

Technická zpráva 629/2022

INTERAKČNÍ EXPERIMENT - PRŮBĚŽNÁ ZPRÁVA ETAP 7-9 č.5

Autoři: Jiří Svoboda¹ a kolektiv

Praha, 2022

NÁZEV ZPRÁVY: Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5

NÁZEV PROJEKTU: Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU: Průběžná zpráva

ČÍSLO SMLOUVY: SO 2017 - 053

BIBLIOGRAFICKÝ ZÁPIS: SVOBODA, J. a kol. (2022): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5, TZ 629/2022 SÚRAO.

ŘEŠITELÉ:

ČVUT¹, ČGS², ÚJV³

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Svoboda J.¹, Vašíček R.¹, Rukavičková L.², Řihošek J.², Večerník P.³

Horní Indexy u jmen autorů odkazují na výčet institucí výše.

Ing. Jan Smutek, Ph.D.

Manažer projektu (SÚRAO)

Ing. Jiří Svoboda, Ph.D.

Manažer projektu (ČVUT)

Obsah

1	Úvod	4
2	Provoz experimentů	5
2.1	Údržba	5
2.2	Odběry pro analýzy	7
2.3	Zvláštní události	9
2.3.1	Technologie a topení FM	9
2.3.2	Instrumentace a měřicí systém	18
2.4	Změny režimů provozování	18
2.4.1	FM1	19
2.4.2	FM2	20
2.4.3	FM3	20
2.4.4	FM4	20
2.4.5	FM5	21
3	Monitoring a interpretace výsledků	23
3.1	Hydrogeologie	23
3.2	Mikrobiologie	46
3.2.1	Odběr vzorků a metodika zpracování	46
3.2.2	Výsledky 2019	49
3.2.3	Výsledky 2020	54
3.2.4	Výsledky 2021	61
3.2.5	Výsledky 2022	71
3.3	Chování FM a horninového prostředí	75
3.3.1	FM1	82
3.3.2	FM2	86
3.3.3	FM3	90
3.3.4	FM4	94
3.3.5	FM5	98
3.3.6	FM6	102
3.3.7	FM7	104
3.3.8	FM8	106
3.3.9	FM9	108
3.3.10	FM10	110
3.3.11	Horninové prostředí a technologie	112

4	Závěr	115
5	Reference.....	117

Seznam použitých zkratk:

FM	Fyzikální model
HÚ	Hlubinné úložiště
IE	Interakční experiment
LPC	Beton se sníženým pH
MS	Měřicí systém
MV	Měřicí vrt
OPC	Beton s portlandským cementem
PID	Regulátor s proporčním-integračním-derivačním řízením (Proportional–integral–derivative controller)
PLC	Programovatelný kontroler řízení procesů (Programmable logic controller)
PVP Bukov	Podzemní výzkumné pracoviště Bukov
PWM	Pulzní modulace (Pulse width modulation)
RH	Relative Humidity, relativní vlhkost
ŘS	Řídicí systém
SSR	Solid state relay - polovodičové „relé“
TDR	Time Domain Reflectometry (Měření doby odrazu)
THM	Termo-hydro-mechanické
UOS	Ukládací obalový soubor

Abstrakt

Cílem projektu „Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov“ je na základě provedených in-situ experimentů (IE) v reálném horninovém prostředí porovnat několik druhů materiálů a jejich reakce v přirozeném prostředí hlubinného úložiště (HÚ). Na základě tohoto srovnání bude možné vyhodnotit a následně doporučit nebo vyloučit použití konkrétních materiálů a jejich kombinací v budoucím HÚ.

Tato průběžná zpráva č. 7.5 popisuje průběh sedmé, osmé a deváté etapy řešení projektu (odpovídající etapám 7, 9 a 11 dle Dodatku č.2 smlouvy) v období 03/2019-08/2022 a je závěrečným výstupem těchto etap. Zpráva je zpracována jako souhrnná za všechny etapy (7.-9.) a zahrnuje i obsah etap 7-9 předchozích zpráv 7.1 (Svoboda, 2019, TZ 417/2019), 7.2 (Svoboda, 2020, TZ 478/2020), 7.3 (Svoboda, 2021, TZ 537/2021) a 7.4 (Svoboda, 2022, TZ 594/2022). Obsahuje popis běhu IE včetně údržby a oprav, průběžné výsledky a jejich interpretaci.

Dne 7.3.2019 bylo zahájeno sycení IE, kdy FM1-5 jsou namáhány teplotu a FM1-10 jsou syceny. Probíhá kontinuální monitoring FM a horninového prostředí. Většina měřených hodnot je (v 3/2021) ustálených nebo s velmi pomalým vývojem. Výraznější změny měřených hodnot lze vysledovat jako důsledek vnějších zásahů (změna teploty topidel, tlakování, sezonní vlivy...).

Ve fyzikálních modelech, kde je instalováno topidlo, a v jejich okolí dochází k postupnému nárůstu teploty. U FM3 je patrné ovlivnění teplot změnami teplot v rozrážce. Měřené hodnoty teplot ve FM1-4 se pohybují v rozsahu 25–100 °C, v FM5 60–200 °C (mimo výpadek topidla), v FM6-10 10-16 °C a v hornině 13–35 °C.

V průběhu provozování byly problémy s průnikem vody do některých topidel a kabeláží k měřicímu systému (MS), vedoucí k poškození zařízení. Poškození byla odstraněna a byla přijata opatření k prevenci těchto událostí. Pro zvýšení spolehlivosti a pro zvýšení přesnosti regulace výkonu topidel byla provedena výměna mechanických stykačů za polovodičové SSR. Po provedení těchto opatření je provoz technologie a měřicího systému výrazně spolehlivější.

Průběžně byly odebírány vzorky podzemních vod pro chemickou a mikrobiologickou analýzu. Charakterizována byla zejména voda ze zdrojového vrtu S-1, shromažďovaná v zásobní nádrži pro sycení modelů, a dále pak vody z experimentální rozrážky ZK-3S. Chemické a mikrobiologické rozborů nevykazují výrazné trendy a změny u sledovaných parametrů, dochází přirozenému kolísání hodnot. U podzemní vody v nádrži byl zaznamenán velmi slabý posun složení podzemních vod, který je pro PVP Bukov charakteristický (nárůst obsahů síranů, méně hydrogenuhličitanů a vápníku). Doposud nebylo prokázáno ovlivnění chemického složení podzemních vod přítékajících do rozrážky působením experimentu.

Klíčová slova

In-situ experiment, fyzikální model, interakce, bentonit, pelety, PVP Bukov, měřicí systém, tlakovací systém.

Abstract

The aim of the project “In-situ interaction physical models at the Bukov URF” is to compare several materials and their interactions under deep geological repository conditions using results of several in-situ experiments in a hard rock mass. The results of these studies will support the decision of usability of materials and their combinations in the future deep geological repository.

This report n. 7.5 provides results of the 7th, 8th and 9th phases of the project (corresponding to the 7th, 9th and 11th phases of the project according to Amendment No. 2 of the contract) from 03/2019 till 08/2022 and it features the final output of these phases. The report includes results from previous reports 7.1 (Svoboda, 2019, TZ 417/2019), 7.2 (Svoboda, 2020, TZ 478/2020), 7.3 (Svoboda, 2021, TZ 537/2021) and a 7.4 (Svoboda, 2022, TZ 594/2022). It contains a description of the course of the experiment including maintenance and repairs, intermediate results and their interpretation.

The experiment has been commissioned on 7th March 2019 when saturation has been initiated. FM1-5 are heated, FM1-10 are artificially saturated. Monitoring of FM and surrounding rock mass is being performed. Most of the monitored parameters are stable or with very slow changes. More significant changes observed are typically due to external influences such as heater temperature changes, pressurisation or seasonal changes.

A slow increase of temperature is observed inside the FMs with heaters and their vicinity. In FM3 temperature variations are observed following the temperatures in the niche. Observed values of temperature are in the range of 25 – 100 °C inside FM1-4, 60 – 200 °C inside FM5 (except outages), 10-16 °C inside FM6-10 and 13 – 35 °C in the rock mass.

A water ingress into some of the heaters and the measurement system (via cables) has taken place leading into damage of the equipment. Affected systems were repaired or replaced and mitigation measures has been deployed. Mechanical contactors have been replaced by SSR semiconductors in order to increase the heater control reliability and more precise control. The reliability of the experiment technology has been greatly improved.

Chemical and microbiological analyses of groundwater samples were performed periodically during the project. The groundwater from the borehole S-1, collected in the storage tank for saturating the physical models, and then the waters from the experimental ZK-3S niche, are characterized. Chemical and microbiological analyses do not show significant trends and changes in the monitored parameters, a natural fluctuation of values is observed. Only a very slight shift in the composition of groundwater was recorded in the groundwater in the storage tank, which is characteristic to the Bukov URF (increase in the sulphates concentration, less bicarbonates and calcium amounts). So far, it has not been proven that the chemical composition of groundwater inflows into the ZK-3S niche is influenced by the experiment.

Keywords

In-situ experiment, physical model, interactions, bentonite, pellets, Bukov URF, measurement system, pressurisation system.

1 Úvod

V březnu 2019 byla zahájena sedmá a osmá etapa projektu „Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov“. Cílem sedmé etapy projektu je provozovat fyzikální modely in-situ v období 03/2019-09/2022. V rámci osmé etapy jsou fyzikální modely a jejich okolí monitorováno. Od září 2019 také probíhá devátá etapa projektu, která obsahuje interpretaci získaných výsledků.

Tato průběžná zpráva č. 7.5 popisuje průběh sedmé, osmé a deváté etapy řešení projektu v období 03/2019-08/2022. Zpráva je zpracována jako souhrnná za všechny probíhající etapy (7.-9.) a zahrnuje i obsah etap 7-9 předchozích zpráv 7.1 (Svoboda, 2019, TZ 417/2019), 7.2 (Svoboda, 2020, TZ 478/2020), 7.3 (Svoboda, 2021, TZ 537/2021) a 7.4 (Svoboda, 2022, TZ 594/2022).

Zpráva je rozdělena do dvou hlavních celků:

- Provoz experimentů (kapitola č. 2), který obsahuje průběh etapy č. 7. Je zde uvedena pravidelná údržba, provedené odběry pro analýzy, zvláštní události a změny režimu provozování jednotlivých FM.
- Monitoring a interpretace výsledků (kapitola č. 3), který obsahuje výsledky etap 8 a 9. Jsou zde uvedeny výsledky hydrogeologie, mikrobiologie, chování jednotlivých FM a horninového prostředí.

Celkový průběh je pak zhodnocen v závěru.

2 Provoz experimentů

Po instalaci a dokončení testu topidel došlo 7.3.2019 k zahájení sycení a kontinuálního tepelného namáhání. FM1-10 jsou kontinuálně syceny a FM1-5 jsou navíc namáhány teplotou. V pravidelných intervalech jsou prováděny odběry vody v okolí FM, probíhá pravidelná údržba a odstraňování případných problémů.

2.1 Údržba

V období 03/2019-08/2022 proběhla pravidelná údržba v těchto termínech:

- 16.5.2019
- 24.7.2019
- 14.11.2019
- 8.1.2020
- 15.1.2020
- 19.2.2020
- 4.3.2020
- 29.4.2020
- 11.6.2020
- 15.7.2020
- 5.8.2020
- 1.10.2020
- 2.12.2020
- 30.3.2021
- 5.5.2021
- 13.5.2021
- 3.8.2021
- 10.8.2021
- 17.8.2021
- 28.8.2021
- 12.10.2021
- 15.12.2021
- 17.2.2022
- 9.6.2022
- 16.8.2022

Při údržbě byla vždy provedena:

- vizuální kontrola stavu jednotlivých FM
- kontrola topení FM
- kontrola tlakovacího systému
- výměna hlavního filtru tlakovacího systému a vyčištění filtrů regulačních ventilů
- dotažení průchodek, pokud bylo třeba
- výplach nádrže (14.11.2019, 15.1.2020, 11.6.2020, 2.12.2020, 5.5.2021, 12.10.2021, 9.6.2022)



Obr. 1 Filtry tlakovacího systému před vyčištěním/výměnou



Obr. 2 Údržba tlakovacího systému



Obr. 3 Čištění nádrže tlakovou vodou

2.2 Odběry pro analýzy

V prostoru IE jsou prováděny pravidelné odběry vod pro hydrogeologickou analýzu. Tyto odběry navazují na odběry provedené v rámci etapy 2 a 4.

V době od spuštění experimentu do konce 2021 proběhly odběry v následujících termínech:

- 5.2.2019 ČGS - poslední odběr neovlivněných vzorků těsně před zahájením instalace experimentu; vzorkované přítoky: BK18 (S-1), BK38, měřicí vrt MV16, BK43 (S-20), BK44 (S-19), BK45 (S-21)
- 6.6.2019 ČGS - odběr vzorků po 3 měsících od spuštění experimentu; vzorkované přítoky: voda v nádrži (BK18 - S-1), měřicí vrt MV16, BK43 (S-20), V-1 (FM1) (průsak z experimentálního vrtu)
- 30.7.2019 ÚJV – odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod, stěry pro mikrobiologickou analýzu; vzorkovací místa: zásobní nádrž, vrty BK18 (S-1), BK35, BK38, BK43 (S-20)
- 29.8.2019 ČGS - odběr vzorků po 6 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda v nádrži (BK18 - S-1), měřicí vrt MV16, BK43 (S-20).
- 28.11.2019 ČGS - odběr vzorků po 9 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda v nádrži (BK18 - S-1), měřicí vrt MV16, BK43 (S-20).
- 25.2.2020 ČGS - odběr vzorků po 12 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda v nádrži (BK18 - S-1), měřicí vrt MV16, BK43 (S-20).
- 12.3.2020 ČGS, ÚJV odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: výtok z hadice (BK18 - S-1 H), dno nádrže (BK18 - S-1 DN), za filtrem čerpadla (BK18 - S-1 F), rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20), BK45 (-S21)

- 12.5.2020 ÚJV– odběr vzorků pro fyzikálně chemickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20), výtok u teploměru MV16
- 17.6.2020 ČGS - odběr vzorků po 15 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 - S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20).
- 28.07.2020 ČGS - odběr vzorku z lyzimetru (FM1)
- 18.08.2020 ČGS - odběr vzorků po 18 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 - S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), voda z lyzimetru (FM1)
- 10.9.2020 ÚJV – odběr vzorků pro fyzikálně chemickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, vrty BK38, BK43 (S-20), BK45 (S-21), výtok u betonového rohu rozrážky
- 12.11.2020 ÚJV – odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20), BK45 (S-21), S-18 a výtok u teploměru MV16
- 30.11.2020 ČGS - odběr vzorků po 21 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 - S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20).
- 2.3.2021 ČGS – odběr vzorků po 24 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru
- 2.6.2021 ÚJV– odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20) a výtok u teploměru T16 ; stěr FM1
- 8. 6. 2021 ČGS – odběr vzorků po 27 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru
- 27. 8. 2021 ČGS – odběr vzorků po 30 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru
- 13.9.2021 ÚJV– odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20) a výtok u teploměru T16; stěr FM1
- 30. 11. 2021 ČGS – odběr vzorků po 33 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru
- 20.12.2021 ÚJV– odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrt BK43 (S-20) a výtok u teploměru T16; stěr FM1
- 3.3.2022 ČGS odběr vzorků po 36 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru
- 9.6.2022 ČVUT – odběr vzorků pro mikrobiologii: filtr, stěna zásobní nádoby, voda z nádoby, plovoucí „sediment“
- 30.5.2022 ČGS odběr vzorků po 39 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřící vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru.

- 14.6.22 ÚJV– odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20); stěr FM1
- 11.8.2022 ÚJV - odběr vzorků pro fyzikálně chemickou a mikrobiologickou analýzu vod; vzorkovací místa: zásobní nádrž, rozvod do experimentů za čerpadlem, vrty BK18 (S-1), BK43 (S-20) a výtok u teploměru T16; stěr FM1
- 12.9.2022 ČGS odběr vzorků po 42 měsících od spuštění experimentu, vzorkované přítoky: voda za filtrem čerpadla (BK18 – S-1), měřicí vrt MV16, BK43 (S-20), průsak z FM1 – odběr z lyzimetru.

2.3 Zvláštní události

2.3.1 Technologie a topení FM

V období 03/2019-08/2022 došlo k následujícím událostem:

- 3.5.2019 Diagnostika FM1+5 a dočasné vypnutí FM5 – problém s izolačním odporem topidel
- 6.5.2019 Diagnostika FM1+5, zapnutí FM5, vypnutí FM1 – problém s izolačním odporem topidel
- 16.5.19 Přepojení topidla FM1 na 48V, pravidelná údržba
- 9.-24.7.19 Výpadek tlakování (shozený jistič, prázdná expanzní nádoba)
- 24.7.19 Oprava tlakovacího systému
- 9.9.2019 Vypnutí FM1 z důvodu poruchy stykače 2.5.1
- 10.9.2019 Zapnutí FM1 (topidlo přepojeno na druhý stykač – 2.5.2)
- 12.2019 Výpadky měřicího systému
- 8.1.2020 Odpojení vadných čidel, odpojení topidla FM5 z důvodu poruchy izolačního stavu
- 15.1.2020 Oprava multiplexeru, odpojení sycení FM5 z důvodu průniku vody vnitřkem kabelu topidla FM5 do rozvaděče
- 12.2019-02.2020 Výpadky měřicího systému
- 5.2.2020 Demontáž vadného multiplexeru
- 19.2.2020 Demontáž části náplně topidla FM5, změna zapojení rozvaděče - instalace SSR jako hlavního spínacího prvku topidel
- 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 Dokončení demontáže vnitřku topidla FM5, instalace topidla a řídicích teploměřů FM5, reset a změna programu PLC po připojení teploměřů FM5 a termočlánků č.3 FM2-4
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů, FM5 řízeno středním čidlem
- 29.4.2020 Zprovoznění multiplexeru, těsnění ústí topidla FM5
- 12.5.2020 Zjištění únik syticí vody (jehlový otvor v trubičce)
- 11.6.2020 Kompletní výměna rozvodu syticí vody (rozvodné trubičky k FM). Výměna obsypu topidla FM5.
- 15.7.2020 Diagnostika MS
- 5.8.2020 Oprava MS a ŘS
- 30.3.2021 Úprava ŘS (přepojení stykače)

- 5.5.2021 Nový FM pro ústřednu MS (odstranění problémů s měřením)
- 13.5.2021 Úprava MS (odpojení nefunkčních čidel a úprava zapojení)
- 3.8.2021 Výměna prasklé hadice tlakovacího systému
- 10.8.2021 Vyjmutí topidla FM5
- 17.8.2021 Instalace vysušeného topidla FM5
- 23.8.2021 Vypnutí topidla FM5 z důvodu poruchy izolačního stavu
- 28.8.2021 Topidlo FM5 na snížený výkon (připojeno přes izolační transformátor)
- 12.10.2021 Oprava PID ŘS (oprava problému řízení FM2-4 od 13.9.), instalace nového topidla FM5
- 17.2.2022 Oprava ŘS (přepojení SSR FM2 na jiný výstup a úprava zapojení nouzového odpojení)
- 9.8.2022 Detekován ucpaný odtok (přepad) z akumulární nádrže
- 11.8.2022 Uvolnění odtoku (přepad) z akumulární nádrže
- 26.8.2022 Oprava MS (vadný multiplexer strunových čidel)

3.5.2019 zjistilo DIAMO poruchu izolačního stavu rozvodné soustavy elektrické energie. Na základě diagnostiky byl identifikován problém s topidly FM1 a FM5, kde byl nízký nebo nedostatečný izolační odpor. Jako opatření bylo nejprve odpojeno topidlo FM5.

6.5.2019 bylo po kontrole a opětovné diagnostice topidlo FM5 zapojeno zpět a bylo odpojeno topidlo FM1.

16.5.2019 byla provedena úprava elektrického zapojení topidla FM1. Topidlo bylo zapojeno přes izolační transformátor 230V/48V na nízké napětí a došlo k jeho opětovnému spuštění.

V době letní odstávky dolu došlo k výpadku tlakování z důvodu aktivace jističe čerpadla. 24.7.2019 byla provedena diagnostika a oprava tlakovacího systému. Byla dotlakována expanzní nádoba, jejíž nízký tlak způsoboval pravděpodobně častou aktivaci čerpadla, která mohla vést k aktivaci jističe.

9.9.2019 Došlo k poruše regulace topení FM1. Topidlo bylo v provozu neustále bez ohledu na pokyny ŘS. DIAMO provedlo kontrolu v podzemí a zjistilo poruchy stykače, který zůstal sepnut. Topidlo bylo dočasně vypnuto. 10.9.2019 DIAMO provedlo přepojení na vedlejší stykač a ČVUT přeprogramovalo ŘS tak, aby byl provoz FM1 obnoven.

12.2019-02.2020 Došlo ke krátkodobým výpadkům měřicího systému, jejichž příčinu se nepodařilo diagnostikovat. 8.1.2020 byla proto preventivně fyzicky odpojena z MS již nefunkční čidla. Při této kontrole byl zjištěn průnik vody vnitřkem kabelu jednoho z RH čidel, který vedl k poškození desky multiplexeru (poškození zjištěno při další kontrole).

15.1.2020 Bylo zjištěno poškození jednoho z multiplexerů vodou (koroze). Na místě byla provedena oprava poškozených cest. Krátce po opravě nastaly opět problémy MS a tak byl poškozený multiplexer 5.2.2020 demontován.

5.2.2020 Byl demontován poškozený multiplexer, který způsoboval nestabilitu měřicího systému

19.2.2020 Proběhla první část demontáže vnitřku topidla FM5 (z důvodu časového omezení na jednu směnu neproběhla celá, Obr. 6) a byla provedena úprava ŘS topidel. Do rozvaděče ŘS byla instalována v sérii se stykači polovodičová „relé“ (SSR). Cílem úpravy bylo zamezit

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

problémům s opotřebením stykačů a jejich selhání. Stávající stykače mají nyní pouze pojistnou funkci a vlastní regulace výkonu je prováděna pomocí SSR.

4.3.2020 Byla dokončena demontáž vnitřku topidla FM5 a bylo instalováno nové topidlo. Topidlo je instalováno dovnitř pláště původního topidla, který zůstal na místě. Mezera mezi novým topidlem a pláštěm původního topidla je vyplněna pískem a jsou do ní instalovány řídicí teploměry.

29.4.2020 Byl zprovozněn zbývající multiplexer (dokončení instalace z 4.3.20) a bylo instalováno těsnění na ústí topidla FM5 jako prevence vyplavování obsypu.

12.5.2020 Byl při odběru vzorků vody zjištěn únik sytící vody v jedné z rozvodných trubiček k FM (jehlový otvor). Únik byl provizorně přetěsněn páskou.

11.6.2020 proběhla kompletní výměna trubiček rozvodu sytící vody. Pro nové trubičky byl zvolen jiný materiál, který má vyšší odolnost (trubičky jsou certifikovány na výrazně vyšší tlak). Dále byl vyměněn obsyp topidla FM5 z důvodu podezření na jeho možné částečné vyplavení (Obr. 8). Na ústí obsypu bylo instalováno těsnění, aby bylo zabráněno vyplavování.

15.7.2020 proběhla diagnostika MS, který vykazoval problémy s čtením hodnot vlhkoměrů. Závadu nebylo možné na místě odstranit. Následně proběhla konzultace s výrobcem ústředny, který doporučil další diagnostiku a nový firmware. Byla provedena nová terminace kabelu síťového připojení (nespolehlivý datový provoz).

5.8.2020 proběhla oprava měřicího systému. Do ústředny byl nahrán nový firmware od výrobce, který odstranil problémy. Dále byly pro odstranění problémů přepojeny vlhkoměry na záložní kanály multiplexeru vlhkoměrů. Při kontrole ŘS byl zjištěn problém s jedním z ovládacích signálů pro řízení topidla FM5. Řízení topidla bylo přepojeno na rezervní výstup ŘS a ŘS byl příslušně přeprogramován.

30.3.2021 Při pravidelné údržbě byl zjištěn problém s KM2.1.1 (stykač), který byl na konci životnosti. V ŘS bylo upraveno zapojení tak, aby místo něj využit KM2.1.2. Stykač byl později vyměněn při další údržbě.

5.5.2021 proběhla diagnostika a oprava měřicího systému. Problém s ústřednou byl vyřešen resetem a upgradem FW ústředny.

13.5.2021 proběhla oprava měřicího systému. Byla zcela odpojována nefunkční čidla (vlhkoměry). Čidlo RH 0.21 bylo připojeno přímo na ústřednu (bez multiplexeru). Zbylá TDR čidla byla přesunuta na volné vstupy multiplexeru strunových čidel. Byla provedena oprava zlomeného kabelu u čidla 119.12.

3.8.2021 Proběhla výměna prasklé hadice mezi expanzní nádobou a čerpadlem tlakovacího systému.

3.8.-28.8.2021 Došlo k problémům s topidlem FM5 z důvodu poruchy izolačního stavu (zatečení vody). Po diagnostice (3.8.) proběhl po konzultacích s výrobcem pokus o vysušení topidla. Vzhledem k tomu, že selhal pokus o vysušení na místě (10.8.), o bylo topidlo převezeno do URC Josef, kde bylo umístěno do pece pro vysušení. 17.8. bylo topidlo instalováno zpět a dále provozováno až do 23.8., kdy opět došlo k poruše. 28.8. byl proto instalován izolační transformátor a topidlo bylo dále provozováno v nouzovém režimu se sníženým výkonem.

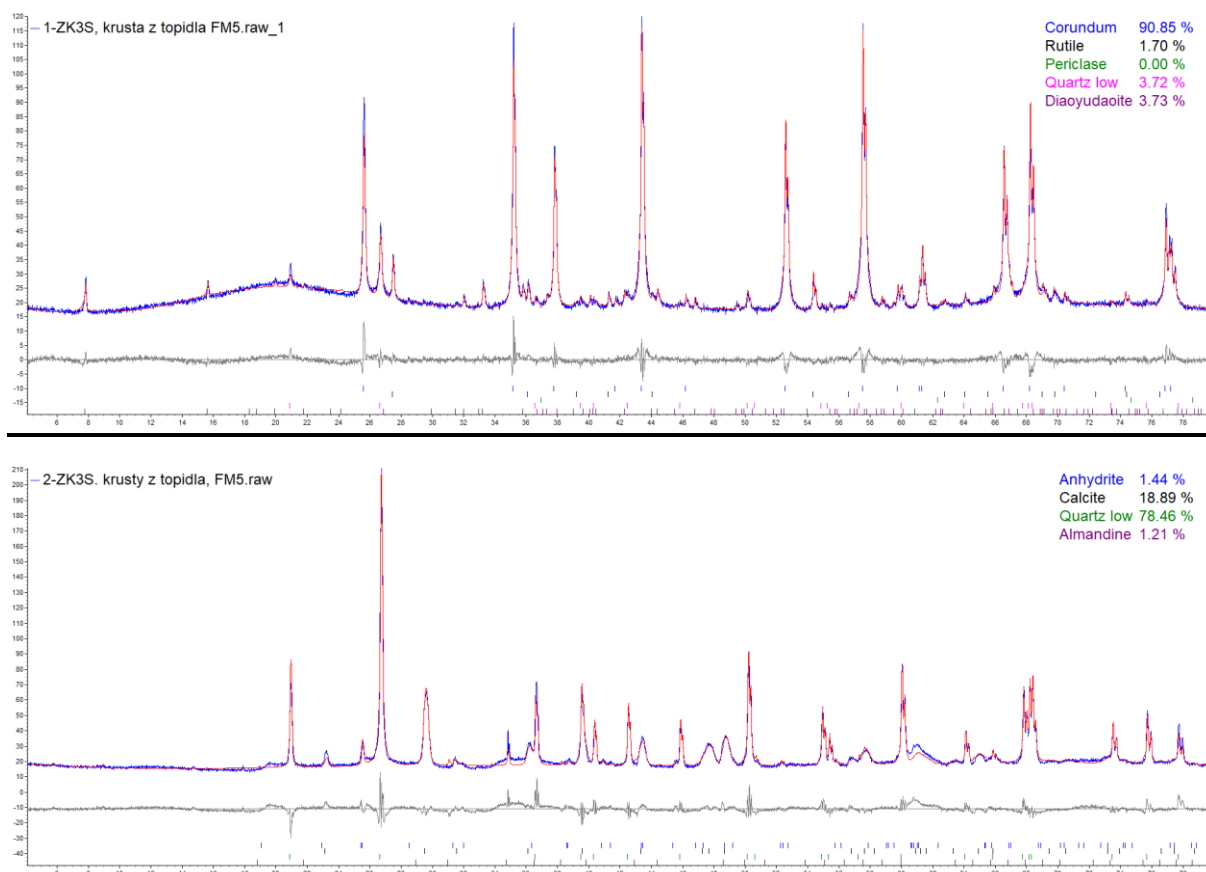
Při vyjmutí topidla byl na topidle nalezen „sediment“ (Obr. 11). Materiál byl předán na další analýzu. Část materiálu (Obr. 4) byla podrobena kyselému loužení/rozkladu. Materiál o hmotnosti 15,4 g byl nejprve loužen v kyselině dusičné (směs 20 ml koncentrované HNO_3 + 20 ml destilované vody) po dobu 24 hodin. Kapalná a pevná fáze byly poté odděleny a pevná fáze byla podrobena druhé fázi loužení v kyselině chlorovodíkové (směs 20 ml koncentrované HCl + 20 ml destilované vody) po dobu 24 hodin. Poté byla opět oddělena kapalná fáze. Kyselé výluhy byly poté podrobeny chemické analýze, jejíž výsledky jsou shrnuty v Tab. 1. Tyto výsledky podporují výsledky mineralogické analýzy níže. Přítomné síranové a vápenaté ionty potvrzují přítomnost anhydritu/sádrovce a kalcitu (karbonáty potvrzeny při rozkladu vzorku).

Tab. 1: Složení kapalných fází po kyselém loužení „sedimentu“

	Cl^-	SO_4^{2-}	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Si	Sr
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
rozklad v HNO_3	82,8	2140	310,0	224,0	9480	2240	376,0	71,6	5,80	17,72	28,0
rozklad v HCl	---	1660	52,0	42,4	1416	183	40,2	8,3	0,46	25,80	8,0



Obr. 4 Vzorek „sedimentu“, který byl podroben kyselému loužení.



Obr. 5 XRD analýza

XRD fázová analýza (Obr. 5) 2 vizuálně odlišných úlomků tohoto materiálu odhalila jejich výrazně odlišné mineralogické složení. V převažujícím typu materiálu (jemnozrný, porézní, heterogenně zbarvený tmavým pigmentem) výrazně převládá křemen, doprovázený kalcitem a malým množstvím anhydritu a minerálu, který by dle XRD záznamu mohl být almandin nebo magnetit, případně obě tyto fáze. Menší množství z odebraných úlomků tvořily lesklé tenké celistvé bílé šupiny tloušťky do 2 mm, zřejmě odloupené přímo z topidla. Ve vzorku tohoto typu materiálu dle semikvantitativní fázové XRD analýzy zcela převládal korund, následovaný malým množstvím křemene, diaoyudaoitu a rutilu. Diaoyudaoit je chemicky $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$, tato fáze může vznikat během průmyslové výroby korundu. Ploché a široké zvýšení signálu v XRD datech centrované okolo 20° 2Theta u tohoto vzorku zároveň svědčí o přítomnosti amorfni fáze (např. skla). Vzhledem k takto překvapivému mineralogickému složení byl stejný XRD fázové analýze podroben jeden dodatečný kontrolní vzorek, který vizuálně odpovídal předchozímu (lesklá tenká celistvá bílá šupina). Výsledek této semikvantitativní fázové XRD analýzy však vyšel výrazně odlišně – v tomto případě ve vzorku dominují sírany vápníku (bassanit, sádrovec a anhydrit, zjednodušeně by se mohlo říci „sádra“), doprovázené významnějším množstvím karbonátu kalcitu a silikátu apofylitu. Zásadní rozdíl ve dvou mineralogických analýzách téhož materiálu, omezené množství materiálu k analýze a absence přesné lokalizace jednotlivých vzorků vzhledem k topidlu vedou k závěru, že je žádoucí v navazujícím projektu zaměřeném na rozebrání a analýzy fyzikálních modelů věnovat zvýšenou pozornost odběru vzorků případných sraženin v okolí topidla a jejich systematické mineralogické analýze, včetně přesné lokalizace jednotlivých vzorků a kontextu s okolními součástmi tohoto fyzikálního modelu.

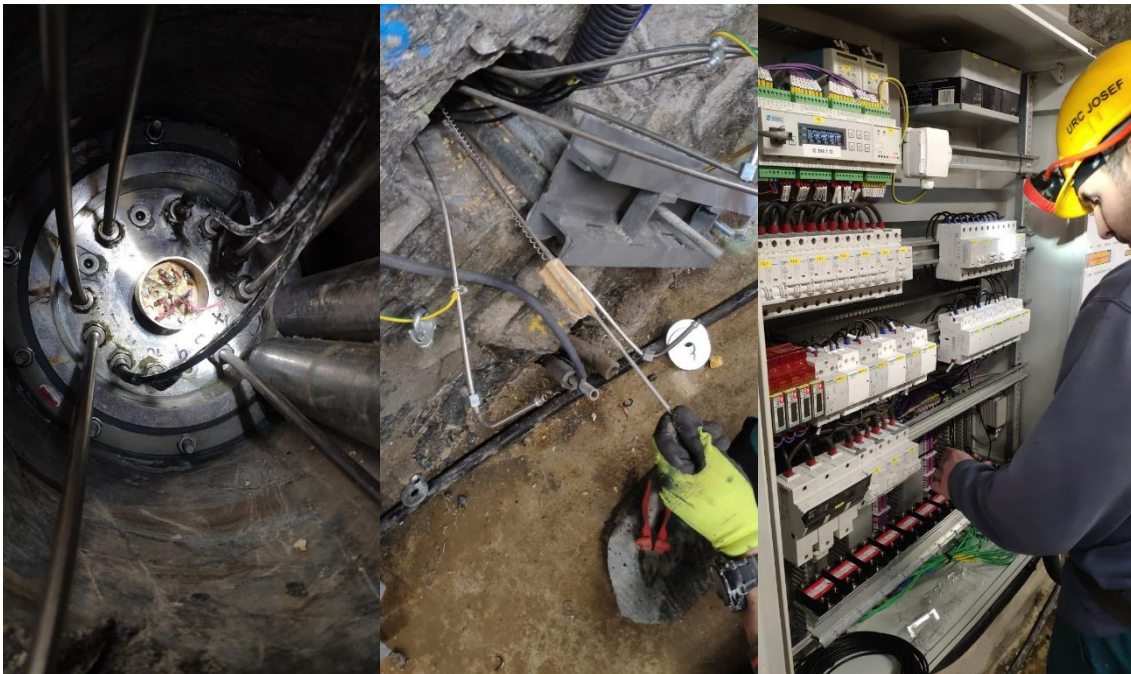
12.10.2021 Bylo instalováno nové topidlo FM5. Zároveň byla provedena úprava řídicího systému topidel (PID regulace), která odstranila problémy, které se ukázaly po výpadku napájení 13.9. (nedosažení požadované teploty).

25.12.2021-4.1.2022 Porucha řízení topidla FM4 (aktivní nouzové odpojování).

17.2.2022 Bylo přepojeno ovládání SSR FM2 na jiný výstup PLC z důvodu problémů s výstupem PLC. Byla provedena úprava zapojení nouzového odpojení topení FM a byl přeprogramován ŘS.

9.8.2022 ÚJV během realizace experimentu v sousední rozrážce detekovalo přetékající vodu z nádrže víkem IBK, která slouží jako zdroj vody pro IE. Po konzultaci byl 11.8. uvolněn odtok z nádrže, který byl příčinou přetékání.

26.8.2022 Bylo provedeno přepojí VW čidel z vadných kanálů multiplexeru.



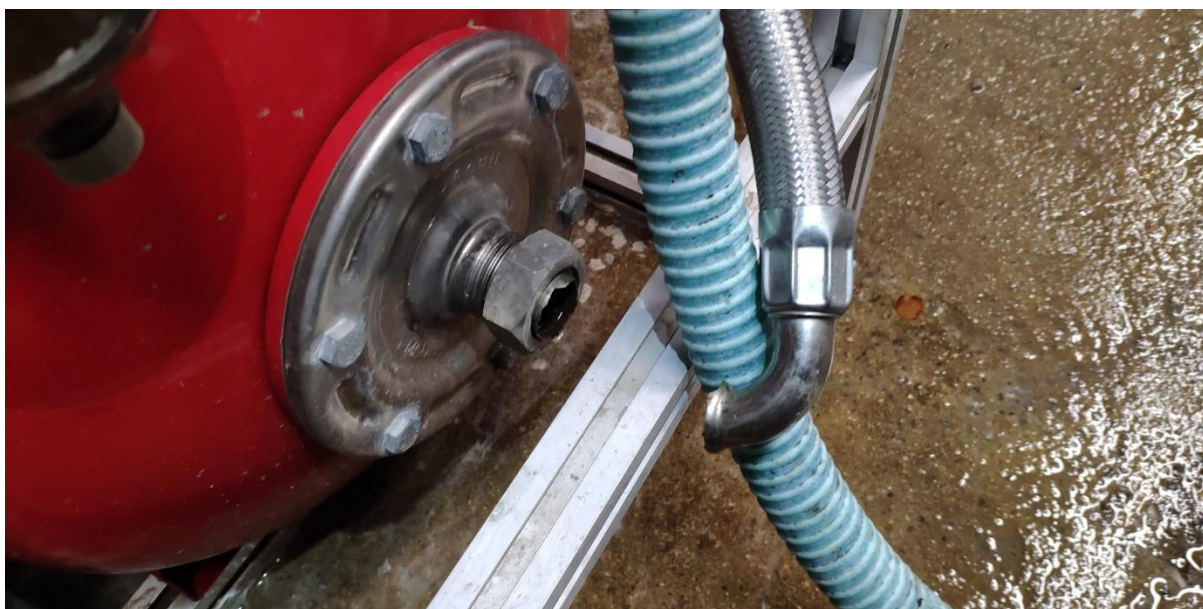
Obr. 6 Demontáž vnitřní části topidla FM5 a instalace SSR



Obr. 7 Nové topidlo FM5 po instalaci (4.3.2020)



Obr. 8 Výměna obsypu topidla FM5



Obr. 9 Prasklá hadice tlakovacího systému (3.8.2021)



Obr. 10 Pohled na vyjmuté "nové" topidlo (10.8.2021)



Obr. 11 Pohled na sediment sejmutý z topidla (10.8.2021)

2.3.2 Instrumentace a měřicí systém

V období 03/2019-08/2022 došlo k poruše následujících čidel:

- 1.2x RH 19.5.2019 – FM1
- 1.3x TDR 29.7.2019 – FM1 (teplota do 1.6.2020)
- 2.3x TDR 11.6.2019 – FM2
- 4.2x TDR 2.6.2019 – FM4
- 6.2x RH 25.8.2019 – FM6
- 7.2x RH 19.5.2019 – FM7
- 2.2x RH 21.12.2019 – FM2
- 4.3x TDR 27.12.2019 – FM4 (teplota do 1.3.2020)
- 3.1x RH 2.2.2020 – FM3 (teplota do 18.4.2020)
- 3.3x RH 2.2.2020 – FM3
- Termočlásky topidla FM5 19.2.2020 (nahrazeny novými teploměry při výměně topidla)
- 1.42 T 1.2020 – FM1 teploměr (ukazuje nesprávné hodnoty)
- 104.14 T 11.7-16.8.22 – porucha vstupu multiplexeru (čidlo dočasně nefunkční)
- 1-4.4x, .5x T+VW 19.8-26.8.22 – porucha multiplexeru (čidla dočasně nefunkční)

Porucha všech čidel vlhkosti nastala až po dosažení 100 % vlhkosti v daném místě (došlo k zaplavení čidla).

Z měřených dat nelze stanovit, zda jde o dočasnou poruchu (např. vlivem vody v kabeláži RH čidel) nebo došlo k trvalému mechanickému či elektrickému poškození čidel. Průnik vnitřkem kabelů některých RH čidel však ukazuje na poškození vodou.

Použitá čidla relativní vlhkosti (RH) měří vlhkost vzduchu (obsah par) kapacitním způsobem. Jejich snímací element musí být přímo vystaven prostředí. Z tohoto důvodu, je po zaplavení čidla vyšší riziko poškození měřicího elementu a připojené elektroniky (při dlouhodobém styku s vodou dochází k degradaci). Čidla tohoto typu proto nejsou schopna obnovit svou funkci (resp. obnova funkce není garantována) po zaplavení a opětovném vysušení. Poškození vodou (koroze) je indikováno i způsobem jakým čidla přestávají měřit. Nejprve je indikován stav mimo rozsah/nesprávné měření veličiny RH, avšak teplota je stále měřena. Později přestane být měřena i teplota a čidlo přestává komunikovat.

Použitá čidla obsahu vody měří permitivitu prostředí metodou TDR. K tomu využívá sadu elektrod, které jsou instalovány v bentonitu. Pokud došlo k nerovnoměrnému bobtnání mohlo dojít k mechanickému namáhání a poškození těchto čidel (zlomení). Porovnání FM s topidly a bez topidel ukazuje výrazný vliv teploty na životnost čidel, kdy většina nefunkčních čidel je v ohřívacích FM, kde byla provozována na horní hranici výrobce udávané odolnosti.

Počet nefunkčních čidel je vyšší, než se předpokládalo. Čidla však splnila svou hlavní funkci – sledování postupu iniciální saturace.

2.4 Změny režimů provozování

Po dohodě se zadavatelem jsou FM provozovány v následujícím režimu:

- FM1-5 jsou tepelně namáhány konstantní teplotou a kontinuálně syceny
- FM1-10 jsou kontinuálně syceny.

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

Tento režim byl udržován po celou dobu období, mimo událostí popsanych v následujících podkapitolách. Teploty v topidlech byly upraveny na základě jednání na KD9.

2.4.1 FM1

Topidlo FM1 bylo provozováno následovně:

- 19.2.2019 začátek topení – nastavena teplota 95 °C
- 6.5.2019 odpojení topidla
- 16.5.2019 zapojení topidla – nastavena teplota 100 °C
- 17.7.2019 nastavena teplota 95 °C
- 18.7.2019 nastavena teplota 94 °C
- 29.7.2019 nastavena teplota 88 °C
- 30.7.2019 nastavena teplota 86 °C
- 30.7.2019 nastavena teplota 85 °C
- 12.8.2019 nastavena teplota 84 °C
- 14.8.2019 nastavena teplota 82 °C
- 15.8.2019 nastavena teplota 80 °C
- 7.9.2019 poruch stykače FM1 – topidlo kontinuálně topí
- 9.9.2019 odstavení topidla FM1
- 10.9.2019 přepojení topidla FM1 na náhradní stykač a jeho opětovné spuštění
- 11.9.2019 nastavena teplota 78 °C
- 12.9.2019 nastavena teplota 75 °C
- 13.9.2019 nastavena teplota 65 a 85 °C
- 16.9.2019 nastavena teplota 87 °C
- 30.9.2019 nastavena teplota 86 °C
- 13.11.2019 nastavena teplota 85 °C
- 19.2.2020 úprava řízení topidla – výměna stykače za SSR
- 3.3.2020 nastavena teplota 90 °C, změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 reset a změna programu PLC po připojení teploměrů FM5 a termočlánků č.3 FM2-4
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů, FM5 řízeno středním čidlem
- 15.7.2020 v průběhu diagnostiky byla dočasně nastavena teplota 100 °C
- 24.10.2020 nastavena teplota 89 °C
- 2.2.2021 nastavena teplota 88 °C
- 9.7.2021 nastavena teplota 87 °C
- 20.7.2021 nastavena teplota 80 °C
- 23.7.2021 nastavena teplota 70 °C
- 26.7.2021 nastavena teplota 75 °C
- 1.8.2021 nastavena teplota 80 °C
- 9.3.2022 nastavena teplota 85 °C
- 22.3.2022 nastavena teplota 90 °C

Úprava nastavených teplot topidla (teploty měřené termočlánky uvnitř topidla) po poruše topidla a jeho přepojení na 48V byla provedena z důvodu příliš vysoké teploty na rozhraní

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

topidlo/bentonit (překročila 100 °C). Teplota byla proto postupně nastavena tak, aby teplota na rozhraní nepřesáhla 100 °C.

2.4.2 FM2

Topidlo FM2 bylo provozováno následovně:

- 19.2.2019 začátek topení – nastavena teplota 95 °C
- 13.8.2019 nastavena teplota 100 °C
- 19.2.2020 úprava řízení topidla – výměna stykače za SSR
- 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 reset a změna programu PLC po připojení teploměrů FM5 a termočlánků č.3 FM2-4
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů
- 12.10.2021 změna programu PLC, úprava PID parametrů
- 15.2.2022 Nastavena teplota 95 °C z důvodu problémů s regulací (porucha řízení – stále aktivovaní SSR 2)
- 17.2.2022 Nastavena teplota 100 °C

17.2.2022 Bylo přepojeno ovládání SSR FM2 na jiný výstup PLC z důvodu problémů s výstupem PLC (byl stále sepnut, čímž došlo k poruše regulace a aktivaci nouzového odpojení). Byla provedena úprava zapojení nouzového odpojení topení FM a byl přeprogramován ŘS.

2.4.3 FM3

Topidlo FM3 bylo provozováno následovně:

- 19.2.2019 začátek topení – nastavena teplota 95 °C
- 13.8.2019 nastavena teplota 100 °C
- 19.2.2020 úprava řízení topidla – výměna stykače za SSR
- 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 reset a změna programu PLC po připojení teploměrů FM5 a termočlánků č.3 FM2-4
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů
- 12.10.2021 změna programu PLC, úprava PID parametrů
- 22.1.2022 Nastavena teplota 90 °C
- 23.1.2022 Nastavena teplota 99 °C
- 15.2.2022 Nastavena teplota 95 °C
- 9.3.2022 Nastavena teplota 100 °C

2.4.4 FM4

Topidlo FM4 bylo provozováno následovně:

- 19.2.2019 začátek topení – nastavena teplota 95 °C
- 13.8.2019 nastavena teplota 100 °C
- 19.2.2020 úprava řízení topidla – výměna stykače za SSR

- 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 reset a změna programu PLC po připojení teploměrů FM5 a termočlánků č.3 FM2-4
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů
- 12.10.2021 změna programu PLC, úprava PID parametrů

2.4.5 FM5

Topidlo FM5 bylo provozováno následovně:

- 18.2.2019 test topení – nastavena teplota 180 °C
- 19.2.2019 začátek topení – nastavena teplota 195 °C
- 3.5.2019 odpojení topidla
- 6.5.2019 zapojení topidla – nastavena teplota 195 °C
- 8.1.2020 odpojení topidla z důvodu poruchy izolačního stavu
- 15.1.2020 vypnutí sycení FM5
- 19.2.2020 demontáž části náplně topidla
- 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů
- 4.3.2020 instalace topidla a řídicích teploměrů, reset a změna programu PLC po připojení teploměrů FM5
- 5.3.2020 změna programu PLC, úprava PID parametrů, FM5 řízeno středním čidlem
- 4.3.2020 nastavena teplota 175 °C
- 5.3.2020 nastavena teplota 140 °C
- 11.3.2020 nastavena teplota 175 °C
- 7.8.2020 nastavena teplota 185 °C
- 19.8.2020 nastavena teplota 190 °C
- 20.8.2020 nastavena teplota 202 °C
- 21.8.2020 nastavena teplota 220 °C
- 23.7.2021 nastavena teplota 200 °C
- 26.7.2021 nastavena teplota 215 °C
- 1.8.2021 nastavena teplota 210 °C
- 10.8.2021 nastavena teplota 190 °C
- 12.10.2021 změna programu PLC, úprava PID parametrů, nastavena teplota 205 °C

Při údržbě 8.1.2020 byla zjištěna porucha izolačního stavu topidla FM5 z toho důvodu bylo topidlo vypnuto. Při následné údržbě 15.1.2020 byl zjištěn průnik vody vnitřkem kabelů do rozvaděče z topidla. Kabeláž byla proto odpojována ze spojovací skříně a bylo uzavřeno sycení FM5.

19.2.2020 byla vyjmuta většina náplně topidla. Vyjmutí bylo dokončeno 4.3.2020.

4.3.2020 bylo instalováno nové topidlo. Topidlo je instalováno dovnitř pláště původního topidla, který zůstal na místě. Mezera mezi novým topidlem a pláštěm původního topidla je vyplněna pískem a jsou do ní instalovány řídicí teploměry.

Po instalaci topidla bylo sledováno chování topidla a celého FM. Na základě odezvy FM na topení byla postupně zvyšována jeho teplota.

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

11.6.2020 byl vyměněn obsyp topidla FM5 z důvodu podezření na jeho možné částečné vyplavení (Obr. 8). Na ústí obsypu bylo instalováno těsnění, aby bylo zabráněno vyplavování.

3.8.-28.8.2021 Došlo k problémům s topidlem FM5 z důvodu poruchy izolačního stavu (zatečení vody). Po diagnostice (3.8.) proběhl po konzultacích s výrobcem pokus o vysušení topidla. Vzhledem k tomu, že selhal pokus o vysušení na místě (10.8.), bylo topidlo převezeno do URC Josef, kde bylo umístěno do pece pro vysušení. 17.8. bylo topidlo instalováno zpět a dále provozováno až do 23.8., kdy opět došlo k poruše. 28.8. byl proto instalován izolační transformátor a topidlo bylo dále provozováno v nouzovém režimu se sníženým výkonem.

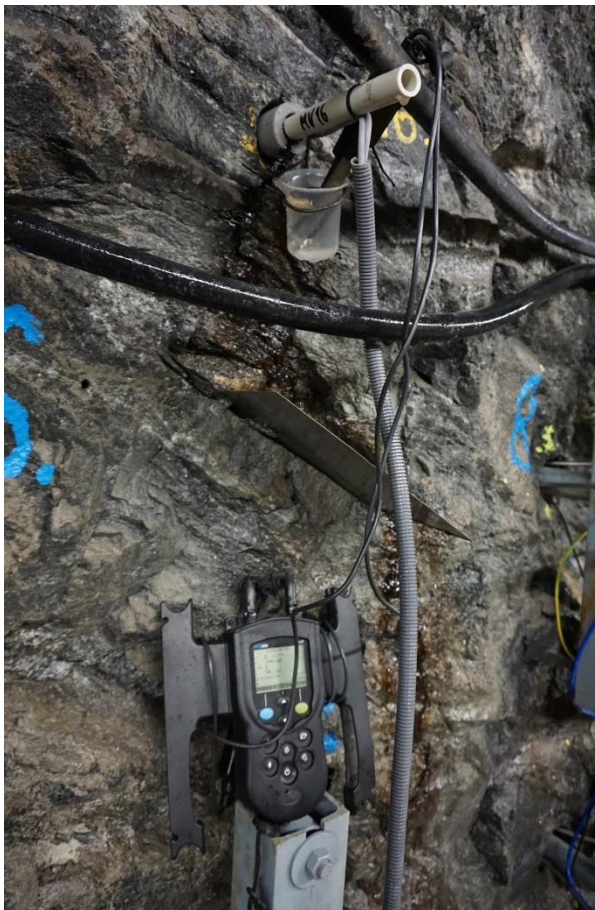
Při vyjmutí topidla byl na topidle nalezen „sediment“. Materiál byl předán na další analýzu.

12.10.2021 Bylo instalováno nové topidlo FM5. Zároveň byla provedena úprava řídicího systému topidel (PID regulace), která odstranila problémy, které se ukázaly po výpadku napájení 13.9. (nedosažení požadované teploty)

3 Monitoring a interpretace výsledků

3.1 Hydrogeologie

Vzorky podzemních vod byly z přítoků (vrtů) v rozrážce odebírány v průběhu etapy charakterizace prostředí a následného monitoringu v letech 2018 až 2022. V této etapové zprávě jsou prezentovány výsledky analýz a terénních měření, které jsou aktuálně k dispozici.



Obr. 12 Měření fyzikálně-chemických vlastností podzemní vody pod měřícím vrtem MV16



Obr. 13 Vrt FM1, osazení lyzimetru a jímací nádoba

V rozrážce byly pravidelně odebírány vzorky ze tří přítoků (vrtů). Jedná se o vodu sytící experiment přivedenou z vrtu S-1 (BK18), výtok z měřícího vrtu MV16 (Obr. 12) poblíž vrtu FM6 a výtok z vrtu S-20 (BK43). Vzorky sytící vody z vrtu S-1 byly do února 2020 odebírány ze zásobní nádrže v rozrážce, od června 2020 za filtrem čerpadla u vstupu do experimentu (viz dále).

Výtok z vrtu FM1 byl vzorkovatelný pouze v červnu 2019, poté se vydatnost zmenšila natolik, že se průsak projevoval pouze vlhnutím horniny v okolí ústí vrtu. Vzorky nebylo možné odebrat. V únoru 2020 byl pod ústím vrtu FM1 odvrtnán návrt, do kterého byl nainstalován sukční kelímek lyzimetru. Voda ze sukčního kelímku je podtlakem z horninového prostředí vysávána do zásobní nádoby (Obr. 13). V prvních měsících po instalaci probíhalo postupné čištění prostředí v okolí instalace. Odběry vzorků z tohoto zařízení probíhaly v roce 2020 nepravidelně, přítok byl velmi nízký. Počátkem roku 2021 se přítok do lyzimetru stabilizoval na

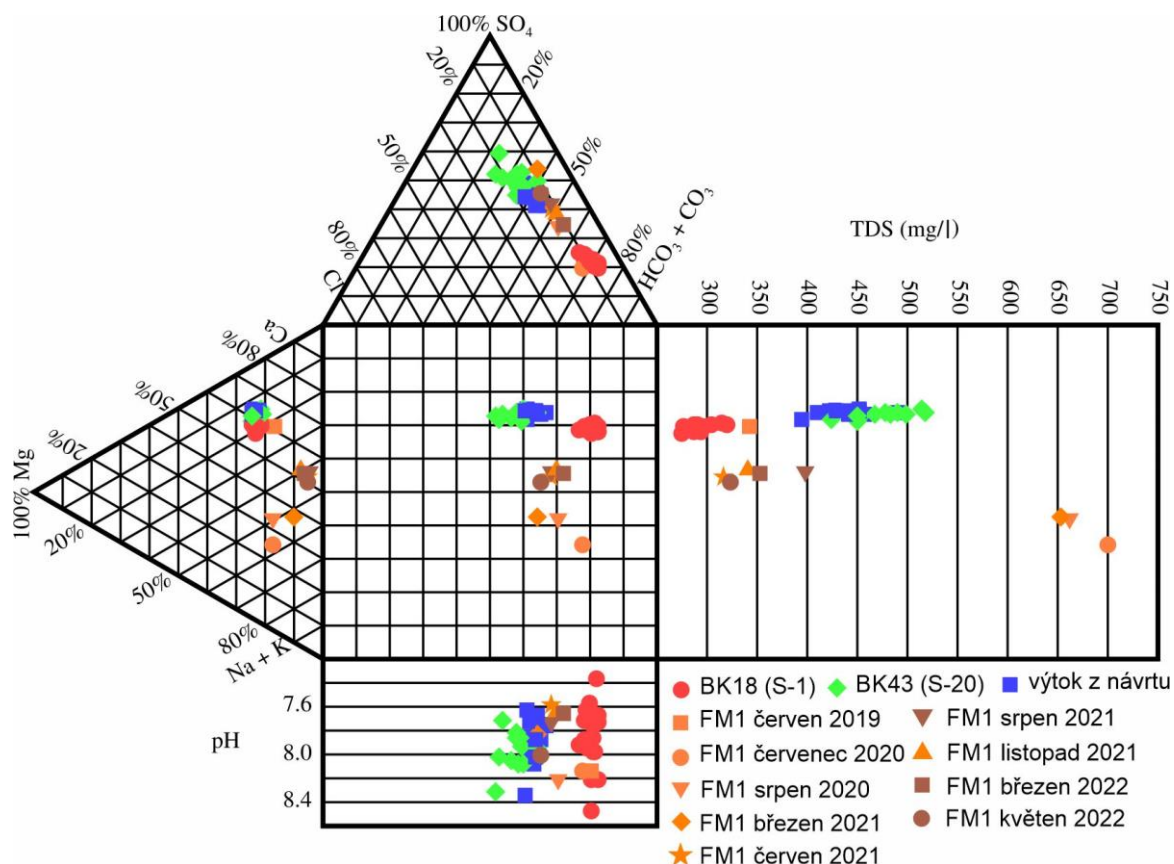
hodnotě, která umožňuje odběr vzorku i měření fyzikálně-chemických parametrů spolu s ostatními pravidelně vzorkovanými přítoky/vrty.

V průběhu pravidelného monitoringu jsou vzorky odebírány ve čtvrtletním intervalu. Odběry v roce 2022 proběhly konkrétně 3. 3., 30. 5., 14. 6. a 11. 8.

Součástí odběru vzorků bylo měření fyzikálně-chemických vlastností vody (teplota, pH, konduktivita a obsah rozpuštěného kyslíku) a vydatností (pokud to bylo možné) ze vzorkovaných přítoků. Měření prováděná na přítocích zařazených do trvalého monitoringu jsou shrnutá níže. Výsledky chemických analýz jsou v Tab. 4.

Vydatnosti monitorovaných přítoků podzemní vody do rozrážky se v posledním roce a půl měření relativně ustálily, k výrazným změnám již nedochází. Výtok z návrtu měřicího vrtu MV16 má vydatnost přibližně $0,26 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ a u výtoku z vrtu S-20 je vydatnost $7,5 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$.

Podzemní voda pravidelně vzorkovaných přítoků v rozrážce ZK-3S (vrt S-20/BK43, výtok z návrtu měřicího vrtu MV16) je typu Ca-SO_4 s celkovým obsahem rozpuštěných látek v rozmezí 400 až $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Obr. 14). Sytící voda z vrtu S-1 (BK18) je typu Ca-HCO_3 . Poměrné zastoupení hlavních kationtů je u pravidelně vzorkovaných vod obdobné, s časem se nemění. Jednotlivé odběry se v diagramu na Obr. 14 překrývají. Obdobně stabilní je i poměrné zastoupení hlavních aniontů u sytící vody z vrtu S-1. Větší variabilita chemického složení se projevila pouze u obsahů (vzájemných poměrů) hydrogenuhličitanů a síranů a s tím spojeného celkového obsahu rozpuštěných látek (TDS) u přítoků do rozrážky ZK-3S.



Obr. 14 Durovův diagram chemického složení podzemních vod v okolí experimentu

Z výsledků analýz vzorků odebraných před zahájením instalace a dále v období provozu experimentu je zřejmé, že k významným změnám chemického složení podzemních vod

v blízkém okolí experimentu v tomto krátkém časovém horizontu nedošlo (Obr. 14, Obr. 15, Obr. 16). Menší odchylky v obsazích některých iontů jsou v rámci běžné variability chemického složení podzemních vod. Začátkem roku 2021 došlo u výtoku z návrtu měřicího vrtu MV16 k poklesu obsahů některých prvků (Obr. 16), při dalších odběrech se hodnoty vrátily opět na předchozí úroveň. Po celou dobu monitoringu je u tohoto odběrového bodu zaznamenáván pouze mírný trend nárůstu obsahu chloridů. Obdobně bez výraznějších změn zůstává i chemické složení sytící vody z vrtu S-1 (Obr. 14, Obr. 17, Obr. 18), kde se již zastavil slabý trend nárůstu obsahu síranů ve vodě.

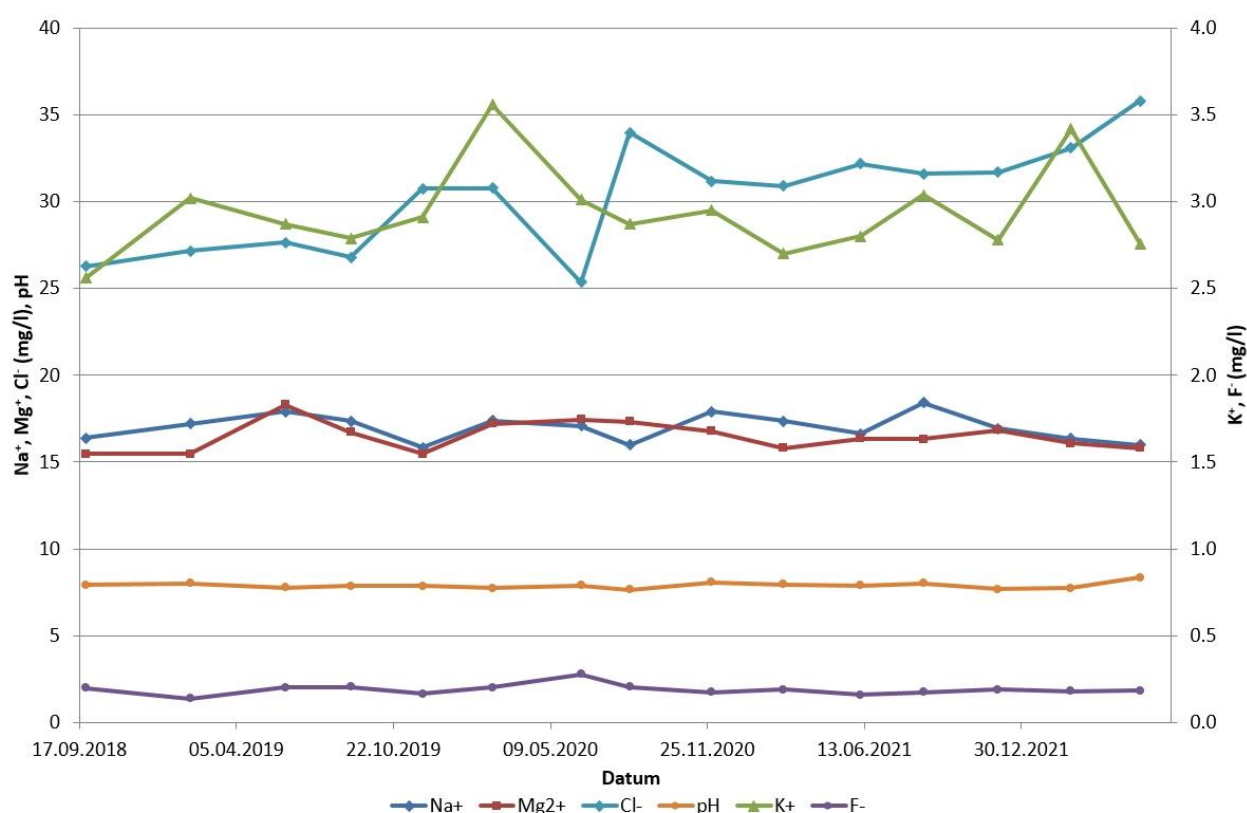
U výše uvedených pravidelně vzorkovaných přítoků se jedná o přítoky podzemní vody do PVP z horninového prostředí prostřednictvím otevřených vrtů, v případě vrtu S-1 (BK18), z vrtu uzavřeného pakrem. Přítoky z návrtu pro teploměr MV16 a z vrtu S-20/BK43 jsou vzdálené od experimentálních vrtů desítky cm až první jednotky metrů a z dosavadního monitoringu je zřejmé, že chemické složení těchto vod není ovlivněné experimentem. Teplotní změny v odpovídajícím okolí zahřívání experimentů velmi rychle odeznívají a malá změna teploty nemá na složení podzemní vody výraznější vliv.

Jiný charakter má vzorkovaný průsak z experimentálního vrtu FM1. Vrt FM1 byl po odvrtání po dobu přibližně jednoho roku zcela suchý. Je proto možné předpokládat, že voda prosakující na ústí vrtu FM1 je sytící voda experimentu, která byla přímo v kontaktu s modelem ve vrtu FM1 a drobnými netěsnostmi (drobné pukliny) prosakuje kolem zátky vrtu směrem ke stěně rozrážky.

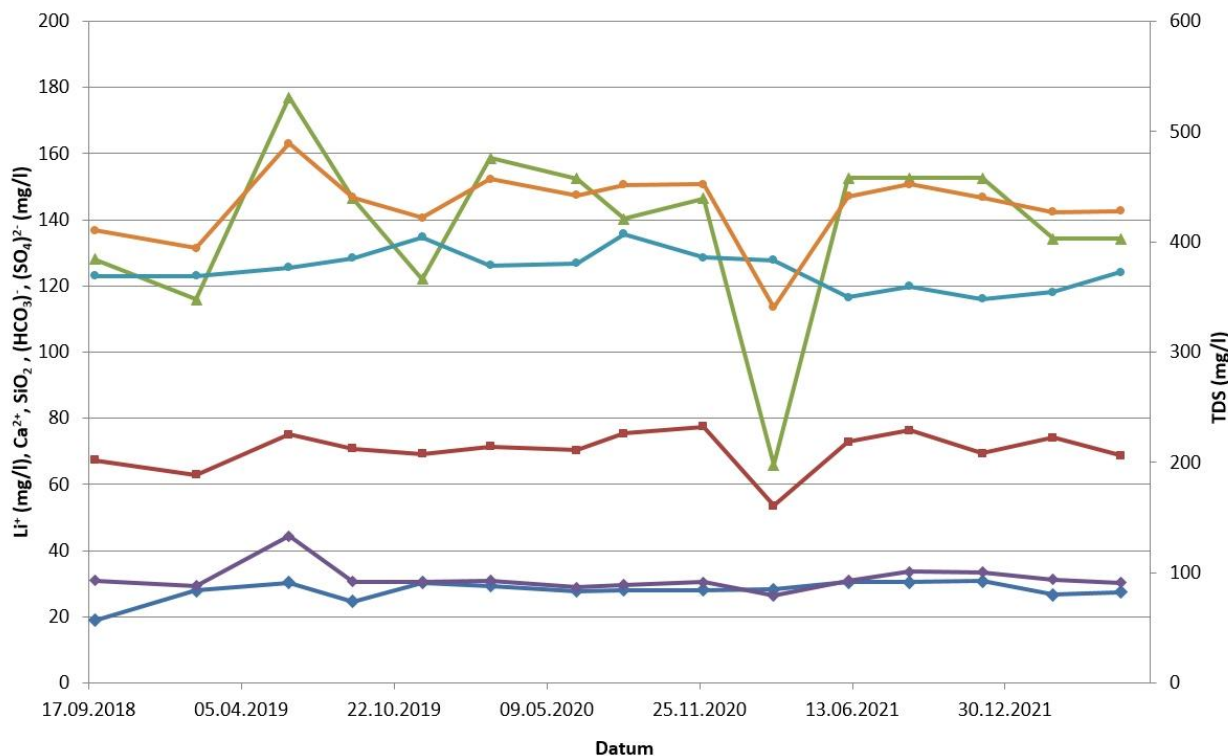
Průsak z experimentálního vrtu FM1 měl při prvním odběru v červnu 2019 obdobné chemické složení jako sytící voda z vrtu S-1. Voda byla pouze mírně nabohacená o některé ionty, zejména sodík, vápník a sírany, naopak obsah hořčíku ve vodě v průběhu průtoku vody experimentem poklesl. Změny v chemickém složení byly malé, sytící voda proudila poměrně rychle vrtem.

Po osazení prostoru pod vrtem FM1 lyzimetrem byly odebrány v nepravidelných intervalech 2 vzorky v roce 2020 a poté již 1x za čtvrt roku 4 vzorky v roce 2021. Složení prvních tří odebraných vzorků z lyzimetru se od složení sytící vody i vody prosakující v červnu 2019 výrazně lišilo. Odebraná voda byla typu Na-HCO₃ až Na-HCO₃-SO₄ s celkovým obsahem rozpuštěných látek (TDS) 650 až 700 mg·l⁻¹, TDS je tedy více než 2x vyšší než při odběru v červnu 2019. Několikanásobné navýšení obsahů (ve srovnání se sytící vodou z vrtu S-1) bylo zaznamenáno zejména u lithia, sodíku, draslíku, síranů a chloridů (Obr. 19, Obr. 20, Tab. 4). Mezi březnovým a červnovým odběrem v roce 2021 celkový obsah rozpuštěných látek výrazně poklesl na hodnoty blízké sytící vodě, při posledních pěti odběrech se pohyboval v rozmezí 320 až 400 mg·l⁻¹. Složení podzemní vody jímané lyzimetrem se od června 2021 relativně ustálilo, k prudkým změnám již nedochází. Aktuálně vzorkovaná voda prosakující v bezprostředním okolí fyzikálního modelu FM1 je hydrochemického typu Ca-Na-HCO₃-SO₄ s poměrným zastoupením kationtů cca 52 meq% Ca²⁺, 41 meq% Na⁺+K⁺ a 7 meq% K⁺. Poměrné zastoupení aniontů je cca 50 meq% HCO₃²⁻, 40 meq% SO₄²⁻ a 10 meq% Cl⁻ a je velmi blízké chemickému složení vod přitékajících do rozrážky (Obr. 19 a Obr. 20). Ve srovnání se sytící vodou z vrtu S-1 má voda z lyzimetru přibližně 2x vyšší obsahy Li⁺ a Na⁺, 5x vyšší obsah draslíku, srovnatelné obsahy vápníku, naopak obsahy manganu klesly pod limit laboratorní metody. Obsahy hydrogenuhličitanů jsou mírně nižší, u síranů se naopak jedná o dvojnásobek hodnoty ve srovnání se sytící vodou. Dvojnásobné jsou také obsahy SiO₂. Změny obsahů iontů se projevují ve výrazných změnách poměrného zastoupení iontů v Durovově diagramu na Obr. 14.

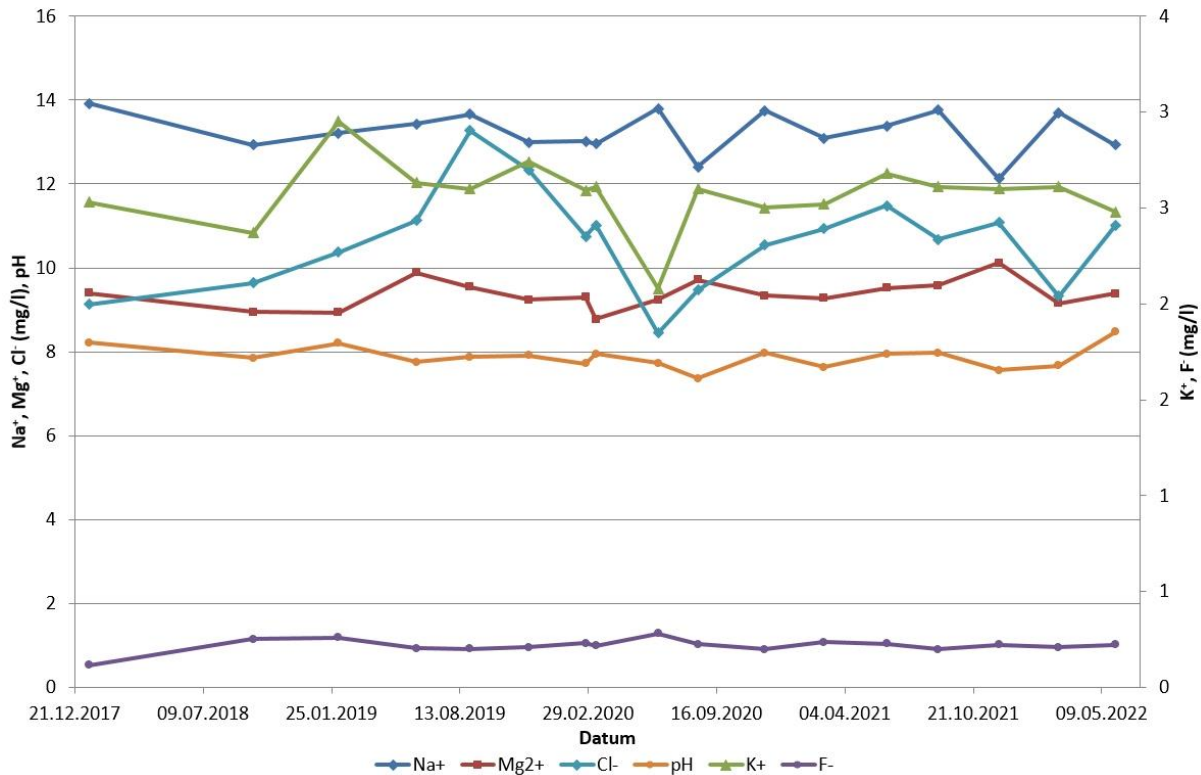
Není zcela jasné, jakou částí experimentálního vrtu FM1 voda zachycená lyzimetrem protéká. Vzhledem k tomu, že před instalováním experimentu byl vrt téměř suchý a průsak byl pozorován prakticky ihned po instalaci, přičemž slabý průsak stále trvá, je pravděpodobné, že sytící voda protéká podél pláště experimentu a nedostává se do přímého kontaktu s bentonitem (kontakt s betonem experimentu ale nelze vyloučit). V první etapě vzorkování z lyzimetru (do března 2021) byl nárůst celkové mineralizace pravděpodobně způsoben jímáním vody, která procházela částečně nasyceným horninovým prostředím. Zde docházelo k odpařování sytící vody a také k opětovnému rozpouštění části sraženin. Významný vliv odpařování potvrdilo hydrochemické modelování programem PHREEQC. Začátkem roku 2021 se množství prosakující vody do lyzimetru zvětšilo a výrazně poklesl celkový obsah rozpuštěných látek. V té době došlo pravděpodobně k nasycení horninového prostředí v okolí lyzimetru a v okolí trasy prosakující vody. Vliv odpařování/srážení/rozpouštění v částečně nenасыceném prostředí byl omezen.



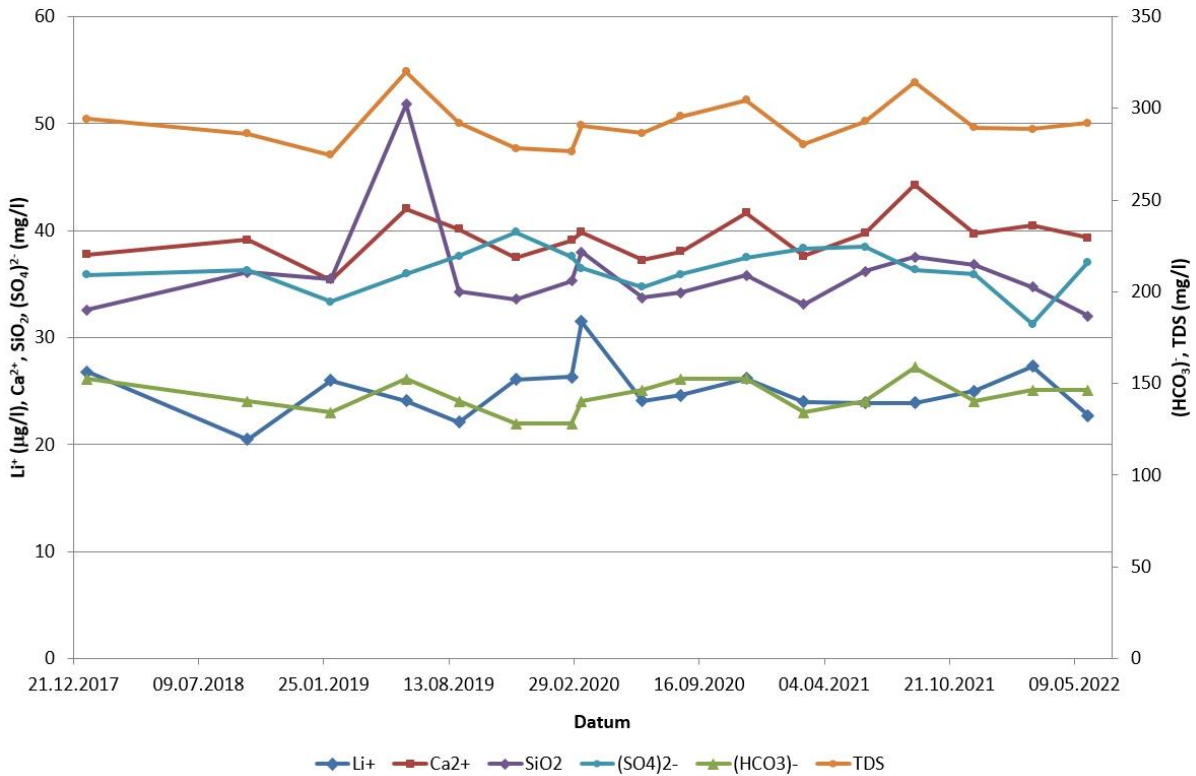
Obr. 15 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a pH v podzemní vodě prosakující z měřícího vrtu MV16, 1. část



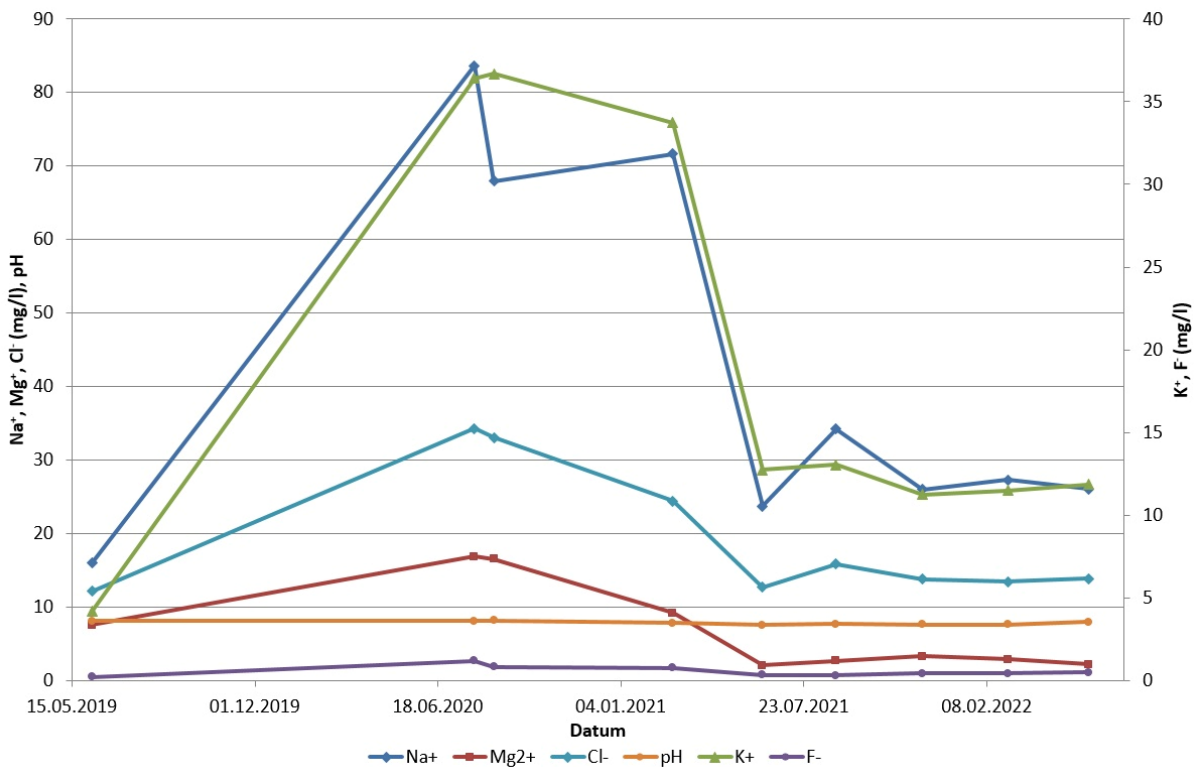
Obr. 16 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a TDS v podzemní vodě prosakující z měřicího vrtu MV16, 2. část



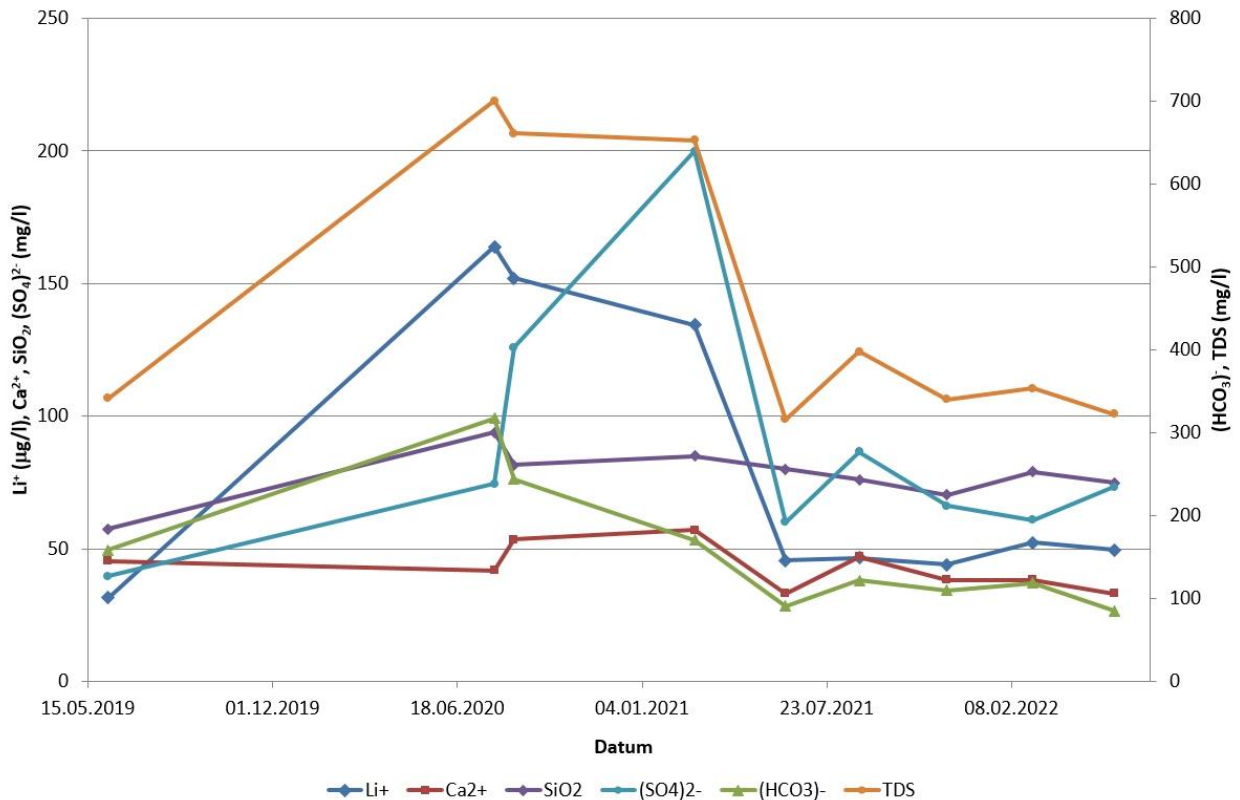
Obr. 17 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a pH v sytící vodě (vrt S-1, BK18), 1. část



Obr. 18 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a TDS v sytící vodě (vrt S-1, BK18), 2. část



Obr. 19 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a pH v podzemní vodě prosakující z experimentu FM1, 1. část



Obr. 20 Časový vývoj chemického složení hlavních a vedlejších kationtů a aniontů a pH v podzemní vodě prosakující z experimentu FM1, 2. část

Součástí monitorovacích prací je měření obsahů železa ve vodě vstupující do experimentu. Vzorčky jsou odebírány za filtrem čerpadla, přímo na vstupu do experimentálních modelů. Výsledky jsou uvedeny Tab. 2. Rozsah obsahů železa se dále pohybuje v předpokládaných hodnotách.

Tab. 2 Obsahy Fe v sytící vodě

Místo odběru vody z vrtu S-1 (BK18)	datum odběru	Fe (μg/l)
nádrž	29.08.2019	13,7
nádrž	28.11.2019	146,1
nádrž	25.02.2020	59,9
před nádrží	12.03.2020	33,3
nádrž	12.03.2020	16,1
za filtrem	12.03.2020	< 10,0
za filtrem	17.06.2020	< 10,0
za filtrem	18.08.2020	49,0
za filtrem	30.11.2020	11,9
za filtrem	02.03.2021	105,7
za filtrem	02.06.2021	63
za filtrem	08.06.2021	< 10,0

za filtrem	27.08.2021	11,2
za filtrem	13.09.2021	45
za filtrem	30.11.2021	< 10,0
za filtrem	20.12.2021	36
za filtrem	03.03.2022	18,6
za filtrem	14.06.2022	48
za filtrem	11.08.2022	80

Variabilita obsahů Fe ve vodě je přirozeného původu. Obsahy Fe u vzorků odebíraných přímo z vrtu S-1 v rámci předchozího monitoringu (2014-2016) byly mezi 27 a 567 mg·l⁻¹, vysoké hodnoty byly pozorovány zejména v prvních měsících po dovtřnutí vrtu. U většiny odběrů byl rozsah 40-50 µg·l⁻¹.

Tab. 3: Hydrochemické parametry přítoků do rozrážky ZK-3S a sytící vody (BK18 vrt S-1)¹

VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[µS/cm]	[mg/l]		[l/s]
BK18 (S-1)	12.01.2018	15,3	328	4,47	8,36	0,305
BK18 (S-1)	06.02.2018	15,7	331	4,5	8,03	
BK18 (S-1)	08.03.2018	15,3	316	2,69	8,04	0,276
BK18 (S-1)	26.04.2018	15,3	313	2,79	8,14	
BK18 (S-1)	02.08.2018	16,1	330	1,85	7,98	
BK18 (S-1)	25.09.2018	15,8	332	1,53	8,14	
BK18 (S-1)	05.02.2019	15,3	330	1,48	8,13	
BK18 (S-1)	11.02.2019	15,4	345	2,02	7,7	
BK18 (S-1)	06.06.2019	16	320	0,84	8,13	
BK18 (S-1)	30.07.2019	15,9	275	3,65	7,76	
BK18 (S-1)	29.08.2019	16	288	0,16	8,11	
BK18 (S-1)	28.11.2019	15,7	328	0,10	7,93	
BK18 (S-1)	25.02.2020	15,5	327	0,89	8,15	
BK18 (S-1) H	12.03.2020	15,6	330	0,28	8,16	
BK18 (S-1) N	12.03.2020	15,6	327	1,07	8,16	
BK18 (S-1) DN	12.03.2020	15,6	328	0,93	8,12	

¹ Legenda: H – výtok z hadice do zásobní nádoby; N – nádoba svrchní část, DN – nádoba dno; F – za filtrem čerpadla; L – voda zachycená v lyžimetru

VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[μS/cm]	[mg/l]		[l/s]
BK18 (S-1) F	12.03.2020	15,8	320	2,63	8,08	
BK18 (S-1) F	17.06.2020	16,3	320	2,90	8,09	
BK18 (S-1) F	18.08.2020	16,9	330	5,02	8,03	
BK18 (S-1) F	30.11.2020	16,4	312	3,25	8,13	
BK18 (S-1)	12.03.2020	15,3	322	5,16	7,90	
BK18 (S-1)	12.05.2020	15,6	336	1,5	7,92	
BK18 (S-1)	12.11.2020	15,9	339	4,5	8,01	
BK18 (S-1) F	02.03.2021	15,6	330	3,67	8,12	
BK18 (S-1)	02.06.2021	15,7	342	3,7	7,97	
BK18 (S-1) F	08.06.2021	16,1	337	4,45	7,9	
BK18 (S-1) F	27.08.2021	16,7	334	2,82	7,89	
BK18 (S-1)	13.09.2021	15,9	343	2,7	7,95	
BK18 (S-1) F	30.11.2021	15,3	333	3,44	7,82	
BK18 (S-1)	20.12.2021	15,5	343	6,5	7,98	
BK18 (S-1)	03.03.2022	15,3	344	2,52	7,86	
BK18 (S-1)	30.05.2022	15,9	342	1,27	7,74	
BK18 (S-1)	14.06.2022	15,5	336	3,7	7,85	
BK18 (S-1)	11.08.2022	15,6	346	5,9	8,02	

BK43 (S-20)	12.01.2018	14,7	612	10,02	8,21	0,0078
BK43 (S-20)	06.02.2018	15,7	565	9,6	8,11	
BK43 (S-20)	08.03.2018	14,5	547	9,71	8,07	0,0081
BK43 (S-20)	26.04.2018	15,4	610	9,71	8	0,0079
BK43 (S-20)	02.08.2018	16	580	9,74	8,04	
BK43 (S-20)	25.09.2018	15,5	589	9,81	8,04	0,008
BK43 (S-20)	05.02.2019	14,5	593	9,79	8,22	0,0081
BK43 (S-20)	11.02.2019	14,9	598	9,87	8,03	
BK43 (S-20)	06.06.2019	15,8	594	9,54	8,01	0,008

VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[μS/cm]	[mg/l]		[l/s]
BK43 (S-20)	30.07.2019	16,3	500	9,35	8,02	
BK43 (S-20)	29.08.2019	16,2	523	9,84	8,13	0,006
BK43 (S-20)	28.11.2019	16,0	613	9,27	8,10	0,0056
BK43 (S-20)	25.02.2020	15,7	623	9,33	8,31	0,0056
BK43 (S-20)	17.06.2020	16,2	604	9,5	8,26	0,0046
BK43 (S-20)	18.08.2020	16,2	636	9,71	8,21	0,0049
BK43 (S-20)	30.11.2020	16,0	592	9,68	8,12	0,0074
BK43 (S-20)	12.03.2020	15,4	602	7,9	8,10	
BK43 (S-20)	12.05.2020	15,9	639	8,5	7,91	
BK43 (S-20)	10.09.2020	16,2	641	9,3	8,08	
BK43 (S-20)	12.11.2020	16,0	641	7,8	8,10	
BK43 (S-20)	02.03.2021	15,7	630	9,81	8,34	0,007147
BK43 (S-20)	02.06.2021	16,1	649	8,0	8,03	
BK43 (S-20)	08.06.2021	16,1	655	9,75	80,9	0,007767
BK43 (S-20)	27.08.2021	16	649	9,61	8	0,0077
BK43 (S-20)	13.09.2021	15,9	661	8,2	8,04	
BK43 (S-20)	30.11.2021	15,7	653	9,32	7,96	0,0076
BK43 (S-20)	20.12.2021	15,5	661	9,4	8,09	
BK43 (S-20)	03.03.2022	15,5	678	9,7	8,05	0,0075
BK43 (S-20)	30.05.2022	15,8	673	9,98	8,02	0,0075
BK43 (S-20)	14.06.2022	15,6	656	9,1	8,05	
BK43 (S-20)	11.08.2022	15,5	673	9,1	7,92	

BK38	02.08.2018	16,1	545	9,11	8,01	
BK38	11.02.2019	14,6	568	9,96	8,07	
BK38	30.07.2019	16,7	469	9,54	8,07	
BK38	10.9.2020	16,6	597	9,5	8,15	

VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[μS/cm]	[mg/l]		[l/s]
BK35	30.07.2019	15,9	462	9,58	8,09	

MV16	25.09.2018	15,6	551	7,58	8,08	0,0012
MV16	05.02.2019	14,3	563	8,8	8,18	0,00092
MV16	06.06.2019	15,9	561	7,21	7,99	0,00051
MV16	29.08.2019	16,3	499	6,98	7,87	0,00062
MV16	28.11.2019	16,0	550	6,94	7,85	0,00053
MV16	25.02.2020	15,7	574		8,05	0,00039
MV16	17.06.2020	16,1	560	6,78	7,93	0,00035
MV16	18.08.2020	16,6	618	7,83	8,00	0,00033
MV16	30.11.2020	16,1	566	8,32	7,87	0,00029
MV16	12.05.2020	15,9	585	5,5	7,84	
MV16	12.11.2020	15,9	602	5,2	7,93	
MV16	02.03.2021	15,4	581	8,13	8,16	0,000267
MV16	02.06.2021	15,6	579	8,2	7,88	
MV16	08.06.2021	15,9	575	8,25	7,8	0,00023
MV16	27.08.2021	16,2	563	6,91	7,84	0,00026
MV16	13.09.2021	15,9	575	8,7	7,95	
MV16	30.11.2021	15,3	554	7,02	7,82	0,00026
MV16	20.12.2021	15,5	560	9,6	7,99	
MV16	03.03.2022	14,8	577	7,59	7,82	0,00026
MV16	30.05.2022	15,8	576	8,59	7,84	0,00027
MV16	14.06.2022	15,5	580	6,9	8,01	
MV16	11.08.2022	15,5	576	8,5	7,88	

FM1	06.06.2019	32,2	342	5,61	8,33	0,00032
FM1 L	02.03.2021	16,2	822	9,91	7,71	
FM1 L	08.06.2021	16,7	350	8,12	7,7	
FM1 L	27.08.2021	17,4	424	7,11	7,56	

VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[μS/cm]	[mg/l]		[l/s]
FM1 L	30.11.2021	15,7	398	8,54	7,64	
FM1 L	03.03.2022	15,9	387	8,75	8,08	
FM1 L	30.05.2022	16,6	372	8,85	7,87	

IBC nádrž	11.02.2019	14,7	483	8,03	8,03	
IBC nádrž	30.07.2019	16,5	431	3,48	7,95	
IBC nádrž	12.03.2020	15,7	492	5,4	7,98	
IBC nádrž	12.05.2020	15,7	334	1,6	7,91	
IBC nádrž	10.09.2020	16,0	332	2,8	7,93	
IBC nádrž	12.11.2020	15,4	354	2,3	8,00	
IBC nádrž	02.06.2021	15,7	388	2,3	8,05	
IBC nádrž	13.09.2021	15,9	343	2,5	7,91	
IBC nádrž	20.12.2021	15,5	339	6,3	7,95	
IBC nádrž	14.06.2022	15,7	340	2,8	7,92	
IBC nádrž	11.08.2022	15,5	347	5,8	8,09	

za čerpadlem	12.03.2020	15,4	321	4,8	7,95	
za čerpadlem	12.05.2020	16,2	337	3,3	7,84	
za čerpadlem	12.11.2020	15,9	338	3,9	7,95	
za čerpadlem	02.06.2021	15,7	338	4,1	7,88	
za čerpadlem	13.09.2021	16	349	4,2	7,89	
za čerpadlem	20.12.2021	15,4	336	5,5	7,97	
za čerpadlem	14.06.2022	15,6	336	5,6	7,35	
za čerpadlem	11.08.2022	15,6	349	6,4	7,93	

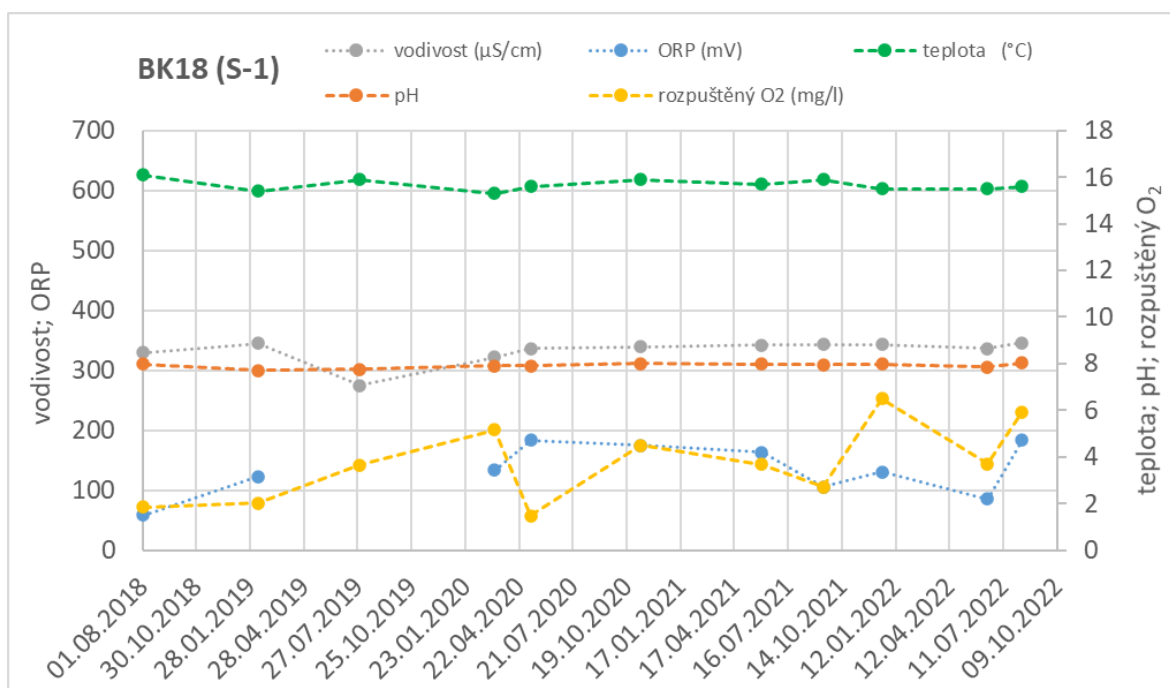
BK45 (S-21)	12.03.2020	15,6	622	6,2	8,60	
BK45 (S-21)	10.09.2020	16,2	668	7,94	8,08	
BK45 (S-21)	12.11.2020	15,9	671	8,5	8,10	

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

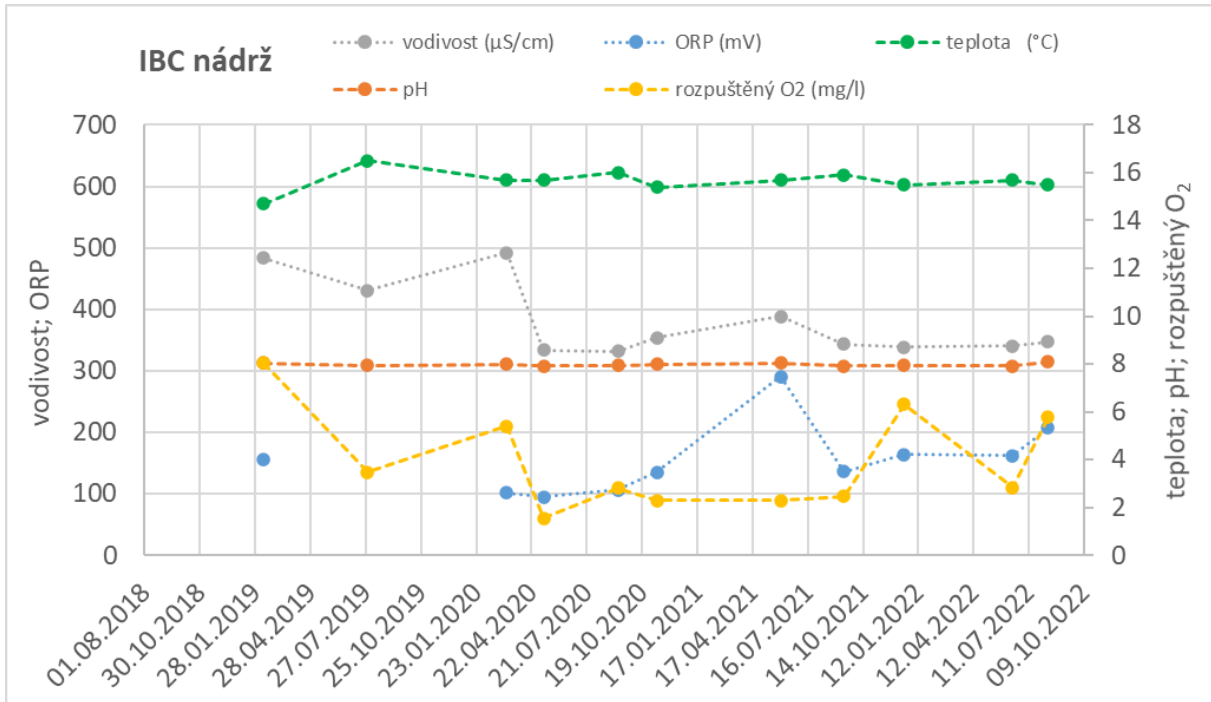
VRT/ VZOREK	Datum měření	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH	vydatnost
		[°C]	[μS/cm]	[mg/l]		[l/s]
S18	12.11.2020	15,9	307	4,1	8,15	

výtok u betonového rohu rozrážky	10.09.2020	16,5	631	9,6	8,09	
---	------------	------	-----	-----	------	--

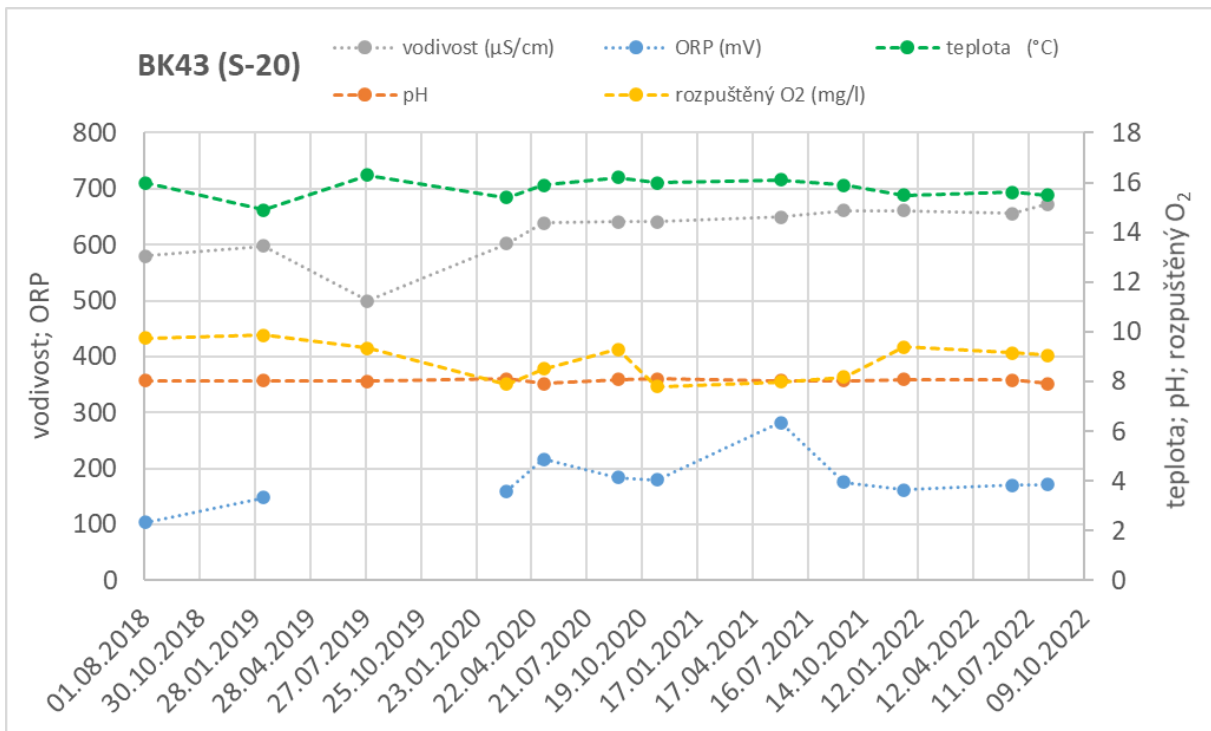
Hodnoty fyzikálně-chemických parametrů podzemních vod v odběrech prováděných ÚJV jsou graficky vyjádřeny na Obr. 21, Obr. 22 a Obr. 23, kdy jsou porovnány parametry zdrojové vody z vrtu BK18 (S-1), IBC nádrže jako sběrného rezervoáru sytící vody a podzemní vody přirozeně vytékající z vrtu BK43 (S-20).



Obr. 21 Fyzikálně-chemické parametry podzemní vody vrtu BK18 (S-1)



Obr. 22 Fyzikálně-chemické parametry podzemní vody v zásobní IBC nádrži



Obr. 23 Fyzikálně-chemické parametry podzemní vody vrtu BK43 (S-20)

Tab. 4: Chemické složení podzemní vody z přítoků v rozrážce ZK-3S.

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
BK18 (S-1)	05.02.2019	13,21	2,95	0,03	35,4	0,018 5	8,93		< 0,20	26	134,2	33,35	< 0,10	10,37	0,26	35,5	8,2	274,21	
BK18 (S-1)	06.06.2019	13,43	2,63	< 0,02	42,05	< 0,05	9,89		< 0,20	24,1	152,5	35,97	0,16	11,13	0,2	51,8	7,75	319,76	
BK18 (S-1)	30.07.2019	13,35	2,848		40,33	< 0,035	11,07					40,46	0,38	10,54					1,71
BK18 (S-1)	29.08.2019	13,66	2,60	< 0,02	40,11	0,013 7	9,54		< 0,20	22,10	140,3	37,59	< 0,10	13,27	0,20	34,3	7,87	291,58	
BK18 (S-1)	28.11.2019	12,99	2,74	< 0,02	37,47	0,146 1	9,24		< 0,20	26,10	128,1	39,85	1,22	12,33	0,21	33,6	7,91	277,91	
BK18 (S-1)	25.02.2020	13,02	2,59	< 0,02	39,07	0,059 9	9,30	60,0	< 0,20	26,30	128,1	37,55	0,22	10,75	0,231	35,3	7,71	276,36	
BK18 (S-1) DN	12.03.2020	12,91	2,62	< 0,02	45,31	0,016 1	9,34	65,0	< 0,20	27,30	134,2	37,53	9,98	12,06	0,19	38,0	7,82	302,38	
BK18 (S-1) H	12.03.2020	12,05	2,61	< 0,02	42,50	0,033 3	8,92	72,0	< 0,20	25,90	134,2	36,80	0,14	11,05	0,22	37,7	7,97	286,42	
BK18 (S-1) F	12.03.2020	12,96	2,61	< 0,02	39,86	< 10,0	8,77	40,0	< 0,20	31,50	140,3	36,49	0,16	11,02	0,22	38,0	7,95	290,65	
BK18 (S-1)	12.03.2020	12,98	2,55		38,6	0,02	9,2					37,56		6,89			7,90		0,97
BK18 (S-1)	12.05.2020	13,3	2,6		38,6		10,5				145,2	38,0		11,7			7,92		
BK18 (S-1) F	17.06.2020	13,80	2,08	0,03	37,24	<0,01	9,24	26,0	< 0,20	24,10	146,4	34,71	< 0,10	8,44	0,282	33,7	7,73	286,42	
BK18 (S-1) F	18.08.2020	12,40	2,60	< 0,02	38,02	0,049	9,71	< 5,0	< 0,20	24,60	152,5	35,93	< 0,10	9,47	0,22	34,2	7,36	295,57	

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
BK18 (S-1)	12.11.2020	13,3	2,47		39,1	0,71	9,45				135,0	37,9		11,5			8,01		0,71
BK18 (S-1) F	30.11.2020	13,74	2,50	< 0,02	41,67	0,011 9	9,34	26,0	< 0,20	26,20	152,6	37,46	< 0,10	10,54	0,198	35,8	7,97	304,39	
BK18 (S-1) F	02.03.2021	13,09	2,52	< 0,02	37,63	0,105 7	9,27	39,0	< 0,20	24,00	134,2	38,34	< 0,10	10,93	0,236	33,1	7,63	280,19	
BK18 (S-1)	02.06.2021	13,0	2,58		37,8	0,072	8,95		< 0,01		143	40,3		12,1		50,3	7,97		1,02
BK18 (S-1) F	08.06.2021	13,38	2,68	< 0,02	39,76	< 0,01	9,52	76,0	< 0,20	23,90	140,3	38,47	< 0,10	11,48	0,23	36,2	7,95	292,77	
BK18 (S-1) F	27.08.2021	13,76	2,61	< 0,02	44,27	0,011 2	9,58	23,0	< 0,20	23,90	158,7	36,34	< 0,10	10,68	0,20	37,5	7,97	314,20	
BK18 (S-1)	13.09.2021	13,1	2,48		37,4	0,045	8,84		< 0,01		142	39,5		11,0		51,1	7,95		1,48
BK18 (S-1) F	30.11.2021	12,13	2,60	< 0,02	39,68	< 0,01	10,11	24,0	< 0,20	25,00	140,3	35,91	< 0,10	11,08	0,22	36,8	7,56	289,48	
BK18 (S-1)	20.12.2021	13,0	2,60		38,0	0,044	9,57		< 0,01		140	36,4		11,4		48,5	7,98		1,04
BK18(S-1)	03.03.2022	13,70	2,61	< 0,02	40,45	0,018 6	9,15	28,0	< 0,20	27,30	146,4	31,24	< 0,10	9,32	0,21	34,7	7,67	288,52	
BK18(S-1)	30.05.2022	12,93	2,48	< 0,02	39,34	0,25	9,38	110,0	< 0,20	22,70	146,4	37,06	< 0,10	11,01	0,22	32,0	8,47	291,99	
BK18(S-1)	14.06.2022	13,7	2,71		40,6	0,048	9,32		< 0,01		147	37,9		11,8		51,7	7,85		1,28
BK18(S-1)	11.08.2022	14,4	2,62		41,2	0,034	9,54		< 0,01		140	39,8		11,8		42,6	8,02		0,95

BK35	30.07.2019	17,75	3,002		70,67	< 0,035	18,78					126,0 3	1,57	22,81						1,7
------	------------	-------	-------	--	-------	------------	-------	--	--	--	--	------------	------	-------	--	--	--	--	--	-----

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
----------------	-----------------	---------------------------	--------------------------	--	----------------------------	--------------	----------------------------	----------------------------	--------------	---------------------------	---	---	--	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----	---------------	---------------

BK38	05.02.2019	17,04	2,97	< 0,02	63,58	0,012	15,81		0,44	28	122	127,6 6	< 0,10	28,78	0,22	29,8	8,11	408,31	
BK38	30.07.2019	17,66	3,077		71,67	< 0,05	19,23					124,2 2	0,69	24,48					1,34
BK38	10.09.2020					0,013											8,15		1,12

BK43 (S-20)	05.02.2019	19,67	2,88	0,02	66,3	0,016 4	15,52		< 0,20	28	100,7	143,3 5	< 0,10	31,83	0,21	29,7	8,04	410,13	
BK43 (S-20)	06.06.2019	20,24	2,8	< 0,02	82,55	0,16	18,4		< 0,20	29,5	161,7	147,8 1	< 0,10	34,45	0,21	43	7,89	511,32	
BK43 (S20)	30.07.2019	20,6	2,932		73,52	< 0,035	19,18					149,8 3	0,32	30,96					1,01
BK43 (S-20)	29.08.2019	19,72	2,82	< 0,02	76,37	0,011 2	16,40		< 0,20	25,50	122,0	161,0 4	< 0,10	36,54	0,17	31,3	7,81	466,37	
BK43 (S20)	28.11.2019	19,77	2,81	< 0,02	68,13	< 0,01	15,95		< 0,20	28,40	82,4	168,8 6	< 0,10	36,32	0,15	28,9	8,01	423,29	
BK43 (S-20)	25.02.2020	20,18	3,02	0,09	74,49	0,018 3	17,60	< 5,0	< 0,20	26,80	115,9	149,6 6	< 0,10	40,25	0,192	29,8	8,04	451,40	
BK43 (S-20)	17.06.2020	20,98	2,93	< 0,02	70,97	0,020 6	17,85	12,0	< 0,20	28,60	122,0	155,0 3	< 0,10	31,51	0,201	28,1	7,93	449,83	

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
BK43 (S20)	18.08.2020	20,35	2,71	< 0,02	82,86	< 0,01	18,40	8,0	< 0,20	30,10	134,2	161,0 3	< 0,10	40,43	0,41	29,5	7,86	490,11	
BK43 (S-20)	12.03.2020	20,61	2,9		78,95		19,07					150,6		33,71			8,10		
BK43 (S-20)	12.05.2020	20,5	2,9		80,2	0	20,7				127,8	152		38,4			7,91		1,04
BK43 (S-20)	10.09.2020					0,02											8,08		1,12
BK43 (S-20)	12.11.2020	20,8	2,99		86,7	0,02	17,6				126,0	160		41,4			8,10		1,06
BK43 (S-20)	30.11.2020	21,06	2,86	< 0,02	91,78	< 0,01	19,00	10,0	< 0,20	28,90	149,5	159,5 9	< 0,10	38,57	0,174	30,9	8,08	513,67	
BK43 (S-20)	02.03.2021	19,91	2,60	< 0,02	78,49	< 0,01	16,67	< 5,0	< 0,20	28,40	152,6	155,1 0	< 0,10	25,17	0,200	26,7	7,95	477,73	
BK43 (S-20)	02.06.2021	19,7	2,89		74,9	0,009	17,40			< 0,01	135	167		47,0		42,1	8,03		1,30
BK43 (S-20)	08.06.2021	21,39	2,74	< 0,02	81,36	0,011 2	18,15	< 5,0	< 0,20	28,40	146,4	155,2 0	< 0,10	43,20	0,14	29,7	7,85	498,50	
BK43 (S-20)	27.08.2021	22,67	3,19	< 0,02	90,37	0,033 7	18,86	11,0	< 0,20	30,90	146,4	161,0 6	< 0,10	44,39	0,16	30,0	8,07	517,33	
BK43 (S-20)	13.09.2021	20,7	3,12		77,6	0,010	18,40			< 0,01	133	158		46,7		44,2	8,04		1,94
BK43 (S-20)	30.11.2021	20,82	2,98	< 0,02	83,45	0,186	19,31	9,0	< 0,20	27,60	146,4	147,9 6	< 0,10	46,54	0,21	29,8	7,81	497,71	
BK43 (S-20)	20.12.2021	20,7	2,94		80,1	0,081	18,40			< 0,01	124	154		46,8		42,4	8,09		1,13
BK43(S-20)	03.03.2022	21,61	2,91	0,03	79,99	< 0,01	16,32	< 5,0	< 0,20	30,20	115,9	163,5 3	< 0,10	49,03	0,16	32,8	7,71	482,49	

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
BK43(S-20)	30.05.2022	19,32	2,85	< 0,02	74,31		18,17	< 5,0	< 0,20	28,20	97,6	159,2 4	< 0,10	49,89	0,21	27,6	8,31	449,41	
BK43(S-20)	14.06.2022	19,2	2,71		76,0	0,01	17,1		> 0,01		139	156,0		49,0		44,0	8,05		1,35
BK43(S-20)	11.08.2022	21,4	2,94		82,7	0,03	19,0		> 0,01		132	166,0		51,3		36,8	7,92		1,25

BK44 (S-19)	05.02.2019	19,76	4	0,04	62,58	2,256	13,42		< 0,20	31	122	125,3 6	< 0,10	28,6	0,17	20	8,08	398,47	
-------------	------------	-------	---	------	-------	-------	-------	--	--------	----	-----	------------	--------	------	------	----	------	--------	--

S18	12.11.2020	15,6	1,99		34,7	0,3	7,16				133,0	30,7		6,32			8,14		2,13
-----	------------	------	------	--	------	-----	------	--	--	--	-------	------	--	------	--	--	------	--	------

BK45 (S-21)	05.02.2019	21,06	2,95	< 0,02	69,9	0,012 1	15,08		0,21	28	91,5	174,8 4	< 0,10	22,73	0,22	24,2	7,97	422,69	
BK45 (S-21)	12.03.2020	21,51	3,15		88,88	0,03	19,17					195,1		18,65			8,60		1,04
BK45 (S-21)	10.09.2020					0,02											8,08		0,9
BK45 (S-21)	12.11.2020	22,8	3,36		94,3	0,26	18,1				122	200		24,5			8,10		0,85

MV16	05.02.2019	17,19	3,02	0,02	62,97	0,034 2	15,46		< 0,20	28	115,9	122,9 9	< 0,10	27,16	0,14	29,3	8	394,15	
MV16	06.06.2019	17,9	2,87	< 0,02	75,03	< 0,05	18,3		< 0,20	30,2	176,9	125,5 4	0,13	27,65	0,2	44,3	7,75	488,82	

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
MV16	29.08.2019	17,34	2,79	< 0,02	70,88	0,015	16,72		< 0,20	24,60	146,4	128,3 1	< 0,10	26,78	0,20	30,6	7,86	440,03	146,4
MV16	28.11.2019	15,82	2,91	< 0,02	69,18	< 0,01	15,45		< 0,20	30,30	122,0	134,7 8	0,14	30,75	0,16	30,5	7,84	421,69	122,0
MV16	25.02.2020	17,38	3,56	0,07	71,46	< 0,01	17,21	< 5,0	< 0,20	29,40	158,6	126,2 4	< 0,10	30,79	0,200	31,0	7,74	456,72	
MV16	17.06.2020	17,09	3,01	< 0,02	70,31	< 0,01	17,45	< 5,0	< 0,20	27,70	152,5	126,8 1	< 0,10	25,36	0,276	28,9	7,87	441,93	
MV16	18.08.2020	15,97	2,87	< 0,02	75,33	< 0,01	17,32	5,0	< 0,20	28,10	140,3	135,6 9	< 0,10	33,98	0,20	29,7	7,63	451,66	
MV16	12.05.2020	17,2	3,0		74,6	0,06	20,1				148,4	126,4		30,6			7,84		1,4
MV16	12.11.2020	18,3	2,88		83,8	0,02	17,4				145,0	135		33,5			7,93		0,98
MV16	30.11.2020	17,91	2,95	< 0,02	77,51	< 0,01	16,78	< 5,0	< 0,20	28,10	146,4	128,6 0	< 0,10	31,19	0,172	30,5	8,08	452,23	
MV16	02.03.2021	17,35	2,70	< 0,02	54,62	< 0,01	15,79	< 5,0	< 0,20	28,20	65,9	127,7 5	< 0,10	30,90	0,189	26,3	7,94	340,74	
MV16	02.06.2021	16,5	4,29		66,9	0,01	15,8		< 0,01		151	129		35,4		41,8	7,88		1,73
MV16	08.06.2021	16,62	2,80	< 0,02	72,79	< 0,01	16,36	7,0	< 0,20	30,40	152,6	116,4 4	< 0,10	32,17	0,16	31,0	7,87	441,22	
MV16	27.08.2021	18,42	3,04	< 0,02	76,36	< 0,01	16,32	< 5,0	< 0,20	30,50	152,6	119,7 9	< 0,10	31,61	0,17	33,6	8,01	452,14	
MV16	13.09.2021	18,0	2,94		80,6	0,007	16,1		< 0,01		150	117		34,0		45,2	7,95		1,41

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
MV16	30.11.2021	16,93	2,78	< 0,02	69,44	< 0,01	16,82	< 5,0	< 0,20	30,70	152,6	116,0 2	< 0,10	31,69	0,19	33,4	7,66	440,11	
MV16	20.12.2021	17,1	3,02		67,1	0,01	16,6		< 0,01		148	118		34,9		43,5	7,99		1,44
MV16	03.03.2022	16,36	3,42	< 0,02	74,11	< 0,01	16,08	< 5,0	< 0,20	26,60	134,2	118,0 7	< 0,10	33,10	0,18	31,2	7,72	426,95	
MV16	30.05.2022	15,97	2,76	< 0,02	68,76	< 0,05	15,81	10,0	< 0,20	27,50	134,2	124,0 6	< 0,10	35,80	0,18	30,3	8,34	428,07	
MV16	14.06.2022	16,3	2,86		68,2	0,006	16,3		0,01		139	122		37,9		55,1	8,01		1,44
MV16	11.08.2022	16,7	2,87		70,9	0,01	16,7		0,01		132	121		36,6		37,3	7,88		1,39

FM1	06.06.2019	15,97	4,2	< 0,02	45,34	< 0,05	7,6		< 0,20	31,5	158,6	39,72	< 0,10	12,15	0,24	57,5	8,13	341,32	
FM1	28.07.2020	83,60	36,40	0,02	41,94	0,064 1	16,91	138,0	< 0,20	163,90	317,2	74,42	< 0,10	34,31	1,21	93,8	8,13	700,34	
FM1	18.08.2020	67,94	36,68	0,03	53,54	0,026 1	16,57	195,0	< 0,20	151,90	244,0	125,9 4	< 0,10	33,05	0,82	81,6	8,21	660,71	
FM1	02.03.2021	71,61	33,72	< 0,02	56,97	0,013	9,23	< 5,0	< 0,20	134,40	170,9	199,7 3	< 0,10	24,42	0,766	84,9	7,82	652,59	
FM1	08.06.2021	23,77	12,75	< 0,02	33,17	< 0,01	2,09	< 5,0	< 0,20	45,60	91,0	60,08	< 0,10	12,71	0,35	80,0	7,58	316,17	
FM1	27.08.2021	34,20	13,05	0,17	47,05	0,024 2	2,72	< 5,0	< 0,20	46,50	122,0	86,43	< 0,10	15,86	0,33	76,0	7,73	398,03	
FM1	30.11.2021	25,98	11,26	0,33	38,27	< 0,01	3,34	< 5,0	< 0,20	44,10	109,8	66,15	< 0,10	13,78	0,44	70,4	7,64	339,98	

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
FM1	03.03.2022	27,29	11,49	< 0,02	38,23	< 0,01	2,94	5,0	< 0,20	52,30	119,0	60,89	0,19	13,48	0,44	79,0	7,65	353,15	
FM1	30.05.2022	26,09	11,86	< 0,02	33,15		2,23	7,0	< 0,20	49,60	85,4	73,33	0,96	13,87	0,51	74,9	8,00	322,50	

IBC nádrž	30.07.2019	13,52	2,745		37,98	< 0,035	10,58					40,32	0,22	8,5						1,64
IBC nádrž	12.03.2020	13,07	2,68		41,18	0,01	9,4					36,53		7,61			7,98			0,82
IBC nádrž	12.05.2020	13,2	2,7		41,3	0,01	10,7				138,3	38,9		12,1			7,91			3,65
IBC nádrž	10.09.2020					0,03											7,93			1,01
IBC nádrž	12.11.2020	13,7	2,82		39,9	0,01	9,58				137,0	36,8		11,4			8,00			1,14
IBC nádrž	02.06.2021	13,7	2,63		39,7	0,077	9,05		< 0,01		142	40,2		12,2		48,9	8,05			3,06
IBC nádrž	13.09.2021	14,6	2,64		37,9	0,036	9,46		< 0,01		144	37,2		11,4		50,3	7,91			0,95
IBC nádrž	20.12.2021	13,1	2,74		38,2	0,061	10,00		< 0,01		144	36,6		11,2		48,2	7,95			1,17
IBC nádrž	14.06.2022	13,7	2,72		40,2	0,035	9,34		0,02		146	37,7		11,9		58,6	7,92			0,05
IBC nádrž	11.08.2022	13,0	2,6		40,4	0,177	9,33		< 0,01		140	39,7		11,8		42,6	8,09			1,2

za čerpadlem	12.03.2020	12,87	2,57		40,84	0,02	9,43					36,82		7,26			7,95			0,93
za čerpadlem	02.06.2021	12,2	2,60		36,2	0,063	9,07		< 0,01		144	39,9		11,9		48,4	7,88			1,02
za čerpadlem	13.09.2021	14,2	2,66		40,5	0,045	9,26		< 0,01		143	39,9		11,4		51,4	7,89			0,69
za čerpadlem	20.12.2021	12,9	2,62		38,4	0,036	9,71		< 0,01		144	35,4		11,1		52,6	7,97			1,44

VRT/ VZOREK	Datum odběru	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Mn ²⁺ [μg/l]	Al [mg/l]	Li ⁺ [μg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	F ⁻ [mg/l]	SiO ₂ [mg/l]	pH	TDS [mg/l]	TOC [mg/l]
za čerpadlem	14.06.2022	11,8	2,45		36,8	0,048	8,69		< 0,01		144	37,5		11,6		53,1	7,35		1,12
za čerpadlem	11.08.2022	13,2	2,59		40,5	0,08	9,5		< 0,01		142	39,7		11,8		43,8	7,93		1,01

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.2 Mikrobiologie

3.2.1 Odběr vzorků a metodika zpracování

Voda byla odebírána na výtoku z vrtů intaktním způsobem do předem připravených sterilních nádob a následně v laboratoři přefiltrována přes sterilní filtr (0,22 µm, Merck, Německo) nebo se podzemní voda filtrovala přímo na místě pomocí sterilní stříkačky a sterilního filtru Sterivex (Milipore, Německo). Takto získané filtry se do dalšího zpracování uchovávali v -80°C. Pro studium mikrobiální diverzity ve vzorcích podzemní vody i bentonitu byly využity postupy založené na analýze DNA. Metodické postupy pro extrakci a analýzu DNA, jakož i zpracování dat jsou popsány v předchozí zprávě za Etapu 4 (Svoboda et al., 2019) a také ve zprávě z projektu Mikrobiální screening PVP Bukov a dolu Rožná (Steinová et al., 2019). Dále jsou metodické postupy pro extrakci a analýzu DNA i zpracování dat podrobněji popsány v TZ 552/2021 SÚRAO (Černá et al., 2021).

Odběry vzorků pro charakterizaci mikrobiálního osídlení v rozrážce ZK-3S byly doposud provedeny průběžně v roce 2018, 2019 a 2020. Dále byly do mikrobiologické analýzy zahrnuty vzorky peletové směsi bentonitu BCV (označeno BCV-PM) a cementových materiálů LPM (cementová směs se sníženým pH výluhu) a E300 (komerčně dostupná cementová směs – betonový potěr). Původní screening monitoroval dostupné vodní zdroje a okolí stávajících a kontrolních vrtů. Nové vzorky byly odebrány z vody z vrtu S1 (BK18) a zásobní IBC nádrže (zdroj sytící vody pro interakční modely) a z vrtů v rozrážce ZK-3S či jejím nejbližším okolí. Bylo také provedeno několik stěrů biofilmu, např. z instrumentace ve FM1 (viz Obr. 24).

Seznam všech doposud mikrobiologicky analyzovaných vzorků je souhrnně uveden v Tab. 5. Hodnoty koncentrací DNA reflektují množství přítomných mikroorganismů v odebraných vzorcích. Více mikroorganismů bylo zaznamenáno na většině vzorků odebraných stěrem, neboť byl odebrán vzorek biofilmu, kdežto ve vzorcích vod jsou mikroorganismy rozptýleny. Přesto však i u vzorků s malou či nízkou koncentrací izolované DNA je možno provést kvalitní mikrobiologickou charakterizaci.

Tab. 5: Vzorky použité pro mikrobiologické analýzy a množství DNA z nich vyizolovaných.

datum odběru	vzorek	typ a popis vzorku	DNA koncentrace (ng/ul)
21.3.2018	BCV-PM	bentonit	0,064
21.3.2018	E300	betonová směs	0,0228
21.3.2018	LPM	betonová směs	0,0216
21.3.2018	Puklina 70m S nahoře	voda	nízká
21.3.2018	ZK-3S SZ roh výtok	voda	0,0526
21.3.2018	Technologicka voda pilotní	voda	nízká
21.3.2018	Technologicka voda	voda/filtr	0,0206

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

datum odběru	vzorek	typ a popis vzorku	DNA koncentrace (ng/ul)
21.3.2018	BK31-V	voda	0,314
21.3.2018	BK31-S	stěr	0,0251
21.3.2018	BK43	voda	0,0906
21.3.2018	BK45-V	voda	0,754
21.3.2018	BK45-S21	stěr	0,846
21.3.2018	BK18 (S1)	voda/filtr	0,0149
30.7.2019	BK18 (S1)-V	voda	1,14
30.7.2019	nádrž input hadice-V	stěr z přívodní hadice	13,1
30.7.2019	nádrž	voda	nízká
30.7.2019	Exp 1	stěr	0,536
30.7.2019	Teploměr 16	stěr	nízká
30.7.2019	BK 35-S	stěr	1,93
12.3.2020	BK18 (S1)_V	voda z	0,034
12.3.2020	T16_S	stěr	0,0712
12.3.2020	Nadrz – 1_V	voda	1,52
12.3.2020	Nadrz – 2_V	voda	0,684
12.3.2020	Exp 1_S	stěr	2,93
4.3.2020	Filtr	filtr z čerpadla	0,376
12.11.2020	BK18 (S1)_V	voda	0,876
12.11.2020	T16_V	voda	0,221
12.11.2020	Vrt S-20 _V	voda	nízká
12.11.2020	Nádrž_V	voda	nízká
12.11.2020	Filtrát_V	voda	0,0436
12.11.2020	Exp 1_S	stěr	8,6

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

datum odběru	vzorek	typ a popis vzorku	DNA koncentrace (ng/ul)
02.06.2021	Vrt S1_V	Voda z vrtu	>0,01
02.06.2021	Nádrž_V	Voda z nádrže	0,278
02.06.2021	Filtrát_V	Filtrát z čerpadla	0,728
02.06.2021	Exp 1_S	Stěr z okolí exp 1	2,73
02.06.2021	T16_V	Voda z okolí teploměru	0,176
02.06.2021	Vrt S20_V	Voda na výtoku z S20	0,034
13.09.2021	Vrt S1_V	Voda z vrtu	0,305
13.09.2021	Nádrž_V	Voda z nádrže	54,4
13.09.2021	Filtrát_V	Filtrát z čerpadla	8,32
13.09.2021	Exp 1_S	Stěr z okolí exp 1	4,72
13.09.2021	T16_V	Voda z okolí teploměru	0,172
13.09.2021	Vrt S20_V	Voda na výtoku z S20	0,309
20.12.2021	Vrt S1_V	Voda z vrtu	0,08
20.12.2021	Nádrž_V	Voda z nádrže	0,792
20.12.2021	Filtrát_V	Filtrát z čerpadla	2,98
20.12.2021	Exp 1_S	Stěr z okolí exp 1	19,4
20.12.2021	T16_V	Voda z okolí teploměru	0,284
09.06.2022	Nádrž_V_9_6	Voda z nádrže	0,252
09.06.2022	Nádrž_B	Biofilm z nádrže	6,76
14.06.2022	Vrt S1_V	Voda z vrtu	0,086
14.06.2022	Nádrž_V_14_6	Voda z nádrže	0,496
14.06.2022	Filtrát_V	Filtrát z čerpadla	1,28
14.06.2022	Vrt S20_V	Voda na výtoku z S20	0,096
14.06.2022	T16_V_	Voda z okolí teploměru	0,948



Obr. 24 Odběr stěru z instrumentace FM1 pro mikrobiologickou analýzu

3.2.2 Výsledky 2019

Výsledky sekvenační analýzy pro vzorky z roku 2018 byly popsány v předchozí zprávě (Svoboda et al., 2019). V této zprávě jsou popsány výsledky odběru z 30. 7. 2019 a souhrnně pro všechny odběry prezentována celková analýza vyskytujících se mikroorganismů s ohledem na převažující typ metabolismu. Vztah mikrobiálních společenstev ke kyslíku shrnuje Obr. 25.

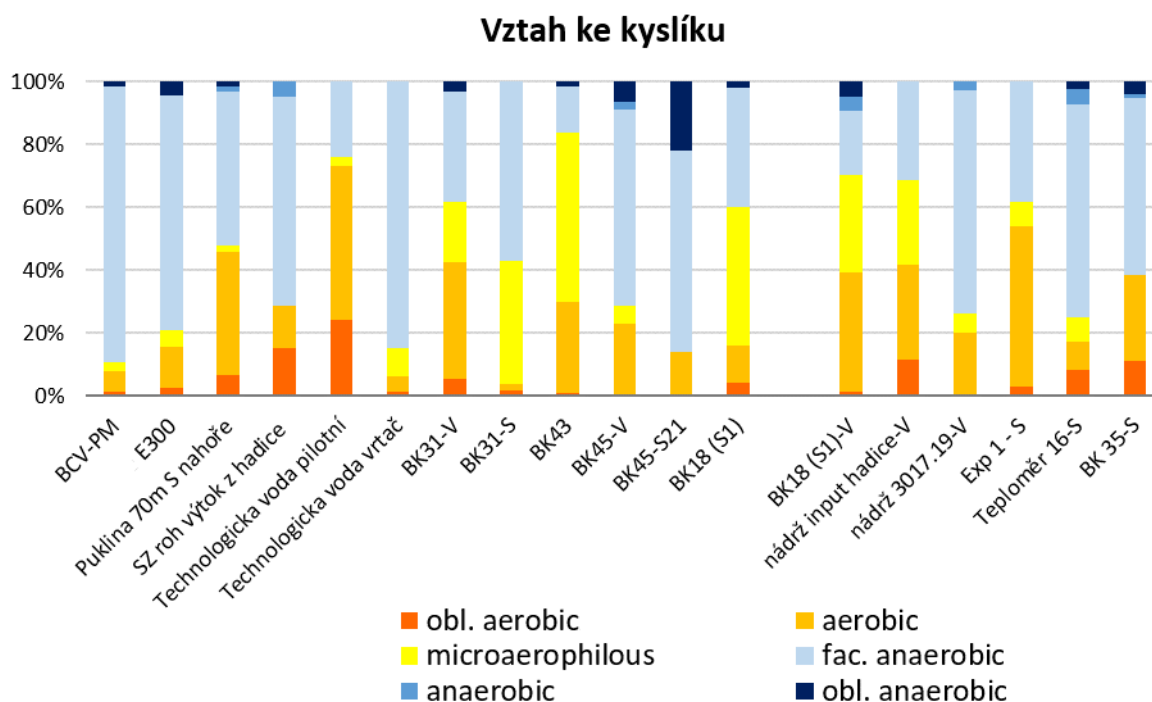
V odebraných vzorcích byly v různé míře zjištěny následující typy mikroorganismů:

- obligatorně aerobní (obl. aerobic) – žijí pouze v prostředí s dostatečnou koncentrací kyslíku
- aerobní (aerobic) – žijí v prostředí s přítomností kyslíku,
- mikroaerofilní (microaerophilous) - jsou schopny žít v prostředí s nízkou koncentrací kyslíku,
- fakultativně anaerobní (fac. anaerobic) – nejsou životně vázány na prostředí bez kyslíku,
- anaerobní (anaerobic) - ke svému životu nepotřebují kyslík,
- obligatorně anaerobní (obl. anaerobic) – žijí pouze v prostředí bez kyslíku.

Obecně lze říci, že všechny vzorky jsou do jisté míry ovlivněny kyslíkem přítomným v chodbách PVP. Organismy závislé na kyslíku se vyskytují ve velké míře převážně ve vodách vyvěrajících z různých puklin v rozrážce ZK-3S a také technologické vodě, vodě S1 a stěrech z okolí FM1, přítoku BK35 a hadice IBC nádrže. Ve všech vzorcích pak byly nejhojněji detekované fakultativně

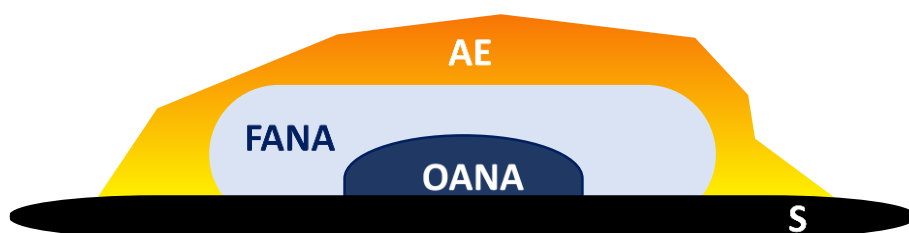
anaerobní rody, které jsou v nepřítomnosti kyslíku schopné využít jiný substrát jako donor elektronů při anaerobní respiraci.

Na druhé straně obzvláště ve stěrech z okolí některých vrtů byla detekována přítomnost obligatorních anaerobů, hojně např. ve stěru u ústí vrtu S21 u přítoků BK45 či z okolí přítoků BK35, BK31 a vody z BK18 (vrt S1). Anaerobní mikroorganismy pro vzorky z vrtu S21 (BK 45), v grafu na Obr. 25 jsou odebrané vzorky označeny jako BK 45-V pro odebranou vodu a BK 45-S21 pro provedený stěr na ústí vrtu, jsou ve větší míře detekované ve stěru než v samotné vodě, což naznačuje přítomnost biofilmu s možnou strukturou uvedenou na Obr. 26.

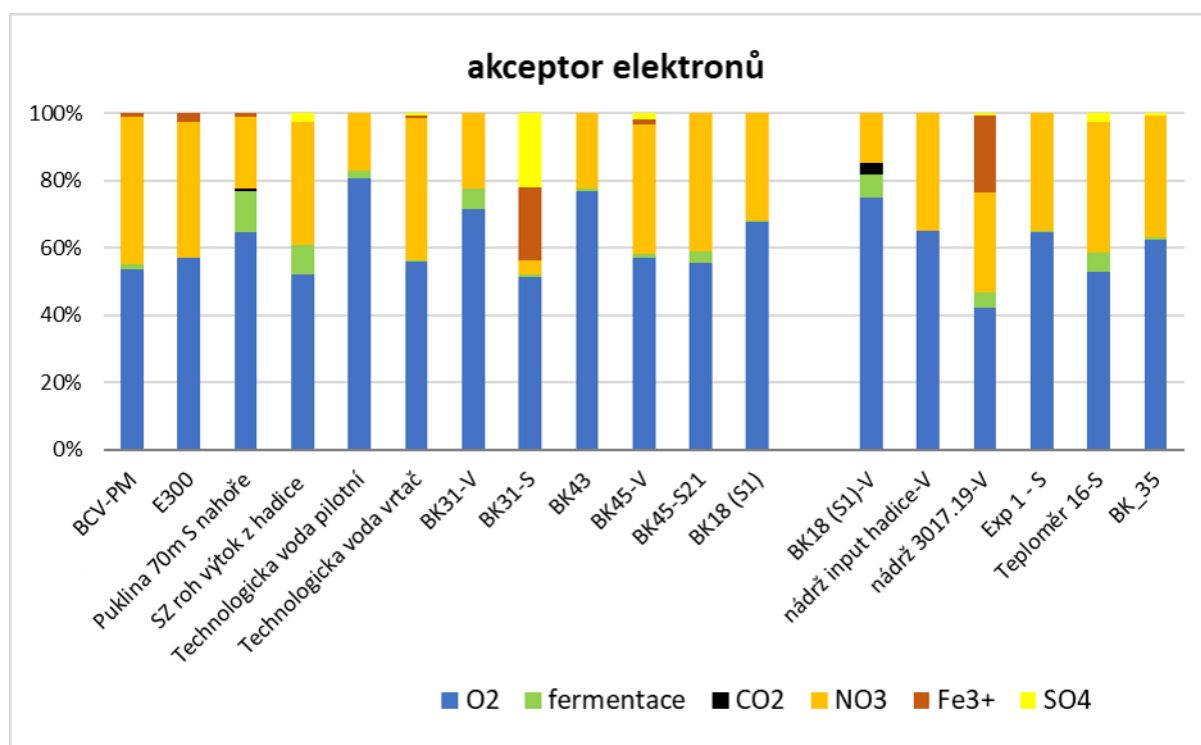


Obr. 25 Výsledky sekvenační analýzy, zobrazeno je 30 nejčtenějších rodů s ohledem na jejich vztah ke kyslíku.

Stěr z okolí přítoku BK31 vykazuje velmi malé procento aerobních mikroorganismů, spíše převládají mikroaerofilní a fakultativně anaerobní rody podílejících se na cyklech železa a síry, např. železo-oxidující rod *Gallionella* (Obr. 27). Dále ve stěru BK31 se také vyskytují zástupci čeledi *Acidiferrobacteraceae*, fakultativní anaerobové, kteří mohou kromě kyslíku využít jako konečné akceptory respiračního cyklu také nitráty, železo nebo síru (Obr. 27). Přítomnost všech typů bakterií v těchto stěrech je možné vysvětlit strukturou biofilmu ve vlhkém prostředí některých vrtů. Na povrchu biofilmu dominují duhy aerobní a fakultativně anaerobní, kdežto v hlubších vrstvách biofilmu, kde je již kyslík spotřebován, mohou přežívat druhy obligátně anaerobní (Obr. 26).



Obr. 26 Schéma biofilmu: vztah mikroorganismů ke kyslíku. AE – aerobní organismy, FANA – fakultativně anaerobní, OANA – obligatorně anaerobní bakterie, S – podklad, hornina



Obr. 27 Výsledky sekvenční analýzy, zobrazeno 30 nejčtenějších rodů s ohledem na typ respirace dle preferovaného terminálního akceptoru elektronů

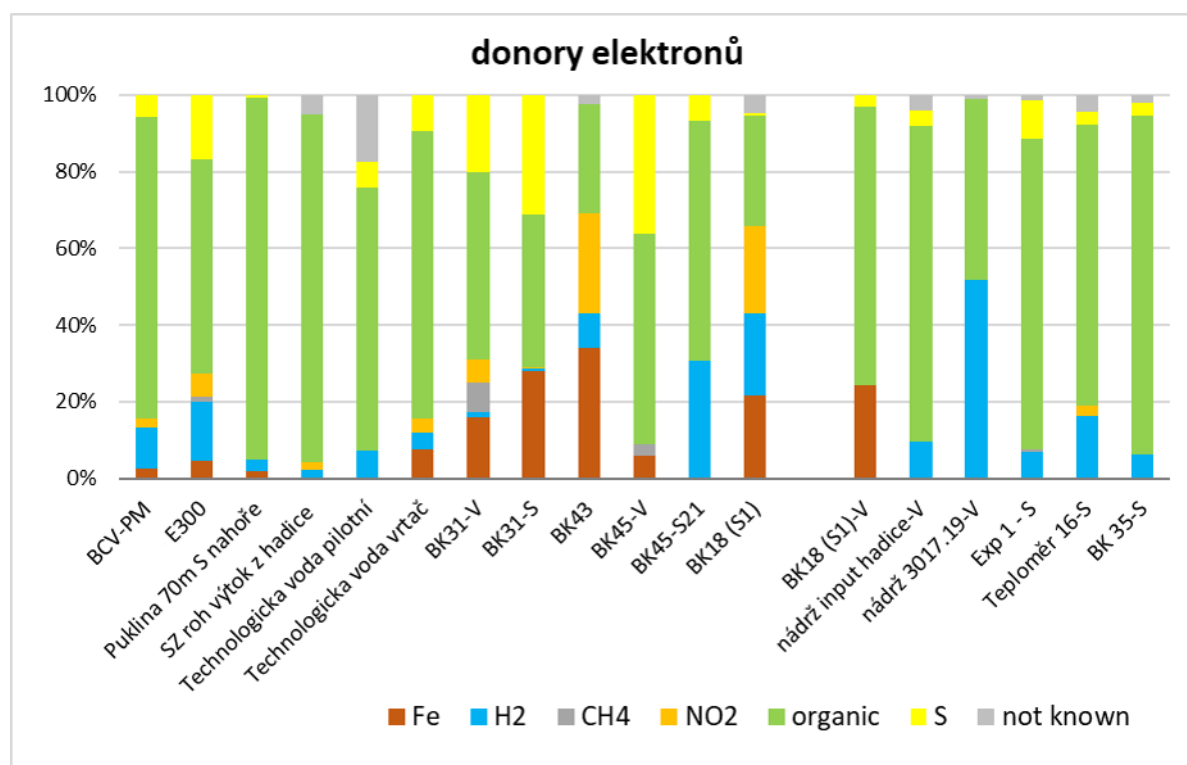
Dále bude popisován převažující typ metabolismu a zdroj energie u bakterií ve studovaných vzorcích z aktuálního odběru. Dle zdroje uhlíku se organismy dělí na heterotrofní (uhlík získávají z organických sloučenin), autotrofní (uhlík získávají z oxidu uhličitého) a mixotrofní (uhlík získávají heterotrofně i autotrofně). Dle toho, jakou využívají energii na fototrofní (využívají světelnou energii) a chemotrofní (využívají energii chemických vazeb a reakcí). Dle zdroje redukčních ekvivalentů pro přenos elektronů při metabolismu na litotrofní (získávají z anorganických sloučenin) a organotrofní (získávají z organických sloučenin).

Ve vodě z vrtu S1 (BK18) se vyskytují převážně chemoorganoheterotrofní mikroorganismy respirující kyslík či nitráty v nepřítomnosti kyslíku (Obr. 27). Tyto mikroorganismy získávají zpravidla energii a uhlík z organických látek, které slouží jako donory elektronů pro energetický metabolismus. Zastoupeni jsou ale i obligatorní anaerobové získávající energii fermentováním organických látek či respirující železo, sírany či oxid uhličitý. Tyto mikroorganismy pak jako zdroj energie (donorů) mohou využívat kromě organických látek také vodík (Obr. 28). Přítomnost

železo oxidujících mikroorganismů (nejhojněji zastoupen rod *Gallionella* a rod *Sideroxydans*) zde dále indikuje přítomnost železnatých solí.

Stěr z hadice zavedené do IBC kontejneru vykazuje podobně převážně aerobní chemoorganoheterotrofní mikroflóru využívající organické sloučeniny jako zdroj energie, uhlíku i redukčních ekvivalentů. Hojným akceptorem pro elektrony je zde kyslík, popř. nitrát, jako v předchozím případě (Obr. 27).

V nádrži, do níž přitéká voda z vrtu BK 18 (S1) již bylo zjištěno poněkud jiné konsorcium mikroorganismů. Jsou zde ve větší míře zastoupeny organismy obligatorně anaerobní, neschopné fungovat v přítomnosti kyslíku. Tyto využívají jako donory elektronů buď organické látky nebo molekulární vodík, řidčeji thiosulfát. Hojně je především zastoupen rod *Thermincola* využívající právě vodík nebo thiosulfát a respirující železo (Obr. 27). Vyskytují se zde ale také anaerobní bakterie fermentující organické sloučeniny. Dále jsou v nádrži přítomni i fakultativní anaerobové redukující nitráty, sulfáty či železité sole (*Ferribacter* a *Anaerosolibacter*).



Obr. 28 Výsledky sekvenační analýzy, zobrazeno 30 nejčtenějších rodů s ohledem na využití alternativních zdrojů elektronů z prostředí.

Analýza mikroorganismů ze stěru v okolí vrtu FM 1 ukázala, že většina mikroorganismů je závislá na kyslíku, alternativně v anaerobních podmínkách využívají jako konečný akceptor elektronů v dýchacím řetězci místo kyslíku nitráty. Ve stěru FM1 byly také zachyceny fakultativní anaerobní bakterie využívající jako donor elektronů sulfan, síru či thiosulfát (*Thiobacillus*, *Bosea*). Obecně lze tedy říci, že v ústí a okolí FM1 dominují aerobní mikroorganismy či nitrátoví reducenti (Obr. 27).

Stěr z okolí vrtu teploměru 16 obsahuje smíšenou auto-heterotrofní mikroflóru převážně ovlivněnou kyslíkem. Hojně zastoupené jsou zde fakultativně anaerobní bakterie schopné

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

využívat nitráty, ale byly zde detekované i obligátně anaerobní bakterie z čeledi Desulfarculaceae respirující sírany (Obr. 27).

Stěr z okolí přítoku BK35 ukázal na přítomnost dominantní aerobní mikroflóry, alternativně též schopné využít nitrátů jako konečných akceptorů elektronů (Obr. 27 a Tab. 6). Obligátní anaerobové využívající vodík či sírany jsou zde zastoupeny minimálně, mikroorganismy schopné oxidace nebo redukce železa zde nebyly detekované. Bylo zde detekováno slabé zastoupení bakterií oxidujících síru (Obr. 27 a Obr. 28). Ukazuje se, že mikroflóra z přítoku BK35 je naprosto odlišná od ekosystému přítokové vody z vrtu S-1 (BK 18), která se používá k sycení FM, ale v takto otevřeném systému si nemusí bakteriální složení odpovídat ani při vzájemném horninovém propojení. Navíc mikroorganismy vyskytující se ve vodě jsou často odlišné od bakterií vyskytujících se na pevném podkladu v nárůstech. Jak je zřejmé z Tab. 5, šest nejhojněji zastoupených rodů ve stěru v okolí BK35 se zřídka vyskytuje v ostatních vzorcích, což naznačuje, že jsou podmínky v těsném okolí tohoto místa výrazně odlišné od ostatních studovaných prostředí. Mikrobiální osídlení tedy souvisí s fyzikálně chemickými parametry (vodivost, pH, obsah kyslíku) a chemickým složením vod, viz Tab. 7 a Tab. 8.

Tab. 6: Abundance 10 nejčtenějších mikrobiálních rodů (OTU) vyskytujících se ve stěru z okolí přítoku BK35 a porovnání výskytu těchto rodů u ostatních odběrů z 30.7.2019 a jejich vztah ke kyslíku, zdroj i akceptor elektronů.²

BK18 (S1)	stěr hadice	nádrž	stěr Exp. 1	stěr tepl.16	BK35	ROD	vztah k O2	Donor	Akceptor
0	0	0	0	253	632	Pseudonocardia	FANA	ORG	O2, NO3
0	0	0	0	0	409	Solirubrobacteraceae	AE	ORG	O2
0	0	0	0	0	281	Crossiella	FANA	ORG	O2, NO3
0	0	0	0	0	180	Streptomyces	AE	ORG	O2
0	0	0	57	0	134	Hyphomicrobium	FANA	ORG,	O2, NO3
0	0	0	0	0	103	Caldilineaceae	OANA	ORG	
0	0	0	0	0	96	Gemmataceae	AE	ORG	O2
0	73	0	501	139	93	Hydrogenophaga	FANA	ORG, H2	O2, NO3
0	599	2627	108	438	81	Burkholderiaceae	FANA	ORG, H2	O2,NO3
399	0	0	0	254	79	Pseudomonas	FANA	ORG	O2, NO3

² Legenda: FANA – fakultativně anaerobní, AE – aerobní, OANA – obligatorně anaerobní, ORG – organické látky, H2 – molekulární vodík, O2 – kyslík, NO3 – nitráty

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

Tab. 7: Chemická analýza odběrů vod ze dne 30. 7. 2019

VRT/ VZOREK	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na	K	Mg	Ca	Fe	TOC
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
BK18 (S-1)	10,54	40,46	0,38	13,35	2,848	11,07	40,33	< 0,035	1,71
BK35	22,81	126,03	1,57	17,75	3,002	18,78	70,67	< 0,035	1,7
IBC nádrž	8,5	40,32	0,22	13,52	2,745	10,58	37,98	< 0,035	1,64

Tab. 8: Hodnoty fyzikálně chemických parametrů vody z vrtu BK18 (S1), přítoku BK35 a vody v nádrži ze 30.7.2019

VRT/ VZOREK	teplota	vodivost	rozpuštěný O ₂	pH
	[°C]	[μS/cm]	[mg/l]	
BK18 (S-1)	15,9	275	3,65	7,76
BK35	15,9	462	9,58	8,09
IBC nádrž	16,5	431	3,48	7,95

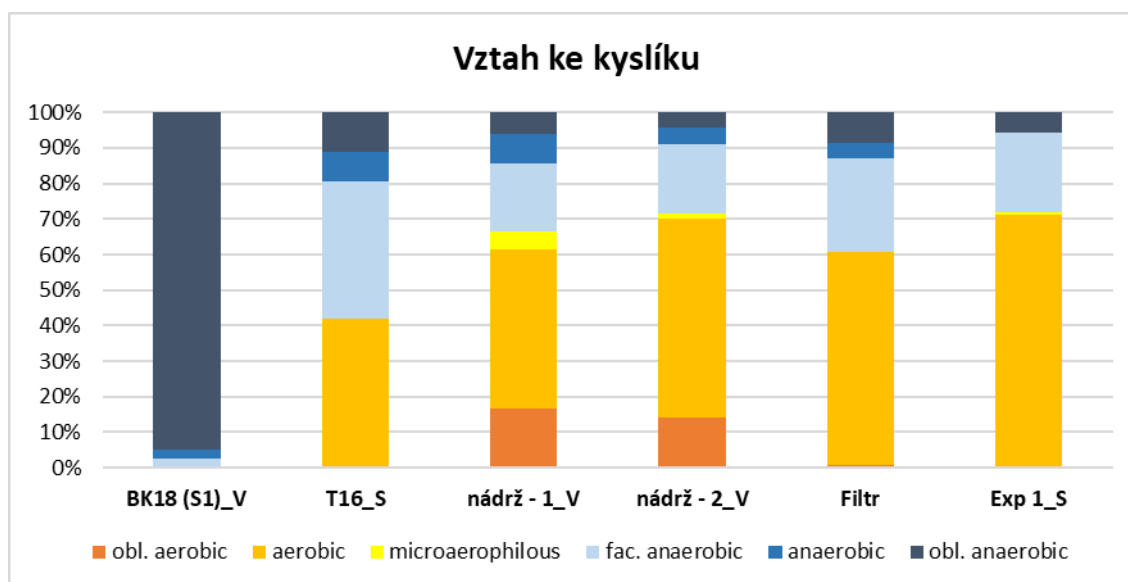
Je nutné zmínit, že koncentrace získané DNA ze studovaných vzorků, vyjma stěru z hadice IBC nádrže, byly velmi nízké, což může ovlivnit kvalitu výsledků následných analýz. Nízká koncentrace DNA ve vzorku totiž zvyšuje riziko ovlivnění výsledků kontaminacemi z okolního prostředí či během zpracování vzorků v laboratoři. Vzorky s nejvyššími hodnotami koncentrace DNA byly ze stěru z hadice IBC nádrže, méně pak z vody vrtu S1 (BK18) a ze stěru přítoku BK35. Většina ostatních vzorků vod měla výtěžky DNA velmi nízké, totéž platí pro vzorky bentonitu a cementu. Lze tedy konstatovat, že ve většině studovaných vzorků vod je spíše malé množství mikroorganismů. Sekvence neproběhla u vzorku cementu LPM pravděpodobně v důsledku špatné kvality izolované DNA.

3.2.3 Výsledky 2020

V této kapitole jsou popisovány výsledky mikrobiologických analýz odběrů provedených 12.3.2020 a 12.11.2020.

Odběr 12. 3. 2020

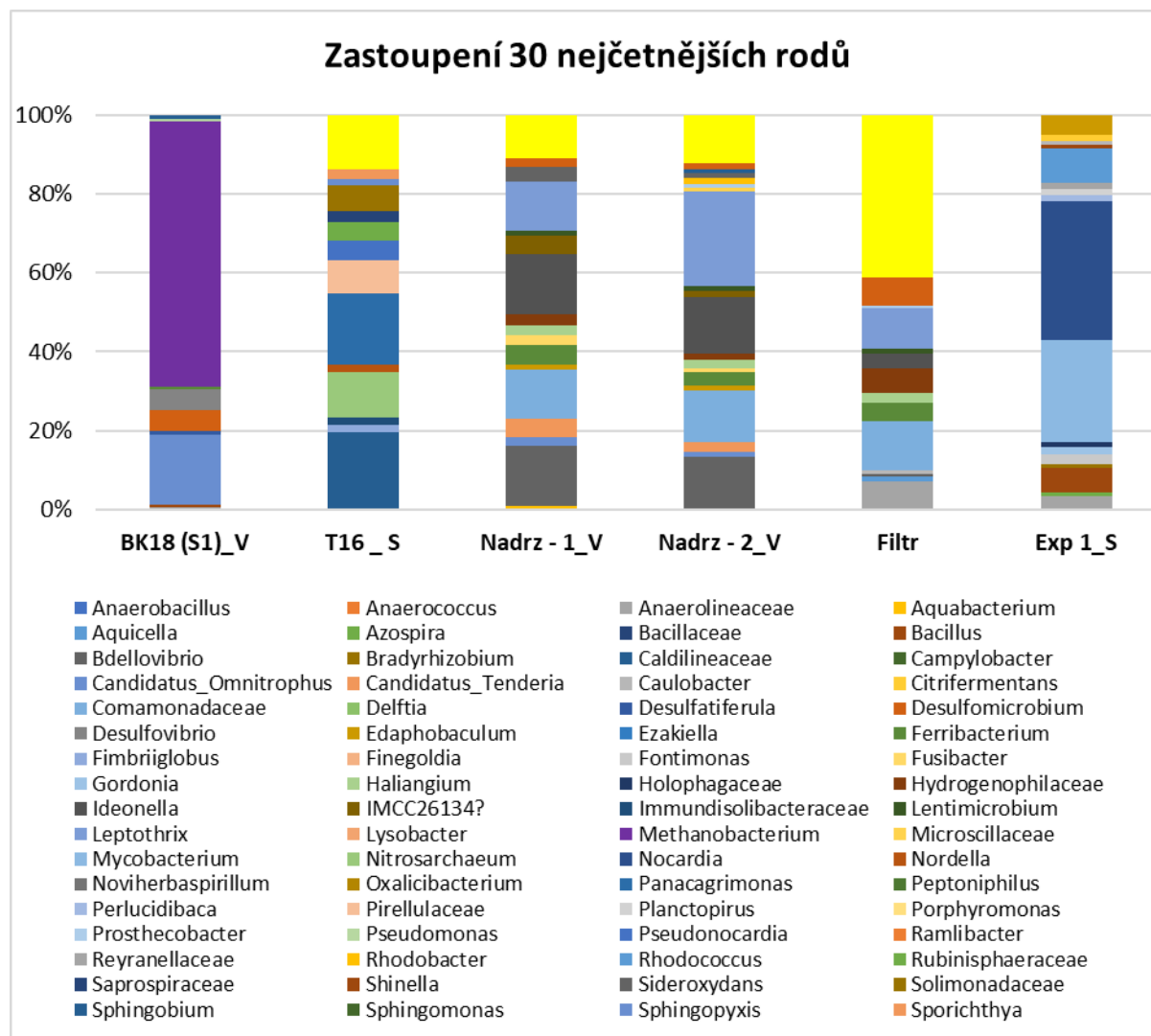
Vztah mikrobiálních společenstev ke kyslíku shrnuje Obr. 29. Třicet nejčtenějších rodů v analyzovaných vzorcích je ukázáno na Obr. 30. Ve vzorku z vrtu S1 jednoznačně převládaly anaerobní mikroorganismy, zatímco ostatní vzorky jsou z velké části ovlivněny aerobním prostředím v PVP, jímž je voda vedena z vrtu S1 do nádrže a dále do experimentálních vrtů z nádrže. Je zde tedy zřejmý výskyt aerobních rodů nebo fakultativně anaerobních rodů. Ve stěru z okolí teploměru MV16 (T16_S) se vyskytují hojně i obligátní anaerobové, pravděpodobně z nižších vrstev narostlého biofilmu. Na rozdíl od předchozích odběrů, kde byla voda odebrána do sterilních vzorkovnic, zmrazena a zfiltrována až po opětovném rozmrazení při zpracování vzorku, byly odběry vody z mateřského vrtu S1 (BK18) a z nádrže provedeny okamžitě filtrací přes sterilní Sterivex filtr, čímž byla eliminována možnost ovlivnění z okolního prostředí. Použitím této vhodnější metodiky byla poprvé detekována přítomnost anaerobních mikroorganismů ve vrtu S1, Obr. 29.



Obr. 29 Výsledky sekvenční analýzy odběru ze dne 12.3.2020, zobrazen je vztah ke kyslíku u 30 nejčtenějších rodů

Co se týče zastoupení jednotlivých mikrobiálních rodů, ve vrtu S1 se hojně vyskytují anaerobní metanogenní bakterie rodu *Methanobacterium* a poměrně hojně jsou zde zastoupeny i mikroorganismy z kmene *Archea*, které jsou často také metanogenními organismy. V menší míře jsou zastoupeny sulfátoví reducenti rodů *Desulfovibrio* a *Desulfomicrobium*. Ostatní vzorky jsou velmi různorodé. Detekované mikrobiální složení vzorků (Obr. 30) dokládá jednak vzájemnou souvislost a návaznost jednotlivých vzorků v experimentálním systému a dále kvalitu (reprodukovatelnost) genetických analýz (duplikát vzorku vody z nádrže). Anaerobní voda jdoucí z vrtu do nádrže a posléze přes filtr do experimentálních vrtů se obohacuje o aerobní (*Thiotrix*, *Leptotrix*, *Edaphobacterium*) a fakultativně anaerobní rody (*Comamonadaceae*, *Hydrogenophylaceae*, *Thiobacillus*). Anaerobové ustupují a jsou zastoupeny jen dvěma rody *Ferribacterium* a *Fusibacter*, chybí však úplně sulfát-redukující bakterie i metanogeny, které jsou velice citlivé na přítomnost kyslíku a které proto pravděpodobně nebyly zachycené v předchozích odběrech ani z vrtu S1 prováděné jinou metodikou (viz výše). Tato různorodá směs organismů prochází a částečně se zachycuje (především *Thiotrix*) na filtru čerpadla a sytí experimentální vrt. Oproti složení mikroorganismů detekovaném v nádrži je filtr částečně obohacen i o obl.

anaerobní čeleď *Anaerolineace*, kteří v nádrži nebyli detekováni a svědčí zřejmě o nárůstu biofilmu na filtru čerpadla. V obou stěrech jsou pak zastoupeny různé organismy s různými metabolickými požadavky dokládajícími, že bakteriální biofilm je nezávislá komunita organismů řídicí se vlastními zákony (T16_S a Exp 1_S).

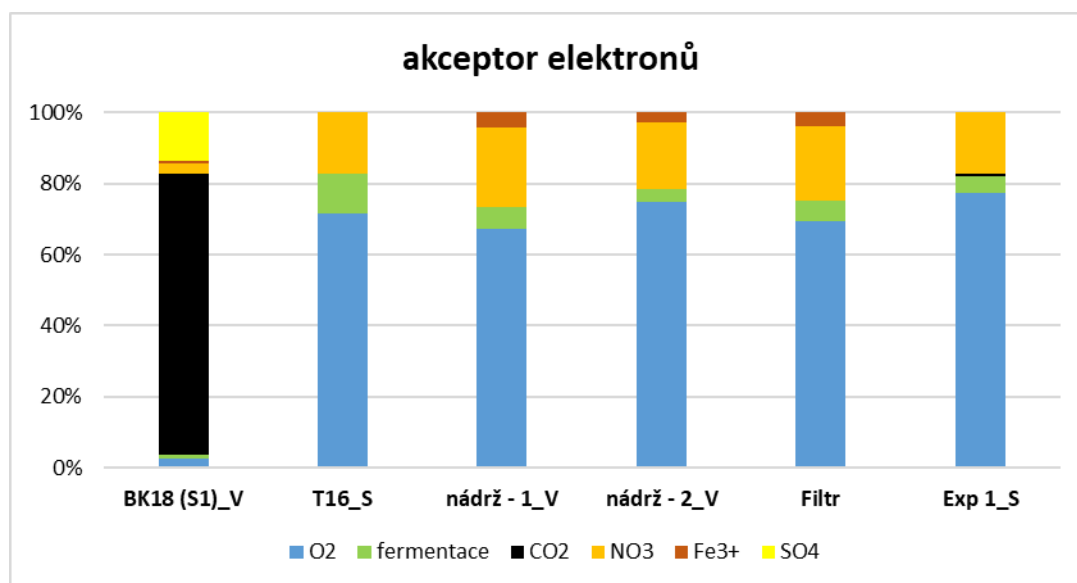


Obr. 30 Zastoupení třiceti nejčtenějších bakteriálních rodů ve vzorcích odběru ze dne 12.3.2020.

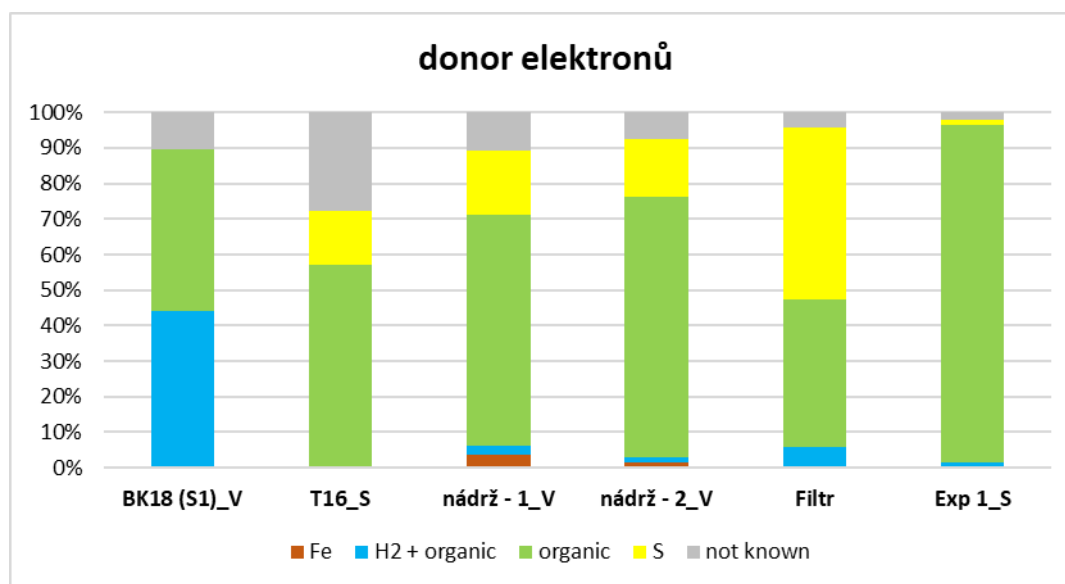
Dále je popisován převažující typ respiračního metabolismu (daný terminálním akceptorem elektronů) a zdroj energie (donorů elektronů) u bakterií ve studovaných vzorcích z aktuálního odběru.

Ve vodě z vrtu S1 (BK18) se vyskytují převážně anaerobní mikroorganismy využívající místo kyslíku oxid uhličitý a produkující metan (*Methanobacterium*) nebo sulfát (*Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium*, *Desulfatiferula*). V malé míře využívají i železité ionty (*Ferribacterium*) jako konečné akceptory elektronů v respiračním řetězci (Obr. 31). Tyto mikroorganismy získávají zpravidla uhlík buď autotrofně z CO₂ (*Methanobacterium*) nebo častěji heterotrofně oxidováním organických látek. Tyto mikroorganismy mohou jako zdroj energie (donorů elektronů) využívat kromě organických látek také vodík (Obr. 32).

V nádrži, do níž přitéká voda z BK 18, se vyskytuje poněkud jiné konsorcium mikroorganismů. Převládají zde aerobní a fakultativně anaerobní rody fungující dobře v kyslíkové atmosféře. Většina organismů je organochemoheterotrofních, využívajících jako zdroje uhlíku a energie jednoduché organické látky. Rod *Thermincola*, hojně zastoupen v předchozím odběru využívající jako donor elektronů vodík nebo thiosulfát a respirující železo, byl vystřídán jinými rody jako je železo-redukující rod *Ferribacterium*, ale i železo oxidující rod *Sideroxydans*, využívající železo jako donor elektronů (Obr. 32). Vyskytují se zde ale také anaerobní bakterie fermentující organické sloučeniny. V menší míře jsou v nádrži zastoupeni i fakultativně anaerobní nitrát redukující bakterie ale i zástupci síru oxidujících mikroorganismů, kteří využívají síru jako zdroj energie a elektronů (např. *Thiobacillus*).



Obr. 31 Výsledky sekvenční analýzy odběru ze dne 12.3.2020, zobrazeno 30 nejčtenějších rodů s ohledem na typ respirace dle preferovaného terminálního akceptoru elektronů



Obr. 32 Výsledky sekvenační analýzy odběru ze dne 12.3.2020, zobrazeno 30 nejčastějších rodů s ohledem na využití alternativních zdrojů elektronů z prostředí


Analýza mikroorganismů ze stěru v okolí FM1 (Exp. 1) ukázala podobně jako v předchozím odběru, že naprostá většina mikroorganismů je závislá na kyslíku, alternativně v anaerobních podmínkách využívají jako konečný akceptor elektronů v dýchacím řetězci místo kyslíku nitrát. Ve stěru z Experimentu 1 byly také zachyceny fakultativně anaerobní bakterie využívající jako donor elektronů thiosulfát (*Sulfuritalea*). Naprosté minimum obligatorních anaerobů v tomto biofilmu jsou zástupci třídy *Anaerolineaceae* a *Holophagaceae*, fermentující organické látky. Obecně lze tedy říci, že v ústí a okolí FM1 dominují stále aerobní mikroorganismy, ale biofilm je již obohacen o malé množství obligátně anaerobních mikroorganismů závislých na organických látkách (Obr. 31).

Stěr z okolí vrtu MV16 obsahuje mikroflóru převážně ovlivněnou kyslíkem, některé jsou fakultativně anaerobní bakterie schopné využívat nitráty. Všechny využívají jako zdroj uhlíku a energie organické látky nebo síru.

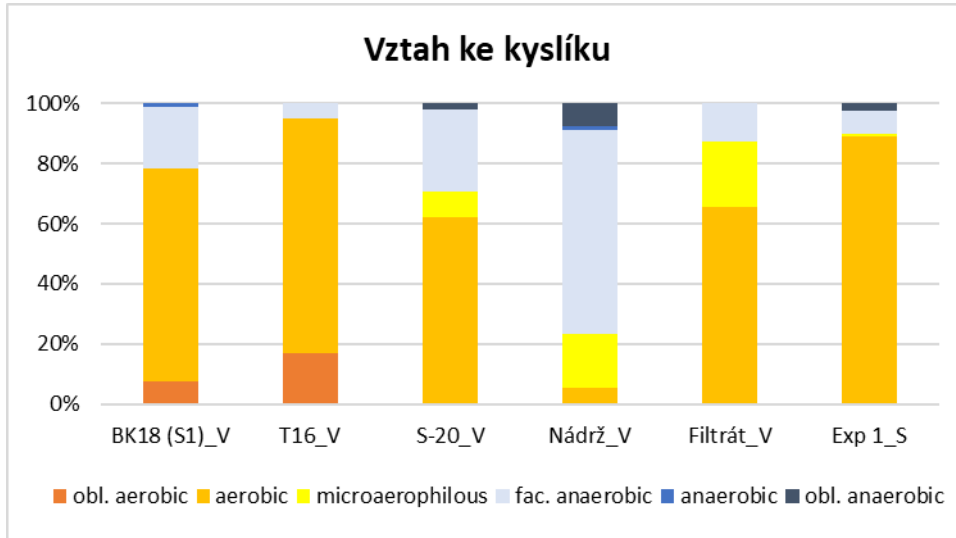
Lze tedy říci, že přítomnost zastoupených mikroorganismů odpovídá podmínkám, ve kterých se voda vyskytuje a je nutno zdůraznit, že většina anaerobních organismů, detekovaných ve vodě vrtu BK 18 (S1), se stěží dostane do experimentálních vrtů, neboť rezervoár sytící vody pro experimenty (IBC kontejner, je v kontaktu se vzduchem a dochází ke změnám mikrobiálních společenstev a jejich typů v závislosti na přítomném kyslíku. Stejně tak způsob odběru vzorků je velice důležitý, neboť anaerobní mikroorganismy velice citlivě reagují na přítomnost kyslíku. Použití Sterivex filtrů se tak ukázalo jako nejvhodnější způsob odběru vodních vzorků pro zachování původní mikrobiální skladby. Bakteriální biofilm z obou stěrů se také v čase vyvíjí a jeho přesné složení nelze s jistotou predikovat. Dále je možno konstatovat, že provedení genetických analýz je konzistentní (viz výsledky z duplikátu).

Odběr 12.11.2020

V následujícím textu jsou popisovány výsledky posledního odběru provedeném v roce 2020 a analýzy vyskytujících se mikroorganismů z tohoto odběru s ohledem na převažující typ metabolismu. Vztah mikrobiálních společenstev ke kyslíku shrnuje Obr. 33. Je zde zřejmý převážný výskyt aerobních rodů i v mateřské vodě z vrtu S1. Vzorek T16_V je špatně

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

porovnatelný s předchozími odběry okolí MV16, neboť v předchozích odběrech šlo o stěr, kdežto nyní byl analyzován vodný vzorek. Výskyt fakultativně anaerobních a obligátně anaerobních rodů ve vzorku vody z nádrže odráží pravděpodobně nárůst biofilmu na stěnách plastové IBC nádrže, protože nebyly detekovány ve filtrátu (vodě odebrané za čerpadlem) (Obr. 33).

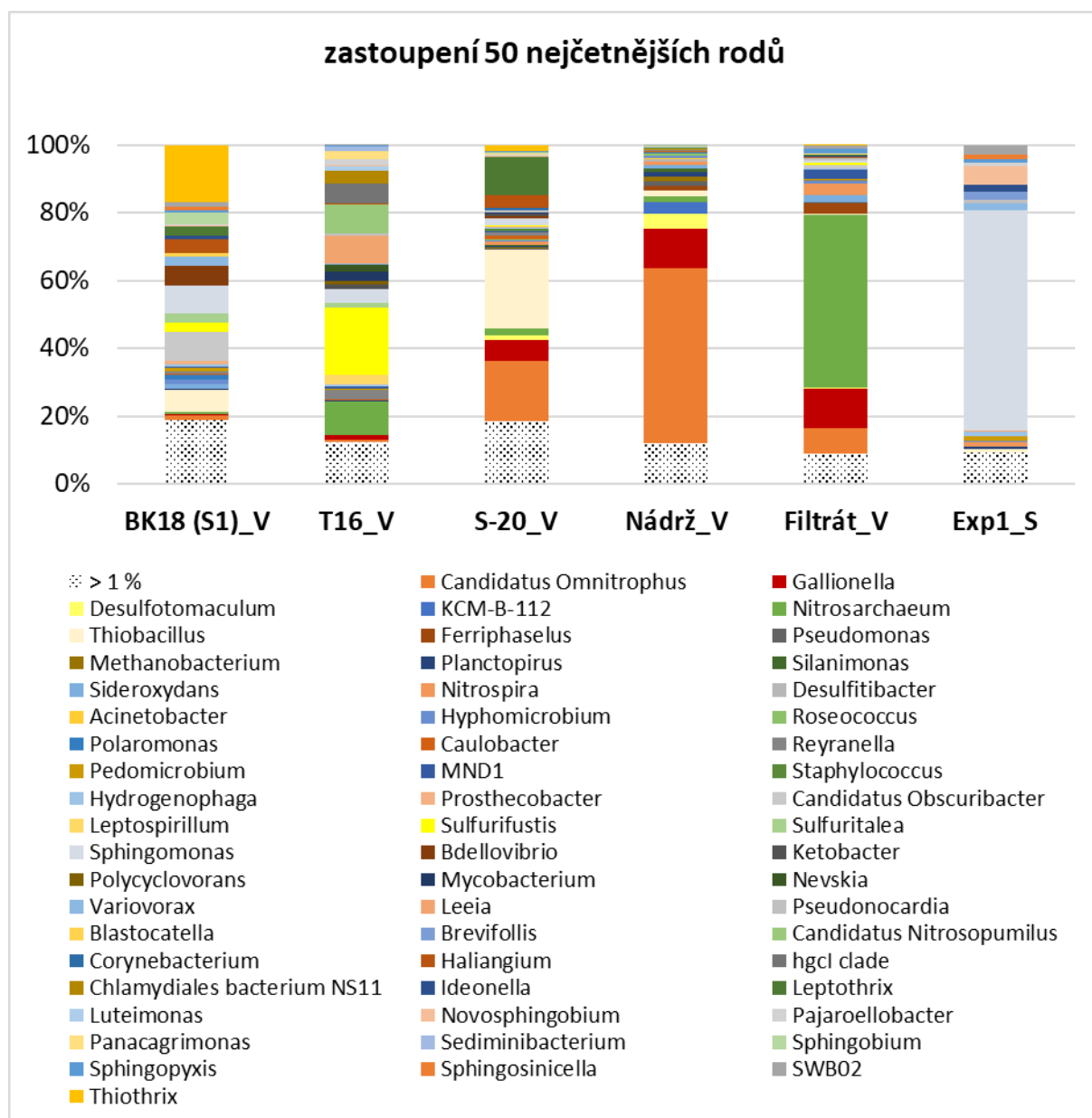


Obr. 33 Výsledky sekvenční analýzy odběru ze dne 12.11.2020, zobrazen je vztah ke kyslíku u 50 nejčtenějších známých rodů

Padesát nejčtenějších rodů v analyzovaných vzorcích je ukázáno na (Obr. 34). Ve všech vzorcích je zastoupena velká část neklasifikovaných a nekultivovatelných rodů (40-63 %). Ve výtoku z vrtu S1 (BK18(S1)_V) jsou hojně zastoupeny mikroorganismy oxidující sloučeniny síry (*Thiotrix*, *Thiobacillus*, *Sulfurifustis* a *Sulfuritalea*) a dále fermentativní bakterie zpracovávající organické sloučeniny (*Candidatus Obscuribacter*, *Sphingomonas*, *Bdellovibrio*, *Leptothrix* apod.), méně již fakultativně anaerobní nitrátoví reducenti (*Polaromonas*, *Sphingobium*).

Ve vodě z okolí teploměru MV16 (T16_V) je nejhojněji zastoupen síru oxidující rod *Sulfurifustis*, dále méně jsou zastoupeni heteroorganotrofní mikroorganismy rodů *Sphingomonas*, *Nevskia* a *Leeia* nebo mikroorganismy z kmene *Archea* - *Nitrosarcheum* a *Candidatus Nitrosopumilus*.

Ve vrtu S-20 (S-20_V) v rozrážce jsou dominantní rody *Thiobacillus*, *Gallionella*, *Leptothrix* a *Candidatus Omnitrphus*. *Candidatus Omnitrphus* je nejhojněji zastoupen i v nádrži a částečně ve filtrátu sytícím experimentální vrtu. O jeho metabolismu nebo funkci však není možno nic říci, protože patří mezi nekultivované a špatně popsané mikroorganismy. Podobně v nádrži i filtrátu byly detekovány železo oxidující rod *Gallionella*. Dále se v nádrži vyskytuje obligátně anaerobní sulfátový reducent *Desulfotomaculum* (4,5 %), který je pravděpodobně součástí biofilmu nebo se vyskytuje v nižších vodných vrstvách. Ve filtrátu se nejhojněji vyskytuje jiný Archeon – *Nitrosarchaeum*, který přítomný čpavek oxiduje na nitráty. Tyto nitráty pak mohou být využity fakultativně anaerobními nitrátovými reducenty v anaerobních podmínkách jako akceptory elektronů v respiračním řetězci. Tuto domněnku podporuje i abundantní výskyt takové bakterie (*Sphingomonas*) v biofilmu z okolí prvního touto vodou syceného experimentálního vrtu (Exp1_S).



Obr. 34 Zastoupení padesáti nejčtenějších známých bakteriálních rodů ve studovaných vzorcích odběru ze dne 12.11.2020

Přítomnost zastoupených mikroorganismů odpovídá podmínkám, ve kterých se voda vyskytuje. Oproti předchozím odběrům byl v listopadovém odběru zaznamenán výrazný nárůst mikroorganismů z kmene Archea a velké množství neklasifikovaných mikroorganismů. Rozdíl v zastoupení bakteriálních rodů v minulých a současné analýze je důkazem neustále se vyvíjejícího a nepredikovatelného prostředí. V porovnání s předchozími odběry obecně platí výskyt smíšeného společenstva v nádrži oxidujícího siřné nebo železnaté sloučeniny a jejich částečný přechod přes filtr do sytící vody spolu s fakultativními anaeroby, takže je možno konstatovat, že provedení genetických analýz je konzistentní.

Poslední analýza opět potvrdila, že způsob odběru vzorků je velice důležitý. V současném odběru se ukázalo velmi rozdílné bakteriální konsorcium v mateřské vodě vrtu S1 při oxickém způsobu

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

odběru. Podobně nelze porovnávat výskyt bakteriálního společenstva ve vodě a ve stěrech (T16_S z 12.3.2020 a T16_V z 12.11.2020). Použití Sterivex filtrů by pro odběr vody přímo z vrtu S1 byl vhodnější zejména pro zachování původní mikrobiální skladby.

Dále je možno konstatovat, že většina zmíněných mikroorganismů se vyskytuje v různé míře ve všech vodních vzorcích a dokládá tak vzájemnou souvislost a návaznost jednotlivých vzorků v experimentálním systému a dále kvalitu (reprodukovatelnost) genetických analýz.

Další vývoj geochemických a mikrobiologických parametrů bude sledován zejména na vzorcích vody z vrtu S-1, vody v zásobní nádrži (IBC kontejneru) a okolí FM1 a MV16.

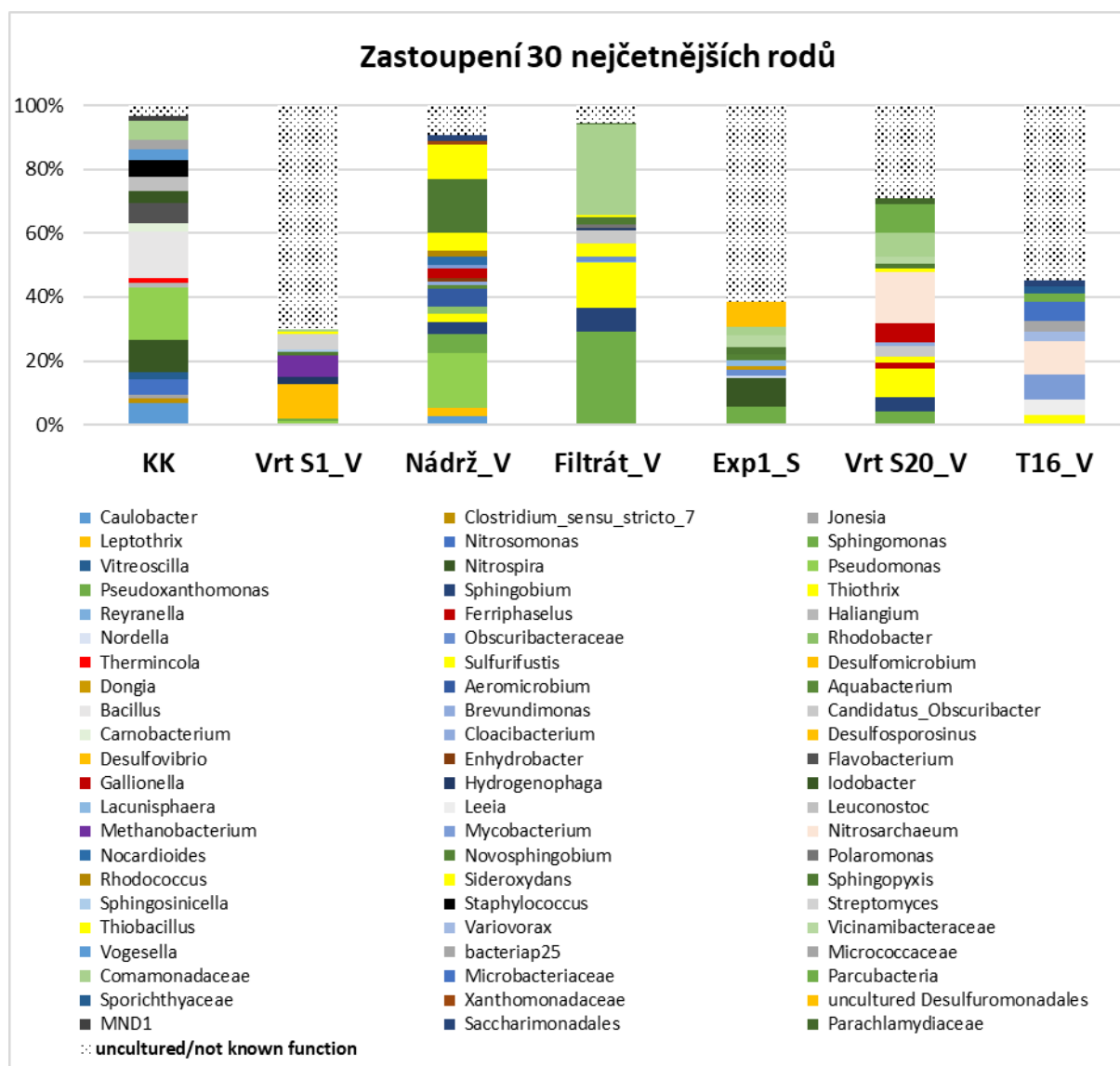
Z provedených analýz vyplývá, že většinou převažují organismy aerobní, detekovány však byly i organismy anaerobní. Jejich přítomnost v analyzovaných vzorcích souvisí jak s ovlivněním odběrového místa provozem v PVP, tak i způsobem odběru. Z výsledků analýz je patrné, že v odebraných vzorcích jsou přítomny organismy využívající pro své metabolické cykly sloučeniny uhlíku, dusíku, síry, železa a vodíku.

3.2.4 Výsledky 2021

V této kapitole jsou popisovány výsledky mikrobiologických analýz odběrů provedených 2. 6. 2021, 13. 9. 2021 a 20. 12. 2021.

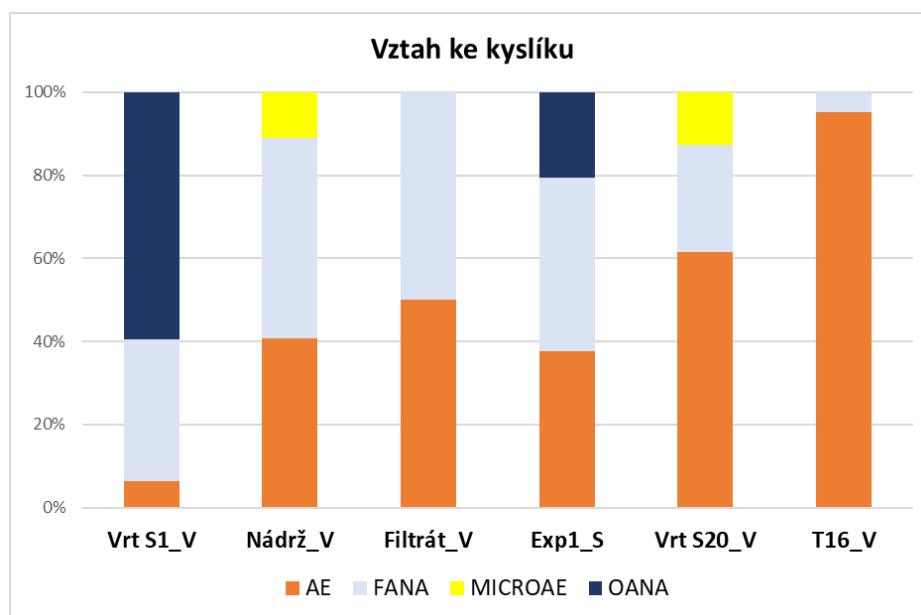
Odběr 2. 6. 2021

Obr. 35 udává analýzu vyskytujících se mikroorganismů z tohoto odběru. Ve všech vzorcích je zastoupena velká část neklasifikovaných a nekultivovatelných rodů s neznámými vlastnostmi a typem metabolismu (10-70 %), více však na výtocích vod a v biofilmu z okolí experimentálního vrtu 1. Ve výtoku z vrtu S1 jsou tentokrát hojně zastoupeny obligatorně anaerobními mikroorganismy redukující sírany (*Desulfomicrobium*, *Desulfosporosinus* a *Desulfovibrio*) nebo metanogenní *Methanobacterium* a dále fakultativně anaerobní reducenti dusičnanů eventuálně bakterie využívající organické sloučeniny (fermentoři). Asi 40 % zastoupených mikroorganismů je čistě aerobních (Obr. 36). V ostatních vzorcích jsou zastoupeny na kyslíku závislé mikroorganismy oxidující železo (*Gallionella*, *Ferriphaselus*) nebo síru (*Sulfurifustis*, *Thiothrix*, *Sideroxydans*, *Thiobacillus*) a fakultativně anaerobní až aerobní mikroorganismy, hojně především *Sphingomonas*, *Sphingopyxis*, *Pseudomonas*, *Aeromicrobium* apod. Detailnější analýza 30 nejhojněji zastoupených známých rodů je popsána níže.



Obr. 35 Výsledky sekvenční analýzy. Zastoupení 30 nejčtenějších známých bakteriálních rodů ve studovaných vzorcích. šedá – nekulturované mikroorganismy, nebo mikroorganismy s neznámou funkcí/metabolismem, žlutá – síru oxidující bakterie, oranžová – síran redukující bakterie, fialová – metanogeny, světle růžová – Archea, KK – kontrola izolačního kitu

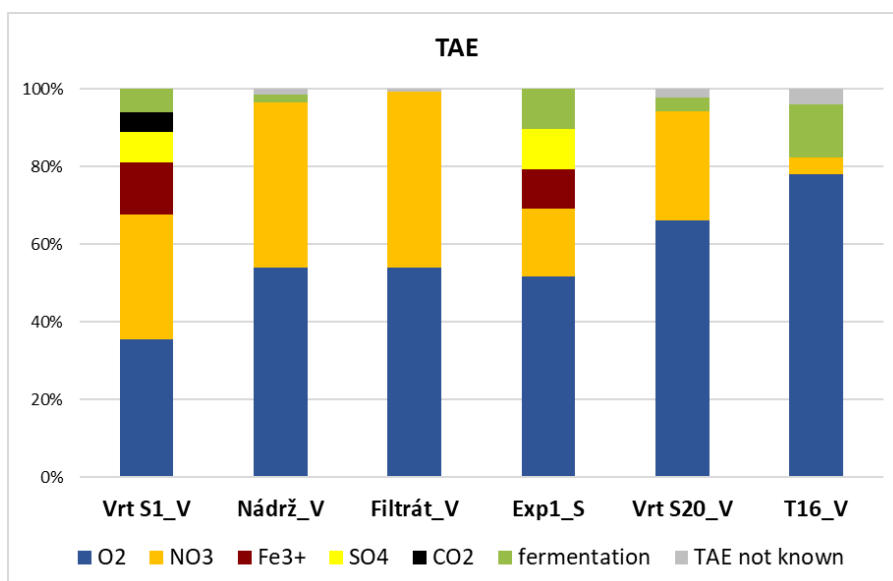
Ve všech vzorcích jsou nejvíce zastoupené aerobní a fakultativně anaerobní mikroorganismy. Ve vrtu S1 se ale oproti předchozímu odběru hojně zachytili obligatorní anaerobové (60 %). Tyto mikroorganismy jsou také hojněji (20 %) zastoupeny ve stěru a dokládají tak plný strukturální vývoj biofilmu se všemi jeho složkami. Část mikroorganismů v nádrži a vodě z vrtu S20 je tzv. mikroaerofilní, jsou schopni využívat jen omezené množství kyslíku (Obr. 36).



Obr. 36 Výsledky sekvenční analýzy, zobrazen je vztah ke kyslíku u 30 nejčastějších popsaných rodů. AE – aerobní, FANA – fakultativně anaerobní, MICROAE – mikroaerofilní, OANA – obligatorně anaerobní

Analýza metabolických preferencí se vztahuje na již popsané bakteriální rody, zohledněny jsou všechny využitelné donory a TAE pro jednotlivé mikroorganismy. Jak je patrné z Obr. 37, ve vodě z vrtu S1, jakož i ve stěru exp. 1 jsou zastoupeny mikroorganismy redukcí trojmocné železo nebo sírany, ve vrtu S1 navíc bakterie využívající jako konečný elektronový akceptor CO_2 . Jako v předchozích odběrech, v ostatních vodních vzorcích převládají bakterie, jejichž metabolismus je závislý na kyslíku nebo dusičnanech popř. organických látkách. Většina mikroorganismů ze zásobní nádrže se také řadí mezi chemoorganotrofní bakterie zpracovávající organické sloučeniny a popř. využívající dusičnany jako terminální elektronový akceptor (*Pseudomonas*, *Sphingopyxis*, *Bdellovibrio*, *Leptothrix*, *Nocardioides*, *Aquabacterium atd.* V nádrži se také vyskytují autotrofní bakterie, které oxidují redukované sírné nebo železnaté sloučeniny (*Thiotrix*, *Thiobacillus*, *Gallionella* a *Sideroxydans*), detekované v nádrži i v předchozích odběrech. Velmi podobné bakteriální složení je i ve filtrátu vody čerpané z nádrže přes filtr a sytící experimentální vrty. Oproti vodě v nádrži, ve filtrátu při analýze 50 nejčastějších rodů však chybí zastoupení mikroorganismů oxidujících železo (Obr. 37).

Ve výtoku vrtu S20, který přímo sousedí s vyhřívanými vrty v rozrážce je opět velmi podobné složení mikrobiální komunity obohacené o síru-oxidující *Thiotrix*, *Sulfurifustis* a železo-oxidující bakterie *Ferriphaselus*, *Sideroxydans* a *Gallionella*. Voda z vrtu S20 je navíc nyní silně obohacena o archeální komunitu *Nitrosarchaeum*, která byla hojná ve filtrátu předchozího odběru (12.11.2020). *Nitrosarchaeum*, umí přítomný čpavek oxidovat na dusičnany, které pak mohou být využity fakultativně anaerobními reducenty dusičnanů v anaerobních podmínkách jako akceptory elektronů v respiračním řetězci.



Obr. 37 Výsledky sekvenační analýzy, zobrazen je vztah k využívaným TAE u 30 nejčtenějších popsáných rodů

Z biofilmu z okolí experimentálního vrtu 1 se podařilo vyizolovat rDNA obligatorně anaerobních bakterií řádu Desulfuromonadales (~ 10 %) redukcí sírany (Obr. 37), ale velká většina patřila fakultativně anaerobním rodům jako např. *Nitrospira*, *Sphingomonas*, *Sphingopyxis* apod. schopných redukovat dusičnany (Obr. 37 a Obr. 35). S tím souvisí i výskyt archeonu *Candidatus Nitrosotenuis*, který podobně jako *Nitrosarchaeum* umí oxidovat anorganicky vázaný dusík na dusičnany, které slouží jako TAE pro výše zmíněné NRB. Naprostá většina mikroorganismů z tohoto stěru patří opět mezi nekultivatelné a málo známé mikroorganismy. Ve vodě z okolí teploměru T16 (T16_V) na druhé straně rozrážky jsou opět nejhojněji zastoupeny nekultivované mikroorganismy a *Nitrosarchaeum*. Dále je zastoupen síru oxidující rod *Sulfurifustis*, dále méně jsou zastoupeni heteroorganotrofní mikroorganismy rodů *Sphingomonas*, *Leeia* apod. (Obr. 35).

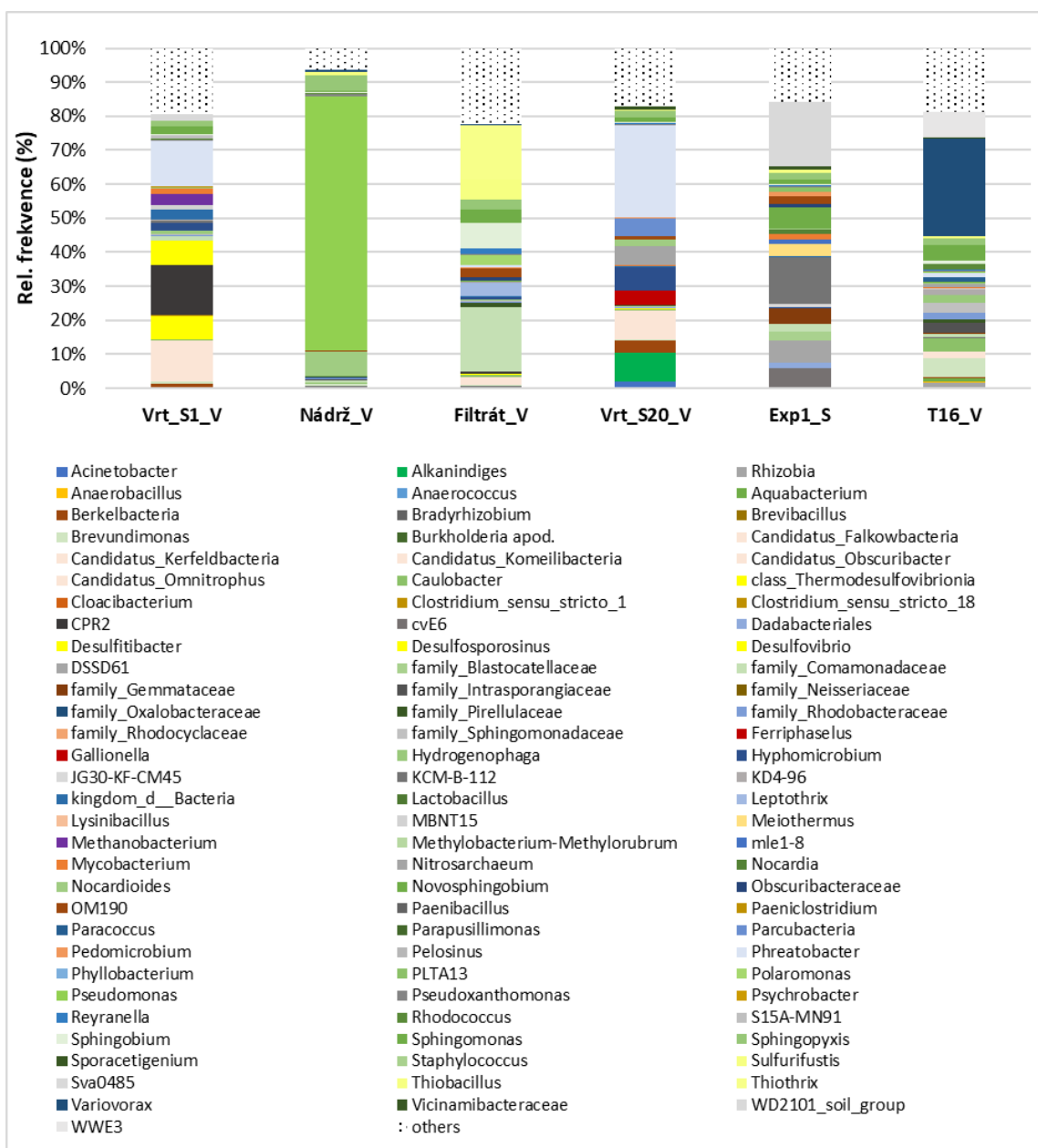
Přítomnost zastoupených mikroorganismů odpovídá podmínkám, ve kterých se voda vyskytuje a jakým způsobem je odebírána a skladována, ale zřejmě také jak dlouho je daný výtok intaktní apod. Na všech výtociích vod a ve stěru z okolí experimentálního vrtu 1 převládají nekultivatelné nebo nepopsané bakteriální rody. Ve stojatých vodách převažuje známá a již plně rozvinutá bakteriální komunita. Mikrobiální složení ve vrtu S1 může být již víceméně stabilizované s převažující metanogení/síran redukcí komunitou (k porovnání analýza vod z vrtu S1 z 12.3.2020). Vzhledem ke způsobu odběru je současný vzorek významně obohacen o anaerobní mikroorganismy. Avšak oba odběry (současný a jaro 2020) nelze s určitostí kvantitativně porovnávat, protože oba vzorky byly odebírány odlišným způsobem. Abundantní výskyt anaerobních rodů (<50 %) v současném odběru vody z vrtu S1 může také odrážet frekvenci odběrů vody z výtoku. Rozdíl v zastoupení bakteriálních rodů v nádrži v minulých a současné analýze je důkazem neustále se vyvíjejícího prostředí. V porovnání s předchozími odběry obecně platí výskyt smíšeného společenstva v nádrži oxidujícího sírné nebo železnaté sloučeniny a jejich částečný přechod přes filtr do sytící vody spolu s fakultativními anaeroby a aerobními mikroorganismy, takže můžeme konstatovat, že provedení genetických analýz je konzistentní. V celém experimentálním systému se neustále vyskytují stejné mikrobiální rody. Recentní abundantní výskyt dusičnany redukcí mikroorganismů může souviset s předešlým výskytem

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

dusičnany produkujícího mikroorganismu *Nitrosarcheum*, který se hojně vyskytoval v nádrži 12.11.2020, což dokládá vývoj společenstva v závislosti na dostupných živinách i přítomných metabolitech. Recentně jsme však oproti poslednímu listopadovému odběru nepozorovali významnější nárůst archeálních mikroorganismů v nádrži a sytící vodě. Jejich výskyt jsme však zaznamenali na výtoku z vrtu S20, který může odrážet propojenost celého systému. Podobně i železo-oxidující druh *Gallionella* se posunula v systému směrem k vrtu S20. *Gallionella* tvořila asi 11 % z 50 nejčtenějších rodů ve filtrátu v posledním zimním odběru v roce 2020 avšak v recentním odběru filtrát postrádá komunitu železo-oxidujících bakterií. Tyto výsledky poukazují na existenci časoprostorového posunu bakteriálního složení v systému a přímou souvislost vod mezi sytící vodou a vodním přepadem z vrtu S20. Zdá se, že vrty jsou přesycené sytící vodou a ta se puklinovým systémem v okolní hornině dostává zpět do rozrážky ZK-3S. Porovnáme-li mikrobiální zastoupení na pravé a levé straně rozrážky, např. ve vodě z vrtu S20 a ve vodě vytékající z okolí teploměru T16, je v posledních dvou odběrech konstantní a liší se navzájem v zastoupení především rozdílných SOB (síru oxidujících bakterií). Obě strany rozrážky tedy vykazují stejné metabolické preference, i když v jiném mikrobiálním zastoupení (vlevo převládá *Thiobacillus*, vpravo *Sulfurifustis*).

Odběr 13. 9. 2021

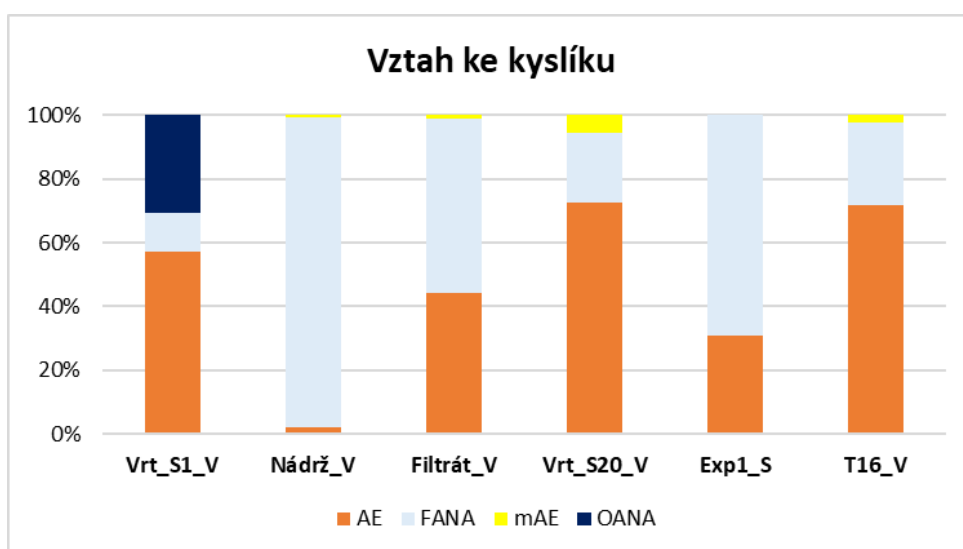
Ve všech vzorcích kromě vody z nádrže je zastoupena velká část neklasifikovaných nebo nekultivovatelných rodů s neznámými vlastnostmi a typem metabolismu (2-80 %), nejvíce v biofilmu z okolí experimentálního vrtu 1, nejméně pak v nádrži (Obr. 38). Ve výtoku z vrtu S1 se podobně jako v předchozím odběru vyskytovaly obligatorně anaerobní mikroorganismy redukující sírany (např. *Thermodesulfovibrionia*, *Desulfovibrio*, *Desulfosporosinus* apod.) a metanogenní *Methanobacterium*. Dále je hojně zastoupen aerobní rod *Phreatobacter*. Z dosud nekultivovaných mikroorganismů jsou nejhojněji zastoupena Archea rodu *Candidatus Omnitrophus* (10 %) a zástupce nekultivovaných a pravděpodobně symbiotických nanobakterií CPR2 (Candidate Phylla Radiation). V nádrži je nejhojněji zastoupena *Pseudomonas* (74,5 %). Zástupci síru- nebo železo-oxidujících bakterií nebyly tentokrát ve větší míře v nádrži detekovány (*Thiobacillus*, jen 1 %). Naopak ve filtrátu se nejhojněji vyskytoval síru-oxidující rod *Thiotrix* a další aerobní mikroorganismy. Na výtoku vrtu S20 byl podobně jako ve vrtu S1 hojně detekován rod *Phreatobacter*. V biofilmu formovaném na stěně rozrážky v okolí experimentálního vrtu 1 je až 75 % vyskytujících se mikroorganismů dosud nekultivovaných, známých pouze z genetických dat. Mezi nimi dominují *KCM-B-112* (13,5 %) a *WD2101* (18,5 %) skupina půdních blíže neurčených mikroorganismů (Obr. 38).



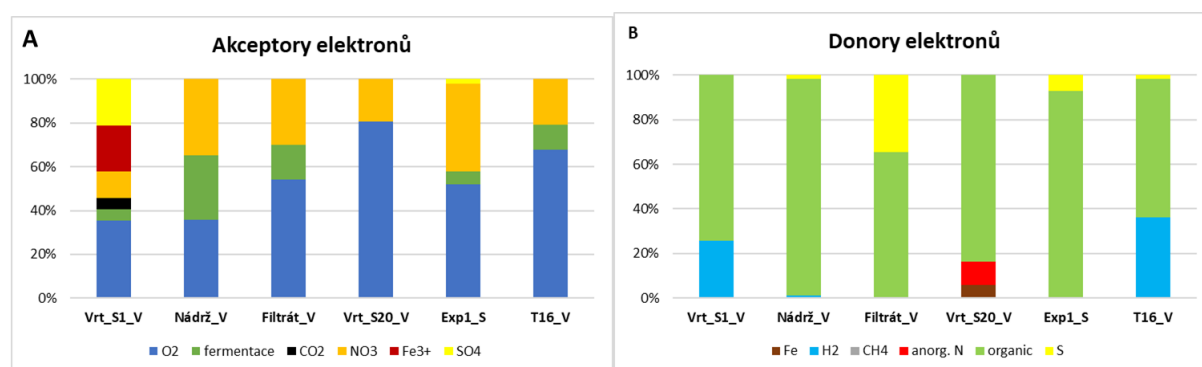
Obr. 38 Výsledky sekvenční analýzy odběru z 13.09.2021. Zastoupení bakteriálních rodů ve studovaných vzorcích s abundancí $\geq 1\%$ ASV. modré odstíny – striktně aerobní mikroorganismy, zelené odstíny – aerobní nebo fakultativně anaerobní bakterie, využívající kyslík nebo dusičnany, světle žlutá – síru oxidující bakterie, žlutá – sulfát-redukující bakterie, odstíny šedé – neznámé nebo nekultivované mikroorganismy, šedobílá – mikroorganismy s abundancí $\leq 1\%$. Čísla nad sloupci odpovídají procentuálnímu zastoupení nekultivovaných nebo blíže nespecifikovaných mikroorganismů z celkového počtu 30 nejčastěji se vyskytujících rodů v daném vzorku

Ve všech vzorcích jsou nejvíce zastoupené aerobní a fakultativně anaerobní mikroorganismy. Ve vrtu S1 se také vyskytují obligatorně anaerobní mikroorganismy využívající jako terminální akceptor oxid uhličitý (viz dále). Část mikroorganismů je tzv. mikroaerofilní, jsou schopni využívat jen omezené množství kyslíku (Obr. 39). Jak je patrné z Obr. 40, ve vodě z vrtu S1 jsou zastoupeny mikroorganismy redukující síru a bakterie využívající jako konečný elektronový

akceptor CO_2 (*Methanobacterium*). Síran redukující bakterie však mohou alternativně redukovat i Fe^{3+} sloučeniny. V ostatních vodních vzorcích převládají bakterie, jejichž metabolismus je závislý na kyslíku nebo dusičnanech. Oproti předchozímu odběru, v nádrži převládá chemoorganotrofní rod *Pseudomonas*, který může využívat kyslík, alternativně dusičnany nebo organické látky (fermentace) v nižších anoxických vrstvách. Vodík jako donor elektronů využívají anaerobní mikroorganismy ze vstupní vody a vody z okolí teploměru (T16). Ve filtrátu vody z nádrže a stěru z okolí experimentu 1 jsou hojně zastoupeny mikroorganismy využívající jako donor síru nebo siřné sloučeniny (SOB, *Thiotrix unzii* a *Thiobacillus*). Naopak ve vodě přepadávající z vrtu S20 se vyskytují železo-oxidující bakterie např. *Gallionella* nebo *Ferriphaselus* a mikroorganismy schopné oxidovat amoniak (*Nitrosarcheum*). V biofilmu kolem experimentálního vrtu 1 jsou abundantní mikroorganismy využívající jako donory elektronů organické látky. Ve vodě prýstící z okolí teploměru T16 se nejhojněji vyskytují mikroorganismy využívající organické látky nebo alternativně molekulární vodík zastoupené rodem *Variovorax* a *Hydrogenophaga* (Obr. 40).



Obr. 39 Výsledky sekvenční analýzy (odběr 13. 9. 2021), zobrazen je vztah ke kyslíku u 30 nejčtenějších popsanych rodů. AE – aerobní, FANA – fakultativně anaerobní, MICROAE – mikroaerofilní, OANA – obligatorně anaerobní



Obr. 40 Výsledky sekvenční analýzy (odběr 13. 9. 2021), zobrazen je vztah k využívaným TAE (A) a donorům elektronů (B) u 30 nejčtenějších popsanych rodů

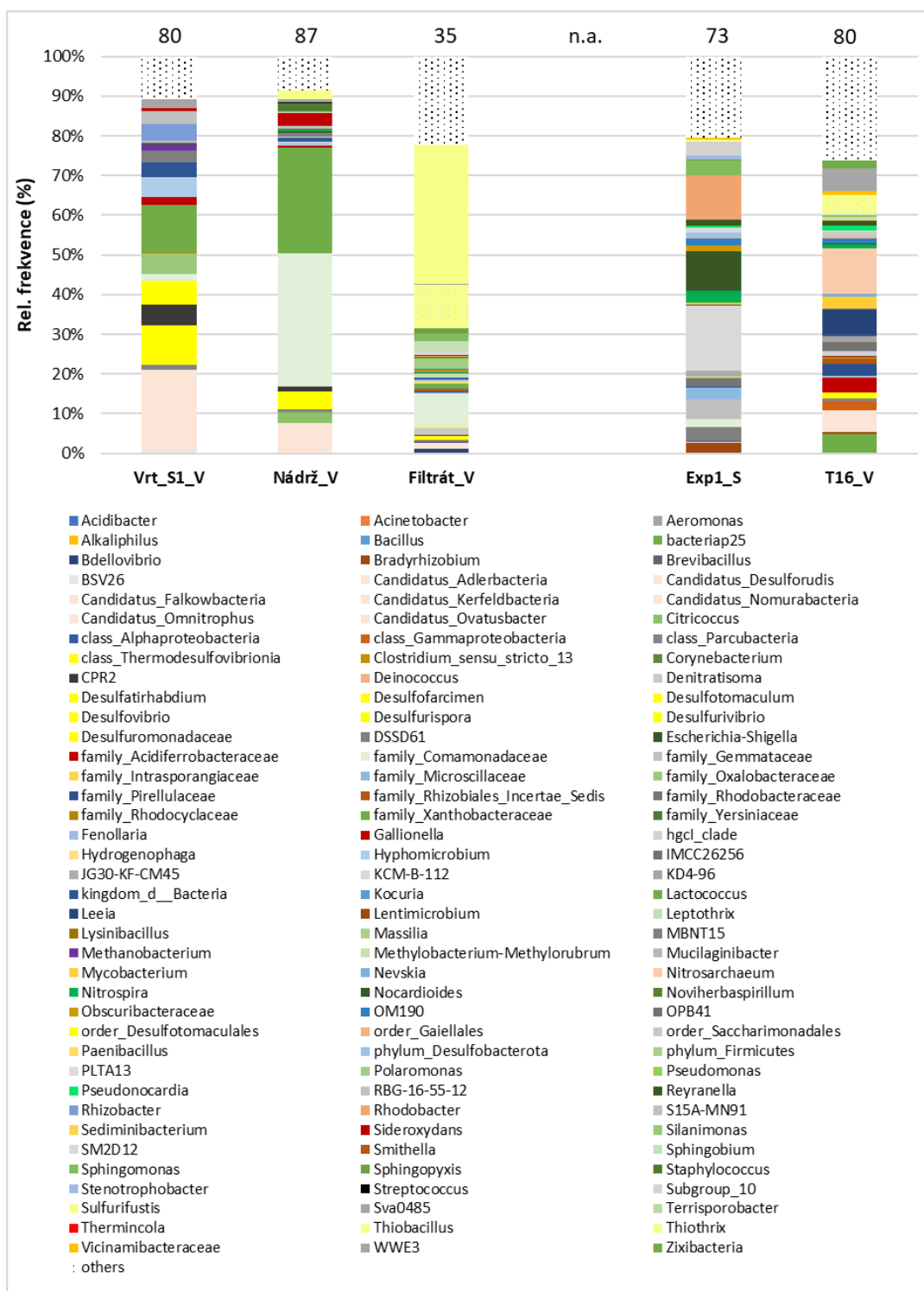
 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

Odběr 20. 12. 2021

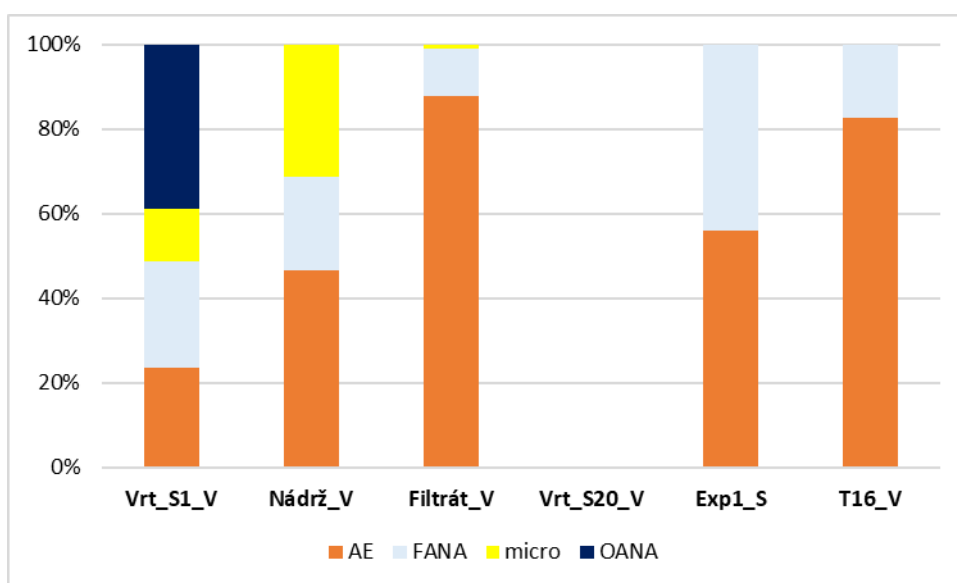
Kromě filtrátu (jen 35 %) se u všech odebraných vzorků ukazuje, že velké procento (73-87 %) vyskytujících se mikroorganismů dosud nebylo kultivováno a informace o jejich způsobu života a metabolismu jsou nedostatečné. Tato kategorie také zahrnuje mikroorganismy, které nebyly klasifikovány do kategorie rod nebo čeleď (Obr. 41).

V porovnání s předchozím odběrem ze září 2021 byla voda v zimním odběru na výtoku vrtu S1 ochuzena o rod *Phreatobacter*. Dominantní zůstávají mikroorganismy z třídy *Thermodesulfobacteria*, čeledi *Xanthobacteraceae* a *Oxalobacteraceae*, *Candidatus Omnitrophus*, méně pak rod *Desulfobacterium*, *Methanobacterium*, *Gallionella*, *Hyphomicrobium*, *Rhizobacter* a řada neznámých bakterií např. *CPR2*. V tomto odběru byla voda v nádrži bohatší co do výskytu různých bakteriálních rodů. Nejvíce byly zastoupeny bakterie z čeledi *Xanthobacteraceae* a *Comamonadaceae*, ale zachytili jsme také mikroorganismy z třídy *Thermodesulfobacteria*, *Candidatus Omnitrophus* a *CPR2*, podobně jako ve vodě z vrtu S1, dále pak *Sideroxidans*, *Thiothrix* a *Thiobacillus*. Filtrát je opět nejvíce obohacen o síru oxidující rody *Sulfurifustis* a *Thiothrix*. V biofilmu formovaném na stěně rozrážky v okolí experimentálního vrtu 1 bylo opět 73 % dosud nekultivovaných mikroorganismů, mezi nimiž dominoval opět rod *KCM-B-112* (16,5 %). Dále se hojněji vyskytovaly rody *Nocardioidea* (10 %) a *Rhodobacter* (11 %). Ve vodě v okolí teploměru T16 se vyskytovaly převážně nekultivované nebo neklasifikované rody (80 %) např. kandidátní rody *Nomurabacteria*, *Kerfeldbacteria*, *Falkowbacteria* nebo archeální rod *Nitrosarchaeum*. Dalšími mikroorganismy byly např. *Sulfurifustis* nebo čeleď *Acidiferrobacteraceae* (Obr. 41).

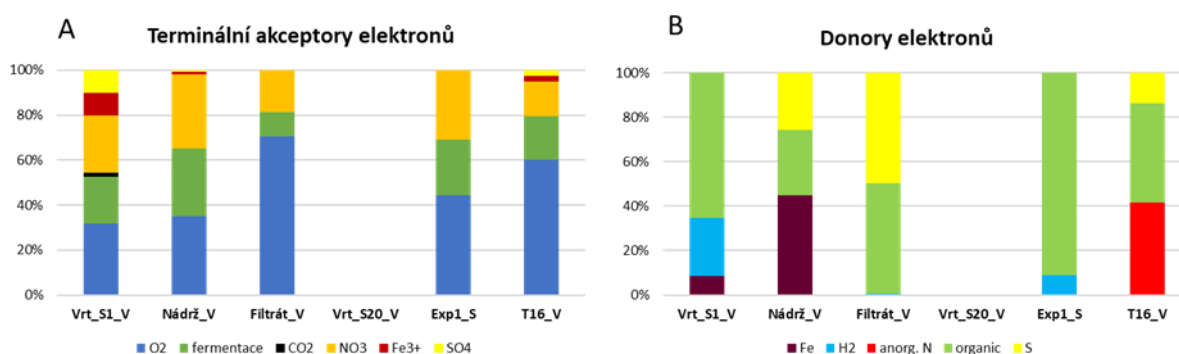
Kromě vody z vrtu S1 jsou ve všech vzorcích nejvíce zastoupené aerobní a fakultativně anaerobní mikroorganismy. Ve vrtu S1 se z 50 % vyskytují mikroorganismy, které nesnášejí kyslík nebo ho využívají jen v omezeném množství a dávají přednost jiným terminálním elektronovým akceptorům dýchacího řetězce (Obr. 42). V nádrži se také hojněji vyskytují mikroorganismy snášející anoxické podmínky nebo jen omezený přístup kyslíku. Procentuální zastoupení třiceti nejčtenějších rodů v analyzovaných vzorcích ve vztahu k terminálnímu akceptoru elektronů (TAE) nebo donoru je ukázáno na Obr. 43. Analýza metabolických preferencí se vztahuje na již popsané bakteriální rody nebo čeledi/třídy, zohledněny jsou všechny využitelné donory a TAE pro jednotlivé mikroorganismy. Stejně jako v předchozích odběrech, ve vodě z vrtu S1 jsou zastoupeny mikroorganismy redukcující sírany, alternativně Fe^{3+} sloučeniny a bakterie využívající jako konečný elektronový akceptor CO_2 (*Methanobacterium*) a jako donor molekulární vodík. Ve všech vzorcích však dominují bakterie, jejichž metabolismus je závislý na kyslíku nebo dusičnanech, alternativně jsou schopni fermentovat organické látky v anoxických podmínkách. Porovnáme-li využití potenciálních terminálních akceptorů, v obou odběrech je velmi podobné. Stejně jako v předchozím odběru, v nádrži převládají chemoorganotrofní bakterie čeledi *Xanthobacteraceae* a *Comamonadaceae* využívající kyslík, alternativně dusičnany nebo organické látky (fermentace) v nižších anoxických vrstvách (Obr. 43). Na rozdíl od předchozího odběru, nádrž byla v zimě obohacena o síru- nebo železo-oxidující rody. Ve filtrátu se z 50 % vyskytovaly síru-oxidující *Sulfurifustis* a *Thiothrix*. V biofilmu se vyskytují převážně mikroorganismy využívající organické látky jako donor či akceptor, v nižších vrstvách anaerobní bakterie využívající jako donor molekulární vodík, což dokládá prostorovou stratifikaci biofilmu. Ve vodě z okolí T16 pak detekujeme mikroorganismy využívající anorganický dusík (NH_4^+ - *Nitrosarchaeum*) ev. síru-oxidující *Sulfurifustis*. Zbytek opět tvoří dominantní skupina chemoorganotrofních mikroorganismů (Obr. 43).



Obr. 41 Výsledky sekvenační analýzy odběru z 13.09.2021. Zastoupení bakteriálních rodů ve studovaných vzorcích s abundancí $\geq 1\%$ ASV. modré odstíny – striktně aerobní mikroorganismy, zelené odstíny – aerobní nebo fakultativně anaerobní bakterie, využívající kyslík nebo dusičnany, světle žlutá – síru oxidující bakterie, žlutá – sulfát-redukující bakterie, odstíny šedé – neznámé nebo nekultivované mikroorganismy, šedobílá – mikroorganismy s abundancí $\leq 1\%$. Čísla nad sloupci odpovídají procentuálnímu zastoupení nekultivovaných nebo blíže nespecifikovaných mikroorganismů z celkového počtu 30 nejčastěji se vyskytujících rodů v daném vzorku



Obr. 42 Výsledky sekvenční analýzy (odběr 20. 12. 2021), zobrazen je vztah ke kyslíku u 30 nejčtenějších popsanych rodů. AE – aerobní, FANA – fakultativně anaerobní, MICROAE – mikroaerofilní, OANA – obligatorně anaerobní



Obr. 43 Výsledky sekvenční analýzy (odběr 20. 12. 2021), zobrazen je vztah k využívaným TAE (A) a donorům elektronů (B) u 30 nejčtenějších popsanych rodů

Jako v předchozích odběrech, i v recentních odběrech jsou hojně zastoupeny nekultivované nebo dosud neklasifikované mikroorganismy. V podzimním odběru převládali pouze ve vodě z vrtu S1 a v biofilmu na stěně v okolí experimentálního vrtu 1. V zimním odběru pak tato skupina blíže neurčených mikroorganismů zaujímala naprostou většinu v analyzovaných vzorcích kromě filtrátu, kde činila asi jen třetinu z celkové biomasy. Mikrobiální složení ve vrtu S1 je smíšené a víceméně stabilizované. V porovnání s předchozími odběry jsou stále zastoupeny striktně anaerobní metanogeny a síran redukující rody. Dále se zde přechodně vyskytují fakultativně anaerobní bakterie schopné využívat nitráty, striktně aerobní bakterie (*Phreatobacter*) nebo železo-oxidující *Gallionella*, což souvisí s postupnou oxidací anaerobní vody v daných podmínkách. V nádrži se vyskytují rody dobře snášející kyslík, i když vzhledem k objemu nádrže předpokládáme možnou stratifikaci bakteriálního společenstva podle obsahu kyslíku v jednotlivých vrstvách. Složení bakteriální komunity v nádrži se neustále vyvíjí, avšak bez ohledu

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

na odběr převládají v nádrži chemoorganotrofní mikroorganismy přechodně obohacené o síru- nebo železo-oxidující rody. Filtrát byl v posledních dvou odběrech významně obohacen o síru oxidující rody, ačkoli v nádrži tyto bakterie figurovaly jen okrajově. To může být způsobeno rozdílným místem odběru a také kapacitou filtru mezi nádrží a čerpadlem, kde se mohou preferenčně zachycovat chemoorganotrofní před síru-oxidujícími bakteriemi. Propojenost systému dokládá výskyt rodu *Phreatobacter* ve vodě z vrtu S1 a taktéž ve vodě z vrtu S20, kudy pravděpodobně sytící voda opouští systém. V druhé stěně rozrážky je složení bakteriální komunity podobné, hojně se vyskytují nekultivované a neklasifikované rody, bakterie oxidující železo a síru, chemoorganotrofní i striktně aerobní mikroorganismy ačkoli rodové zastoupení v pravé stěně rozrážky je z části unikátní (např. rod *Variovorax*, *Leeia*).

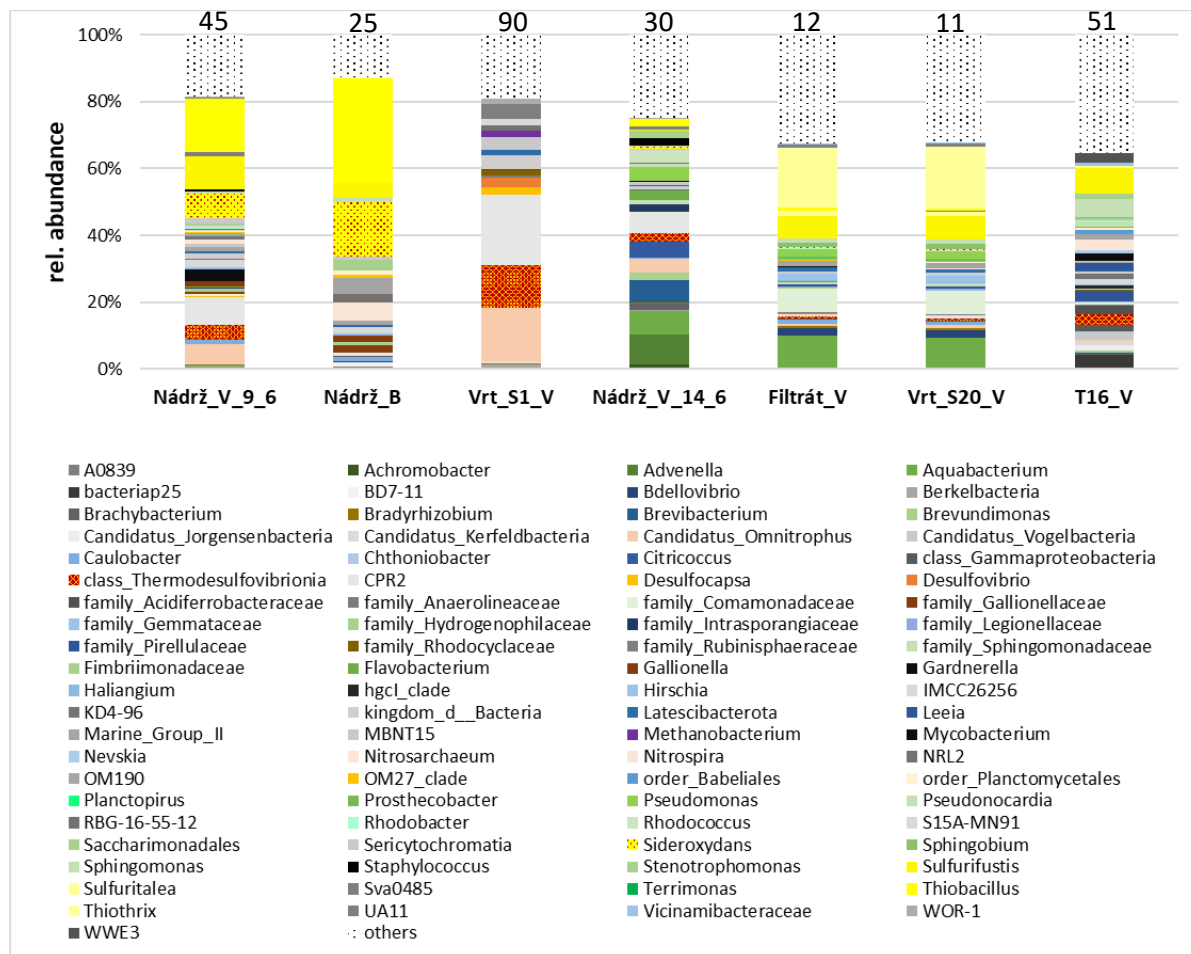
3.2.5 Výsledky 2022

V této kapitole jsou popisovány výsledky mikrobiologických analýz odběrů provedených 9. 6. a 14. 6. 2022. Voda byla zachycována do plastových PET lahví přímo z výtoku a během několika hodin zamrazena. Místo analýzy stěru z okolí FM1 byly analyzovány vzorky vody a biofilmu odebraného z nádrže při jejím čištění.

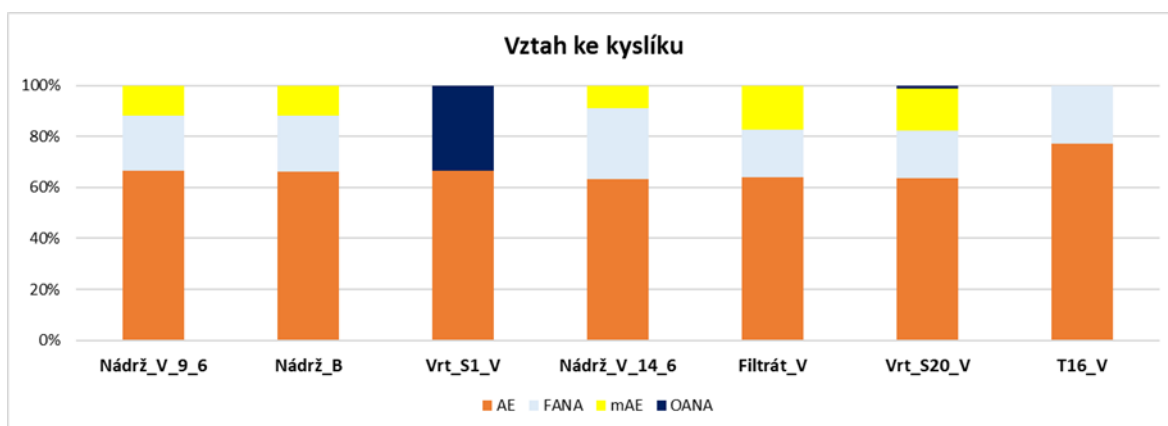
Ve všech vzorcích kromě vody z nádrže je zastoupena velká část neklasifikovaných nebo nekultivovatelných rodů s neznámými vlastnostmi a typem metabolismu (11-90 %), nejvíce ve vodě z vrtu S1 (Obr. 44).

Ve výtoku z vrtu S1 byly podobně jako v předchozím odběru zachyceny obligatorně anaerobní mikroorganismy redukující sírany (např. *Thermodesulfovibrionia* (13 %), *Desulfovibrio* (3 %), *Desulfocapsa* (2 %) apod.) a metanogenní *Methanobacterium* (2 %). Z dosud nekultivovaných mikroorganismů jsou nejhojněji zastoupena Archea rodu *Candidatus Omnitrophus* (16 %) a zástupce nekultivovaných a pravděpodobně symbiotických nanobakterií CPR2 (Candidate Phylla Radiation, 21%) (Probst et al., 2018). V nádrži před čištěním nejvíce dominovaly (33 %) organismy oxidující síru (*Thiotrix*, *Thiobacillus*, *Sulfurifustis*) ev. síru nebo železo (*Sideroxydans*). Zástupci síru- nebo železo-oxidujících bakterií byly také hlavní součástí červenohnědě zbarveného biofilmu v nádrži (52 %). Po vyčištění nádrže bylo ve vodě zaznamenáno smíšené společenstvo s převažujícími fakultativně anaerobními mikroorganismy (*Advenella*, *Aquabacterium*, *Brevibacterium*, *Pseudomonas* apod.). Nízké abundance (do 10 %) jednotlivých mikroorganismů dokládají vyvíjející se mikrobiální převážně aerobní společenstvo v nádrži po odstranění biofilmu a vypuštění nádrže. Podobně jako v minulém odběru, ve filtrátu a ve vodě z vrtu S20 byly detekovány nejhojněji síru-oxidující rod *Thiotrix* (18-19 %) a *Sulfurifustis* (6-7 %) a další aerobní mikroorganismy (Obr. 44). V druhé stěně rozrážky je složení bakteriální komunity podobné, hojně se vyskytují nekultivované a neklasifikované rody (51 %) a bakterie oxidující siřné sloučeniny nebo chemoorganotrofní i striktně aerobní mikroorganismy. Zdá se, že metabolicky je mikrobiální komunita v pravé stěně rozrážky víceméně stabilní (Obr. 44).

Ve všech vzorcích jsou nejvíce zastoupené aerobní a fakultativně anaerobní mikroorganismy. Ve vrtu S1 se také vyskytují obligatorně anaerobní mikroorganismy využívající jako terminální akceptor oxid uhličitý (viz dále). Část mikroorganismů je tzv. mikroaerofilní, jsou schopni využívat jen omezené množství kyslíku (Obr. 45).



Obr. 44 Výsledky sekvenční analýzy z odběrů před (9.6.2022) a po (14.6.2022) vyčištění nádrže. Zastoupení bakteriálních rodů ve studovaných vzorcích s abundancí $\geq 1\%$ ASV. modré odstíny – striktně aerobní mikroorganismy, zelené odstíny – aerobní nebo fakultativně anaerobní bakterie, využívající kyslík nebo dusičnany, světle žlutá – síru oxidující bakterie, oranžová – sulfát-redukující bakterie, odstíny šedé – neznámé nebo nekultivované mikroorganismy, šedobílá – mikroorganismy s abundancí $\leq 1\%$. Čísla nad sloupci odpovídají procentuálnímu zastoupení nekultivovatelných, neznámých nebo blíže neurčených mikroorganismů z celkového počtu 30ti nejčastěji se vyskytujících rodů v daném vzorku



Obr. 45 Analýza mikrobiálních společenstev ve vztahu k přítomnosti kyslíku vycházející z výsledků sekvenční analýzy. Data jsou zpracována pro 30 nejčtenějších popsaných rodů. AE – aerobní, FANA – fakultativně anaerobní, mAE – mikroaerofilní, OANA – obligatorně anaerobní

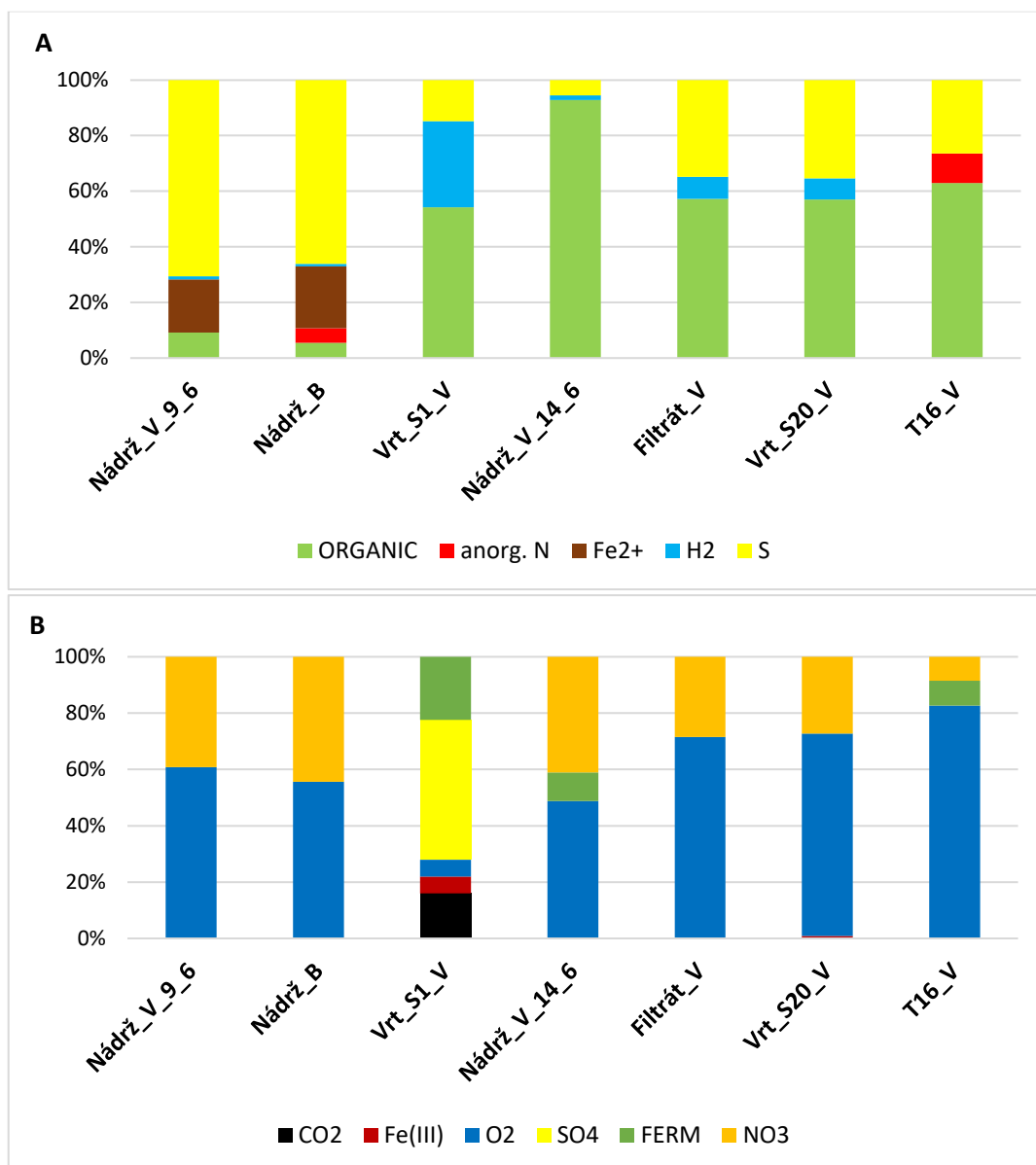
Procentuální zastoupení třiceti nejčtenějších rodů v analyzovaných vzorcích ve vztahu k terminálnímu akceptoru elektronů (TAE) nebo donoru je ukázáno na Obr. 46. Analýza metabolických preferencí se vztahuje na již popsané bakteriální rody, zohledněny jsou všechny využitelné donory a TAE pro jednotlivé mikroorganismy.

Donory elektronů

Z převažujícího výskytu síru oxidujících mikroorganismů ve vodě a biofilmu z nádrže před čištěním lze předpokládat využití siřných a železnatých sloučenin (*Sideroxydans* a *Gallionella*) jako donorů elektronů pro dýchací řetězec těchto abundantních bakterií. V menší míře je využívána organika nebo anorganický dusík (*Nitrospira*, *Nitrosarchaeum*). Vodík jako donor elektronů lze očekávat u anaerobních mikroorganismů ze vstupní vody (*Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium*, *Desulfatitalea*, *Methanobacterium*), ale i některé mikroorganismy z čeledi Comamonadaceae nebo rod *Sulfuritalea* ve filtrátu a vody z vrtu S20 mohou hypoteticky využívat siřné sloučeniny nebo vodík. Po vyčištění nádrže můžeme podle složení mikrobiálního společenstva předpokládat převážné využití organických látek. Mikrobiální složení vody z nádrže a vrtu S20 je shodné a mikroorganismy zde využívají jako donor elektronů převážně organické látky, síru nebo siřné sloučeniny (*SOB*, *Thiotrix unzii*, *Sulfurifustis* a *Sulfuritalea*). Ve vodě prýšící z okolí teploměru T16 se nejhojněji vyskytují mikroorganismy využívající organické látky nebo mikroorganismy schopné oxidovat amoniak (*Nitrosarchaeum*) či siřné sloučeniny (*Sulfurifustis*), (Obr. 46 B).

Akceptory elektronů

Co se týče využití elektronových akceptorů (TAE) v dýchacím řetězci zastoupených bakterií, ve vodě z vrtu S1 jsou z popsaných mikroorganismů zastoupeny bakterie redukující sírany (*Desulfovibrio*, *Desulfocapsa*, *Desulfomicrobium*) nebo Fe^{3+} sloučeniny (*Ferribacterium* z čeledi Rhodocyclaceae) a bakterie využívající jako konečný elektronový akceptor CO_2 zastoupené rodem *Methanobacterium*. Další mikroorganismy využívají organické látky k získání energie v nepřítomnosti kyslíku (fermentace), (Obr. 46 A). Ostatní vodné vzorky jsou natolik oxidované, že převládající bakterie využívají akceptory přímo z kyslíku nebo eventuálně v slabě redukčních podmínkách z dusičnanů, pokud se dusičnany ve vodě vyskytují. Alternativně u některých těchto mikroorganismů může dojít v nepřítomnosti kyslíku i dusičnanů k fermentaci organických látek (např. *Leeia*, *Rhodobacter*, *Pseudomonas*).



Obr. 46 Výsledky sekvenční analýzy, zobrazen je vztah k využívaným donorům (A) a akceptorům (B) elektronů u 30 nejčastějších popsaných rodů.

Jako v předchozích odběrech jsou i ve vzorcích z roku 2022 hojně zastoupeny nekultivovatelné nebo dosud nepříliš dobře popsané mikroorganismy. Je jasný rozdíl mezi vzorky odebranými před a po čištění nádrže zejména u vody z nádrže. Nejvíce je jich v samotné zdrojové vodě (S1), odkud postupně mizí v souvislosti se změnou oxidačně-redukčních podmínek, takže předpokládáme, že jsou to především obligatorně anaerobní mikroorganismy. Ze zbývajících popsaných mikroorganismů (10 %) jsou to hlavně anaerobní mikroorganismy využívající různé elektronové akceptory (sírany, Fe(III) nebo CO₂).

V nádrži se vyskytují rody přizpůsobené aerobním podmínkám a převážně využívající kyslík jako konečný elektronový akceptor. Po vycištění a stržení biofilmu obsahujícího převážně IOB a SOB

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

bakterie se složení bakteriální komunity v nádrži výrazně změnilo a nízké zastoupení jednotlivých rodů indikuje teprve se vyvíjející společenstvo v okysličené vodě pocházející z vrtu S1 bohaté na fakultativně anaerobní mikroorganismy. Protože však koncentrace nitrátů je ve zdrojové vodě nízká, předpokládáme, že tyto mikroorganismy získávají energii z přítomných organických látek s využitím kyslíku jako terminálního elektronového akceptoru, popřípadě mohou v anoxických vrstvách organické látky fermentovat a získat tak alespoň minimální přísun energie pro metabolické procesy. Konzistentnost mikrobiální skladby v těchto vzorcích může dokládat vzájemnou propojenost vstupu a výstupu experimentálního systému v levé části rozrážky. Filtrát i voda z vrtu S20 byly opět významně obohaceny o síru oxidující rody, ačkoli v nádrži tyto bakterie figurovaly jen okrajově. Opakovaně se nám ukazuje, že filtr z čerpadla pravděpodobně selektivně zachycuje některé mikroorganismy a jiné (SOB) zřejmě méně. Jiným vysvětlením rozdílné mikrobiální abundance ve vodě z nádrže a filtrátu může být odlišný způsob odběru zmíněných vzorků.

3.3 Chování FM a horninového prostředí

Na Obr. 47 je vykresleno srovnání teplot a spotřeby energie pro FM1-5 za období 03/2019-02/2022.

Spotřeba energie (průměrné kW stanovené z denní spotřeby) je pro FM1-4 téměř shodná, pouze FM1 má spotřebu energie mírně vyšší danou jeho krajní polohou. FM5 má spotřebu výrazně vyšší, což je dáno jeho krajní polohou a vyšší požadovanou teplotou topidla, která vede k vyšší disipaci tepla do okolní horniny.

V úvodní části jsou vidět testy topidel následované počátkem umělého sycení. Vývoj teplot FM(1)2-4 je po počáteční přechodné fázi téměř shodný (Obr. 47 a Obr. 48). FM1 vykazuje ve sledovaném období odchylky způsobené technickými problémy topidla, které bylo nutné dočasně odstavit a upravit jeho zapojení. Teploty uvnitř FM5 jsou výrazně vyšší, což je dáno vyšší požadovanou teplotou topidla. Tento model výrazně reaguje na výpadek tlakovacího systému – je zde vidět výrazný pokles teplot pravděpodobně způsobený desaturací okolí topidla vlivem teploty, která vede ke snížení tepelné vodivosti materiálu a tím ke zvětšení tepelného gradientu (a nižším teplotám dále od topidla). Vypnutí FM5 8.1.2020 se projevilo postupným snížením teplot v okolní hornině.

Při údržbě a instalaci SSR 19.2.2020 došlo k delší odstávce topidel, provázené skokovou změnou teploty. Nový způsob řízení umožňuje kratší pracovní cyklus pulzního řízení. Po instalaci nového topidla FM5 byl pracovní cyklus řízení zkrácen na 20 s. V roce 2020 došlo k mírnému nárůstu teploty FM5 danému postupnou úpravou teploty topidla. Po výměně topidla byla zvolena počáteční teplota topidla konzervativně (nižší) a byla zvyšována podle odezvy FM5, tak aby se postupně přibližovala původně plánované teplotě.

V roce 2021 došlo v srpnu k problémům s topidlem FM5, jež bylo nejprve vysušeno a pak provozováno na snížený výkon přes transformátor, což vyústilo v pokles teplot. Další pokles byl zapříčiněn nesprávnou funkcí regulace topidel po výpadku proudu 13.9.2021. Regulace se dostala nesprávného stavu a udržovala topidla na nižší teplotě, než byla požadovaná. Vše bylo odstraněno současně s výměnou topidla FM5 12.10.2021. Tento pokles teplot měl vliv na pokles totálního napětí některých FM5 na konci roku 2021.

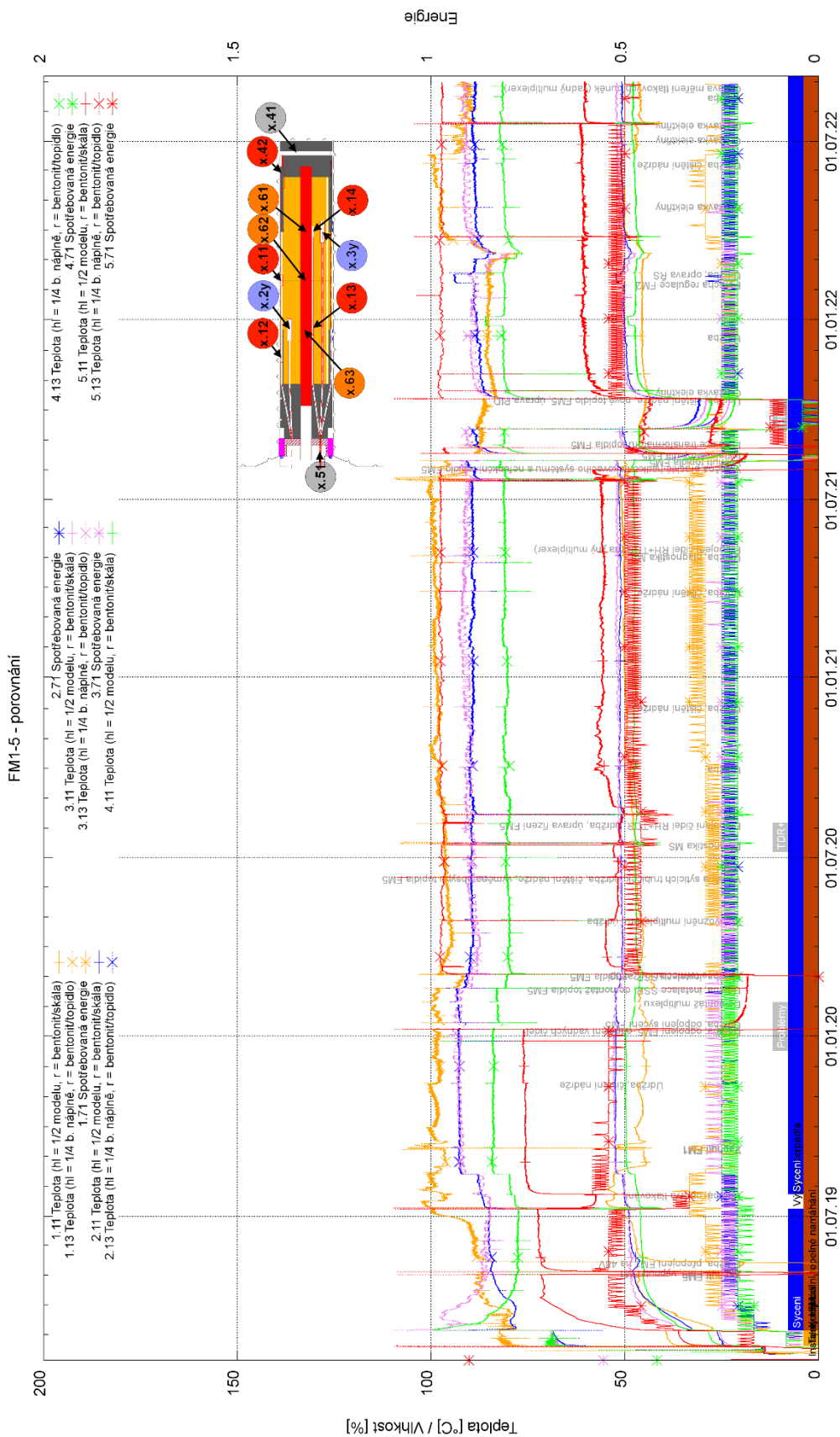
 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

Celkově jsou měřené teploty pod teplotami predikovanými původním matematickým modelem, s aktualizovaným modelem se však shodují (Obr. 48).

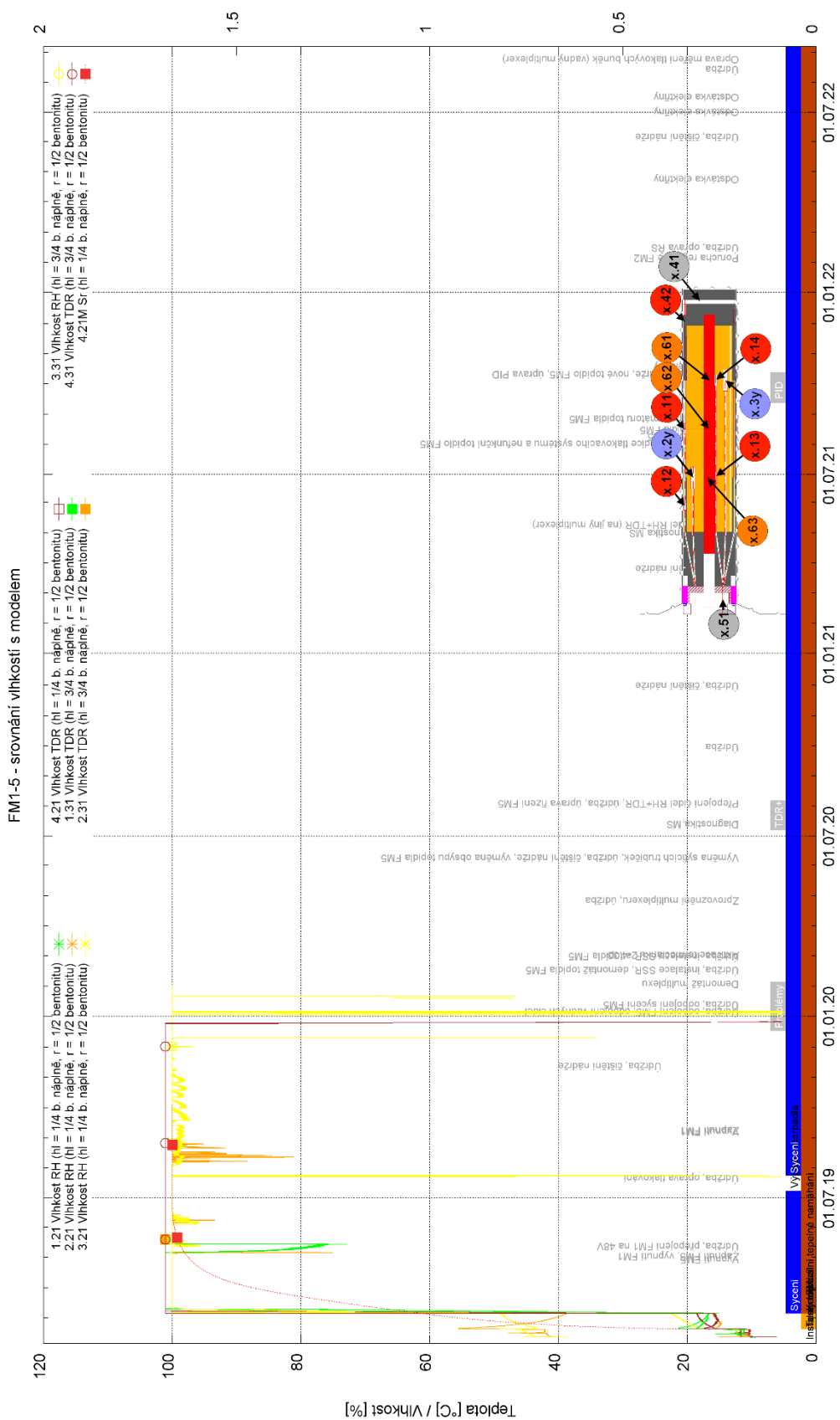
Vývoj vlhkosti je výrazně rychlejší, než predikoval matematický model (Obr. 49 a Obr. 50). To je dáno zejména charakterem materiálu, kdy na počátku voda volně proudila mezerami mezi peletami (a technologickými spárami), což vedlo k rychlejšímu počátečnímu nárůstu saturace.

V následujících podkapitolách jsou uvedeny průběhy teplot (měřených i predikce matematického modelu), vlhkosti (měřená i predikce matematického modelu) a pórového tlaku pro jednotlivé FM. Pro FM1-5 je vždy uveden nejprve souhrnný graf a pak zvlášť grafy pro teplotu a ostatní veličiny. Pro FM6-10 jsou uvedeny pouze souhrnné grafy. Pokud se průběhy veličin konkrétního FM liší od obecného trendu, je u příslušného FM uveden komentář.

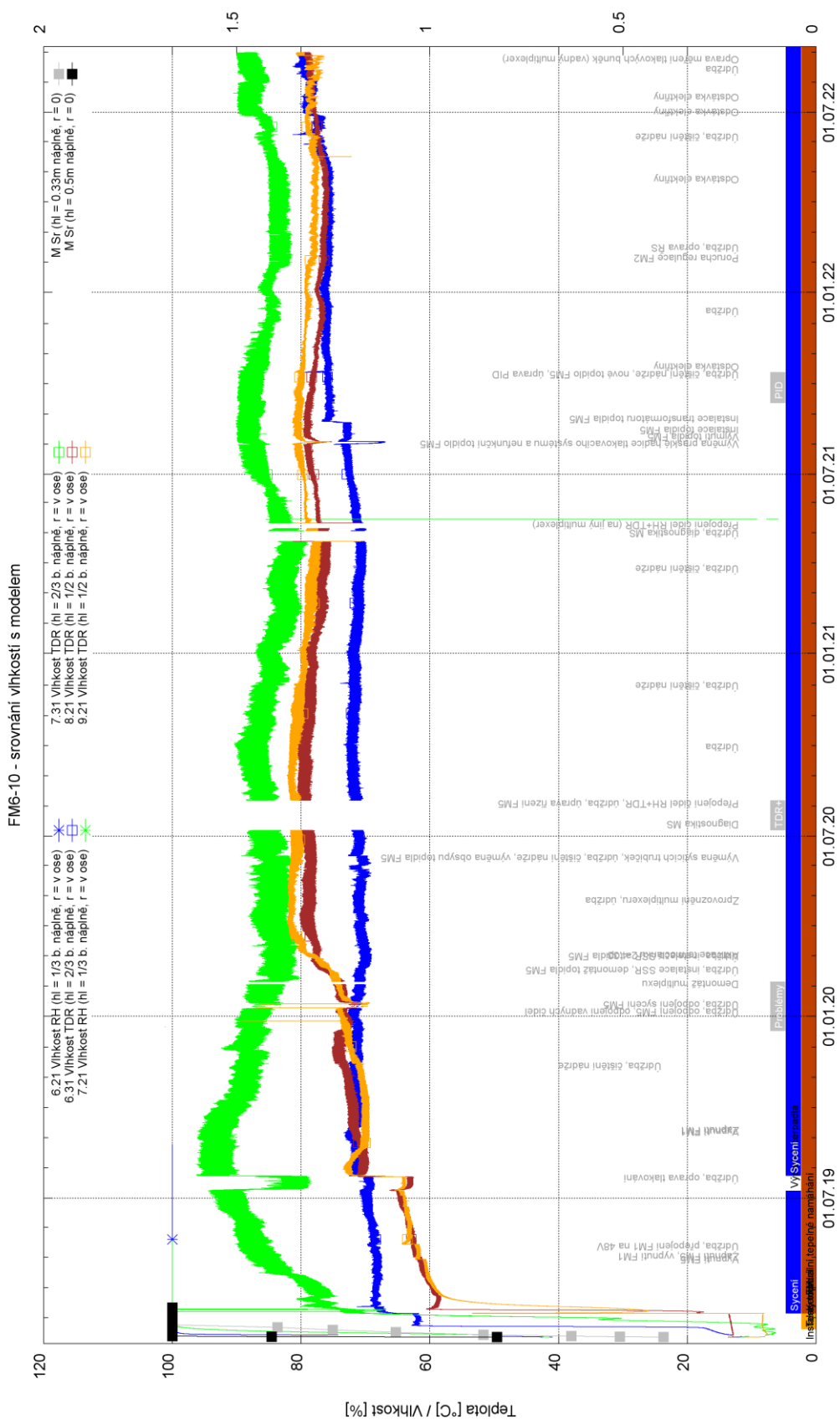
Na Obr. 51 je zobrazena spotřeba vody tlakovacím systémem experimentu. Po počáteční fázi (březen-červenec 2019) s výrazným odběrem vody, kdy docházelo k hlavnímu sycení jednotlivých FM se spotřeba postupně ustálila na ~1,25 l/h. Je třeba upozornit, že se jedná o spotřebu vody tlakovacím systémem a nikoliv množství vody spotřebované jednotlivými FM. Výraznější nárůsty spotřeby jsou spojeny s údržbou systému a poruchami tlakovacího systému (úniky tlakovacího média). Při pravidelných údržbách je vždy nutno část systému vypustit, propláchnout a odvzdušnit, což vede ke zvýšené spotřebě vody. Obdobně se projevil zvýšenou spotřebou únik vody před výměnou trubiček, kdy v období duben – červen 2020 docházelo k úniku vody z rozvodu jehlovou dírkou na trubičce rozvodu.



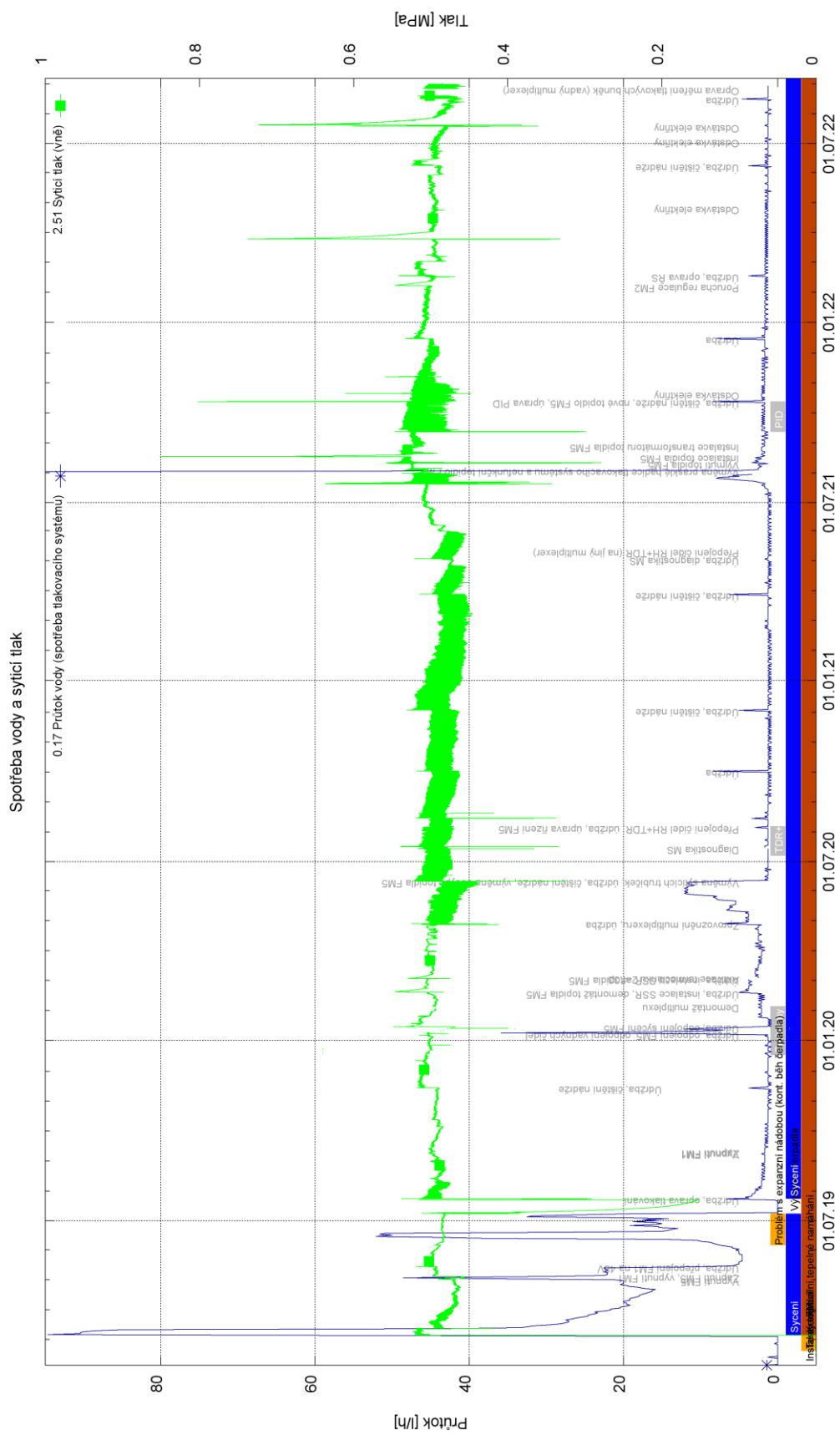
Obr. 47 Srovnání FM1-FM5



Obr. 49 Srovnání vývoje vlhkosti FM1-4 s modelem



Obr. 50 Srovnání vývoje vlhkosti FM6-10 s modelem



Obr. 51 Spotřeba vody

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.1 FM1

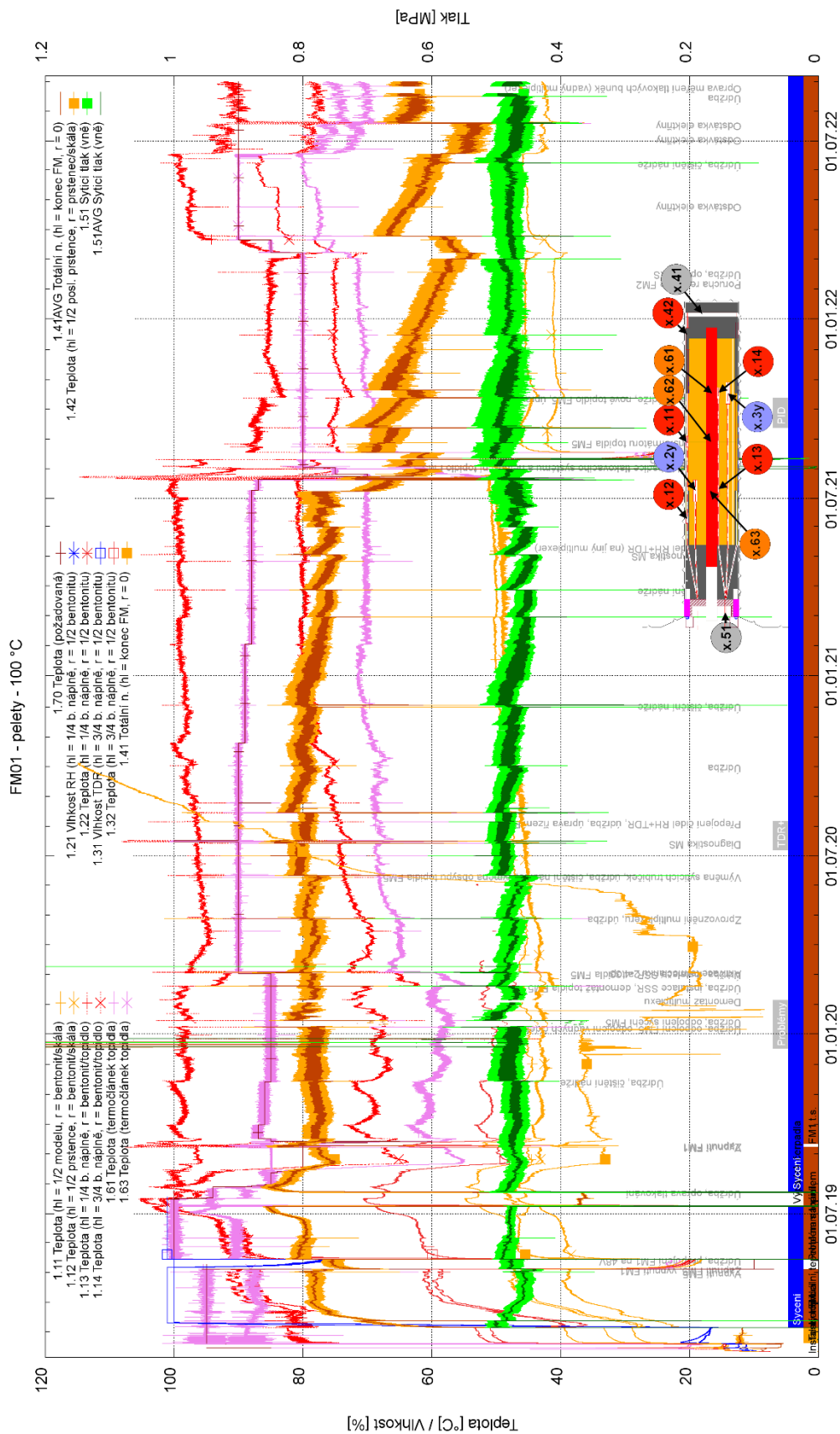
Na Obr. 52 - Obr. 54 jsou uvedeny průběhy měřených veličin pro FM1. FM1 byl postižen problémem s topidlem, který vedl k výkyvům v teplotách. V období výpadku tlakování byla navíc v modelu detekována možná teplota překračující 100 °C na kontaktu topidlo/bentonit. Z tohoto důvodu byla postupně upravena teplota topidla tak, aby nejvyšší teplota uvnitř modelu nepřesáhla 100 °C.

19.2.2020 proběhla instalace SSR jako hlavního spínacího prvku topidel, která byla následována 3.3.2020 změna periody PWM a PID parametrů. Dále byla zvýšena teplota topidla s cílem přiblížit se více plánované teplotě 100 °C na kontaktu topidlo/bentonit. Po této úpravě byl v FM1 pozorován dlouhodobý pomalý nárůst teplot. V závislosti na dosažené teplotě byla teplota topidla dále upravována tak, aby cílová teplota na kontaktu bentonit/topidlo nebyla překročena.

Po poruše tlakování (prasklá hadice čerpadla), úpravě teploty a po následné úpravě PID regulace se teplota na konci roku 2021 postupně stabilizuje. Po stabilizaci teplot byla v březnu postupně nastavena teplota topidla 90 °C, tak aby se teplota v FM zvedla blíže k plánované teplotě.

Další úpravy teploty budou probíhat tak, aby se bezpečně dosáhlo cílové teploty na bentonit/topidlo.

Vysoké teploty měřené čidlem 1.42 jsou pravděpodobně dány poruchou čidla.

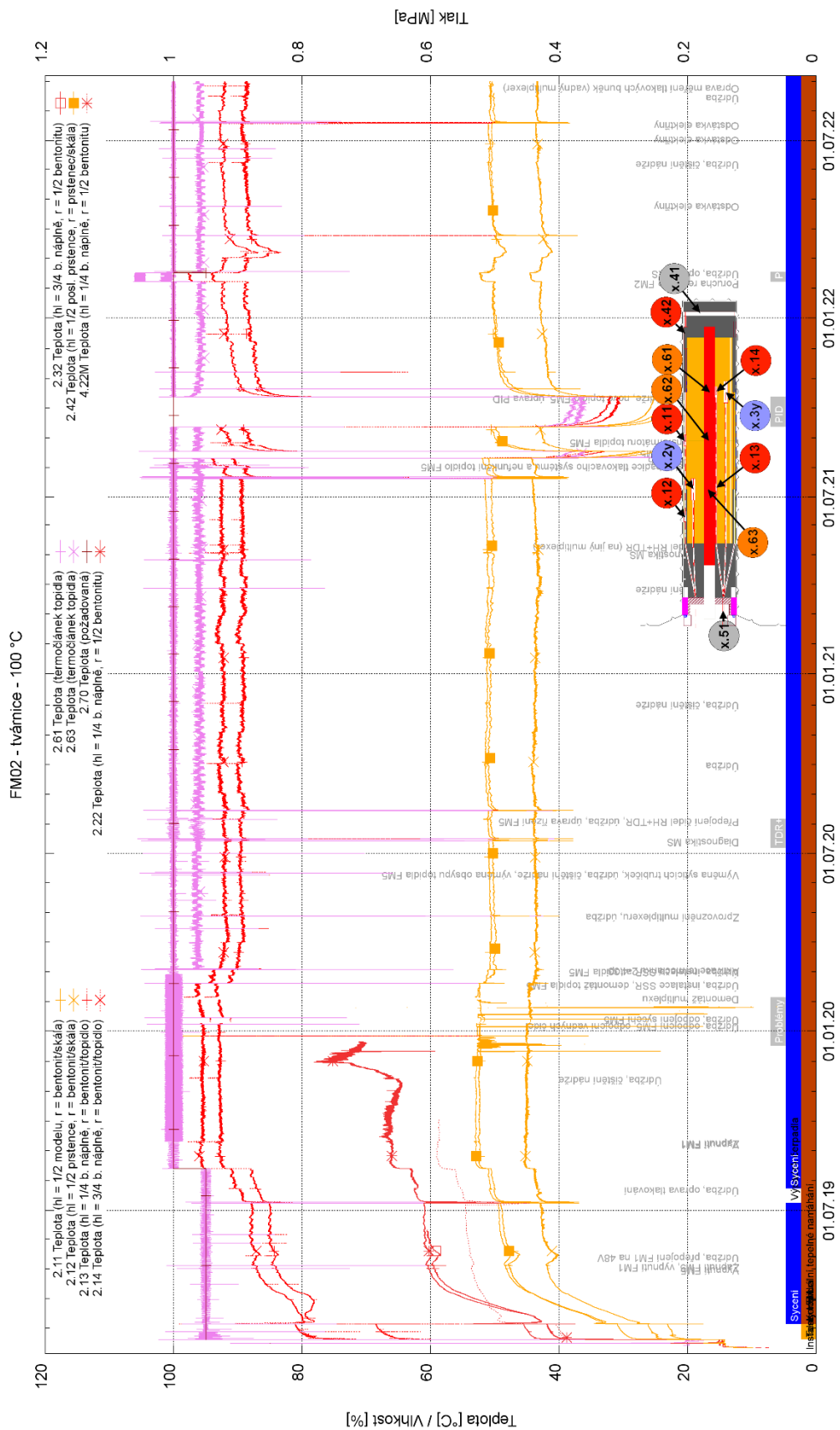


Obr. 52 FM01 – vývoj teploty a vlhkosti

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.2 FM2

Na Obr. 55 - Obr. 57 jsou uvedeny průběhy měřených veličin pro FM2. Vývoj veličin sleduje obecný trend popsáný v úvodu kapitoly. Na konci 1. Q 2020 je vidět úprava teploty na základě výsledků jednání na KD9. Cílem úprav teploty je přiblížit se, avšak nepřekročit, teplotu 100 °C na rozhraní topidlo/bentonit. Dále je na grafech patrné krátkodobé zvýšení teploty srpnu 2021, kdy došlo k poruše ovládání topení aktivací nouzového odpojení. Díky tomu byla krátkodobě teplota topidla zvýšena.



Obr. 56 FM02 – vývoj teploty

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.3 FM3

Na Obr. 58 - Obr. 60 jsou uvedeny průběhy měřených veličin pro FM3. Vývoj veličin sleduje obecný trend popsáný v úvodu kapitoly. Na konci 1. Q 2020 je vidět úprava teploty na základě výsledků jednání na KD9. Cílem úprav teploty je přiblížit se, avšak nepřekročit, teplotu 100 °C na rozhraní topidlo/bentonit.

V následujícím období je pozorován mírný pozvolný nárůst teplot. FM3 také výrazně reaguje na teplotní cykly uvnitř rozrážky.

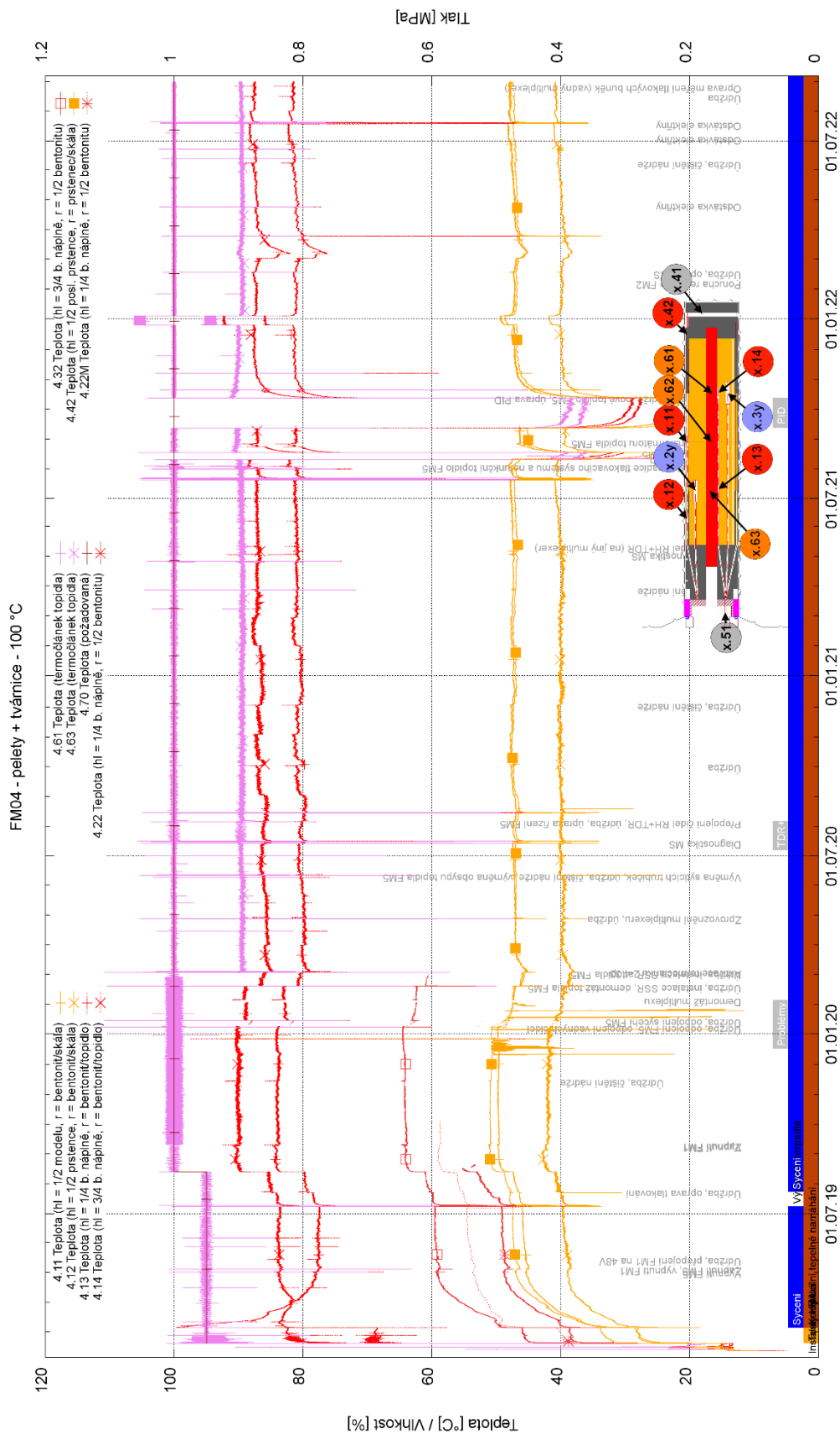
 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.4 FM4

Na Obr. 55 - Obr. 57 jsou uvedeny průběhy měřených veličin pro FM4. Vývoj veličin sleduje obecný trend popsáný v úvodu kapitoly. Na konci 1. Q 2020 je vidět úprava teploty na základě výsledků jednání na KD9. Cílem úprav teploty je přiblížit se, avšak nepřekročit, teplotu 100 °C na rozhraní topidlo/bentonit. V následujícím období je pozorován mírný pozvolný nárůst teplot.

V druhé polovině roku 2021 a v roce 2022 došlo k poklesu měřené totálního napětí tlakovou buňkou uvnitř FM.

Na přelomu let 2021/2022 je vidět dočasný nárůst teplot vlivem porucha řízení topidla FM4 (zaseknutý řídicí výstup; aktivní nouzové odpojování).



Obr. 62 FM04 – vývoj teploty

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.5 FM5

Na Obr. 64 - Obr. 66 jsou uvedeny průběhy měřených veličin pro FM5. Na počátku dubna 2019 je vidět zlom v měřených teplotách. Tato změna je dána změnou výkonu topidla. V počátečním období byly pro zvětšení výkonu použity pouze dvě spirály v sériovém zapojení (spirála č. 2. byla zkratována). Po poklesu potřebného výkonu k udržení nastavené teploty přešlo topidlo do režimu nižšího výkonu se třemi aktivními spirálami v sériovém zapojení. To vedlo k redistribuci teplot.

Výpadek topení na počátku května 2019 byl způsoben odpojením nesprávného topidla při problémech s izolačním odporem IE (bylo odpojeno FM5 místo FM1).

FM5 výrazně reaguje na výpadek tlakování změnou teplot. Změna je pravděpodobně způsobena desaturací v okolí topidla vlivem teploty a tepelného gradientu. Desaturace vede k poklesu tepelné vodivosti bentonitu a tím ke zvětšení tepelného gradientu. Po obnovení tlakování došlo postupně k obnovení teplot. V některých částech teploty vystoupily i výše. Důvodem může být, že vlivem desaturace se otevřela cesta pro vodu, která se po obnovení tlakování dostala blíže k topidlu, a tak došlo ke zvýšení tepelné vodivosti a tím i následně teploty.

8.1.2020 byl zjištěn problém s izolačním stavem topidla. Topidlo muselo být proto odpojeno. Byla provedena demontáž jeho náplně a 4.3.2020 byla instalována její náhrada. Teploty uvnitř modelu a jeho okolí proto postupně od 8.1.2020 až do 4.3. klesají.

Po výměně topidla byla zvolena počáteční teplota topidla konzervativně (nižší) a byla zvyšována podle odezvy FM5, tak aby se postupně přibližovala původně plánované teplotě. Je pozorován pozvolný mírný nárůst teplot.

3.8.-28.8.2021 Došlo k problémům s topidlem FM5 z důvodu poruchy izolačního stavu (zatečení vody). Po diagnostice (3.8.) proběhl po konzultacích s výrobcem pokus o vysušení topidla. Vzhledem k tomu, že selhal pokus o vysušení na místě (10.8.), o bylo topidlo převezeno do URC Josef, kde bylo umístěno do pece pro vysušení. 17.8. bylo topidlo instalováno zpět a dále provozováno až do 23.8., kdy opět došlo k poruše. 28.8. byl proto instalován izolační transformátor a topidlo bylo dále provozováno v nouzovém režimu se sníženým výkonem. To způsobilo nižší teploty v FM5.

12.10.2021 Bylo instalováno nové topidlo FM5. Po výměně topidla byla (opět) zvolena počáteční teplota topidla konzervativně (nižší) a bude zvyšována podle odezvy FM5, tak aby se postupně přibližovala původně plánované teplotě. Topidlo bylo v roce 2022 provozováno na 205 °C.

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

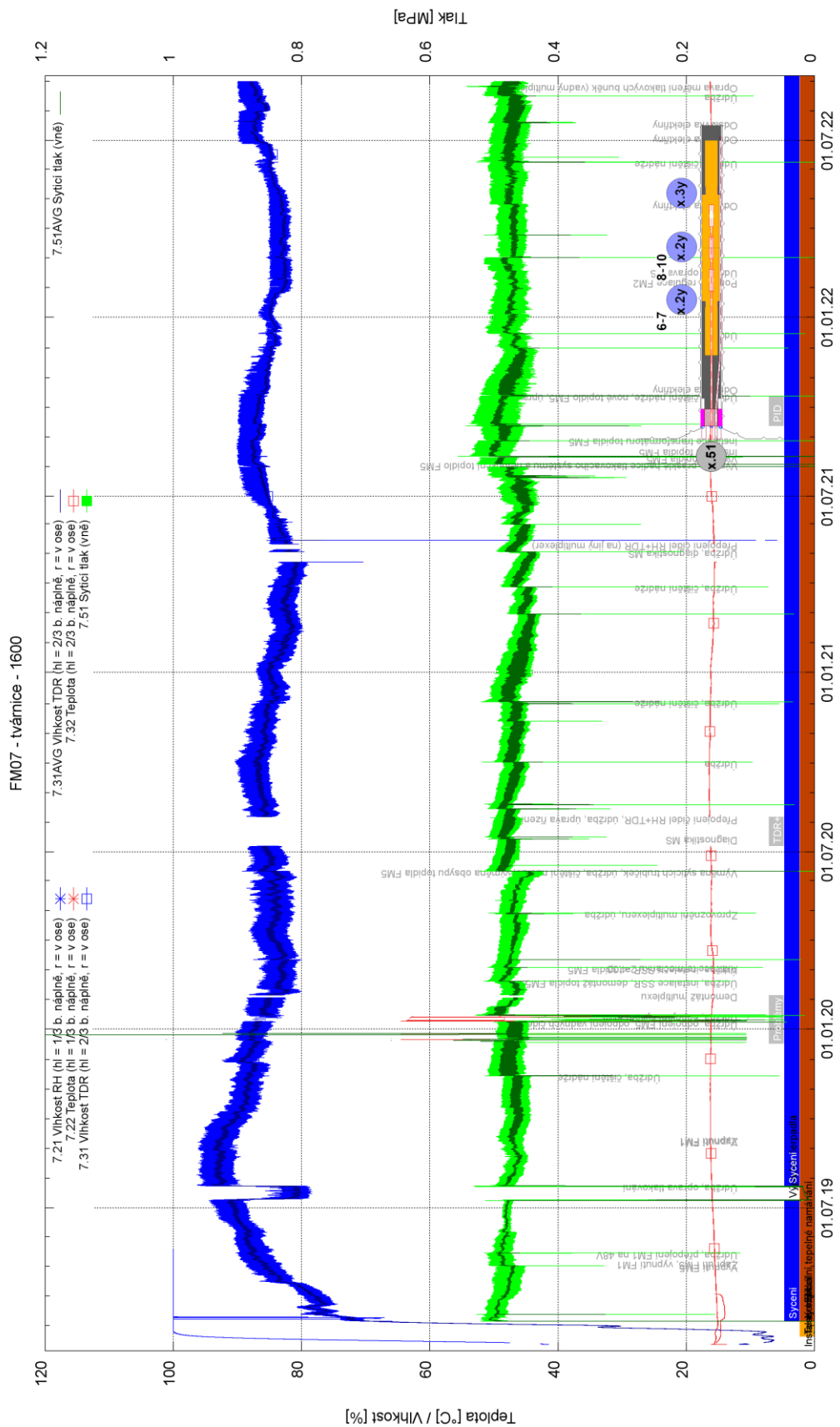
3.3.6 FM6

Na Obr. 67 je uveden průběh sledovaných veličin v FM6. Ihned po instalaci je vidět nárůst vlhkosti. Měřená relativní vlhkost vzduchu dosáhla 100 % ještě před započítáním umělého sycení. Obdobně vlhkost bentonitu měřená metodou TDR se poměrně rychle ustálila. Po začátku umělého sycení došlo k dalšímu rychlému (téměř skokovému) nárůstu, následovaném pomalým zvyšováním.

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.7 FM7

Na Obr. 68 je uveden průběh sledovaných veličin v FM7. Ihned po instalaci je vidět postupný nárůst vlhkosti. Měřená relativní vlhkost vzduchu dosáhla 100 % ještě před započítáním umělého sycení. Vlhkost bentonitu měřená metodou TDR vykazuje pomalejší nástup. Většina nárůstu proběhla před začátkem umělého sycení. Po začátku umělého sycení dochází k postupnému nárůstu vlhkosti pomalým zvyšováním. Výpadek umělého sycení se projevil poklesem měřené vlhkosti, která se po obnovení sycení vrátila na původní hodnotu a pokračovala v předchozím růstu. V druhé polovině roku 2019 pak měřená vlhkost pomalu klesá a přibližuje se hodnotám měřeným v jiných FM bez topení. Pravděpodobně došlo k uzavření preferenčních cest pro vodu (podél kabeláže a mezerami) a dochází k redistribuci vlhkosti. Od roku 2020 vlhkost mírně osciluje, avšak její hodnota se zásadně nemění.

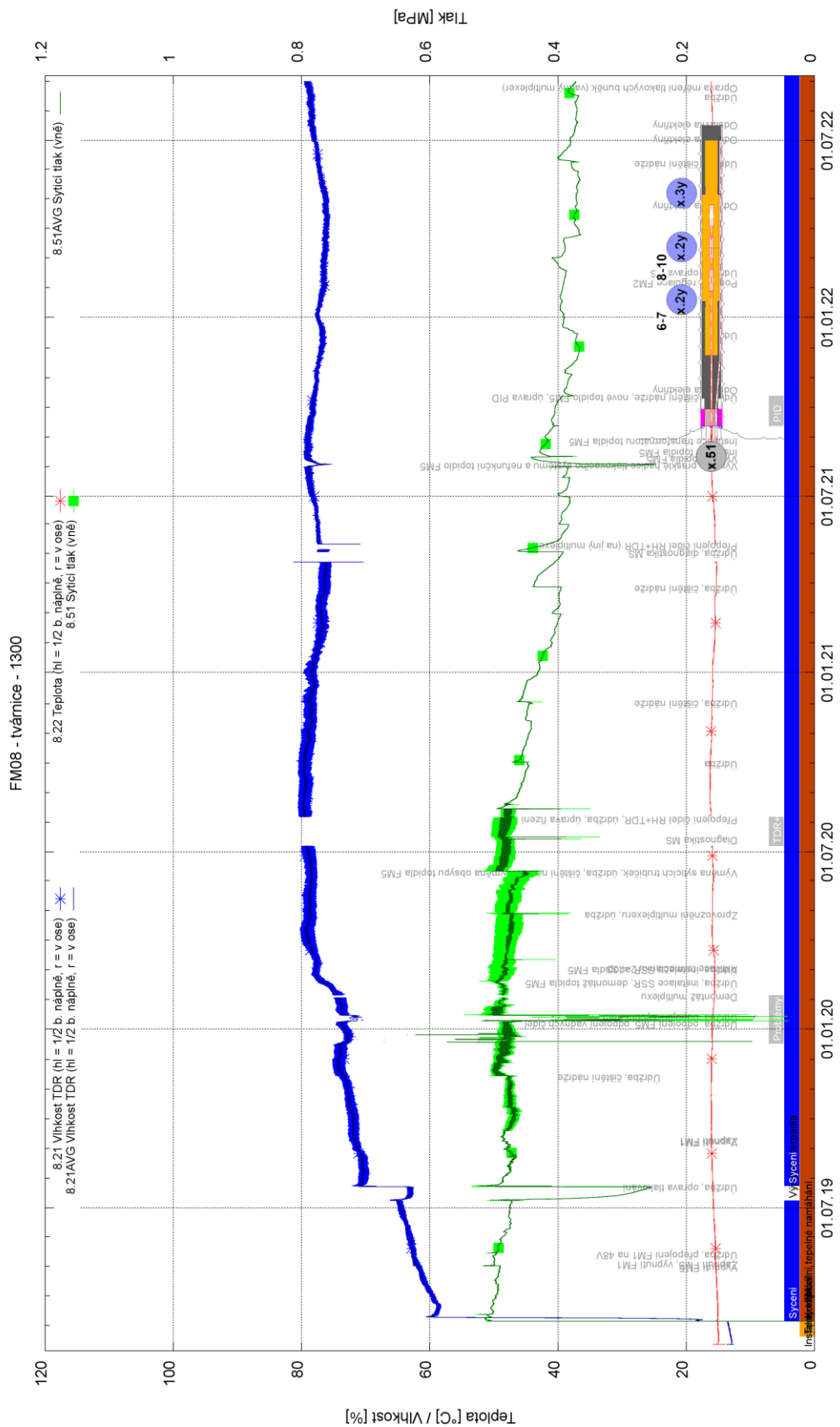


Obr. 68 FM07 - vývoj měřených veličin

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.8 FM8

Na Obr. 69 je uveden průběh sledovaných veličin v FM8. Po začátku umělého sycení došlo k poměrně rychlému nárůstu vlhkosti. Vlhkost bentonitu poté dále postupně roste. Výpadek umělého sycení se projevil drobným poklesem měřené vlhkosti, které po obnovení sycení skokově vzrostla. Pravděpodobně došlo k otevření některé z preferenčních cest. Vlhkost dále postupně až do 3Q 2020 narůstá, poté se ustaluje s pomalou oscilací.

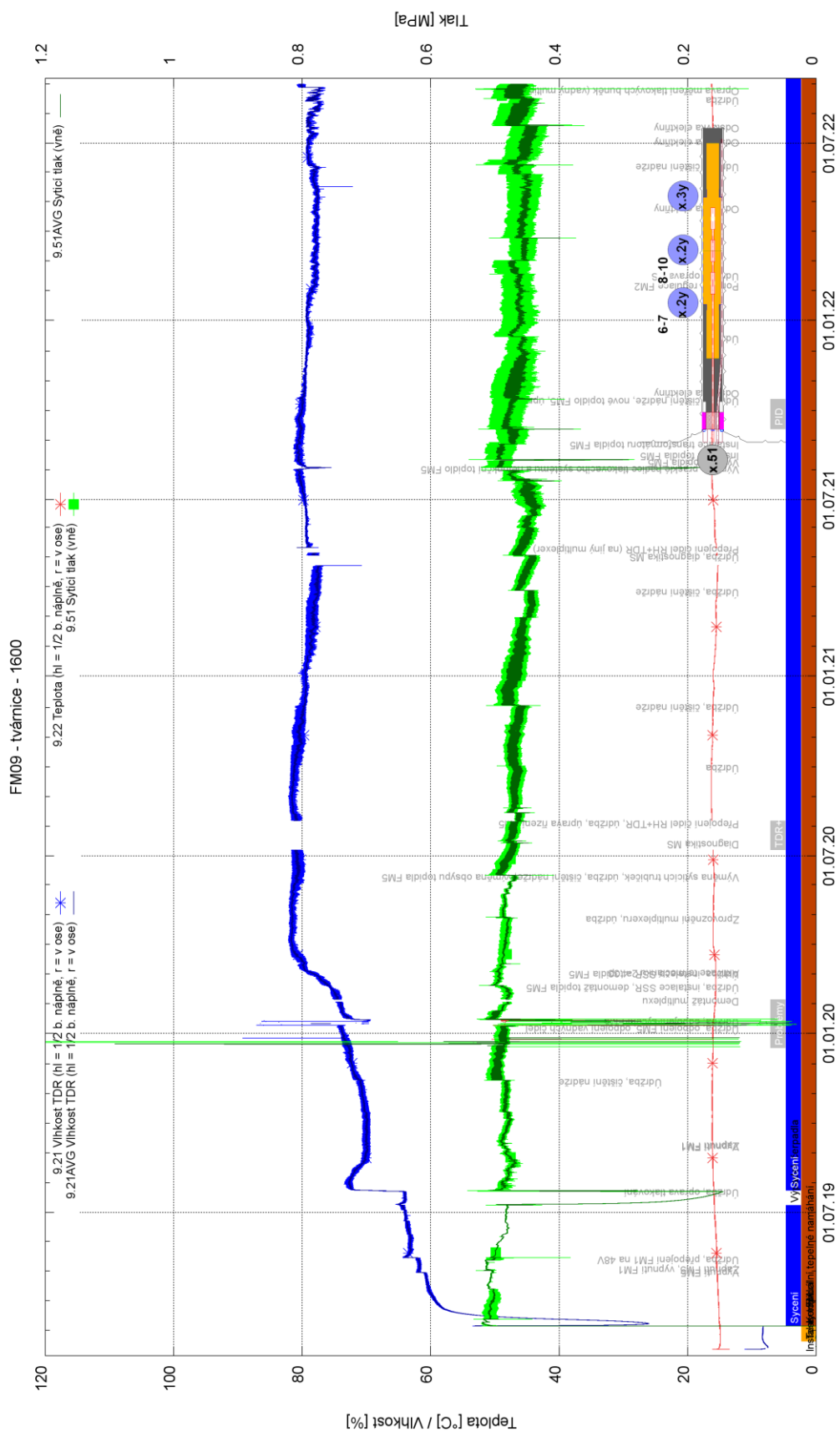


Obr. 69 FM08 - vývoj měřených veličin

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.9 FM9

Na Obr. 70 je uveden průběh sledovaných veličin v FM9. Po začátku umělého sycení došlo ke skokovému zvětšení vlhkosti následované jejím poklesem. Pravděpodobně došlo k rychlému průniku vody k čidlu spárami. Po zavření spar došlo k redistribuci vody do okolního bentonitu a tím i poklesu měřené vlhkosti. Poté následoval opětovný vzestup vlhkosti nejprve rychlý a poté pozvolný. Výpadek umělého sycení se neprojevil poklesem měřené vlhkosti, avšak po obnovení sycení vlhkost skokově vzrostla. Vlhkost dále postupně narůstá až do konce 1 Q 2020. Poté se vlhkost ustaluje a mírně pomalu osciluje.



Obr. 70 FM09 - vývoj měřených veličin

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

3.3.10 FM10

Na Obr. 71 je uveden průběh sledovaných veličin v FM10. Po začátku umělého sycení došlo ke skokovému zvětšení vlhkosti následované jejím poklesem. Pravděpodobně došlo k rychlému průniku vody k čidlu spárami. Po zavření spár došlo k redistribuci vody do okolního bentonitu a tím i poklesu měřené vlhkosti. Poté následoval opětovný vzestup vlhkosti. Tento jev se později znovu opakoval včetně doby při výpadku tlakování. Ukazuje to na preferenční cestu k čidlu.

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

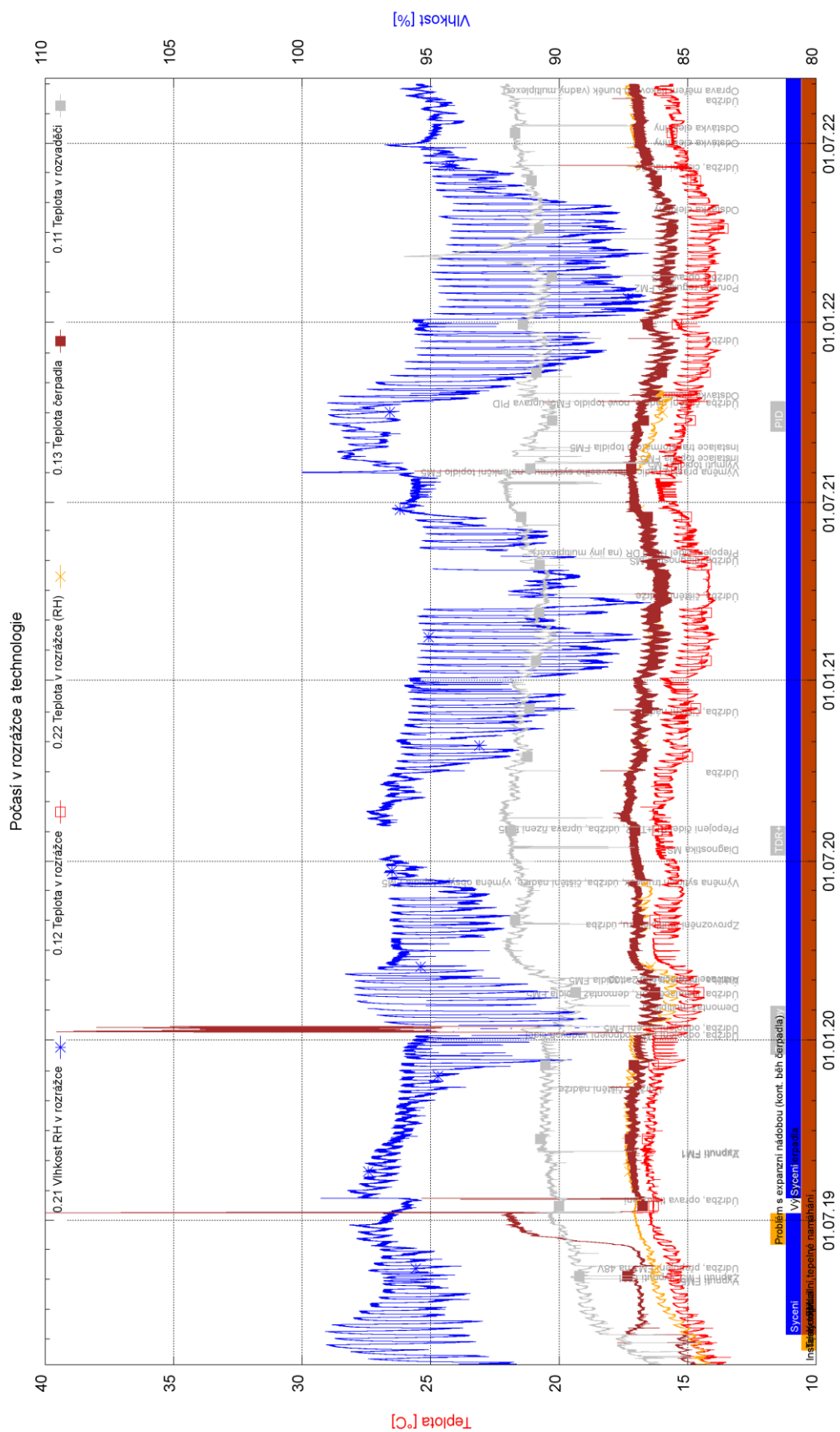
3.3.11 Horninové prostředí a technologie

Na Obr. 72 jsou uvedeny teploty měřené v horninovém masivu. V úvodní části reaguje masiv na testy topidel FM (dochází k nárůstu teplot). Po zahájení provozu dochází k postupnému nárůstu teplot. V průběhu května 2019 je v grafu vidět reakce na odpojení topidla FM5 a odpojení topidla FM1 (obě topidla byla následně zprovozněna).

V červenci 2019 došlo k výpadku tlakování, které v důsledku vedlo k nižšímu přenosu tepla do masivu a poklesu teploty. Změny teplot v srpnu 2019 jsou vyvolány úpravou teplot topidel FM1-5. Dále pak následoval pozvolný postupný nárůst teploty.

Po odpojení topidla FM5 (1 Q 2020 a 2/3 Q 2021) došlo k postupnému poklesu teplot horninového masivu. Po opětovném zapojení FM5 se teploty poměrně rychle vrací zpět, avšak na mírně nižší teplotu danou nižší teplotou FM5 (zejména na počátku). Odezva masivu sleduje teploty topidel.

Na Obr. 73 je uvedena teplota a relativní vlhkost vzduchu v rozrážce a teploty technických komponent (teplota čerpadla, teplota v rozvaděči). Teplota a vlhkost v rozrážce závisí zejména na provozu větrání. Hodnoty vykazují vliv sezónních a technických vlivů (doba, kdy běží nucené větrání). Teplota technických komponent slouží pro diagnostiku stavu systému – zejména kontrolu čerpadla.



Obr. 73 Teplota a vlhkost v rozrážce, teplota technologie

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

4 Závěr

Od 7.3.2019 probíhá zatěžovací fáze IE kdy je všech 10 fyzikálních modelů syceno vodou a FM1-5 jsou zahřívány. Probíhá kontinuální monitoring FM a horninového prostředí.

Ve fyzikálních modelech byl pozorován postupný nárůst vlhkosti a totálního napětí, který postupně přešel do kvazi ustáleného stavu. Po zahájení zatěžování byl pozorován na čidlech výrazně rychlejší nárůst vlhkosti, než predikoval matematický model (Obr. 49 a Obr. 50). To je dáno zejména charakterem materiálu, kdy na počátku voda volně proudila mezerami mezi peletami (a technologickými spárami), což vedlo k rychlejšímu počátečnímu nárůstu měření vlhkosti. Vliv preferenčních cest lze pozorovat na reakci čidel při výpadku tlakování, kde je v některých případech vidět okamžitý pokles vlhkosti. Nárůst uvnitř bentonitových tvárnic byl pravděpodobně pomalejší (blíže k předpovědi matematického modelu). Většina měřených hodnot je ustálených nebo s velmi pomalým vývojem. Výraznější změny měřených hodnot lze vysledovat jako důsledek vnějších zásahů (změna teploty topidel, tlakování, ...). Jedinou výjimku tvoří čidla TDR v FM6-10, kde po relativně ustáleném stavu v druhé polovině 2019 dochází v roce 2020 k pozvolným změnám, které pravděpodobně souvisí se sezónními výkyvy a výkyvy v tlakování. Zajímavý je také pokles totálního napětí v některých velkých FM v druhé části roku 2021, který se však většinou ustálil.

Ve fyzikálních modelech, kde je instalováno topidlo, a v jejich okolí dochází k postupnému nárůstu teploty. U FM3 je patrné ovlivnění teplot změnami teplot v rozrážce. Měřené hodnoty teplot ve FM1-4 se pohybují v rozsahu 25–100 °C, v FM5 60–200 °C (mimo výpadek topidla), v FM6-10 10-16 °C a v hornině 13–40 °C.

I přes vyšší počet nefunkčních čidel vlhkosti (více než se předpokládalo) plní instrumentace svoji primární úlohu, kterou je mapovat teplotní pole jako podklad pro vyhodnocení interakcí a zjistit postup saturace. I nyní již nefunkční čidla splnila svou úlohu, neboť dokumentovala postup saturace a přestala měřit až po svém zaplavení.

Vyšší poruchovost RH čidel je způsobena principem jejich měření, kdy měřicí kapacitní prvek je vystaven přímo prostředí – vzduchu. Čidla proto nejsou určena pro dlouhodobý styk s vodou v kapalně fázi, ke kterému dojde při dosažení plné saturace. Vyšší poruchovost TDR čidel v FM1-4 oproti čidlům v FM6-10 je pravděpodobně spojena s namáháním teplotou. Čidla jsou provozována na hranici své teplotní odolnosti.

V průběhu provozování byly problémy s průnikem vody do topidel a kabeláží k MS. Z tohoto důvodu byla provedena výměna topidla FM5 (2x), poškozených částí MS a přijaty opatření k prevenci těchto událostí. Pro zvýšení spolehlivosti a pro zvýšení přesnosti regulace výkonu topidel byla provedena výměna mechanických stykačů za polovodičové SSR. Po provedení těchto opatření je provoz technologie a měřicího systému spolehlivější. Na technologii a ŘS se však postupně začíná projevovat opotřebení některých částí (např. prasklá hadice, poruchy výstupů PLC,...).

Podzemní voda pravidelně vzorkovaných přítoků podzemní vody v rozrážce ZK-3S (vrt S-20/BK43, výtok z měřicího vrtu MV16) je typu CaSO_4 s celkovým obsahem rozpuštěných látek (TDS) v rozmezí 400 až 500 mg.l^{-1} . Sytící voda z vrtu S-1 (BK18) je typu Ca-HCO_3 , TDS je přibližně 300 mg.l^{-1} . Poměrné zastoupení hlavních iontů i jejich obsahy jsou u pravidelně

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

vzorkovaných vod obdobné, s časem se nemění. Doposud nebylo prokázáno ovlivnění chemického složení podzemních vod přitékajících do rozrážky působením experimentu.

Průsak sytící vody experimentálním vrtem FM1 jímaný do lyzimetru je typu Na-HCO₃ s TDS 650 až 700 mg.l⁻¹, TDS je tedy více než 3x vyšší ve srovnání se sytící vodou. Jedná se o sytící vodu z vrtu S-1, která prochází bezprostředním okolím experimentu, kde dochází k jejímu zahřátí a následnému odpařování na kontaktu se zavzdušněnou částí systému. Vzhledem ke konstrukci experimentu je delší či významnější kontakt prosakující sytící vody s bentonitem nepravděpodobný. Nárůst obsahů rozpuštěných látek je pravděpodobně z velké části způsoben odparem zahřáté vody.

Ve většině vzorků vod odebraných pro mikrobiologické rozborů je spíše malé množství mikroorganismů, což při nesprávné manipulaci se vzorky může zvýšit riziko ovlivnění výsledků kontaminacemi z okolního prostředí či během zpracování vzorků v laboratoři. Přesto však i u vzorků s malou či nízkou koncentrací izolované DNA je možno provést kvalitní mikrobiologickou charakterizaci. Ve většině odebraných vzorků se vyskytují převážně chemoorganoheterotrofní mikroorganismy, byly identifikovány i organismy obligatorně anaerobní, tj. neschopné fungovat v přítomnosti kyslíku. Detekovaná přítomnost různých typů mikroorganismů v analyzovaných vzorcích souvisí jak s ovlivněním odběrového místa provozem v PVP, tak i způsobem odběru. Z dosavadních analýz je patrné, že v odebraných vzorcích jsou přítomny organismy využívající pro své metabolické cykly sloučeniny uhlíku, dusíku, síry, železa a vodíku. Pro sledování vývoje mikrobiálních společenstev v čase budou další mikrobiologické analýzy zaměřeny zejména na vzorky vstupní vody a stěry v okolí experimentů a monitorovacích teploměru v rozrážce ZK-3S.

Protože mikrobiologické rozborů jsou prováděny zejména ve vzorcích vody vstupující do experimentů a ve vodě z vrtů, které nejsou přímo propojeny s experimenty, nelze tedy vyhodnotit, k jakým a jak výrazným změnám mikrobiálního osídlení dochází uvnitř experimentů v materiálech vyplňujících vrty. Nejbližším vodítkem mohou být analýzy ve vrtu Experimentu 1, kde je odběrové místo vnější část experimentální instrumentace a byly zde v biofilmu detekovány i anaerobní organismy. Je nutno vést v patrnosti, že místa odběrů pro mikrobiologické i chemické analýzy jsou v kontaktu se vzduchem.

Výsledky analýz z jednotlivých odběrových kampaní mohou být rozdílné, protože se mohou měnit podmínky v odběrovém místě (např. zvýšený odběr/průtok vody ze zdrojového vrtu S1, ovlivnění údržbou instrumentace experimentu (nádrž, čerpadlo) apod a také z povahy metody odběru a zpracování vzorků (odběr a zpracování vodních vzorků vs. filtrace na místě v PVP Bukov).

Výsledky monitoringu ukazují, že stav uvnitř FM je téměř ustálený a změny jsou buďto velmi pomalé nebo reakcí na vnější vlivy. To však neznamená, že by uvnitř jednotlivých FM nedocházelo k interakcím mezi materiály a k jejich postupným změnám. Tyto interakce mají zpravidla dlouhodobější charakter a neprojeví se výrazně v hodnotách měřených měřicím systémem (systém neumožňuje monitorovat chemické změny).

V dalším období se nepředpokládá výrazná změna v chodu jednotlivých FM. Předpokládá se, že bude docházet k pomalému postupnému (mírnému) nárůstu teploty tak, jak je postupně ohříván horninový masiv a chod FM bude zejména ovlivňován vnějšími vlivy (fluktuační teplot v rozrážce, tlakování,...).

 SÚRAO	IE – Průběžná zpráva etap 7-9 č.5	Evidenční označení:
		629/2022

5 Reference

- ČERNÁ K., HLAVÁČKOVÁ V., STEINOVÁ J., PUSZTAI M. (2021): Mikroorganismy ve vztahu k hlubinným úložištím radioaktivního odpadu. Technická zpráva TZ 552/2021 SÚRAO.
- KRUIS J., KREJČÍ T., KOUDELKA T., SVOBODA J. (2018): Interakční experiment – Matematické modelování, TZ314/2018 SÚRAO.
- KRUIS J., KREJČÍ T., SVOBODA J., (2020): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č .2- doplněk, TZ478/2020 SÚRAO.
- MAŠÍN D. (2017): Coupled thermohydrromechanical double structure model for expansive soils. ASCE Journal of Engineering Mechanics, vol. 143, no. 9.
- PARKHURST D. L. (1995): User's guide to PHREEQC--A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations, U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep., 95-4227, 143 pp.
- PROBST A. J., LADD B., JARETT J. K., GELLER-MCGRATH D. E., SIEBER C. M. K., EMERSON J. B., ANANTHARAMAN K., THOMAS B. C., MALMSTROM R. R., STIEGLMEIER M., KLINGL A., WOYKE T., RYAN M. C., BANFIELD J. F. (2018): Differential depth distribution of microbial function and putative symbionts through sediment-hosted aquifers in the deep terrestrial subsurface. Nat Microbiol 3, 328–336.
- STEINOVÁ J., BURKARTOVÁ K., MIKEŠ J., ZUNA M., ČERNÍK M. (2019): Mikrobiální screening PVP Bukov a dolu Rožná, Technická zpráva číslo 382/2019, SÚRAO
- SVOBODA J., KRUIS J., KREJČÍ T., RUKAVIČKOVÁ L., VEČERNÍK P. (2020): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č .2, TZ478/2020 SÚRAO.
- SVOBODA J., PACOVSKÝ J., ŠŤÁSTKA J., VAŠÍČEK R., PACOVSKÁ D., NÁDHERNÁ D. (2018): Interakční experiment – realizační projekt, TZ245/2018 SÚRAO.
- SVOBODA J., RUKAVIČKOVÁ L., VEČERNÍK P. (2019): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č .1, TZ417/2019 SÚRAO.
- SVOBODA J., VAŠÍČEK R., NÁDHERNÁ D. (2019): Interakční experiment – instalace experimentu, TZ371/2019 SÚRAO.
- SVOBODA J., VAŠÍČEK R., PACOVSKÁ D., RUKAVIČKOVÁ L., VEČERNÍK P., ČERVINKA R., NAHODILOVÁ R., LAUFEK F., ŘIHOŠEK J., BURIÁNEK D. (2019): Interakční experiment – přípravné a podpůrné práce, TZ385/2019 SÚRAO.
- SVOBODA J., VAŠÍČEK R., RUKAVIČKOVÁ L., ŘIHOŠEK J., VEČERNÍK P., (2021): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č .3, TZ537/2021 SÚRAO.
- SVOBODA J., VAŠÍČEK R., RUKAVIČKOVÁ L., ŘIHOŠEK J., VEČERNÍK P., (2022): Interakční experiment – Průběžná zpráva etap 7-9 č .4, TZ594/2022 SÚRAO.
- VYLAHOVÁ P., KOČMAN 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.



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

info@suraao.cz | www.suraao.cz