiny z 9,47 m od odměrného bodu na 10,36 m od odměrného bodu. Od listopadu 2018 do února 2019 hladina mírně vzrostla (z 10,36 m na 9,69 m). Od počátku února 2019 se hladina ve vrtu PV-5 prudce zvýšila a 31. 3. 2019 dosáhla svého maxima (2,44 m od odměrného bodu). Poté docházelo k pozvolnému snížení hladiny podzemní vody až do 13. 10. 2019, kdy hladina dosáhla v roce 2019 svého minima (10,12 m od odměrného bodu). Od 13. 10. 2019 došlo opět k mírnému zvýšení hladiny podzemní vody, která oscilovala v rozmezí cca 9,70-9,90 m od odměrného bodu. V roce 2020 byl zaznamenán nejprve nárůst hladiny podzemní vody, kdy ov průběhu března 2020 hladina nastoupila na hodnotu 4,15 m od OB. Poté hladina podzemní vody až do začátku srpna 2020 klesala až na hodnotu 8,70 m od OB. Poté hladina podzemní vody stoupala až na hodnotu cca 3,35 m od OB, kdy v říjnu 2020 dosáhla v rámci roku 2020 svého maxima. Zvýšení hladiny bylo dáno srážkově bohatými měsíci září a říjen 2020. Vrt PV-5 postihuje

velmi mělkou část masivu s rychlou reakcí na lokálně zvýšené srážkové úhrny nebo tání sněhu.

Hladina podzemní vody ve vrtu PV-6 vykazuje od začátku roku 2020 rostoucí trend, kdy od začátku roku 2020 až do konce roku 2020 narůstala z 9,02 m od OB až na 2,45 m od OB. 16. 11. 2020 dosáhla svého maxima (2,45 m od odměrného bodu). Právě intenzivní srážky během jara, léta a podzimu 2020 měly za následek zvýšení hladiny ve vrtu PV-6.

Hladina podzemní vody ve vrtu PV-8 vykazuje v roce 2020 nejprve klesající trend pokračující z let minulých, nicméně od srpna 2020 hladina stoupala z důvodu intenzivních srážek z jara 2020. Maximálního stav hladiny podzemní vody byl zaznamenán 28. 12. 2020, a to 13,94 m od odměrného bodu. Minima bylo dosaženo 12. 8. 2020. Vrt PV-8 odpovídá režimu podzemních vod v puklinovém prostředí, odezva na srážky nebo tání sněhu není tak výrazná a nastává se zpožděním.



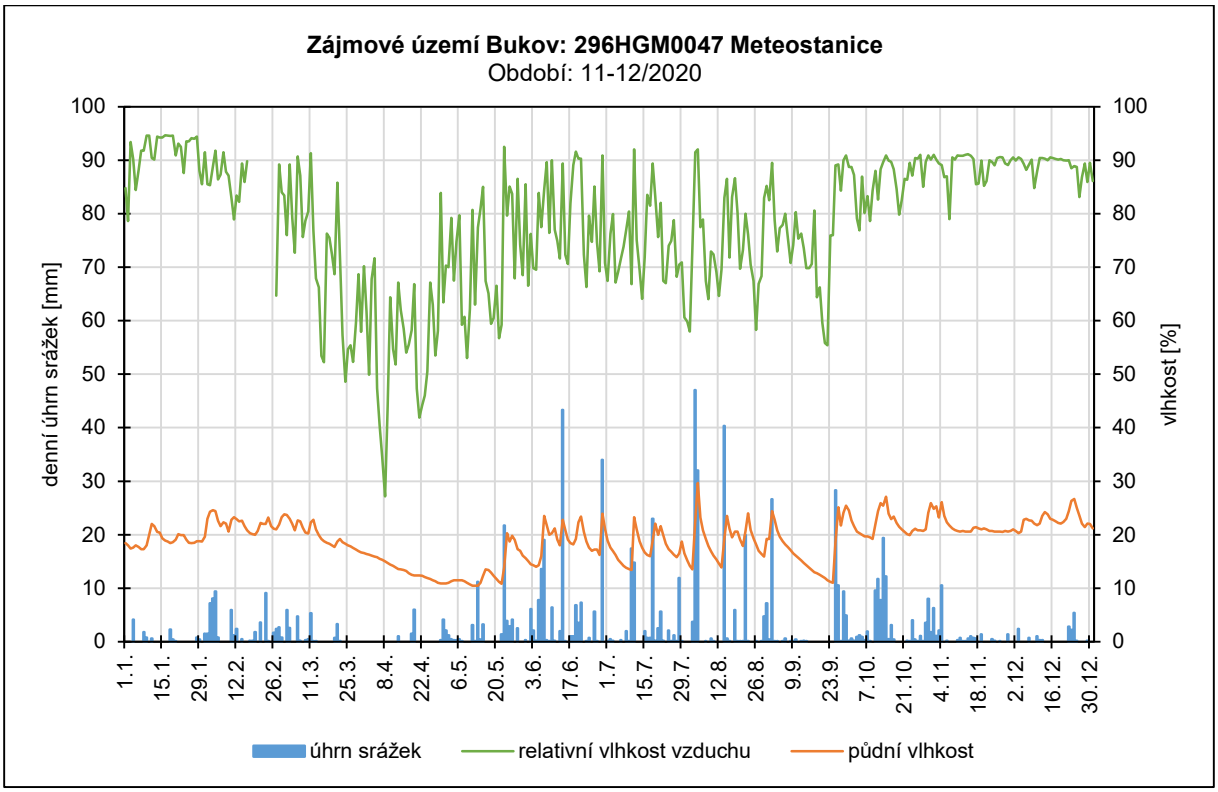
Obrázek 22 Kontinuální měření hladiny podzemní vody ve vrtech

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 záchytnou plochou 500 cm^2. 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]
- Přízemní teplota 5 cm nad povrchem [°C]
- Teplota ovzduší 2 m nad povrchem [°C]

- Relativní vlhkost vzduchu [%]
- Půdní vlhkost [%]
- Srážky dešťové [mm]
- Rychlost větru [$m \cdot s^{-1}$]
- Směr větru [°]
- Sluneční svit/globální radiace [$W \cdot m^{-2}$]

Ukázku měřených dat znázorňuje Obrázek 23. Detailní výsledky naměřených dat včetně grafů jsou součástí přílohy č. 4 zprávy o hydrogeologickém a meteorologickém monitoringu prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov – zpracování automatizovaných měření za rok 2020 (Kocman 2021).

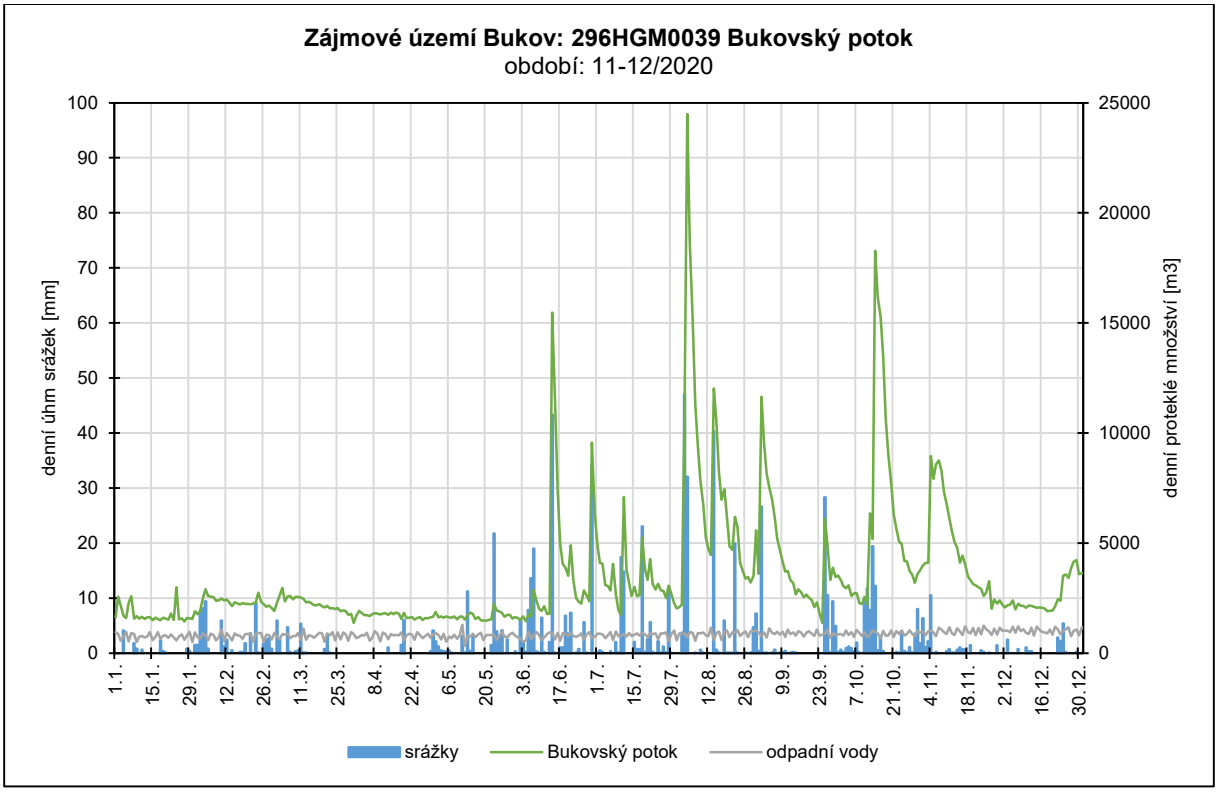


Obrázek 23 Ukázka dat z meteostanice 11-12/2020

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 bodu. 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 [$m^3 \cdot s^{-1}$, m^3]

Detailní výsledky naměřených dat včetně grafů jsou součástí přílohy č. 4 zprávy o hydrogeologickém a meteorologickém monitoringu prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov – zpracování automatizovaných měření za rok 2020 (Kocman 2021).



Obrázek 24 Ukázka průběhu průtoku Bukovského potoka v období 11-12/2020

5 Monitoring v prostoru PVP Bukov

5.1 Hydrochemický monitoring PVP Bukov

V rámci monitoringu chemického složení vod v prostoru PVP Bukov bylo v roce 2020 s četností 1× za čtvrt roku monitorováno celkem 12 objektů (viz Tabulka 8, Obrázek 25).

Všechny vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

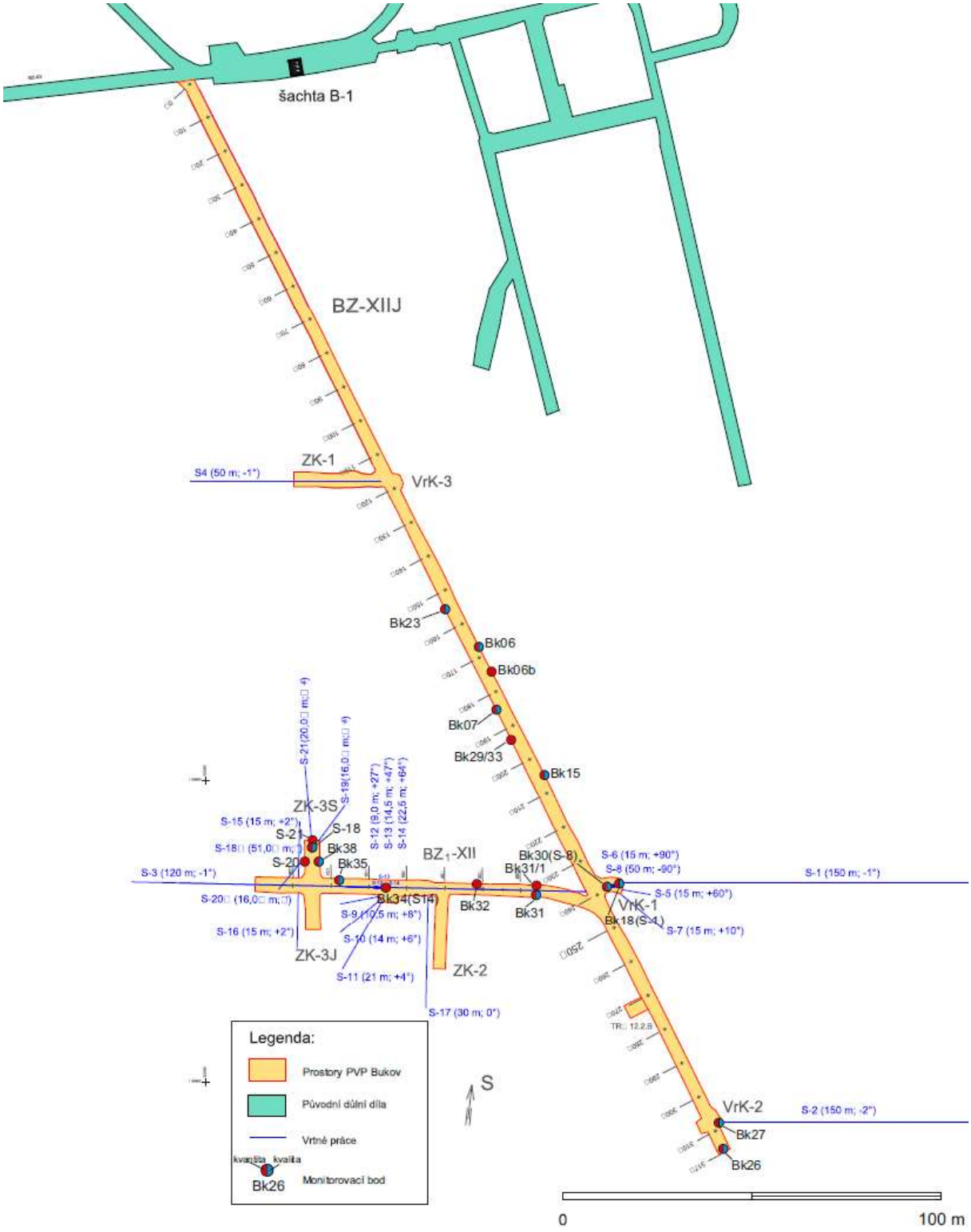
- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO_3, NO_3, SO_4, SiO_2, NH_4, pH, vodivost (4× ročně)
- **Stopové prvky:** Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe (4× ročně)
- **Radioaktivní látky:** celk. objemová aktivita alfa, celk. objemová aktivita beta, U, Rn (1x ročně)

Ve druhém čtvrtletí roku 2018 (od června 2018) byly do souboru monitorovaných objektů zařazeny vrty S22, S23, S24, S25 a S26 na 12. patře dolu Rožná jámy Bukov, ze kterých byly odebrány vzorky vody, které byly podrobeny analýzám pro zjištění chemického složení. Po vyhodnocení chemického složení byl následně zredukován počet objektů a do monitoringu byly trvale zařazeny objekty S23 a S25, které byly v roce 2019 a v roce 2020 čtvrtletně monitorované spolu s objekty v prostoru PVP Bukov. Situace vrtů S23 a S25 je zařazena jako příloha č. 2b

Chemické složení podzemních vod přitékajících do prostoru PVP Bukov je v následujícím textu prezentováno na příkladu vybraných přítoků, které jsou v rámci monitorovacího programu pravidelně vzorkovány.

Tabulka 8 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



Obrázek 25 Schématická situace prostoru PVP Bukov (12. patro)

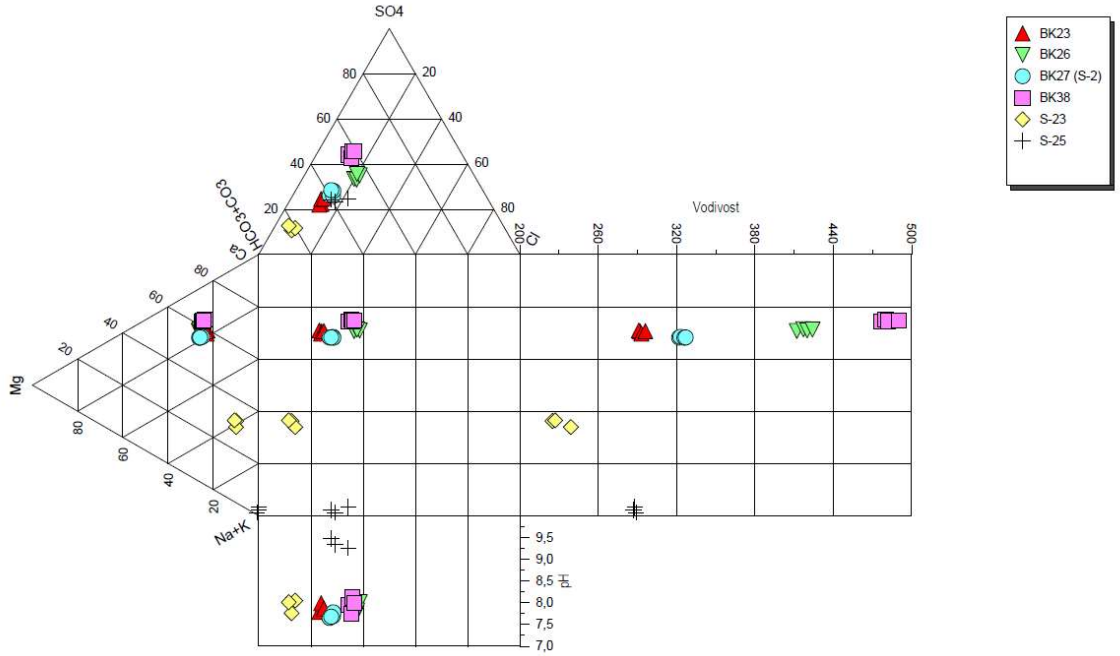
5.1.1 Určení typu vody

Určení typu vody vychází z převládajících iontů vyjádřených jako součin molární koncentrace iontu a jeho náboje – $\mathbf{c_i z_i}$, 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 zahnut součin jeho molární koncentrace a náboje (2×), shodně i u vícemocných iontů. Při výpočtu se uvažují kationty jako 100 % a anionty 100 %. Při klasifikaci prostých vod se do názvu (vzorce) v sestupném pořadí uvádí ionty do 25 cize %, 20 cize % nebo 10 cize % (teoreticky až čtyři ionty) pro kationty i anionty. Přehled hydrochemických typů vod je uveden v Tabulka 9. Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu (Obrázek 26, Obrázek 27).

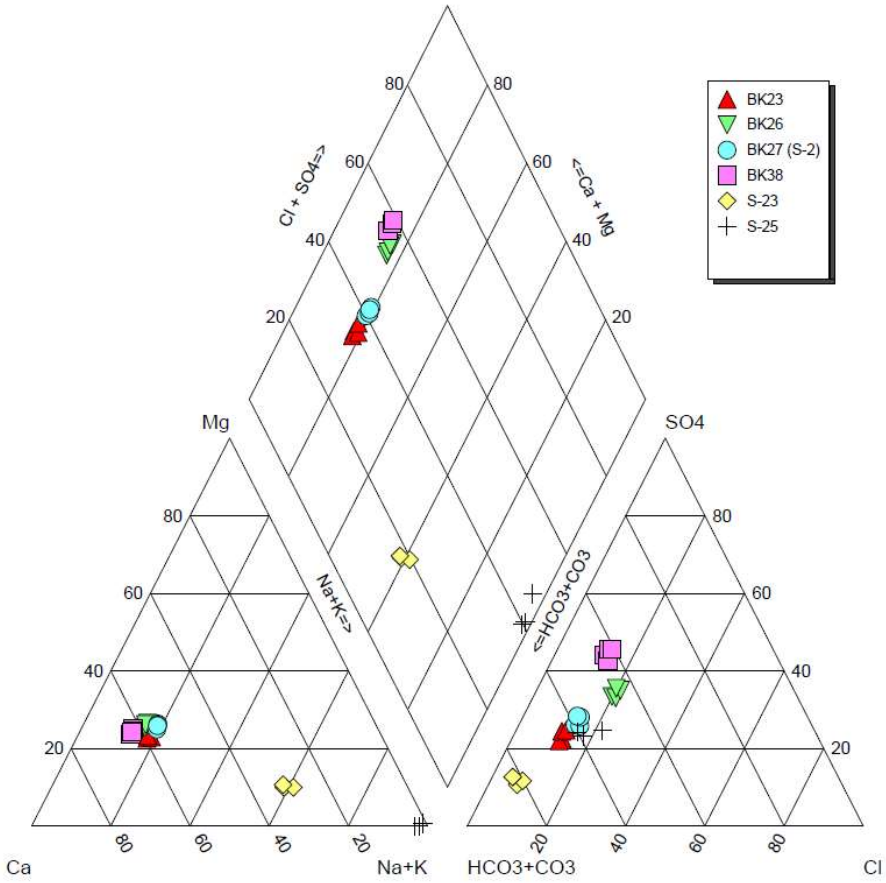
U vod přitékajících do prostoru PVP Bukov převažuje chemický typ Ca-Mg-HCO_3-SO_4 indikující hluboký oběh podzemních vod. Hydrogenuhličitany (HCO_3^-) jsou běžnou makrokomponentou přírodních vod a u nepříliš mineralizovaných vod nad ostatními přítomnými anionty většinou převládají. Avšak se vzrůstající celkovou mineralizací vod se z hlediska kvantitativního zastoupení 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).

Tabulka 9 Přehled hydrochemických typů vod z vybraných přítoků

objekt	typ vody	typ vody	typ vody	typ vody
	3/2020	6/2020	9/2020	12/2020
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-HCO_3-SO_4	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-HCO_3-SO_4	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 26 Durovův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků



Obrázek 27 Piperův diagram vývoje chemického složení vybraných přítoků

5.1.2 Kvalitativní parametry vody

Přítok 296HGM0002 (Bk23) má poměrně stabilní chemické složení (Obrázek 28). Rozdíly v obsazích hlavních iontů se v průběhu monitoringu měnily minimálně, obsahy jednotlivých iontů v průběhu času jsou stabilní nebo jen velmi mírně narůstají. Tento trend pokračoval i po většinu roku 2020, pouze v prosinci 2020 byl zaznamenán pokles Ca, SO_4, a Cl a naproti tomu nárůst obsahu Na. Výtok je částečně vázán na systém puklin poblíž počvy (Bukovská et al. 2017). Jedná se o přítok s malou vydatností (v roce 2020 se ručně měřená vydatnost pohybovala od 0,001 do 0,004 l/s).

Přítok 296HGM0003 (Bk06) vykazuje od začátku monitoringu relativně mírný nárůst obsahů hlavních iontů s občasnými výkyvy (Obrázek 29). Podobný trend byl zaznamenán i během monitoringu v roce 2020. Obsah Na byl relativně stálý (11,60-12,90 mg/l), stejně tomu bylo i v případě Cl^- (22-25 mg/l) a Ca (51-54 mg/l). Naopak obsah SO_4 mrně narůstal (61,70-67,80 mg/l), stejně tomu bylo i v případě HCO_3^- (117-125 mg/l). Ručně měřená vydatnost se během roku 2020 pohybovala od 0,07 do 0,08 l/s.

Přítok 296HGM0005 (Bk07) vykazoval během roku 2020 mírný nárůst obsahů hlavních iontů bez výrazných výkyvů (Obrázek 30). Přítok má velmi nízkou vydatnost, která se v roce 2020 pohybovala od 0,008 do 0,01 l/s.

Přítok 286HGM0007 (Bk15) vykazoval během roku 2020 relativně stabilní chemické složení s mírným nárůstem obsahů hlavních iontů, stejně jako v předchozích letech (Obrázek 31). Obsahy jednotlivých iontů i výkyvy jsou podobné, jako u přítoku 296HGM0005 (Bk07). Přítok má velmi slabou vydatnost, která se během roku 2020 pohybovala okolo 0,001 l/s a spolu s přítokem 296HGM005 (Bk07) patří k nejméně vydatným přítokům.

Přítok 296HGM0008 (Bk18 (S-1)) vykazuje od začátku monitoringu poměrně stabilní chemické složení s postupným mírným nárůstem hlavních iontů. V roce 2020 je chemické složení stálé s minimálními výkyvy v řádu prvních jednotek mg/l (Obrázek 32).

Přítok 296HGM0013 (Bk35) vykazuje od začátku monitoringu mírně rostoucí trend, který se s postupem času ustálil a chemické složení od roku 2018 je relativně stabilní (Obrázek 34). od začátku monitoringu dochází k nárůstu síranů. Ostatní ionty vykazují setrvávající trend s mírnými výkyvy do 5 mg/l, u HCO_3 byl v prosinci 2020 zaznamenán poklesový trend ze 151 mg/l na 121 mg/l. Jedná se o přítok s nízkou, ale stabilní vydatností 0,005 l/s.

Přítok 296HGM0017 (Bk38) vykazoval od začátku monitoringu rostoucí trend (Obrázek 36). Během monitoringu v roce 2020 pokračoval rostoucí trend obsahu SO_4, naopak koncentrace HCO_3^- vykazovala klesající trend a v prosinci 2020 byl zaznamenán výraznější pokles ze 154 na 93,20 mg/l. Obsahy ostatních iontů (Ca, Na, Cl) vykazovaly setrvalý stav s mírnými výkyvy. Ručně měřená vydatnost byla v roce 2020 konstantně 0,001 l/s.

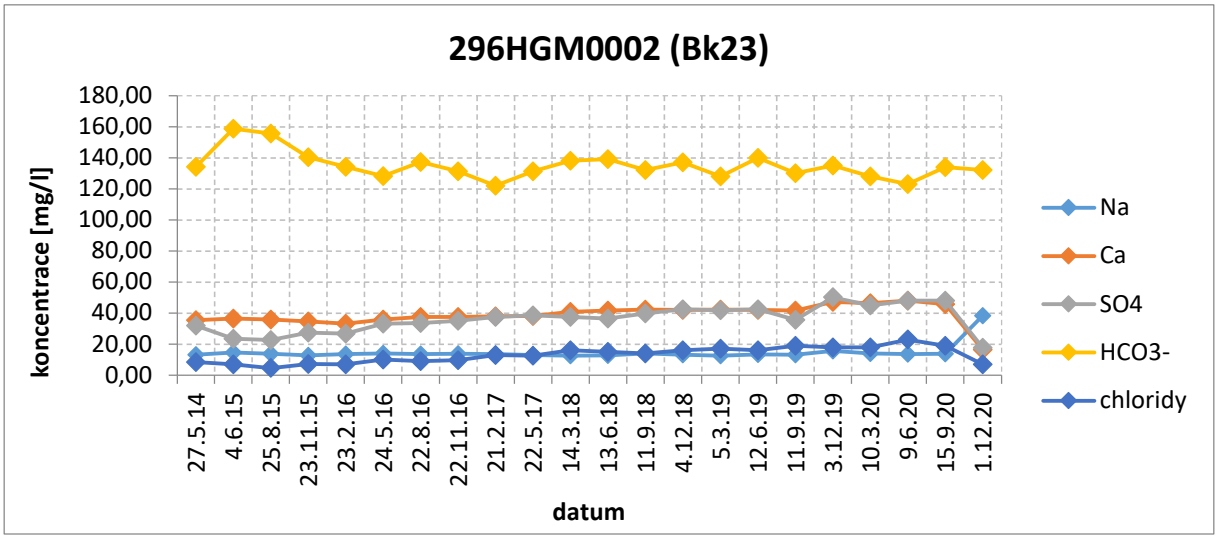
Přítok 296HGM0018 (Bk26), viz Obrázek 37, vykazoval od začátku monitoringu rostoucí trend u síranů, chloridů a vápníku. Naopak obsahy hydrogenuhličitanů vykazovaly od začátku monitoringu klesající trend, který se s postupem času ustálil a během monitoringu v letech 2018 a 2019 byly zaznamenány mírné výkyvy obsahů hlavních iontů do 10 mg/l. V roce 2020 byly obsahy hlavních iontů stabilní, v případě SO_4 pokračoval mírně rostoucí trend. Jedná se o přítok s poměrně stabilní vydatností. Ručně měřená vydatnost v roce 2020 se pohybovala od 0,48 do 0,58 l/s.

Přítok 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) vykazuje od začátku monitoringu poměrně stabilní chemické složení s občasným kolísáním u HCO_3^- a SO_4^- (Obrázek 38). Během monitoringu

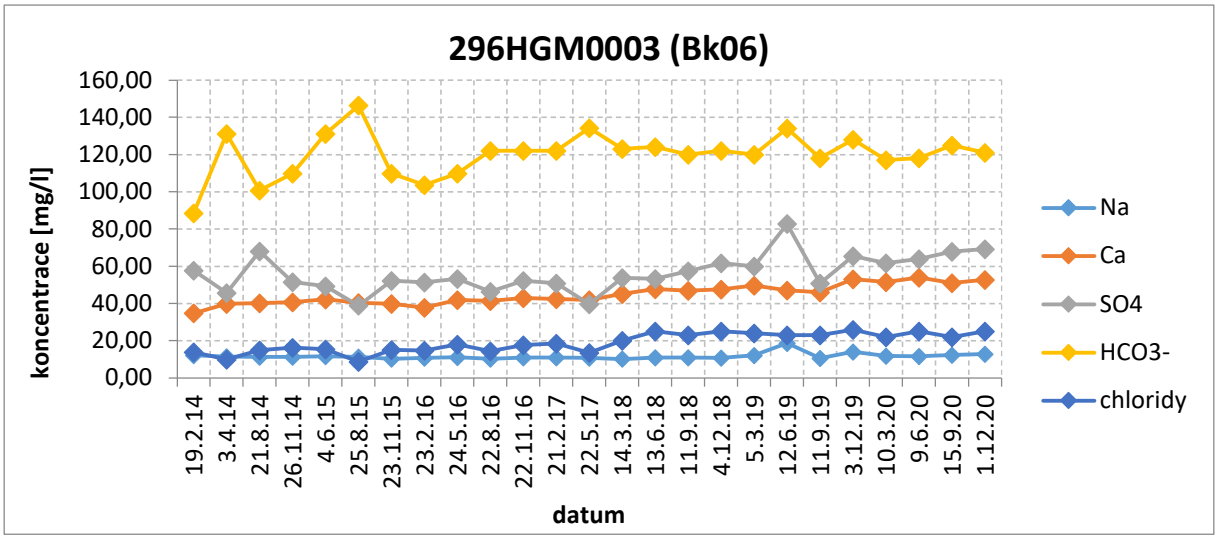
v roce 2020 vykazovali obsahy hlavních iontů konstantní chemické složení. Jedná se o přítok s poměrně stabilní vydatností okolo 0,87-0,91 l/s.

Přítok 296HGM0042 (S23) vykazuje od začátku monitoringu stabilní chemické složení s výraznou převahou HCO_3^- nad ostatními ionty (Obrázek 39). Nicméně v prosinci 2020 byl zaznamenán nárůst obsahu Ca, SO_4 a Cl, a naopak pokles obsahu Na a mírně i HCO_3^-. Jedná se o přítok s malou, ale stabilní vydatností okolo 0,02 l/s (20 ml/s).

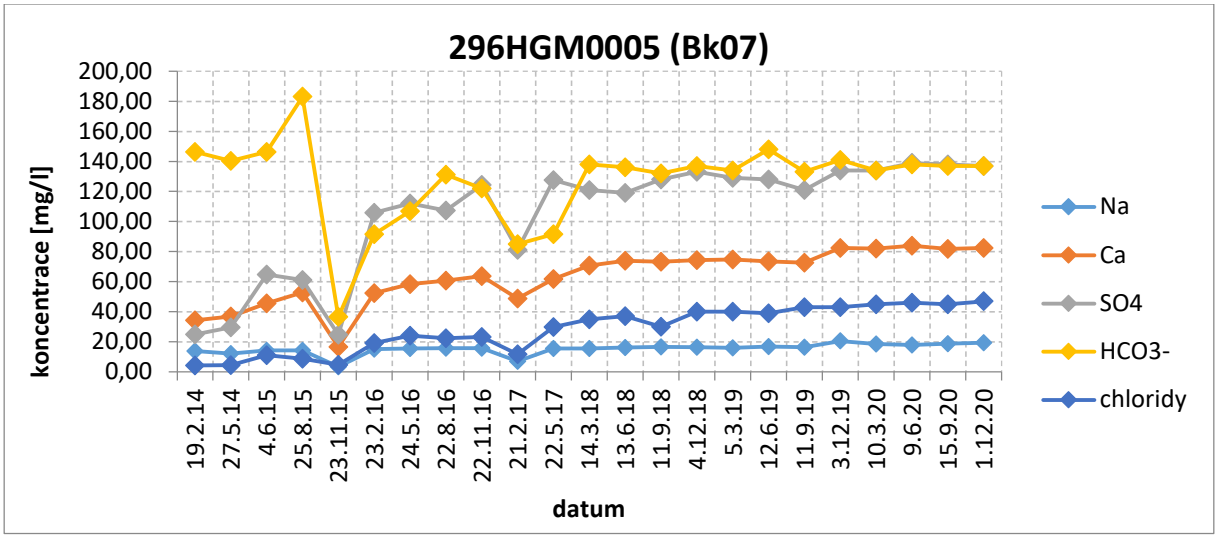
Přítok 296HGM0044 (S25) vykazuje ve většině případů od začátku monitoringu stabilní chemické složení s minimálními výkyvy (Obrázek 40). V případě SO_4^- pokračuje mírně rostoucí trend. Hydrogenuhličitany (HCO_3^-) vykazovaly výkyvy. V březnu a září 2020 byly zjištěny obsahy 111, resp. 119 mg/l, v červnu a prosinci naopak 64,40, resp. 79,90 mg/l. Jedná se o přítok s malou, ale poměrně stabilní vydatností. V roce 2020 byla ručně měřená vydatnost zaznamenána od 0,009 do 0,013 l/s.



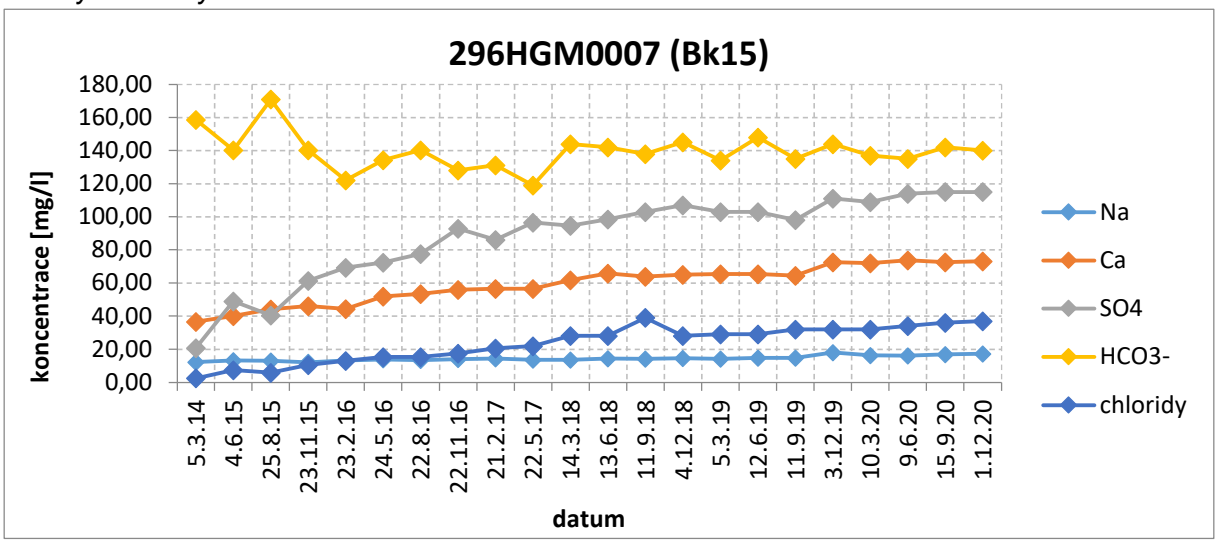
Obrázek 28 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0002 (Bk23) – vybrané anionty a kationty



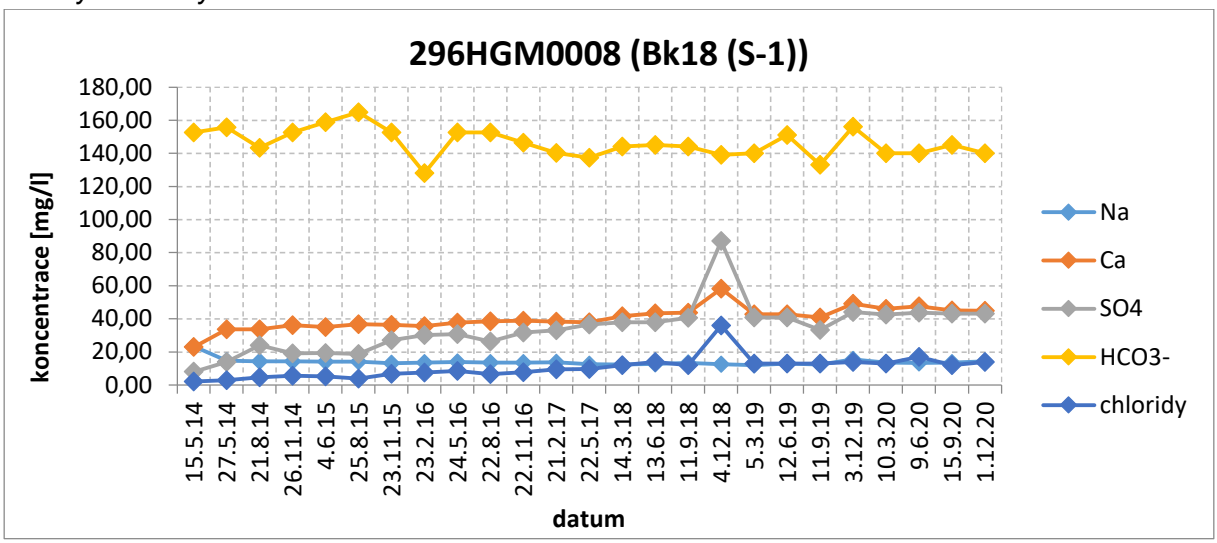
Obrázek 29 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0003 (Bk06) – vybrané anionty a kationty



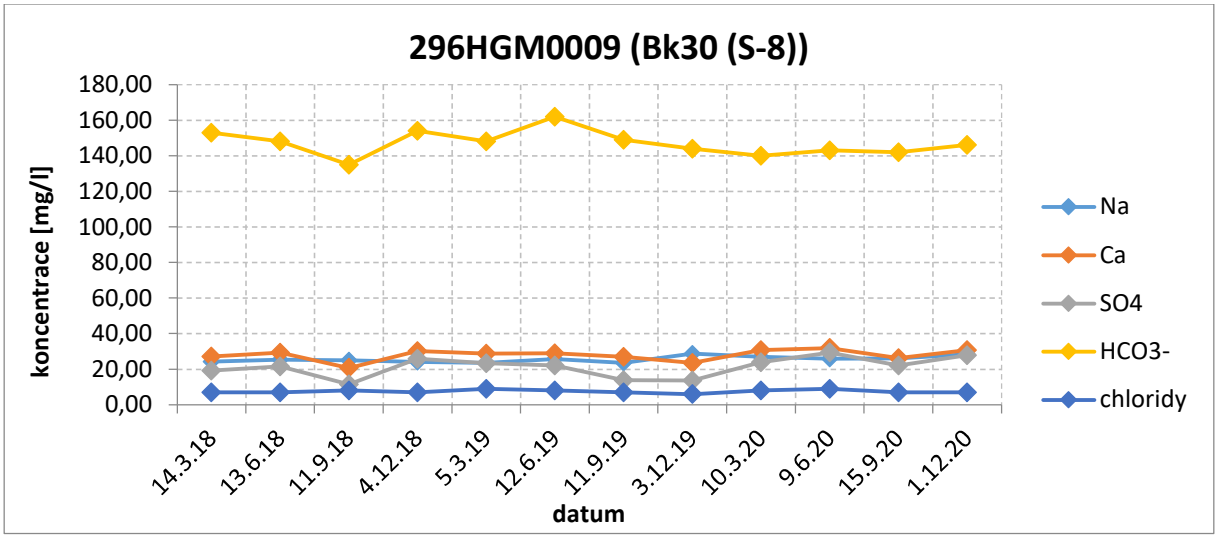
Obrázek 30 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0005 (Bk07) – vybrané anionty a kationty



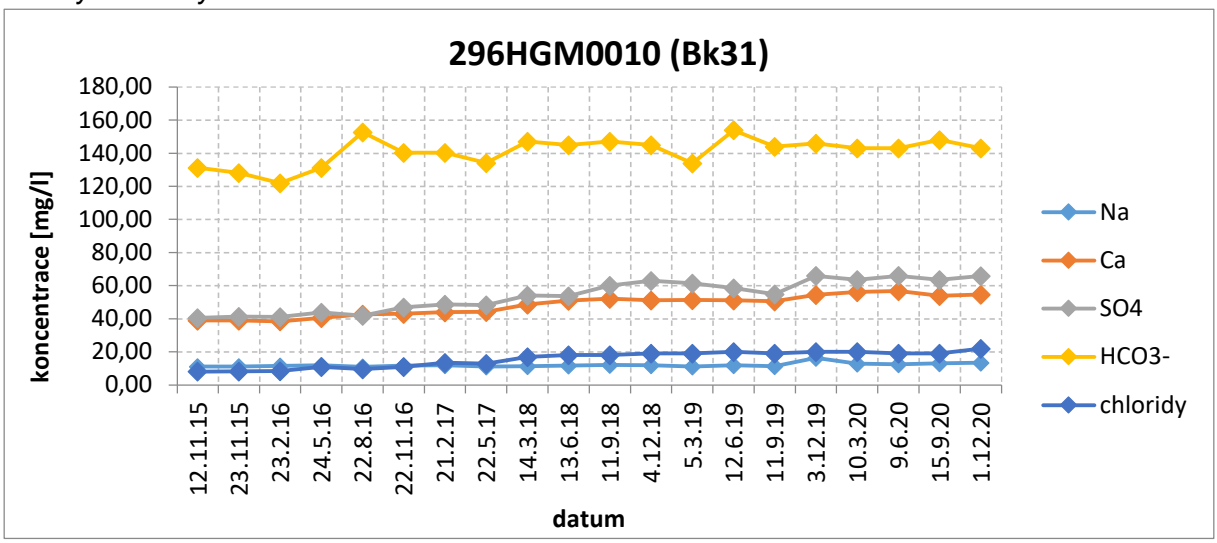
Obrázek 31 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0007 (Bk15) – vybrané anionty a kationty



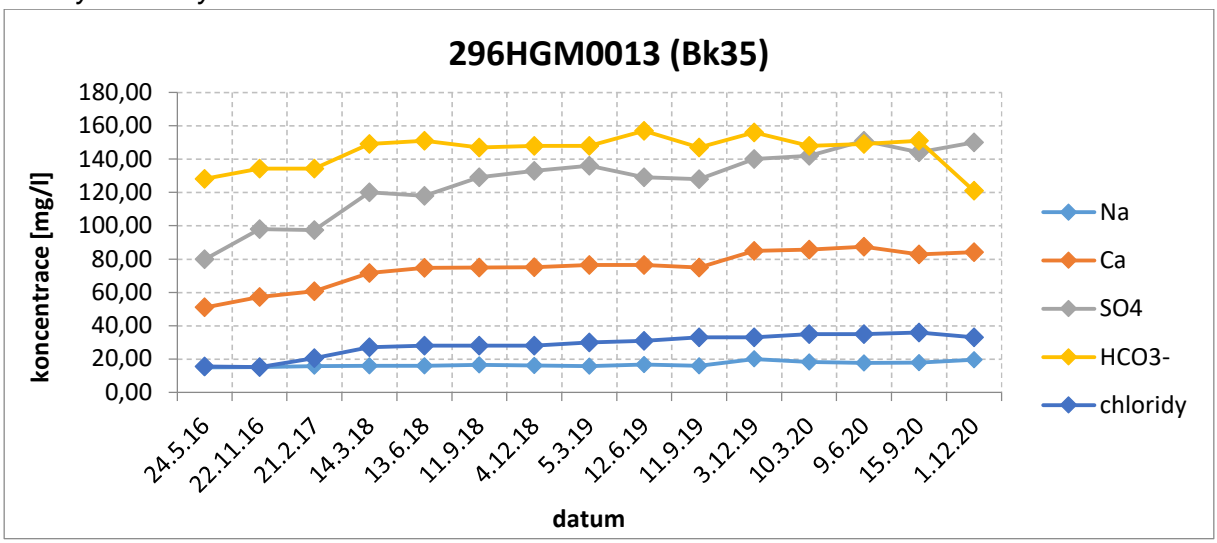
Obrázek 32 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0008 (Bk18 (S-1)) – vybrané anionty a kationty



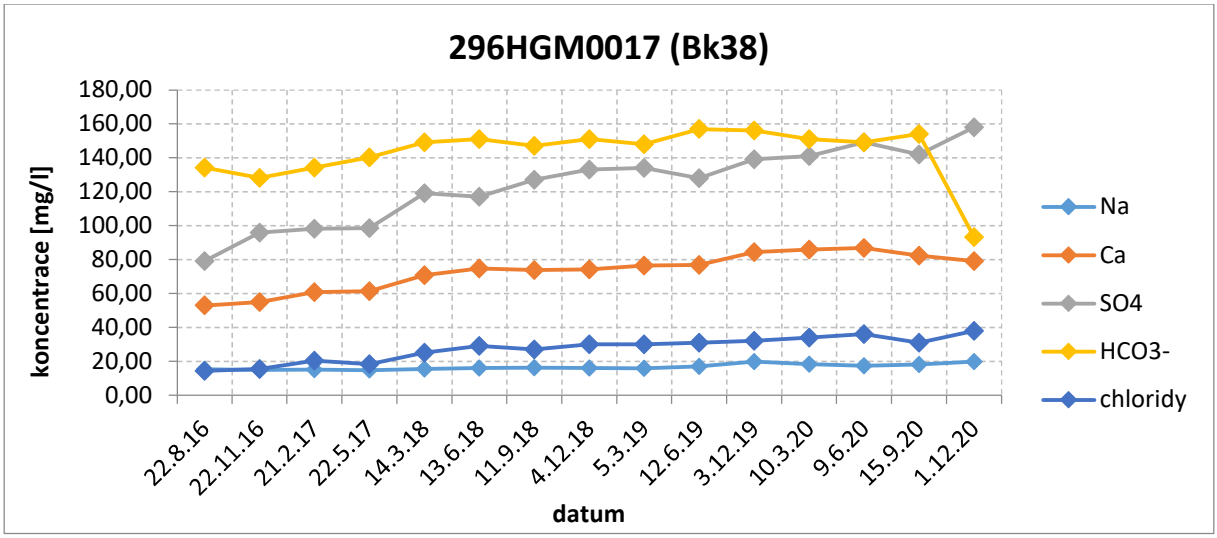
Obrázek 33 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0009 (Bk30 (S-8)) – vybrané anionty a kationty



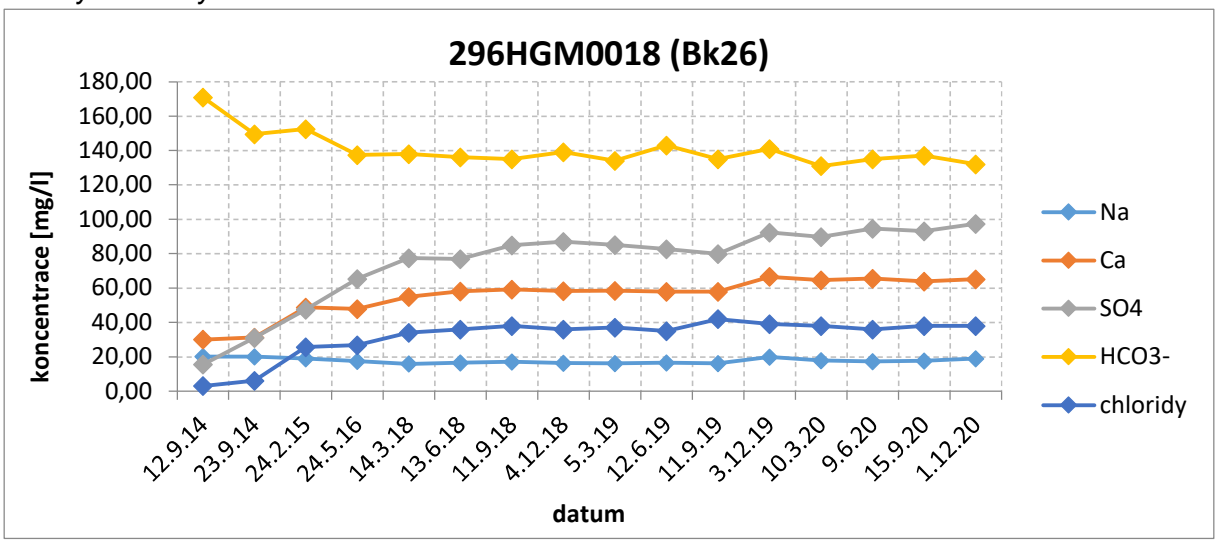
Obrázek 34 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0010 (Bk31) – vybrané anionty a kationty



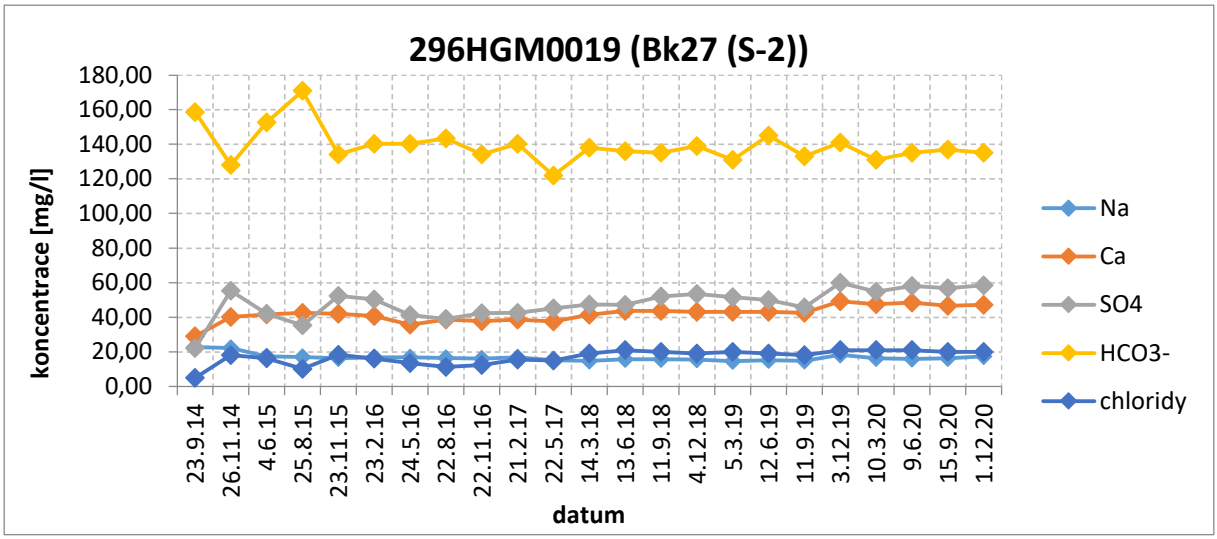
Obrázek 35 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0013 (Bk35) – vybrané anionty a kationty



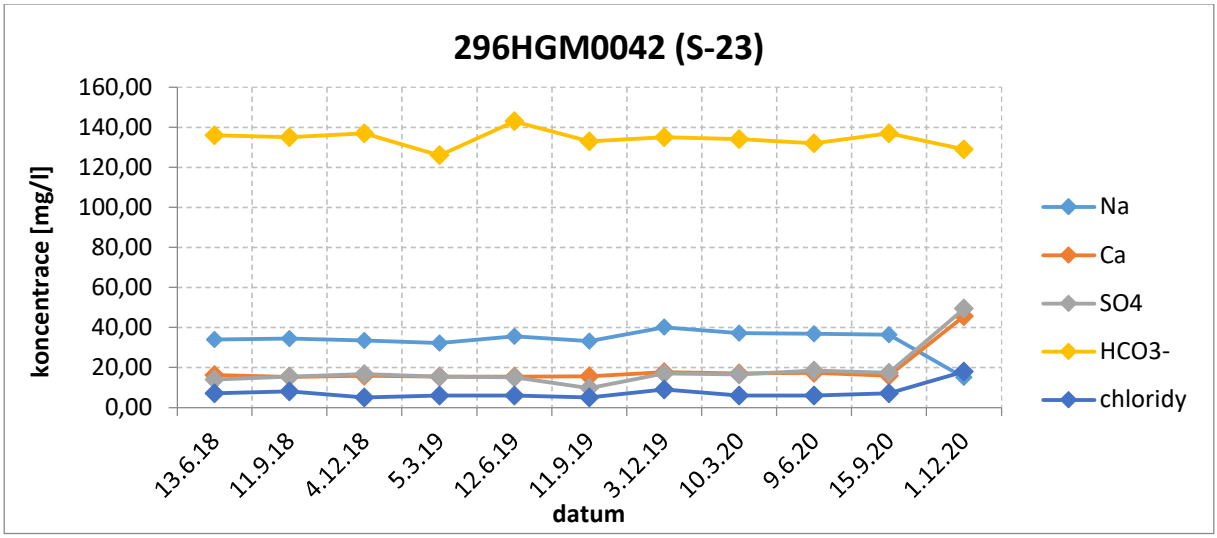
Obrázek 36 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0017 (Bk38) – vybrané anionty a kationty



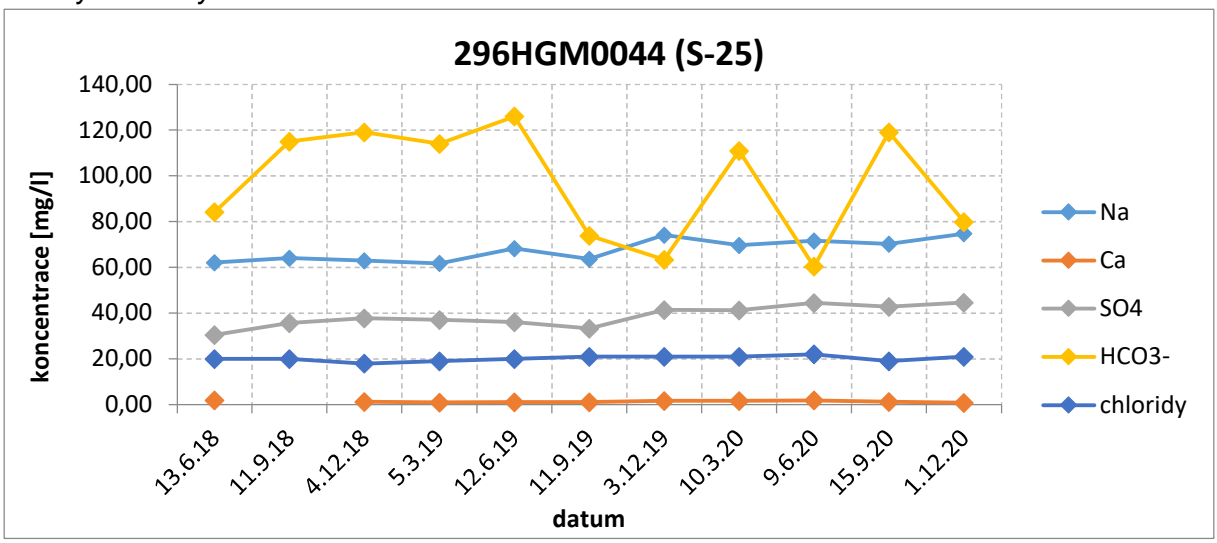
Obrázek 37 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0018 (Bk26) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 38 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 39 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0042 (S-23) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 40 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0044 (S-25) – vybrané anionty a kationty

5.1.3 Stopové kovy

Koncentrace **arsenu, olova** a **hliníku** byly u téměř všech vzorků stanoveny pod mezí detekce, která je u arsenu a olova <10 µg/l a u hliníku <50 µg/l. Přítomnost **olova** byla zjištěna pouze ze vzorku vody u přítoku 296HGM0008 (Bk18 (S-1)) z června 2020, a to v koncentraci 10,50 µg/l a dále ve vzorku vody u přítoku 296HGM0019 (Bk27 (S-2)), a to v koncentraci 10,20 µg/l. Koncentrace **zinku** byly zjištěny ve vzorcích z přítoků 296HGM0005 (Bk07), 296HGM0007 (Bk15), 296HGM0013 (Bk35) a 296HGM0017 (Bk38). Nejvyšší koncentrace (113-176 µg/l) byly zjištěny u přítoku 296HGM0017 (Bk38), u ostatních přítoků byly zjištěny koncentrace od 25 do 63 µg/l. Nejrozšířenějšími zinkovými rudami jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$). Zinek je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů. V prostých podzemních a povrchových vodách bývá zinek obvykle přítomen v koncentračním rozmezí asi od 5 do 200 µg/l. **Mangan** se ve většině případů vyskytuje v koncentracích <0,05 mg/l. U přítoku 296HGM0008 (Bk018 (S-1)) byla koncentrace manganu zjištěna ve všech případech v hodnotách od 0,05-0,06 mg/l. U přítoku 296HGM0019 (Bk27 (S-2)) byla koncentrace manganu 0,06-0,07 mg/l. **Železo** se ve většině případů vyskytuje

v koncentracích <0,1 mg/l. U přítoku 296HGM0009 (Bk30 (S-8)) bylo železo stanoveno ve vzorcích vody z března a června 2020 (0,25 a 0,19 mg/l). **Baryum** se v drtivé většině vzorků vyskytuje v koncentracích od 26 (S-18) do 225 µg/l (Bk26). **Stroncium** ve většině případů dominuje nad baryem. Koncentrace stroncia se převážně pohybují do 309 µg/l. Stroncium není limitováno v žádném druhu vod. Výjimkou z relativně netoxického přírodního stroncia je radionuklid ^{90}Sr (Pitter 1999). **Molybden** se ve vodách stanovuje jen výjimečně. Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace cca 5 µg/l. V přírodě se molybden vyskytuje např. jako minerál molybdenit (MoS_2). Antropogenní původ molybdenu je z odpadů z hutních závodů, z odpadních vod z povrchové úpravy kovů nebo mohou být součástí některých maziv (Pitter 1999). Ve všech případech byl molybden stanoven pod mezí detekce (20 µg/l) Koncentrace **lithia** byly ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <0,1 mg/l. Obsahy **rubidia** se v roce 2020 pohybovaly v koncentracích od 1,19 do 3,90 µg/l.

Tabelární přehled výsledků analytických stanovení jsou součástí elektronické přílohy č. 1, laboratorní protokoly jsou součástí elektronické přílohy č. 2.

5.1.4 Radiologie

Z přítoků podzemní vody z prostoru PVP Bukov byly odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody (viz Tabulka 10, Tabulka 11, Tabulka 12, Tabulka 13 a Tabulka 14) stanovením celkové objemové aktivity α, celkové objemové aktivity β, radonu a uranu. Analýzy provedla laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o. Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jsou 0,2 $Bq.l^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu α a 0,5 $Bq.^{l-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu β. Limitní hodnoty celkové objemové aktivity alfa byly překročeny ve vzorcích vody z přítoku 296HGM0003 (Bk06) z roku 2018, z přítoku 296HGM0002 (Bk23) z roku 2019 a z přítoku 296HGM0018 (Bk26) z roku 2018 i 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. Uran se v pěti vzorcích vody pohybuje v hodnotách od 0,17 do 8,95 µg/l, v dalších pěti vzorcích se jeho koncentrace nacházela pod mezí detekce. Hodnoty uranu nepřekračují mezní hodnotu 15 µg/l stanovenou vyhláškou 252/2004 Sb.

Tabulka 10 Stanovení radioaktivity podzemní vody

PVP BUKOV	jednotka	Bk23	Bk23	Bk23	Bk06	Bk06	Bk06	Bk07	Bk07	Bk07	limit 422/2016 Sb.
		9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	0,16	**0,32**	0,05	**0,22**	0,13	0,08	0,19	0,11	<0,04	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	<0,10	0,12	0,16	0,10	0,13	0,13	0,10	0,12	0,17	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	22,80	16,80	29,70	17,50	10,70	<7,10	-	7,30	<7,10	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	2,03	1,63	1,58	2,48	1,80	1,86	3,08	2,59	2,54	**15***

Tabulka 11 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 11)

PVP BUKOV	jednotka	Bk15	Bk15	Bk15	Bk18 (S-1)	Bk18 (S-1)	Bk18 (S-1)	Bk27 (S-2)	Bk27 (S-2)	Bk27 (S-2)	limit 422/2016 Sb.
		9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	0,05	0,07	<0,04	0,05	<0,04	<0,04	0,11	0,18	<0,04	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	0,12	0,16	0,22	<0,10	0,11	0,13	<0,10	0,12	0,24	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	-	<5,0	<7,00	3,70	48,60	66,7	**184,0**	**110,0**	**108,0**	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	<1	0,36	0,41	8,95	0,21	0,26	<1	8,49	0,62	**15***

Tabulka 12 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 12)

PVP BUKOV	jednotka	Bk26	Bk26	Bk26	Bk31	Bk31	Bk31	Bk35	Bk35	Bk35	limit 422/2016 Sb.
		9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	**0,30**	**0,22**	0,11	0,12	0,18	<0,04	0,07	**0,62**	<0,05	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	<0,10	0,13	0,15	<0,10	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	3,70	<5,0	<8,10	2,40	<5,0	<8,10	-	<5,0	<8,2	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	8,95	8,36	8,9	<1	0,72	0,72	<1	0,72	0,95	**15***

*Limit Vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Tabulka 13 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 13)

PVP BUKOV	jednotka	Bk38	Bk38	Bk30(S-8)	Bk30(S-8)	S-18	S-18	limit 422/2016 Sb.
		9/2019	9/2020	9/2019	9/2020	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	0,07	<0,04	0,06	<0,04	<0,04	<0,04	0,20
celková objemová aktivita beta	Bq/l	<0,10	0,18	0,24	0,13	0,11	0,18	0,50
Radon (Rn 222)	Bq/l	-	<8,2	52	27,9	29,00	27,70	100
Uran rozpuštěný	µg/l	<1	0,72	0,35	<0,15	0,17	0,21	15*

Tabulka 14 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračování tabulky 14)

PVP BUKOV	jednotka	S23	S23	S25	S25	limit 422/2016 Sb.
		9/2019	9/2020	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	0,04	<0,04	0,24	<0,04	0,20
celková objemová aktivita beta	Bq/l	<0,10	<0,10	<0,10	0,18	0,50
Radon (Rn 222)	Bq/l	30,50	48,8	52,60	87,2	100
Uran rozpuštěný	µg/l	0,43	0,40	<0,15	<0,15	15*

*Limit Vyhlášky č. 252/2004 Sb.

5.2 Hydrogeologický monitoring PVP Bukov – režimní měření

5.2.1 Přímá měření

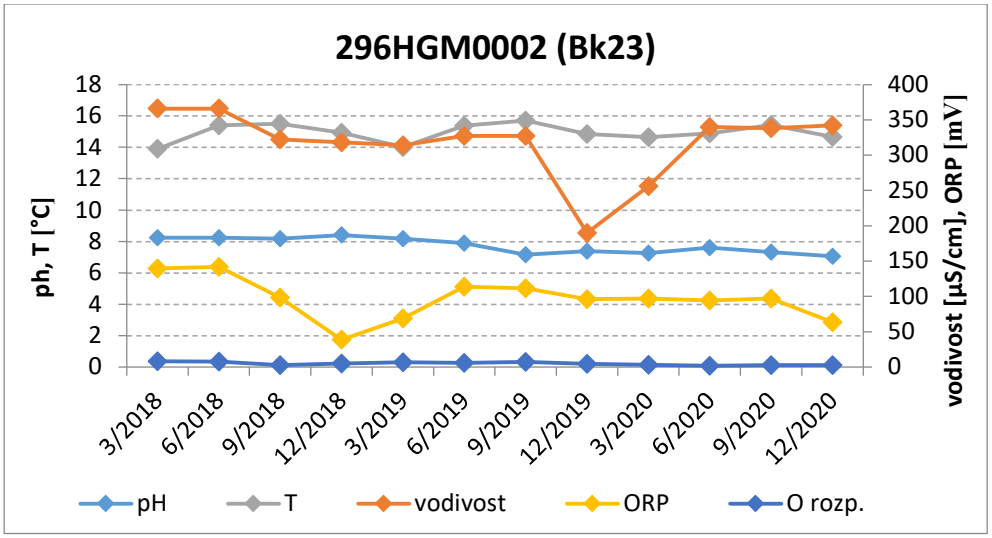
Podzemní vody v prostoru PVP Bukov mají ve většině případů neutrální až mírně zásadité pH (manuálně naměřené hodnoty pH se u většiny přítoků pohybují od 7 do 8,2). O něco vyšší hodnoty pH (7,95-8,58), oproti přítokům v prostoru PVP, byly naměřeny u vrtu 296HGM0044 (S-25) na 12. patře jámy.

Teplota podzemní vody je u všech přítoků relativně stálá, jen s minimálními výkyvy.

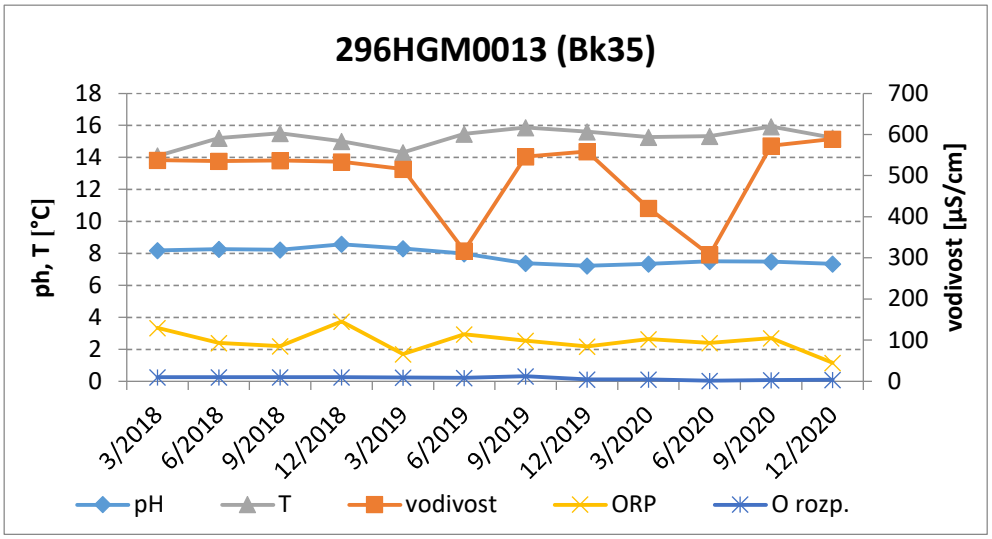
Vodivost vody se u sledovaných přítoků pohybovala převážně od 320 do 590 µS/cm, což odpovídá trendu z minulých let monitoringu. Nejnižší vodivost v prostoru PVP Bukov byla zjištěna u přítoků 296HGM0008 (BK18 (S-1)), a to 176-310 µS/cm, 296HGM0009 (Bk30 (S-8)), a to 205-292 µS/cm a u přítoku 296HGM0042 (S-23), 130-300 µS/cm.

Oxidačně-redukční potenciál (ORP) přírodních vod je obvykle dán koncentrací rozpuštěného kyslíku. Při nízkých koncentracích rozpuštěného kyslíku přestává být kyslík dominantním oxidačním činidlem a ORP je určován dalšími oxidačně-redukčními systémy (např. Fe^{II}-Fe^{III}, H_2S-SO_4^{2-}). Obvyklý rozsah ORP v přírodních vodách je asi od -500 mV do +500 mV. Na základě hodnot ORP se rozlišují podmínky aerobní, anaerobní a podmínky anoxické (oblast cca od -50 mV do +50 mV). Hodnoty ORP se u většiny přítoků pohybovaly převážně od cca +50 mV do +112 mV, což indikuje aerobní (oxické) podmínky. Pouze u přítoku Bk30 (S-8) byly v roce 2020 naměřeny hodnoty ORP od 21 do 51 mV, což indikuje anoxické podmínky. Podobný trend vykazoval i přítok 296HGM0044 (S-25). Za anoxických podmínek není ve vodě přítomen rozpuštěný elementární kyslík, avšak značná část aerobních mikroorganismů může využívat pro oxidaci kyslík vázaný v dusitanech a dusičnanech, které redukuje převážně na elementární dusík (Pitter 1999).

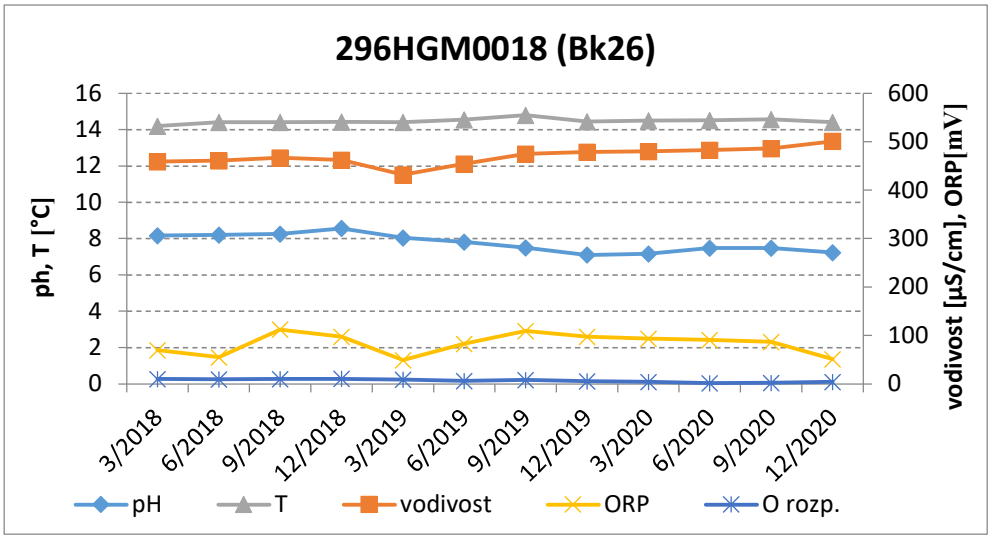
Graficky je vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody ve vybraných objektech monitoringu znázorněn na Obrázek 41 až Obrázek 46. Tabelární přehled přímého měření je součástí elektronické přílohy č. 4.



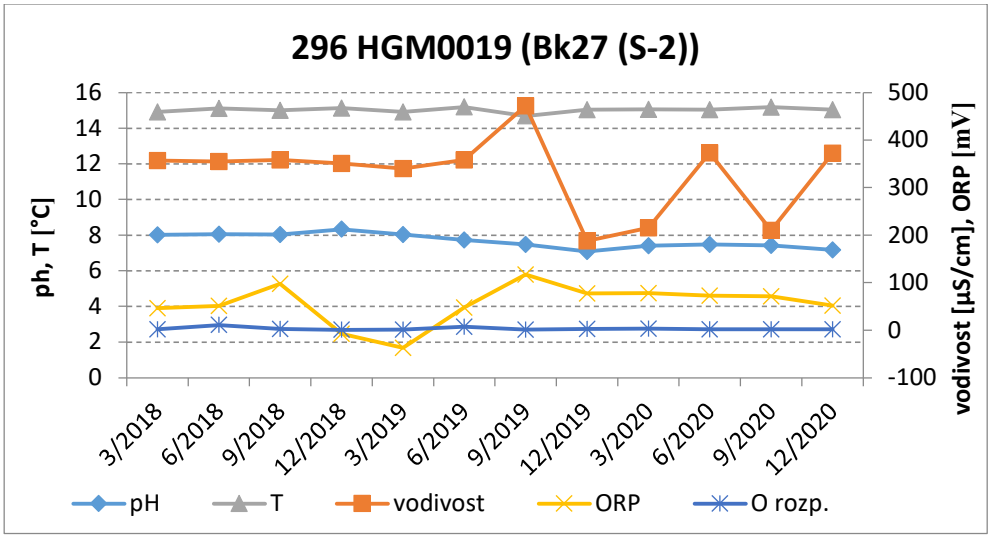
Obrázek 41 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0002 (Bk23)



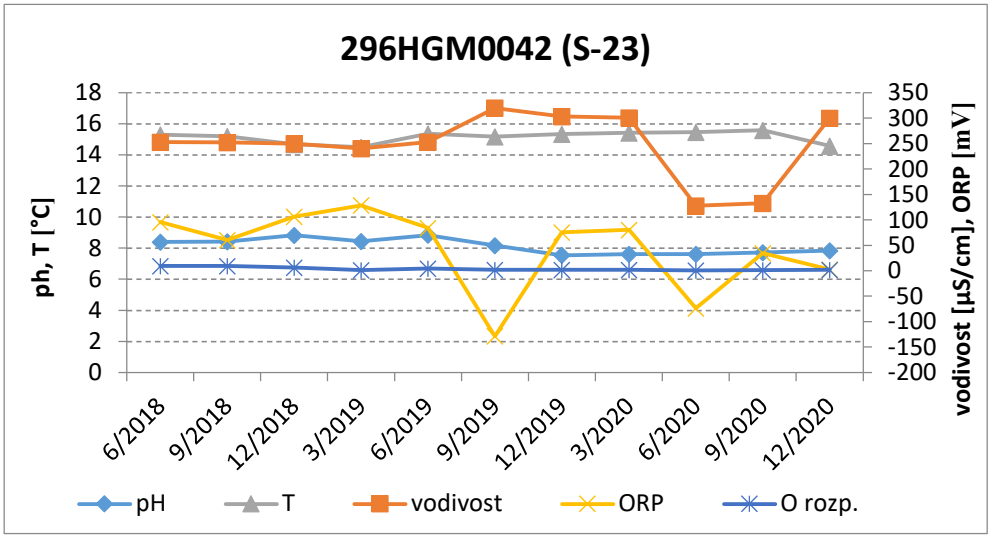
Obrázek 42 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0013 (Bk35)



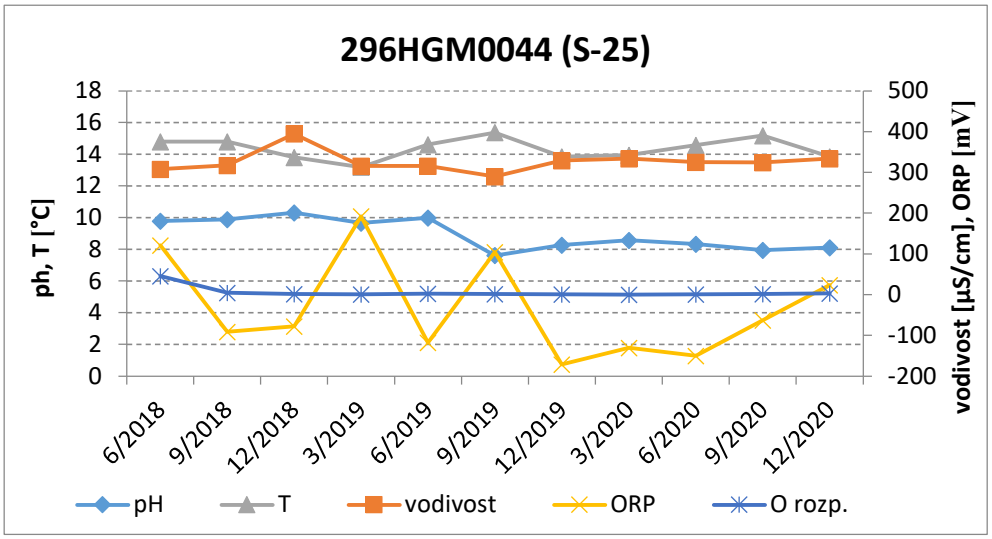
Obrázek 43 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0018 (Bk26)



Obrázek 44 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0019 (Bk27 (S-2))



Obrázek 45 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0042 (S-23)



Obrázek 46 Vývoj fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody u pramene 296HGM0044 (S-25)

5.2.2 Automatické měřící systémy

Vývoj vydatnosti jednotlivých přítoků podzemní vody do prostoru PVP Bukov znázorňují grafy na Obrázek 47 a Obrázek 48. V grafech jsou znázorněny přítoky monitorované od 1. 11. 2018 do 31. 12. 2020. V průběhu roku 2019 probíhal pravidelný měsíční servis a kalibrace všech měřicích systémů a byly zpracovány dílčí měsíční protokoly o prováděných činnostech. V závěru vyhodnocovaného období bylo dne 4. 2. 2021 provedeno posouzení funkční způsobilost měrných bodů, následně bylo možné provést autorizaci dat za předešlý kalendářní rok. Posouzení funkční způsobilosti je metrologický výkon, kdy se měřicí systém ve funkci pracovního měřidla nestanoveného naváže na etalony vyšších řádů a prověří se jeho metrologické, technické a provozní způsobilosti čili způsobilost celkového měrného objektu a měřicího systému pro měření průtoku a proteklého objemu vod. Posouzení funkční způsobilosti bude probíhat každoročně v lednu. Z operativních dat jsou odstraněny chyby a ovlivnění měření a jednotlivým hodnotám jsou na základě pozorovaní, provozu a průběhu monitoringu případně přiřazeny kódy ovlivnění měření (Tabulka 15). Bez znalosti ovlivnění měření a relevantnosti naměřených hodnot nelze s daty v rámci výzkumu v prostorách PVP Bukov, ale i v jeho zájmovém území, dále pracovat.

Tabulka 15 Tabulka kódů ovlivnění v režimových datech

Kódy ovlivnění	
NFZ	Není funkčně způsobilý
PFZ	Posouzení funkční způsobilosti
ODV	Odběr vzorku
ERR	Porucha snímače/sondy
OO	Odborný odhad
OM	Ovlivnění měření
SCU	Srážkoměr částečně ucpaný
SKU	Srážkoměr kompletně ucpaný
MK#	Měrná křivka pro určité období
OS	Odborný servis, kontrolní měření
ME	Manipulace, experimenty

V PVP Bukov se nachází tři strategicky rozmístěné automatické měřicí stanice (AMS), které provádí měření a vyhodnocení veličin z připojených čidel. Měřená data ukládají v paměti vyhodnocovací jednotky a pomocí sítě ethernet odesílají operativní data na data hostingový server, na kterém jsou dále zálohována (zrcadlené zálohy serverů).

Pro co nejpřesnější měření úkapů a výtoků z puklin masivu s nízkou vydatností byl zvoleny člunkové průtokoměry, dále pak mechanické i indukční průtokoměry, manometrické a ultrazvukové sondy v kombinaci se vzdouvacími objekty.

V následujícím textu je na souboru vybraných přítoků popsán vývoj jejich vydatnosti od začátku měření. První graf (Obrázek 47) znázorňuje méně vydatné přítoky s vydatností v setinách až tisících l/s. Většina z těchto přítoků má stabilní vydatnost s minimálními výkyvy. Druhý graf (Obrázek 48) znázorňuje změny vydatnosti přítoků s vyšší vydatností (desetiny l/s).

Přítok 296HGM0003 (Bk06) měl od začátku monitoringu poměrně stabilní vydatnost okolo 0,17 l/s, která však od poloviny ledna 2019 začala vykazovat klesající trend. Od poloviny ledna do konce února 2019 vydatnost u tohoto přítoku klesla z cca 0,17 l/s na 0,11 l/s. Od března 2019 až do února 2020 docházelo k postupnému mírnému poklesu vydatnosti. PO 27.2. došlo k výraznému poklesu vydatnosti a začátkem května 2020 dosáhla vydatnost toho

přítoku svého minima (0,067 l/s). Po zbytek roku se pak vydatnost mírně zvýšila a pohybovala se převážně mezi 0,07-0,08 l/s. Přítok pochází z široké poruchové zóny (Bukovská et al. 2017).

Naopak přítok 296HGM0004 (Bk06b), ležící poblíž poruchové zóny Bk06, vykazoval po celou dobu monitoringu rostoucí trend. Nejvyšší vydatnost byla na konci března 2019 (0,106 l/s), nejnižší na začátku listopadu 2018 (0,024 l/s). Od března 2019, kdy vydatnost toho přítoku dosáhla svého maxima došlo ke stabilizaci vydatnosti s mírným poklesem, který činil od dubna 2019 do poloviny února 2020 cca 0,017 l/s. Po 27. 2. 2020 došlo k mimořádným poklesům měřených průtoku vod. Na bodě BK06b došlo k postupnému návratu k obvyklým hodnotám zhruba v polovině března 2020.

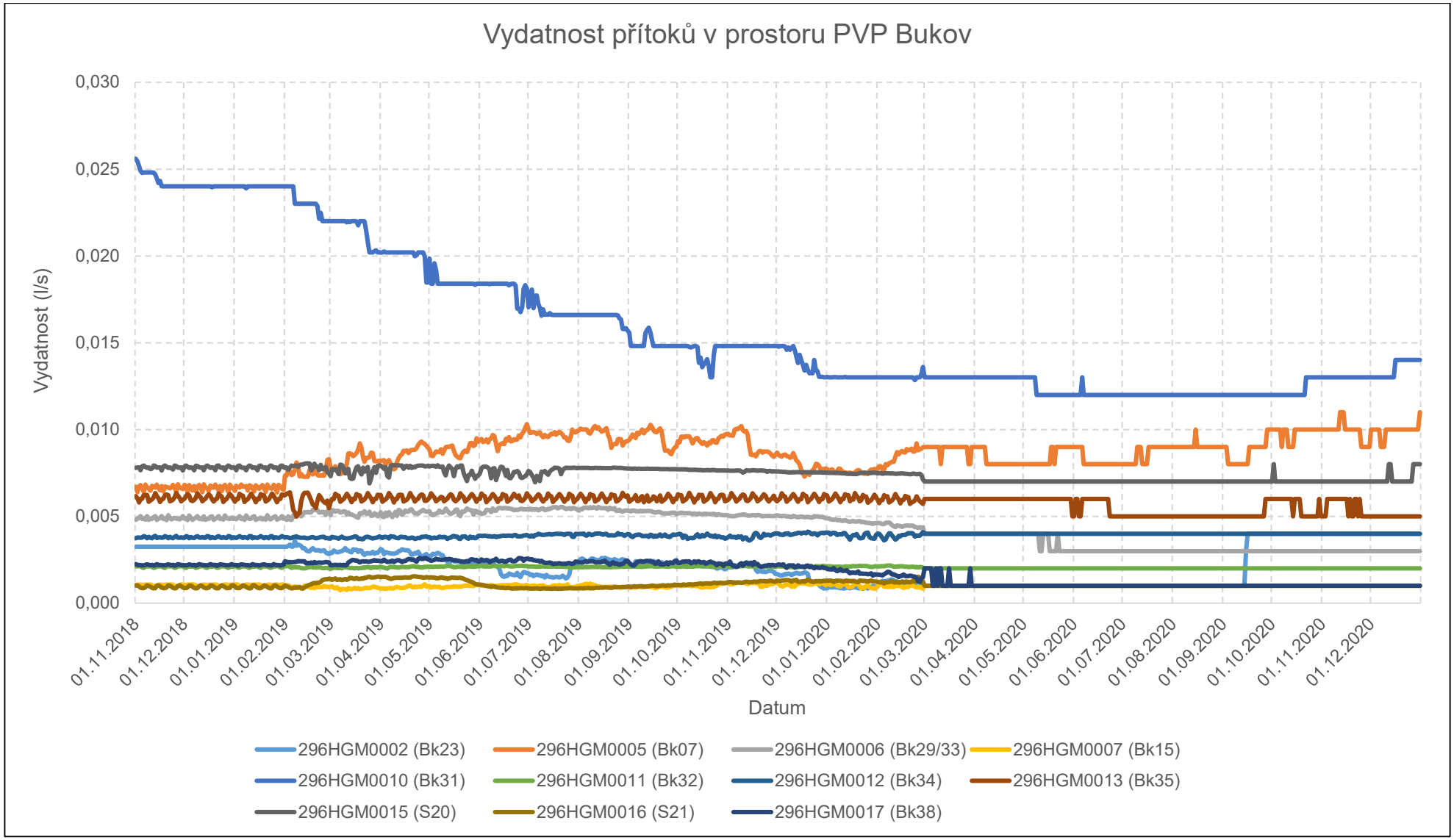
Přítok 296HGM0005 (Bk07) vykazoval až do konce února 2019 poměrně stabilní vydatnost 0,008 l/s, od března 2019 až do konce roku 2020 se pak vydatnost mírně zvýšila a oscilovala v rozmezí mezi 0,009 až 0,010 l/s.

Ke změnám došlo i u přítoků 296HGM0018 (Bk26) a 296HGM0019 (Bk27 (S2)). U přítoku Bk26 byla od začátku monitoringu do cca poloviny prosince 2018 konstantní vydatnost cca 0,70 l/s, v období od 17. 12. do 25.12. došlo k poklesu vydatnosti z cca 0,70 na 0,60 l/s, poté se až do začátku února 2019 vydatnost stabilizovala a pohybovala se okolo 0,60-0,58 l/s. Poté došlo k postupnému mírnému poklesu vydatnosti z 0,58 na 0,51 l/s. Od začátku března 2019 až do konce února 2020 se vydatnost přítoku Bk26 pohybovala od cca 0,58 do 0,51 l/s. Na dokumentačním bodě BK26 pozorujeme zhruba od přelomu července a srpna 2020 postupný nárůst průtoku vod, a to až k dvojnásobným hodnotám (1,20 l/s) evidovaným začátkem března 2021. Tento významný nárůst je potvrzen také na dokumentačním bodě Celkový odtok z PVP Bukov.

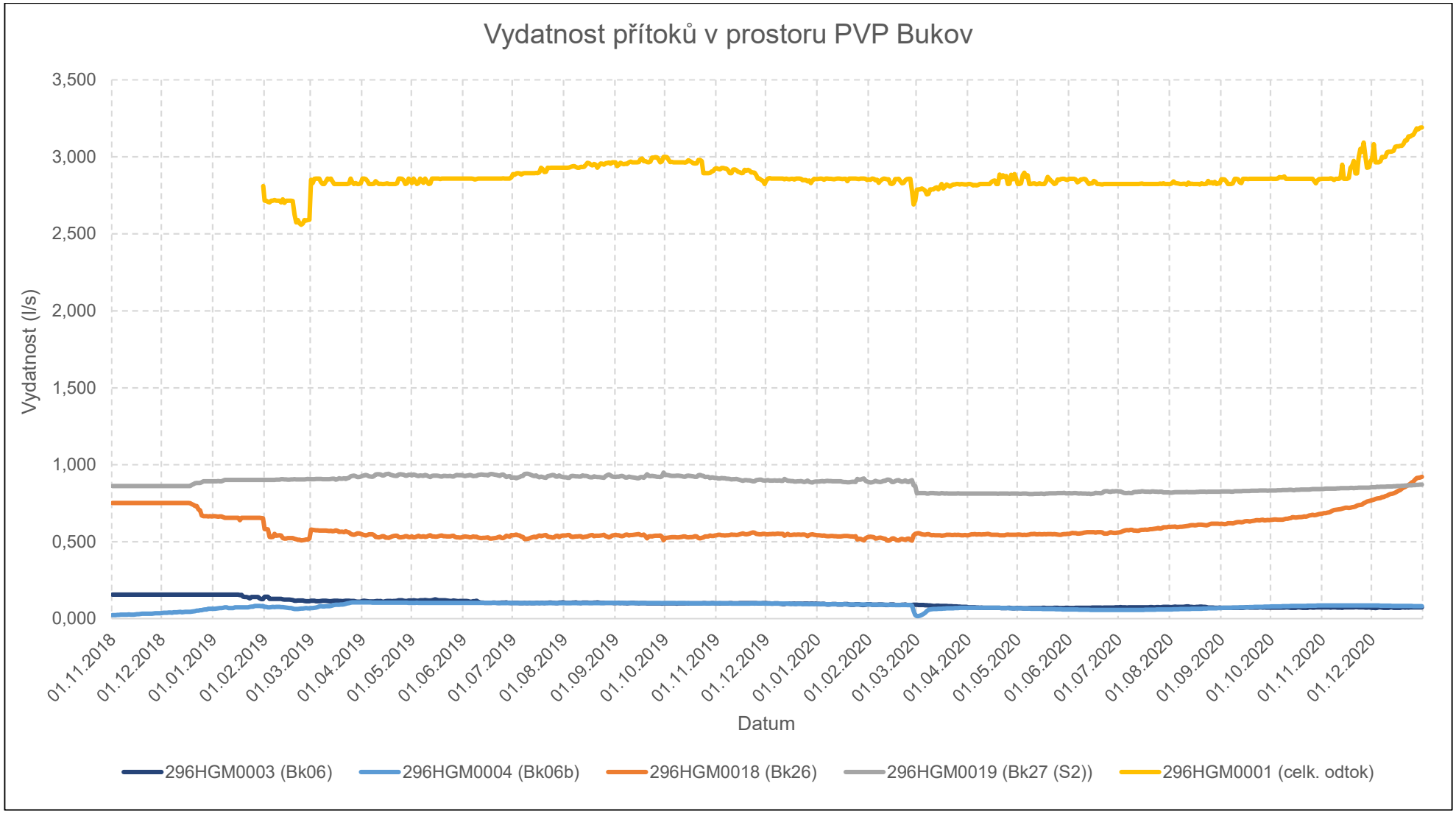
U přítoku Bk27 naopak od poloviny prosince 2018 až do konce září 2019 došlo k mírnému zvýšení vydatnosti. Po počáteční stabilní vydatnosti 0,86 l/s došlo k mírnému zvýšení vydatnosti, která se poté pohybovala v rozmezích 0,88-0,93 l/s a maxima dosáhla vydatnost na konci září, a to 0,95 l/s. Od října 2019 až do konce února 2020 došlo opět k mírnému poklesu vydatnosti, která se pohybovala v rozmezí 0,93-0,88 l/s. Po 27. 2. 2020 došlo k mimořádným poklesům měřených průtoku vod. Na bodě BK27 (S2) došlo k postupnému návratu k obvyklým hodnotám až v závěru roku 2020.

Na dokumentačním bodě 286HGM0001(Celkový odtok z PVP) byly v roce 2020 zaznamenány nástupy hodnot průtoku vod a následně návrat k původním hodnotám. Tyto nástupy mají charakter vypouštění vod např. z nádrže, často však tyto činnosti nejsou popsány v Provozních knihách a není pozorován zvýšený odtok na dalších dokumentačních bodech. Pokud v rámci prováděných experimentů budou pravidelně vypouštěny vody do odtokového koryta z PVP, je třeba tyto činnosti začít také evidovat.

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 2020 (Kocman 2021). Tato zpráva je zařazena jako příloha č. 4 této zprávy.



Obrázek 47 Kontinuální měření vydatnosti přítoků v prostoru PVP Bukov



Obrázek 48 Kontinuální měření vydatnosti přítoků v prostoru PVP Bukov

6 Monitoring v ostatních patrech dolu Rožná

6.1 Hydrochemický monitoring

V rámci monitoringu chemického složení vod v ostatních patrech dolu Rožná bylo v roce 2020 s četností 1× za čtvrt roku monitorováno celkem 8 objektů viz Tabulka 16 a příloha č. 3.

Vzorky vody byly analyzovány v rozsahu:

- **Základní analýza vod:** Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO_3, NO_3, SO_4, SiO_2, NH_4, 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 16 Seznam monitorovacích bodů v ostatních patrech dolu Rožná

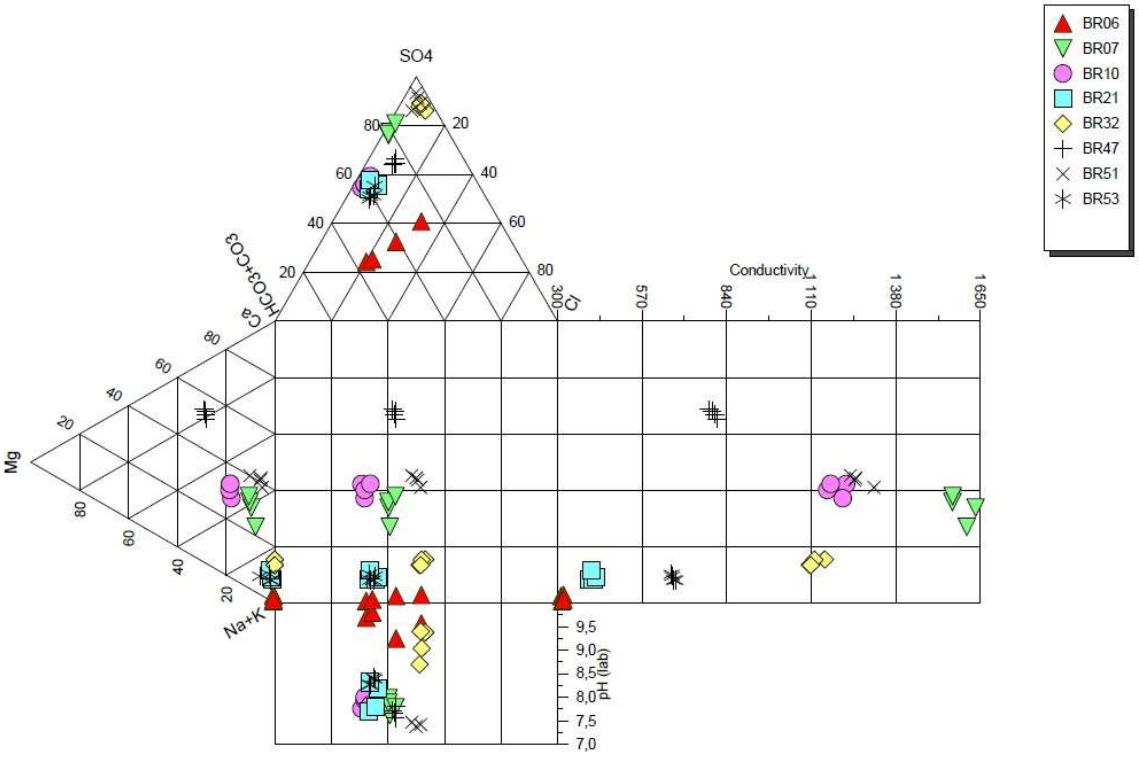
původní označení	patro	Číslo dokumentačního bodu dle pravidel SURAO
BR47	12	296HGM0020
BR51	12	296HGM0021
BR53	12	296HGM0022
BR21	12	296HGM0023
BR32	20	296HGM0024
BR06	24	296HGM0025
BR07	24	296HGM0026
BR10	17	296HGM0027

6.1.1 Určení typu vody

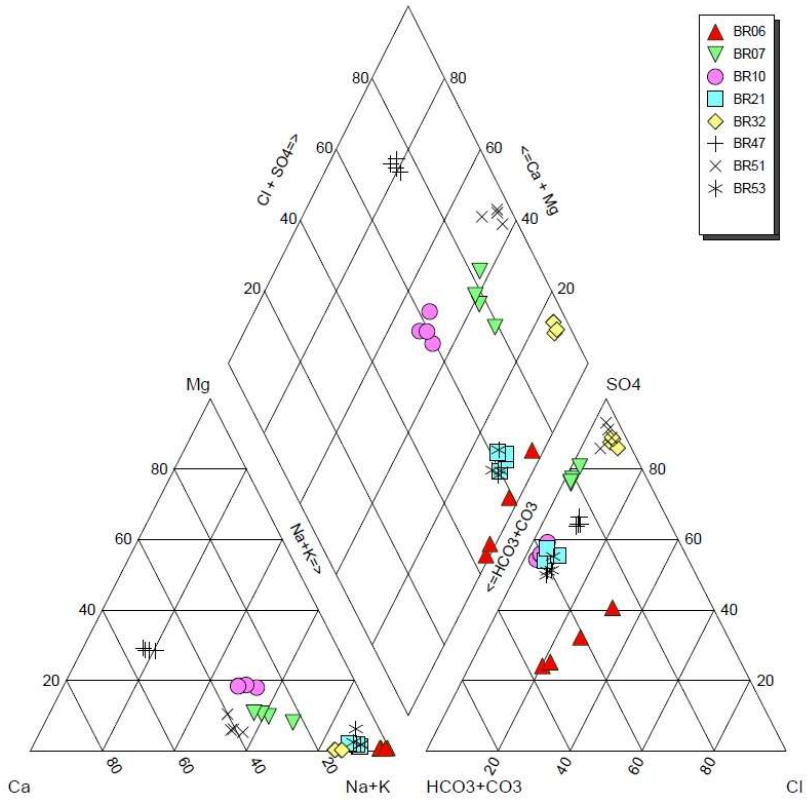
Určení typu vody vychází z převládajících iontů vyjádřených jako součin molární koncentrace iontu a jeho náboje – $\mathbf{c_i z_i}$, kde **c** je molární koncentrace iontu, **z** je jeho náboj a **i** je označení iontu. U jednomocných iontů je výpočet proveden z jeho molární koncentrace, u dvojmocných iontů je do výpočtu zahnut součin jeho molární koncentrace a náboje (2×), shodně i u vícemocných iontů. Při výpočtu se uvažují kationty jako 100 % a anionty 100 %. Při klasifikaci prostých vod se do názvu (vzorce) v sestupném pořadí uvádí ionty do 25 $c_i z_e$ %, 20 $c_i z_e$ % nebo 10 $c_i z_e$ % (teoreticky až čtyři ionty) pro kationty i anionty. Přehled hydrochemických typů vod je uveden v Tabulka 17. Graficky je složení vod znázorněno pomocí Piperova a Durovova diagramu (Obrázek 49, Obrázek 50).

Tabulka 17 Přehled hydrochemických typů vod

objekt	patro	typ vody	typ vody	typ vody	typ vody
		3/2020	6/2020	9/2020	12/2020
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
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



Obrázek 49 Durovův diagram vývoje chemického složení přítoků



Obrázek 50 Piperův diagram vývoje chemického složení přítoků

6.1.2 Kvalitativní parametry vody

Přítok 296HGM0025 (BR06), viz Obrázek 51, má převážně chemické složení Na-SO_4. Voda z přítoku 296HGM0025 (BR06) má vysoké pH (9,36-9,78). Přítok reprezentuje hluboké podzemní vody s výskytem hluboko pod místními i regionálními erozními bázemi. Mezi kationty zcela převažuje sodík. Zdrojem sodíku může být výměna iontů Ca_2^+ za Na^+ při styku vody s některými jílovými minerály. Jde o modifikující přeměnu, kdy se původně hydrochemický typ Ca-HCO_3 změní až na typ Na-HCO_3 (Pitter, 1999). Voda má stálé chemické složení s výjimkou HCO_3^-, kdy od března 2020 došlo postupně k poklesu hydrogenuhličitanů z 91,50 mg/l na 18,90 mg/l. Přítok má vydatnost od 0,001 do 0,002 l/s.

Přítok 296HGM0026 (BR07), viz Obrázek 52, je převážně hydrochemického typu Na-Ca-SO_4-HCO_3. Voda z tohoto přítoku má vysoký obsah sodíku a síranů, které převažují nad ostatními ionty. Vody typu Na-SO_4 vznikají z podzemních vod typu Na-HCO_3. 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). Voda má stabilní chemické složení s minimálními výkyvy. Vydatnost přítoku se v roce 2020 pohybovala od 0,05 do 0,08 l/s. Voda má neutrální až mírně zásadité pH (7,62-7,96).

Přítok 296HGM0027 (BR10), viz Obrázek 53 je převážně hydrochemického typu Na-Ca-SO_4-HCO_3. Z kationtů převládá sodík, z anionů převládají hydrogenuhličitany nad sírany. Sírany vykazovaly od začátku monitoringu až do března 2019 rostoucí trend s mírným poklesem od dubna do září 2018. Od března 2019 do prosince 2019 došlo k poklesu obsahu síranů ze 464 na 304 mg/l, v roce 2020 se pak obsahy síranů pohybovaly od 304 do 320 mg/l s minimálními výkyvy. Obsah hydrogenuhličitanů se v roce 2020 pohyboval od 289 do 340 mg/l. Ostatní ionty vykazovaly v roce 2020 relativně stabilní stav s mírnými výkyvy. U chloridů byl v březnu 2020 zaznamenán mírný nárůst z 11 na 36 mg/l, v dalších kolech monitoringu se jeho obsahy pohybovaly opět v hodnotách okolo 10 mg/l, což odpovídá většině hodnot v průběhu monitoringu. Přítok měl vydatnost od 0,004 do 0,03 l/s. Voda má mírně zásadité pH (7,76-8,23).

Přítok 296HGM0023 (BR21), viz Obrázek 54, je hydrochemického typu Na-SO_4-HCO_3. Z kationtů výrazně převládá sodík, z anionů převládají sírany nad hydrogenuhličitany. Přítok má relativně stabilní chemické složení. Obsahy síranů a hydrogenuhličitanů vykazují od začátku monitoringu rostoucí trend. Sodík má stabilní obsahy jen s minimálními výkyvy. Přítok měl v roce 2020 vydatnost od 0,001 do 0,003 l/s. Voda má neutrální až mírně zásadité pH (7,47-8,12).

Přítok 296HGM0024 (BR32), viz Obrázek 55, je hydrochemického typu Na-SO_4. Z kationtů výrazně převládá sodík, z aniontů sírany. V roce 2020 se chemické složení pohybovalo v hodnotách korespondujících s hodnotami z předchozích let. Voda má zásadité pH (8,50-9,79)

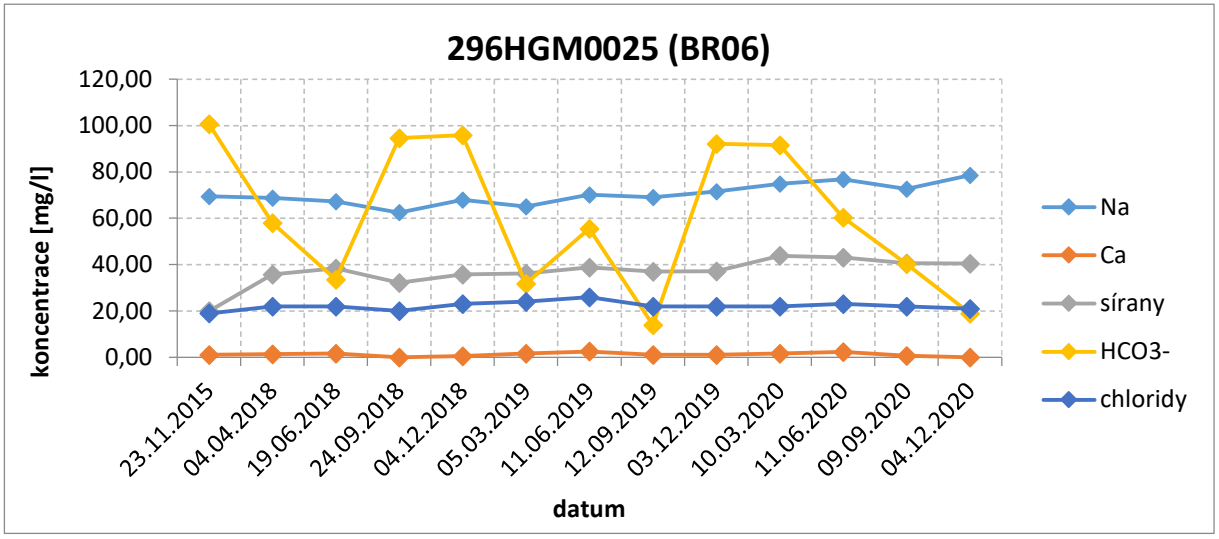
Přítok 296HGM0020 (BR47), viz Obrázek 56 je hydrochemického typu Ca-SO_4-HCO_3. Z kationtů výrazně převládá vápník, z aniontů sírany nad hydrogenuhličitany. Vody typu Ca-SO_4 vznikají z původních podzemních vod typu Ca-HCO_3. Vyhraněný typ vod Ca-SO_4 obsahuje obvykle nad 60 meq% síranů, je možné zastihnout řadu přechodných typů s postupně se měnícím poměrem HCO_3/SO_4 (Bukovská et al. 2017). Voda má stálé chemické složení

s mírnými až minimálními výkyvy obsahů jednotlivých iontů. Voda má neutrální až mírně zásadité pH (7,45-7,80).

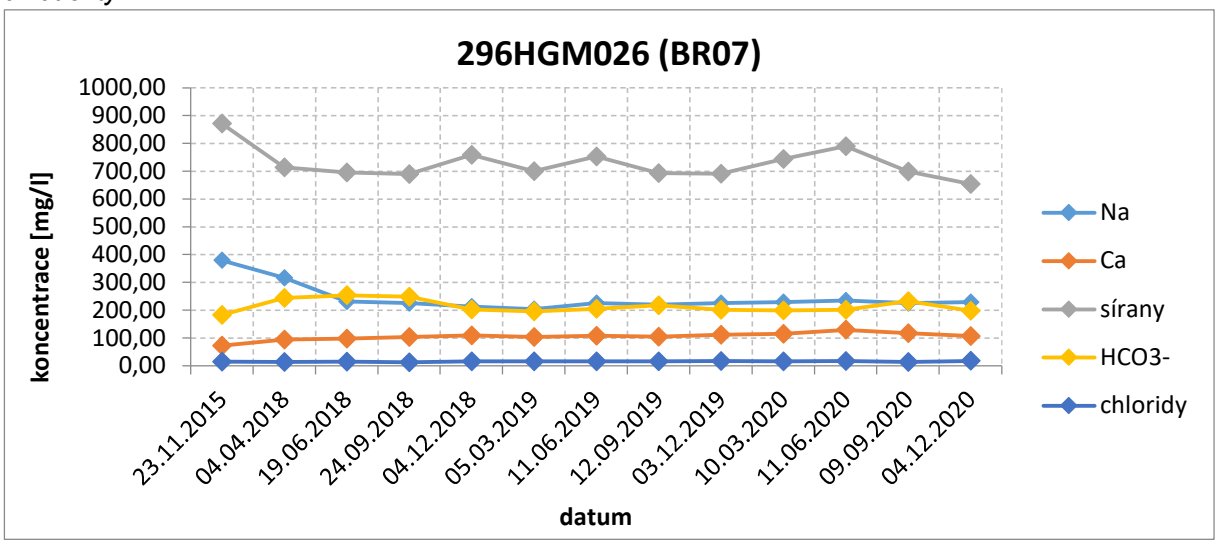
Přítok 296HGM0021 (BR51), viz Obrázek 57, je hydrochemického typu Na-Ca-SO_4. Z kationtů převládá sodík, s mírným odstupem následuje vápník, z aniontů výrazně převládají sírany. Voda má relativně stabilní chemické složení. Voda má neutrální pH (7,01-7,57).

Přítok 296HGM0022 (BR53), viz Obrázek 58, je hydrochemického typu Na-SO_4-HCO_3, popř. Na-HCO_3-SO_4. Z kationtů výrazně převládá sodík, z aniontů mírně převládají sírany nad hydrogenuhličitany. Voda má relativně stabilní chemické složení bez výraznějších výkyvů a změn oproti předchozím letům. Voda má slabě zásadité pH (8,24-8,53).

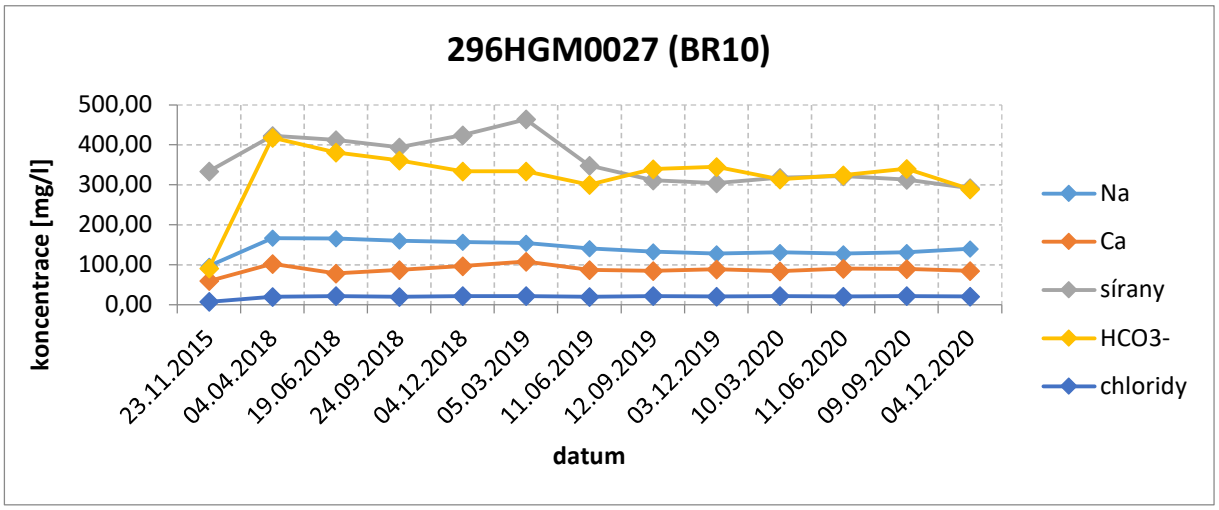
Tabelární přehled výsledků analytických stanovení jsou součástí elektronické přílohy č. 1, laboratorní protokoly jsou součástí elektronické přílohy č. 2.



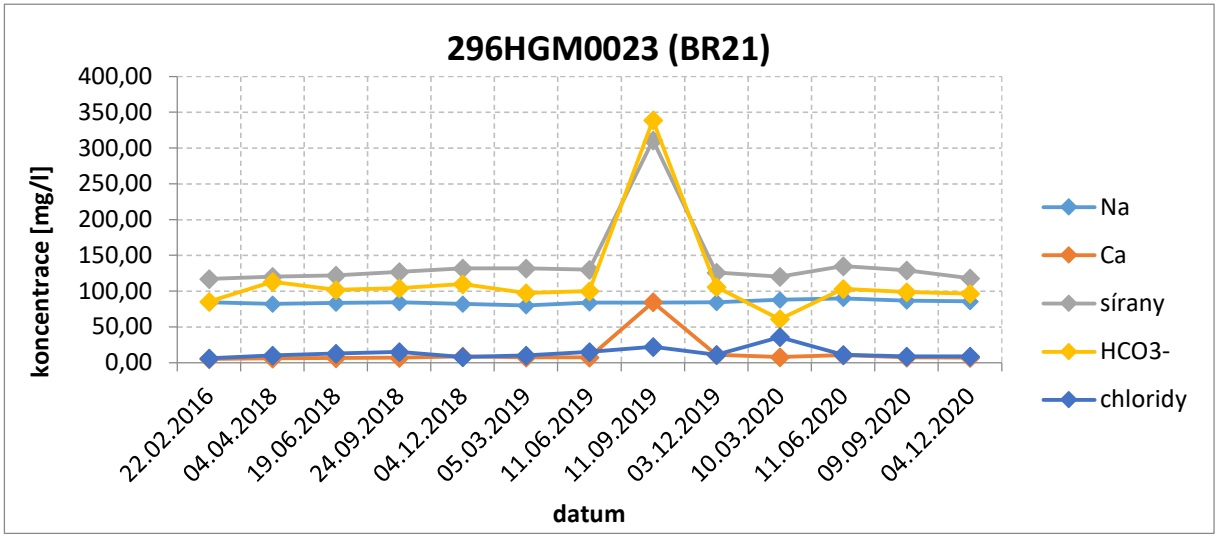
Obrázek 51 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0025 (BR06) – vybrané anionty a kationty



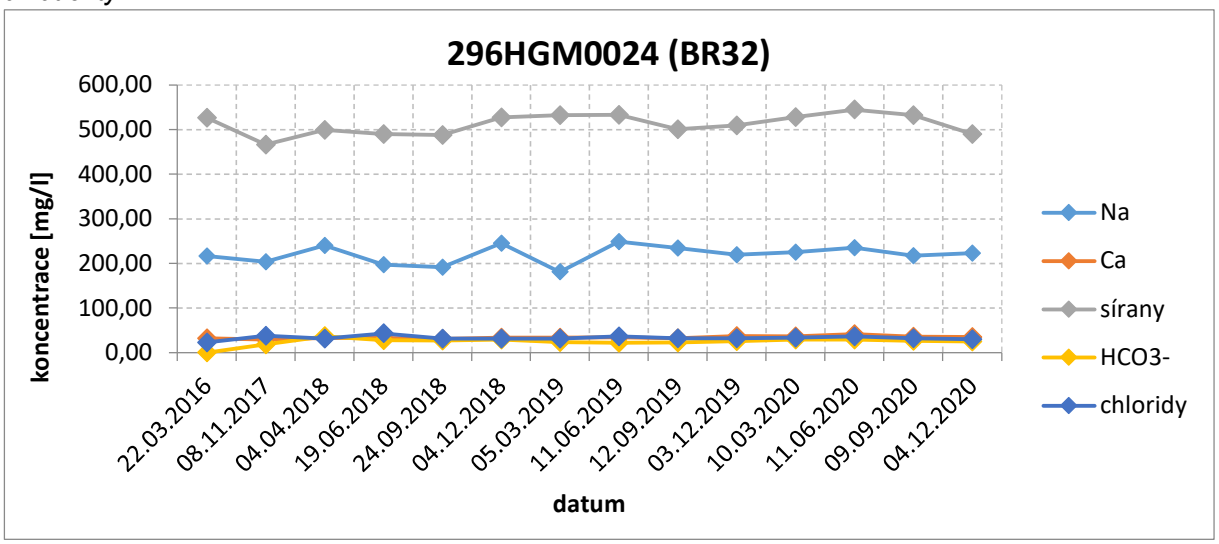
Obrázek 52 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0026 (BR07) – vybrané anionty a kationty



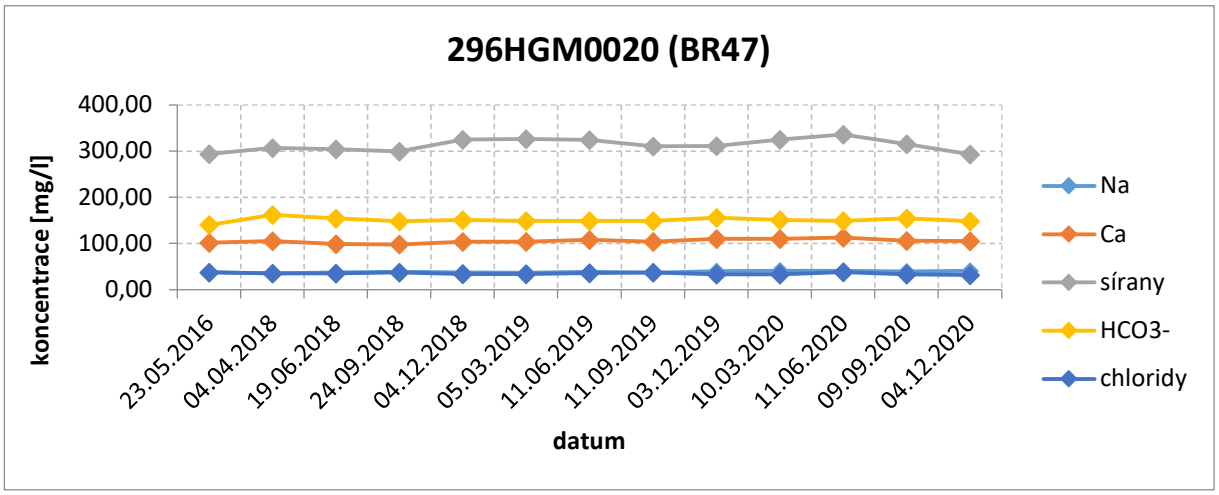
Obrázek 53 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0027 (BR10) – vybrané anionty a kationty



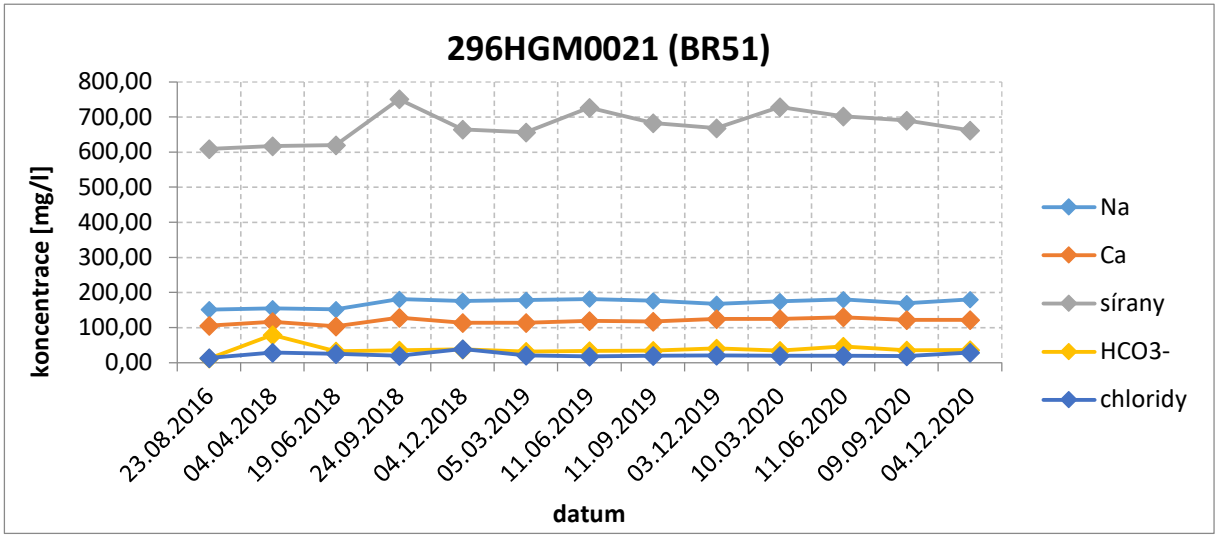
Obrázek 54 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0023 (BR21) – vybrané anionty a kationty



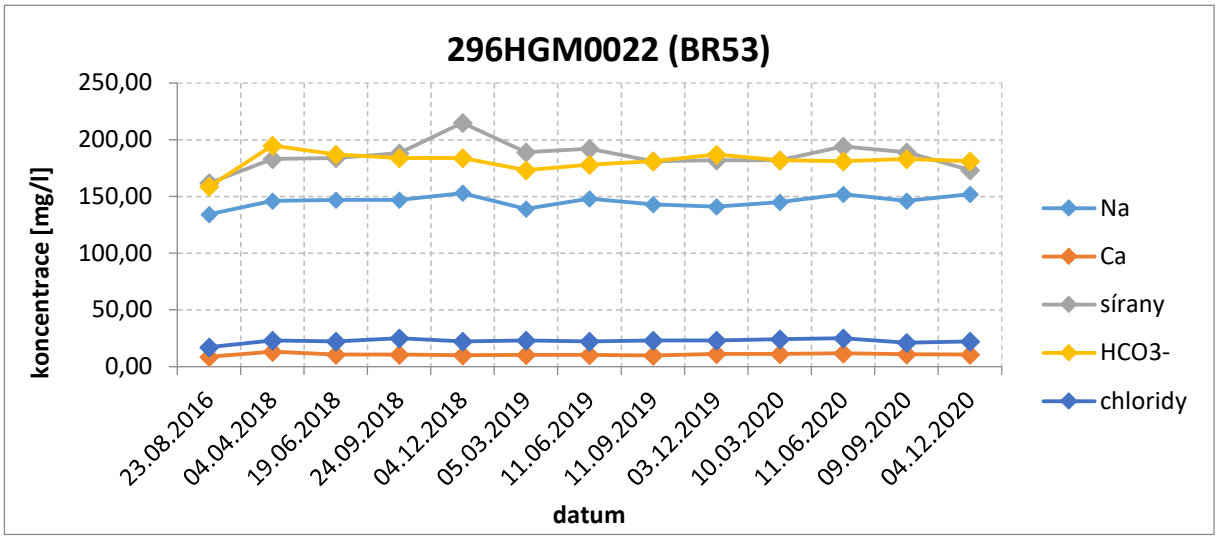
Obrázek 55 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0024 (BR32) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 56 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0020 (BR47) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 57 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0021 (BR51) – vybrané anionty a kationty



Obrázek 58 Vývoj chemického složení podzemní vody u přítoku 296HGM0022 (BR53) – vybrané anionty a kationty

6.1.3 Stopové kovy

Koncentrace **arsenu** byly téměř ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <10 µg/l. Výjimku tvořil přítok 296HGM0026 (BR07), kde byly stanoveny koncentrace arsenu od 17,00 do 19,30 µg/l. Koncentrace **olova** byly téměř ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je u obou kovů <10 µg/l. Pouze ve vzorcích vody z přítoků 296HGM0021 (BR51) a 296HGM0026 (BR07) byl v prosinci 2020 zjištěn jednorázově obsah olova (10,90 µg/l u BR7 a 14,00 µg/l u BR51). V červnu 2020 byla zjištěna přítomnost olova u přítoku 296HGM0025 (BR06) v koncentraci 11,70 µg/l. Koncentrace **hliníku** byly téměř ve všech vzorcích stanoveny <50 µg/l. Výjimku tvořil přítok 296HGM0021 (BR51), kde byla ve vzorku vody z prosince 2020 stanovena koncentrace 91,30 µg/l. Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace asi do 100 µg/l (Pitter, 1999). Koncentrace **zinku** jsou ve většině případů <20 µg/l. Ve vzorku vody z přítoku 296HGM0026 (BR07) se v roce 2020 koncentrace zinku pohybovaly

od 21,60 do 28,80 μg/l. Nejrozšířenějšími zinkovými rudami jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$). Zinek je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů. V prostých podzemních a povrchových vodách bývá zinek obvykle přítomen v koncentračním rozmezí asi od 5 do 200 μg/l. Zinek byl ojediněle přítomen i ve vzorcích vody z přítoků 296HGM0023 (BR21), 296HGM0020 (BR47), 296HGM0021 (BR51) a 296HGM0022 (BR53). **Mangan** se ve většině případů vyskytuje v koncentracích <0,05 mg/l. U přítoku 296HGM0020 (BR47) se koncentrace manganu pohybují od 0,06 do 0,07 mg/l. **Železo** se ve všech případech vyskytuje v koncentracích <0,1 mg/l. **Baryum** se vyskytuje ve vzorcích vod převážně v koncentracích od 20,70 do 55,70 μg/l. **Stroncium** dominuje nad baryem. Koncentrace stroncia se převážně pohybují od 77 do 1370 μg/l. Stroncium není limitováno v žádném druhu vod. Výjimkou z relativně netoxického přírodního stroncia je radionuklid ^{90}Sr (Pitter, 1999). **Molybden** se ve vodách stanovuje jen výjimečně. Za přirozené pozadí v podzemních vodách se považuje koncentrace cca 5 μg/l. V přírodě se molybden vyskytuje např. jako minerál molybdenit (MoS_2). Antropogenní původ molybdenu je z odpadů z hutních závodů, z odpadních vod z povrchové úpravy kovů nebo mohou být součástí některých maziv (Pitter, 1999). U přítoku 296HGM0024 (BR32) se koncentrace molybdenu pohybuje od 32,80 do 39,40 μg/l. U přítoku 296HGM0021 (BR51) se koncentrace molybdenu pohybuje od 29,10 do 33,20 μg/l. U přítoku 296HGM0022 (BR53) se koncentrace molybdenu pohybuje od 20,40 do 20,80 μg/l. U přítoku 296HGM0026 (BR07) se koncentrace molybdenu pohybuje od 76,90 do 93,60 μg/l. Koncentrace **lithia** byly ve všech vzorcích stanoveny pod mezí detekce, která je <0,1 mg/l. Obsahy **rubidia** se pohybovaly v koncentracích od 0,73 do 18,10 μg/l. Nejvyšší koncentrace (14,30-18,10 μg/l) byly zaznamenány u přítoků 296HGM0026 (BR07) a 296HGM0027 (BR10).

6.1.4 Radiologie

Z přítoků podzemní vody z ostatních pater dolu Rožná byly v roce 2020 odebrány vzorky vody pro stanovení radioaktivity podzemní vody stanovením celkové objemové aktivity α, celkové objemové aktivity β, radonu a uranu (viz Tabulka 18, Tabulka 19 a Tabulka 20). Analýzy provedla laboratoř ALS Czech Republic, s.r.o. Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, jsou 0,2 $Bq.l^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu α a 0,5 $Bq.^{l-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu β. Vyšetřovací úrovně celkové objemové aktivity alfa byly ve vzorcích vody v roce 2020 překročeny u přítoků BR07, BR10 a BR53. Vyšetřovací úrovně celkové objemové aktivity beta byly překročeny ve vzorcích vody z přítoků BR07 a BR10. 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 BR07, BR10, BR21 a BR32. Mezní hodnotu 15 μg/l stanovenou Vyhláškou 252/2004 Sb. překračují vzorky z přítoků BR07, BR10 a BR53.

Tabulka 18 Stanovení radioaktivity podzemní vody

Ostatní patra	jednotka	BR06	BR06	BR06	BR07	BR07	BR07	BR10	BR10	BR10	limit 422/2016 Sb.
		9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	1,54	<0,04	0,08	291,20	0,32	185,00	27,18	145,00	18,60	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	1,18	0,25	0,25	75,60	50,50	32,00	5,42	3,79	12,30	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	17,80	12,20	5280,00	257,00	159,00	65100,00	37,00	16,60	13000,00	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	4,67	<0,15	0,18	10200,00	7670,00	5900,00	898,00	563,00	519,00	**15***

Tabulka 19 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračováni tabulky č. 19)

Ostatní patra	jednotka	BR21	BR21	BR21	BR32	BR32	BR32	BR47	BR47	BR47	limit 422/2016 Sb.
		9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	9/2018	9/2019	9/2020	
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	-	<0,04	0,07	-	0,26	<0,07	0,21	0,09	<0,06	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	-	<0,10	0,17	-	<0,10	<0,17	0,11	0,21	0,19	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	-	5,10	2690	-	11,10	6140	5,90	7,60	<8	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	-	2,63	2,22	-	0,34	0,3	1,27	1,46	1,6	**15***

*Limit Vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Tabulka 20 Stanovení radioaktivity podzemní vody (pokračováni tabulky č. 20)

Ostatní patra	jednotka	BR51 9/2018	BR51 9/2019	BR51 9/2020	BR53 9/2018	BR53 9/2019	BR53 9/2020	limit 422/2016 Sb.
celková objemová aktivita alfa	Bq/l	-	<0,10	<0,08	0,74	0,60	0,53	**0,20**
celková objemová aktivita beta	Bq/l	-	0,2	0,31	0,19	0,11	0,25	**0,50**
Radon (Rn 222)	Bq/l	-	<5,0	12,2	16,60	16,00	33,1	**100**
Uran rozpuštěný	µg/l	-	0,23	0,19	21,8	21,5	20,4	**15***

*Limit Vyhlášky č. 252/2004 Sb.

7 Návrh optimalizace monitorovací sítě pro rok 2021

V roce 2020 pokračoval hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov s návazností na získané informace během prvních dvou let monitoringu, v letech 2018-2019.

Na základě získaných poznatků a výsledků probíhajícího monitoringu doporučujeme monitoring optimalizovat v následujícím rozsahu, přičemž některé z navrhovaných změn je možné považovat za nezbytné a některé za doporučené.

7.1 PVP Bukov

7.1.1 Nezbytná opatření

AS ohledem na zásadní změnu režimu vytékajících vod z měrného bodu **BK26** a celkovým zvýšením **celkového odtoku z PVP Bukov**, se například v případě vypouštění nádrže z ZK-3S dostáváme na maximální kapacitu přítokového koryta před dokumentačním bodem Celkový odtok. Přítokové koryto je již téměř celé kompletně zahlcené a s narůstajícími hodnotami průtoku již může docházet k rozlivu přes svislé bočnice koryta. V tomto případě část celkového odtoku nebude zaznamenána měřicím systémem. **Navrhujeme svislé bočnice zvýšit v části mezi sedimentační nádrží a vzdouvacím objektem bodu Celkový odtok. Bude tak zajištěno měření všech vod odtékajících z PVP Bukov, které se nyní zásadně zvýšilo.**

Na měrných bodech **BK27 (S2)** a **BK31** jsou pro měření průtoku osazeny stále původní indukční průtokoměry. Nyní průtokoměry vykazují chyby měření, které jsou následně korigovány stanovenými konstantami dle série úředních měření průtoku. Na dokumentačním bodě BK31 indukční průtokoměr zhruba od poloviny ledna 2021 vykazuje chyby měření. **Průtokoměry je třeba demontovat, odvést na vyčištění a ověření v kalibrační laboratoři.**

7.1.2 Doporučená opatření

Výtok z dokumentačního bodu **BK06b** je v současnosti silně ovlivněn zanášením výtokového otvoru. Zanášení je v současnosti tak zásadní, že vyhodnocení je prováděno zcela dle kontrolních měření průtoku prováděných během údržby měřícího systému. **Pro zajištění kvalitního monitoring dokumentačního bodu BK06b je třeba zahájit údržbu měrného bodu zaměřenou především na mechanické čištění měrného bodu v týdenních intervalech (může provádět odborně poučená osoba), nebo systém měření kompletně předělat.**

Výtok z vrtu **BK18 (S1)** je rozdělen do dvou větví, primární větev je vyvedena přímo do odtokového koryta z PVP Bukov, sekundární větev vede do nádrže v chodbě ZK-3S, která slouží k odběru vod pro experimenty. Výtok z nádrže v chodbě v ZK-3S sloužící pro odběr vod k prováděným experimentům je v tuto chvíli sveden hadicí do odtokového koryta z PVP Bukov. Není však známo množství odebraných vod pro experimenty a množství vod vypuštěných. Pokud je primární větev uzavřena, vzhledem k vedení sekundární větve po stropě chodby BZ1-XII, je takto měření tlaku na bodě BK 18 (S1) „technicky“ ovlivněno a úměrně tomu je zvýšen i tlak ve struktuře oproti výtoku z vrtu primárním potrubím. **Je třeba zvážit, zda dlouhodobé**

zvýšení tlaku nemá vliv na tvorbu nežádoucích nových vodních cest v masivu a případně vedení vody upravit či využít jiné zdroje vod. Pro zpřesnění bilance odebraných vod navrhujeme osadit výtok z nádrže mechanickým průtokoměrem.

Při návrhu koncepce projektu Hydrogeologického a hydrochemického monitoringu PVP Bukov jsme v prostorách PVP zvažovali **DOPORUČENÍ zřídit výzkumné pracoviště**, na kterém budou srovnávány různé metody měření průtoku vod. Pro toto srovnání je nejvhodnější dokumentační bodu BK32, který je nyní osazen člunkovým průtokoměrem postaveným na akumulační nádobě, která zde byla ponechána z původních měření. Doporučujeme zahájit srovnávací výzkum. V rámci srovnání bude zahrnut překlopný průtokoměr, výtok z akumulace po dosažení nastaveného objemu průtokoměr pro měření průtoků v uzavřeném potrubí a může být zahrnut i vzdouvací objekt (přeliv) na jednom měrném bodě. Cílem výzkumu bude srovnání různých metod měření průtoku vod v prostorách úložišť, popsání jejich přesností, požadavků na provoz a případná omezení.

V současné době je u všech dokumentovaných vodu vedena Provozní kniha měrného bodu, v lampárně dolu Rožná I pak Provozní kniha PVP Bukov. Je třeba důsledně dodržovat zapisování všech prováděných prací na měrných bodech všemi organizacemi, a to i okolí měrných bodů i prostorách PVP Bukov, aby bylo možné identifikovat možná ovlivnění měření. **Pro zkvalitnění vyhodnocených dat je třeba v případě Provozních knih měrných bodů evidovat i časy prováděných prací a v případě odběru vzorků alespoň orientačně odebraná množství vod.**

Během vzorkovacích pracích ve čtvrtletních intervalech je v prostoru PVP Bukov provedena vizuální prohlídka prostoru PVP Bukov, při které budou dokumentovány případné změny režimu jednotlivých přítoků a budou sledovány případné nové přítoky, které se mohou v prostoru PVP nově objevit. Tyto změny budou popsány a bude pořízena fotodokumentace. Rovněž bude provedena vizuální kontrola měřící sítě a zaznamenány případné změny ve funkčnosti monitorovací sítě a technického stavu. Tyto **vizuální prohlídky doporučujeme provádět i nadále.**

7.2 Povrch lokality

7.2.1 Nezbytná opatření

Přívalový déšť v květnu 2020 změnil průtočný profil koryta toku Bukovského potoka, přičemž k tomuto jevu dochází opakovaně. Měrný profil je zanášen unášenými splaveninami při zvýšeném odtoku z povodí a tím dochází k ovlivňování měření. **Měrný profil je třeba technickým opatřením stabilizovat. Jedná se o úpravu dna koryta, tzv. „vyhlazení“ prostřednictvím příčného prahu tvořeného z dlaždic, který bude zavázán do břehů (tyto práce nebudou mít z pohledu zachování stavu koryta destruktivní charakter, využití těžké techniky se nepředpokládá). Tímto navrhovaným technickým opatřením bude sníženo riziko zanášení přívodního kanálu k vodoměrné stanici, ve které je prováděno měření ponorným hladinovým snímačem.** Po vzoru zásad provozu staničních sítí ČHMÚ navíc doporučujeme zavést duplicitu měření hloubky vody, a to nejlépe jinou metodou, jako je třeba ultrazvukový snímač hladiny.

7.2.2 Doporučená opatření

V roce 2021 vyprší výrobní kalibrace srážkoměru u meteorologické stanice. V předešlých letech jsme vyvinuli proces statické a dynamické kalibrace srážkoměrů přímo v terénu, které tak není třeba demontovat a odvážet výrobci na kalibraci. Výsledkem je prověření celého řetězce (vč. vyhodnocovací jednotky) a zabezpečena kontinuita měřených dat. **V letních měsících 2021 doporučujeme tuto kalibraci srážkoměru provést, bude tak zabezpečena přesnost měření srážek, které jsou mimo jiné zásadním vstupním údajem pro výpočet evapotranspirace zájmového území.**

Na vrtech PV-5, PV-6 a PV-8 jsme v roce 2020 pozorovali mimořádné nástupy hladin, které souvisí s mimořádnými úhrny srážek. **Je třeba zvážit reprezentativnost vrtů pro hodnocení hydrogeologických poměrů zájmového území.** Z našeho pohledu poskytl realizovaný monitoring vrtů PV-5, PV-6 a PV-8 dostatečné množství dat, nicméně vzhledem k jejich výsledkům, je jejich využití pro následné hydrogeologické modelování sporné. Z tohoto důvodu doporučujeme monitoring pohybu hladin podzemní vody ve vrtech v okolí skládky Bukov ukončit.

Rok 2020 byl skutečně mimořádný především z hlediska množství srážek. Doplnily se zásoby v mělkých zvodních a částečně i hlubokých, po tzv. suchých letech se zásadně změnil vodní režim v krajině. **Prameny a přelivy jsou v současné době měřeny pouze na základě ručních měření. Navrhujeme přelivy osadit jednoduchými měřicími stanicemi a zahájit kontinuální monitoring těchto objektů. Jednalo by se zejména o prameny BP005 a BP021, které dle chemického složení a stabilitě vydatnosti vykazují charakter hlubokého oběhu podzemní vody. Tato měření jsou zásadní pro zpřesnění měření a vyhodnocení celkové bilance odtoku vod ze Zájmového území Bukov.**

Pro dokumentační body Meteostanice a Bukovský potok doporučujeme zřídit Provozní knihu „Povrch PVP“, která bude uložena na vrátnici u vjezdu k jámě Bukov.

7.3 Ostatní patra dolu Rožná

7.3.1 Nezbytná opatření

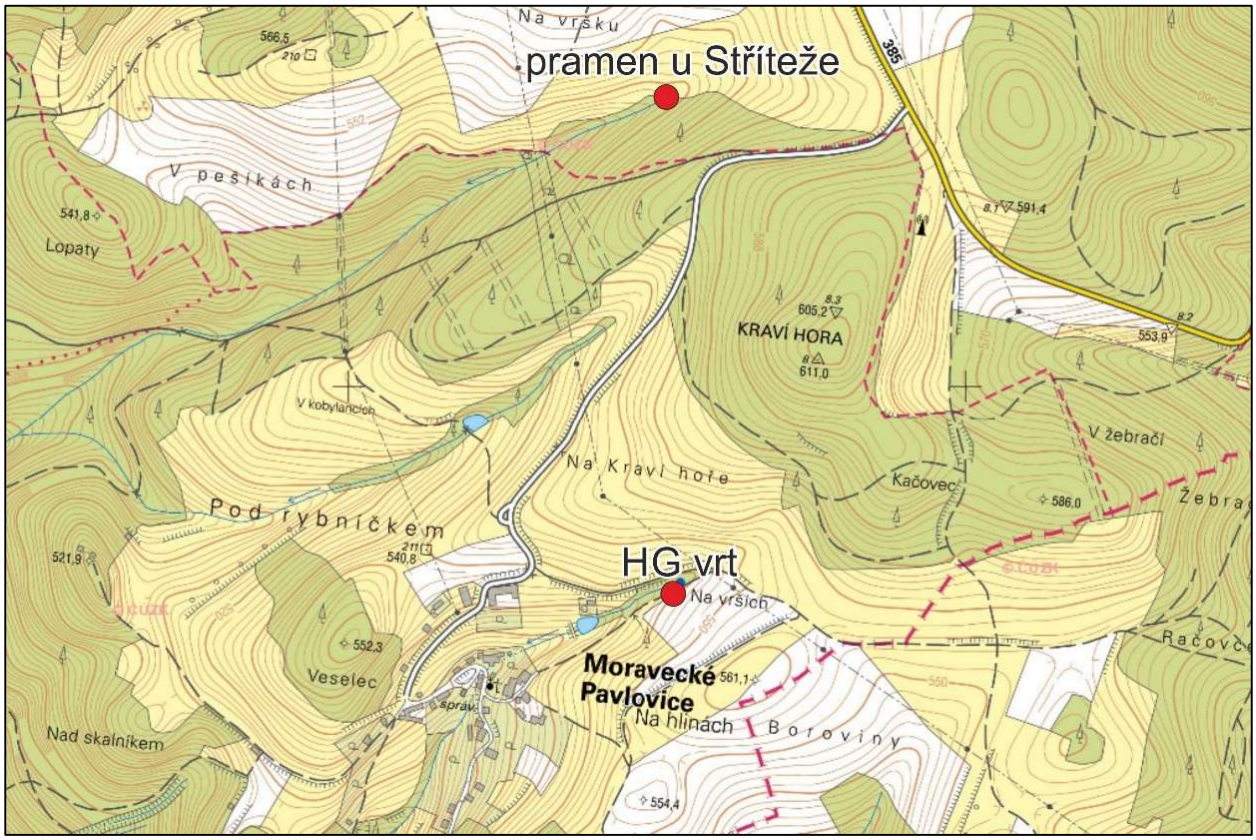
Z důvodu plánovaného zatápění dolu Rožná pod úroveň 12. patra, které se předpokládá od března 2021, dojde k zániku pěti monitorovacích bodů v hlubších patrech dolu na 24., 20. a 17. patře. Tyto body bude vhodné v roce 2021 nahradit novými body. Jako možná náhrada těchto bodů připadají v úvahu další patra mezi povrchem a 12. patrem dolu Rožná.

V rámci jámy B1 se jedná o 9. patro, kde je zaznamenán významný přítok o vydatnosti až 3 l/s. Z důvodu stáří a technického stavu 9. patra jámy B1 je prakticky možné monitorovat jen celkový odtok. Dle informací od GEAM zde bylo v minulosti již měřidlo.

V rámci jámy R1 se jedná o 3. a 5. patro, kde je možné monitorovat rovněž celkový odtok.

Na povrchu lokality je vhodné do souboru monitorovacích míst zařadit „Pramen u Střítеže“ (viz Obrázek 60, Obrázek 61, Obrázek 62) a **hydrogeologický vrt v Moraveckých Pavlovicích** (viz Obrázek 63). Pramen u Střítеže tvoří pramenní jímka, ve které jsou zachyceny dvě větve a z této jímky odtéká voda do průtočného záchytného jezírka, ze kterého voda odtéká

jako bezejmenná vodoteč. Vrt v Moraveckých Pavlovicích je hluboký více než 30 m a je jím zachyceno zvodnění hlubokého oběhu. Situace nově navržených objektů je patrná z následující mapy (Obrázek 59).



Obrázek 59 Situace nově navržených objektů k monitoringu na povrchu lokality

Obrázek 60 Pramenní jímka

Obrázek 61 Jezírko

Obrázek 62 Výtok z jezírka

Obrázek 63 Vrt v Moraveckých Pavlovicích

8 Závěr

Předkládaná průběžná zpráva popisuje a vyhodnocuje průběžné výsledky monitoringu za rok 2020 (3. rok monitoringu) v rámci hydrogeologického a hydrochemického monitoringu podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Průběžná zpráva obsahuje tabulkové a grafické shrnutí terénních a analytických dat, získaných v rámci monitoringu za období 01/2020 až 12/2020, která plynule navazují na předchozí období monitoringu.

Hydrogeologický výzkum na lokalitě PVP Bukov byl v roce 2020 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 a v ostatních patrech dolu Rožná.

Cílem prací v třetím roce projektu bylo navázat a pokračovat v měření a sběru dat ze stávající hydrogeologické monitorovací sítě tak, aby mohla být získána a vyhodnocena relevantní data pro další výzkumné práce související s problematikou PVP Bukov.

V současné době probíhá monitoring čtvrtým rokem v souladu s Plánem monitoringu (TZ332/2018). V souvislosti s vyhodnocením prováděného monitoringu doporučujeme optimalizaci monitorovací sítě jak na povrchu, tak v prostoru PVP. Některá z navrhovaných opatření je nutné považovat za nezbytné z pohledu zajištění správnosti a funkčnosti měření, další navrhovaná opatření mají doporučující charakter.

Od počátku roku 2021 nebude možné, z důvodu plánovaného zatápění dolu, monitoring ostatních pater dolu Rožná provádět. Monitoring hlubších pater tak bude pravděpodobně, po konzultaci s GEAM, s.p., nahrazen monitoringem 3., 5. a 9. patra dolu Rožná.

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. Návrh na změnu podá zhotovitel na základě dokladů z monitoringu, poté se k věci vyjádří SÚRAO a následně bude rozhodnuto o změnách v součinnosti a s ohledem na vědecké poznatky.

9 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. Archív 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 odkališních 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.

Kocman T. et al. (2021): Hydrologický a meteorologický monitoring, prostor PVP Bukov a zájmvé území Bukov. Závěrečná zpráva. KOCMAN envimonitoring, Brno.

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. 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.

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

Mapa objektů monitoringu na povrchu PVP Bukov

Příloha 2

Schéma objektů monitoringu v prostoru PVP Bukov

Příloha 3

Schéma objektů monitoringu v ostatních částech dolu

Příloha 4

Hydrogeologický a meteorologický monitoring prostor PVP Bukov a zájmového území Bukov – zpracování automatizovaných měření za rok 2020 (Kocman, 2021).

SÚRAO | SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ | NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST

info@surao.cz | **www.surao.cz**