



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

Experimentální program 2015–2020



**Podzemní výzkumné
pracoviště Bukov**

4	Úvod
6	Historie PVP Bukov
7	Mapa pracoviště
10	Experimentální program
13	Výzkumné projekty
14	Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov
18	Vznik a monitoring EDZ při výstavbě PVP Bukov
22	Mikrobiální screening PVP Bukov a dolu Rožná
23	Monitoring aktivity křehkých struktur PVP Bukov a dolu Rožná
24	Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov
26	Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná
30	Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov
32	Rozvoj geotechnických a geofyzikálních metod pro získání 2D a 3D obrazu geologické stavby
33	Dlouhodobé monitorování horninového masivu v PVP Bukov nedestruktivními geofyzikálními metodami
34	Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov
39	Závěr
40	Lidé na projektech – náš tým

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Kontaktní údaje

Adresa: Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Telefon: +420 221 421 511

Fax: +420 221 421 544

E-mail: info@surao.cz

www.surao.cz

Úvod

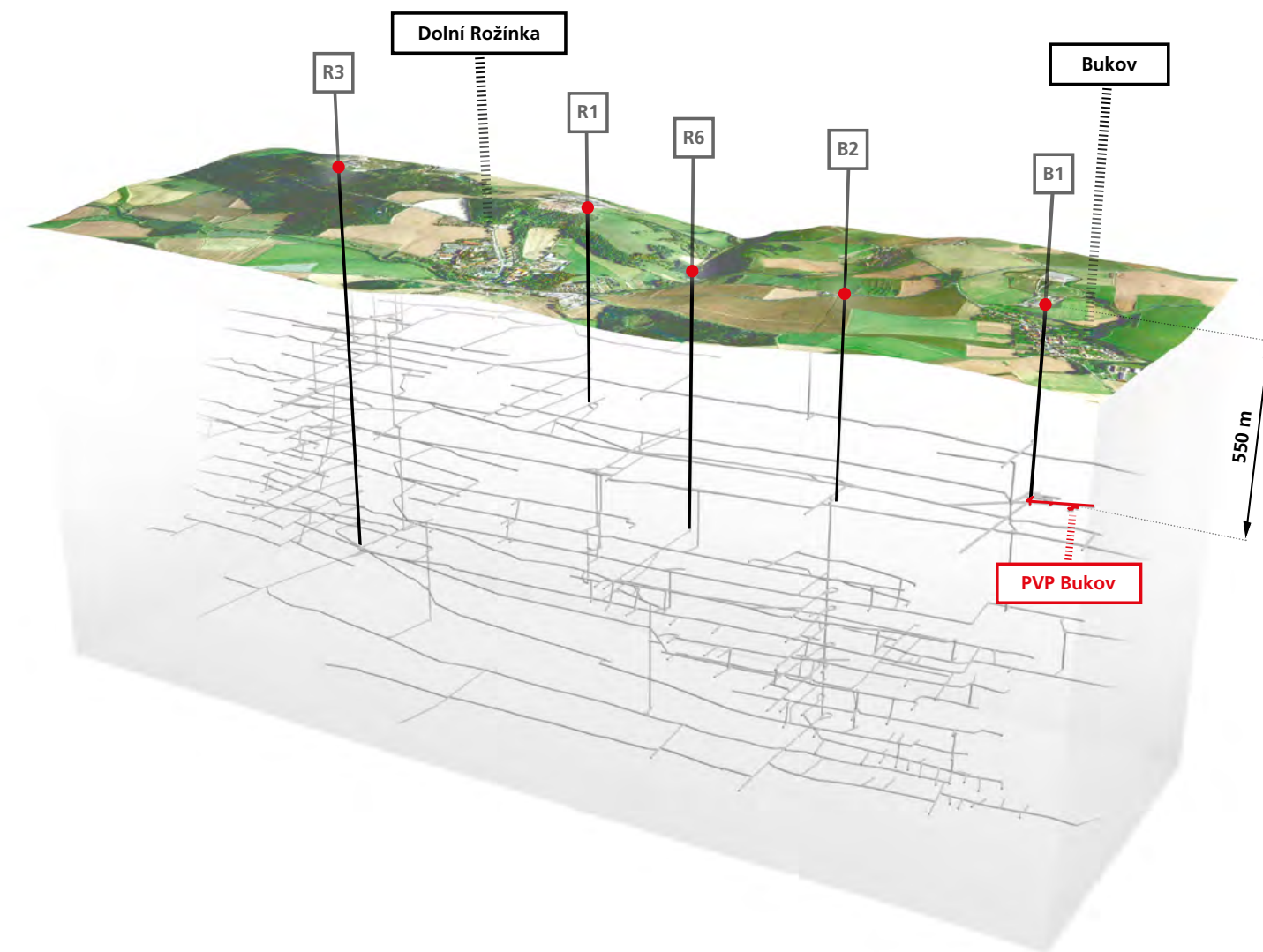
Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) má, v souladu s vládou schválenou Konceptí nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem a platnou legislativou, za úkol přípravu českého hlubinného úložiště (HÚ) vysokoaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva. V souvislosti s vývojem hlubinných úložišť jsou ve světě provozovány podzemní laboratoře, které mají významnou roli při výzkumných, vývojových a demonstračních aktivitách.

Podzemní laboratoře jsou využívány v oblasti testování robustnosti inženýrských bariér, slouží pro získávání popisných multidisciplinárních geovědních dat a dat pro bezpečnostní rozbor. Neméně důležitou částí výzkumných aktivit je také odvození příslušných metodik popisu a hodnocení horninového masivu, měření a modelování procesů v horninovém masivu nebo výchova vysoce kvalifikovaných expertů. Získaná data a zkušenosti pak mají významnou roli v procesu hodnocení potenciálních lokalit HÚ pro optimalizaci inženýrsko-technických a stavebních postupů a v neposlední řadě pro zvýšení odborné úrovně národních programů a možností zapojení do mezinárodní spolupráce.

Aktuálně je největší část výzkumných aktivit SÚRAO v oblasti in-situ testů spojených s přípravou a plánováním HÚ směřována do Podzemního výzkumného pracoviště (PVP) Bukov. Pro tyto aktivity je využíváno 470 m speciálně vyražených prostor na 12. patře dolu Rožná I (v hloubce 550 m) a dále i některá původní důlní díla v jiných částech dolu, a to až do hloubky 1 200 m. PVP Bukov je generickým typem podzemní laboratoře, jejíž výstavba a charakterizace probíhala od roku 2013 do roku 2017, kdy započala experimentální fáze.

Prostory laboratoře se nacházejí poblíž jámy B-1, situované severně u obce Bukov na Vysočině. PVP Bukov je umístěno v krystalinických horninách, tedy v prostředí s vysokou pevností a puklinovou propustností. Tyto horniny typově odpovídají potenciálním horninám pro HÚ. Laboratoř je tvořena systémem podzemních prostor v různých geologických podmínkách dle požadavků na konkrétní experimentální činnosti.

Tento dokument obsahuje přehled dokončených a aktuálně řešených výzkumných projektů.



↑ Schéma hlavních důlních děl dolu Rožná I s vyznačením pozice PVP Bukov

Historie PVP Bukov

2013–2017: Výstavba

Výstavba PVP Bukov byla zahájena v roce 2013 a ukončena v roce 2017. V průzkumné fázi byl vyražen přístupový překop BZ-XIIJ o délce 320 m. Následovala vrtná kampaň pro upřesnění geologické stavby a výběr horninových bloků. Ve třetí fázi byly vyraženy vlastní laboratorní prostory pro experimenty. Při výstavbě laboratorních prostor byla použita metoda obrysových trhacích prací, která umožnila razit dílo ve vysoké kvalitě bez použití výztuže. Podzemní dílo se skládá z přístupového překopu BZ-XIIJ, tří vrtných komor, laboratorního překopu BZ₁-XII a čtyř zkušebních komor ZK pro dlouhodobé experimenty.

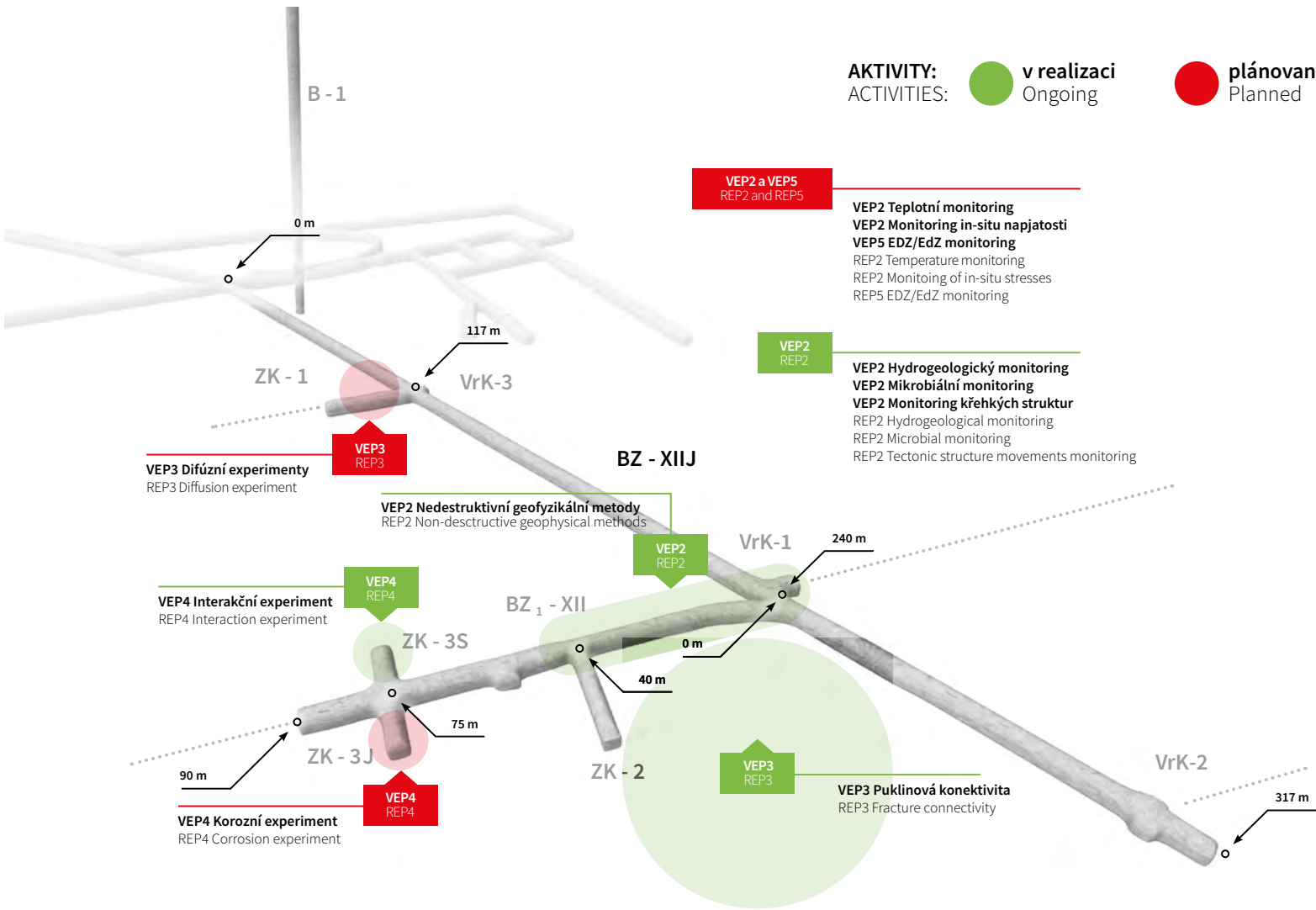
2015–2017: Charakterizační etapa

Cílem této etapy byl popis horninového prostředí pro umístění jednotlivých experimentů a získání dat jedinečných při otevření horninového masivu ražbou. V rámci řešení byly studovány následující oblasti: geologická stavba, geotechnické vlastnosti, hydrogeologické vlastnosti, seismická a transportní vlastnosti hornin. Jedním z výstupů bylo vytvoření geologického a geomechanického modelu pracoviště. V rámci této fáze se podařilo popsat vývoj některých parametrů horninového prostředí s hloubkou, jako je např. složení a stáří podzemní vody nebo kvalita horninového masivu.

Od roku 2017: Experimentální etapa

Experimentální program byl zahájen po ukončení charakterizačních prací a zahrnuje široké spektrum činností spojených s návrhem a přípravou HÚ.

Mapa pracoviště





Experimentální program

V návaznosti na skutečný stav horninového prostředí byl definován Výzkumný a experimentální program (VEP), který zohledňuje výzkumné potřeby SÚRAO a reálné příležitosti horninového prostředí PVP Bukov. Jde o následující okruhy činností:

VEP 1 – Charakterizace a tvorba geovědních modelů horninového prostředí

Tato oblast zahrnuje aktivity zaměřené na sběr popisných geologických dat, jejich uložení do databází a interpretace ve formě 3D modelů a vývoj obecných metod popisu horninového prostředí. Tyto činnosti byly započaty již v průběhu výstavby, a to v rámci rozsáhlého projektu Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov. Aktuálně zde probíhá projekt Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná. Důl Rožná I poskytuje unikátní možnost získání dat z různých hloubkových úrovní, a to až do hloubek 1 200 m. V rámci této oblasti jsou získávána data z geologických průzkumů na povrchu lokality a různých pater dolu, která jsou vzájemně propojována a slouží ke konstrukci 3D geologických, hydrogeologických a geomechanických modelů celé lokality.

VEP 2 – Dlouhodobý monitoring horninového prostředí

Tato oblast zahrnuje testování a vývoj metod dlouhodobého monitoringu procesů, které budou probíhat v horninovém prostředí v odpovídající hloubce HÚ. Přínosem těchto měření bude odhad rozsahu zkoumaných parametrů, které budou důležité pro popis lokality HÚ a hodnocení její dlouhodobé stability.

Aktuálně jsou v řešení následující projekty:

- Mikrobiologický screening PVP Bukov a dolu Rožná I.
- Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov.
- Monitoring aktivity křehkých struktur PVP Bukov a dolu Rožná I.
- Dlouhodobé monitorování horninového masivu v PVP Bukov nedestruktivními geofyzikálními metodami.

V přípravě jsou také projekty zaměřené na monitoring teplot v různých hloubkách pod povrchem, seismický monitoring nebo monitoring in-situ napjatosti.

VEP 3 – Proudění podzemních vod a transport radionuklidů

Tento experimentální okruh je zaměřen na výzkum proudění podzemních vod a transportu radionuklidů v puklinovém prostředí HÚ včetně testování a verifikace modelovacích nástrojů. Ve stadiu přípravy jsou projekty zaměřené na porozumění advektivnímu transportu látek v puklinových systémech krystalinických hornin nebo výzkum difúzních transportních procesů z puklin do neporušené horninové matrice. V rámci těchto projektů bude ve vybraném horninovém bloku v PVP Bukov postupně tvořena síť testovacích vrtů vybavených multipakry pro provádění hydraulických testů a stopovacích zkoušek. Veškeré testy budou doprovázeny modelovacími aktivitami, kdy bude tvořen a postupně zpřesňován geologický a hydrogeologický model zájmového bloku horniny, který bude využíván pro vývoj modelovacích nástrojů a simulaci prováděných testů.

VEP 4 – Inženýrské bariéry HÚ

Činnosti této oblasti jsou zaměřeny na ověření charakteristik materiálů úložného systému a obalových technologií. Cílem je určení rychlosti jejich degradace a vzájemných interakcí v reálných podmínkách HÚ. V realizaci je projekt Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov, který je zaměřen na studium vzájemných interakcí mezi materiály inženýrských bariér HÚ. V přípravě je také projekt zaměřený na výzkum korozní odolnosti kandidátních materiálů pro ukládací obalový soubor v horninovém prostředí a vlivu koroze těchto materiálů na vlastnosti bentonitu.

VEP 5 – Vliv realizace podzemních děl HÚ na horninové prostředí

Experimentální okruh je zaměřen především na popis rozsahu a charakteru zóny porušené (EDZ) a ovlivněné (EdZ) metodami výstavby podzemních prostor HÚ. Pilotní projekt na PVP Bukov byl realizován již při výstavbě podzemního díla (Vznik a monitoring EDZ při výstavbě PVP Bukov). Jeho cílem bylo získat nezbytná data z hlediska vzniku a vývoje EDZ a horninové klenby ve spojení s výstavbou podzemního díla. Chování EDZ a horninové klenby v hloubce jsou důležité znalosti, které umožní správným způsobem popsat vliv použitých báňských prací na vznik a vývoj EDZ a optimalizovat navrhovaná technická řešení. V přípravě je rozsáhlejší projekt zaměřený na tuto problematiku.

VEP 6 – Technologické postupy výstavby HÚ

Při výstavbě HÚ bude nutné použít některé technologické postupy, které vyžadují speciální metodologie nepoužitelné ve standardních komerčních ražbách. Jedná se o speciální rozpojovací nebo vrtné práce. Činnosti v této oblasti budou tedy zaměřeny na vývoj nových konstrukčních postupů výstavby podzemních děl z hlediska jejich časové a finanční optimalizace.

VEP 7 – Demonstrační experimenty

V rámci tohoto okruhu budou realizovány komplexní experimenty testující chování prvků úložného systému v reálném měřítku a podmínkách odpovídajících HÚ. U takových experimentů je kladen důraz na testování technologií pro manipulaci, konstrukci experimentálních modelů a zároveň monitoring procesů.

Výzkumné projekty

Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov

2013–2017

Řešitelé:
Česká geologická služba;
Ústav Geoniky Akademie věd ČR, v. v. i.;
ÚJV Řež, a. s.;
SG Geotechnika, a. s.

Jednalo se o dílčí projekt, který byl součástí programu Výzkumná podpora bezpečnostního hodnocení hlubinného úložiště. Cílem projektu bylo multidisciplinární zhodnocení horninového prostředí PVP Bukov a dolu Rožná I. Práce byly realizovány celkem čtyřmi institucemi a zahrnovaly komplexní geologickou, petrologickou a petrofyzikální charakteristiku, stanovení základních hydrogeologických parametrů podzemních vod, spektrální analýzu vrtných jader, seismický monitoring, stanovení transportních charakteristik hornin nebo také analýzu geomechanických a geotechnických parametrů horninového masivu. Na základě integrace širšího souboru geologických dat byl vytvořen 3D strukturně-geologický a geomechanický model PVP Bukov.

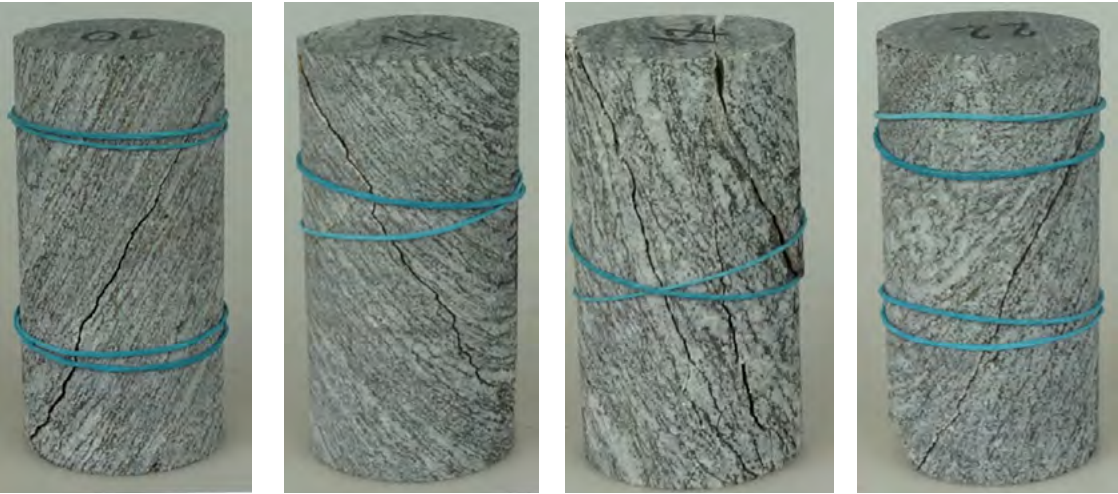
Výzkumné práce poskytly ucelený soubor poznatků nezbytných pro následnou realizaci experimentů zaměřených na dlouhodobou bezpečnost a technickou proveditelnost budoucího HÚ. Navíc tyto práce umožnily získat cenná data, která jsou k dispozici pouze krátce po otevření horninového masivu důlním dílem.



↑ Zařízení pro měření přetvárných vlastností hornin Goodman Jack

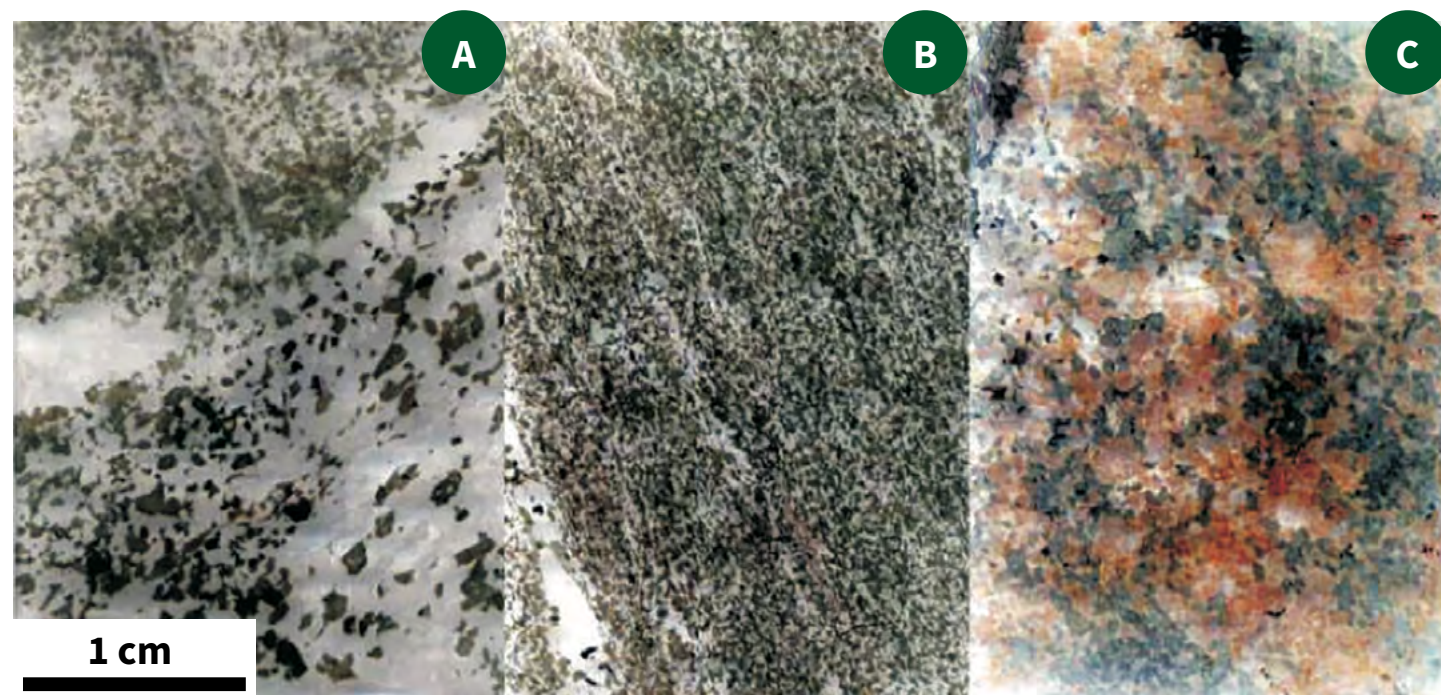
Vybrané výsledky:

- Geologická stavba – přeměněné horniny s diskontinuitami a vnitřní stavební anizotropií (migmatizované biotitické ruly až stromatitické migmatity, amfibolicko-biotitické až biotiticko-amfibolické ruly a amfibolity).
- Geotechnické vlastnosti
 - vysoká až velmi vysoká pevnost dle klasifikací Bieniawského (1989) nebo Hoeka a Browna (1997)
 - hydraulická vodivost 10^{-11} – 10^{-13} m.s⁻¹; plynopropustnost: 10^{-18} – 10^{-22} m²
 - index RQD: vysoká variabilita, v průměru 70–80 %, v oblastech tektonických zón < 50 %; oblasti bez tektonických zón 90–100 %
 - modul přetvárnosti určený metodou Goodman Jack: 15–20 GPa
 - in-situ napjatost určená metodami hydraulického štěpení a měřením ve vrtech na kuželových tenzometrických sondách (hodnoty verifikované zpětnou analýzou konvergenčního měření): max. horizontální napětí 16,5–31 MPa, min. horizontální napětí 10–17 MPa
 - konvergenční měření: díla o profilu 9,2 m² konvergence v průměru -1,5 mm (s maximy cca -2,5 mm); profil 14,5 m² konvergence v průměru -3,0 mm (s maximy cca -6,0 mm).
- Hydrogeologické vlastnosti
 - voda v PVP Bukov typu CaHCO₃ vykazuje znaky hlubokého oběhu
 - směs vod stáří 200–7000 let.
- Seismicita – PVP Bukov se nachází v seismicky stabilním prostředí bez indikací technické nebo jiné seismicity.
- Transportní vlastnosti hornin – difuze a sorpce radionuklidů prokázala nízkou mobilitu radionuklidů v hornině.

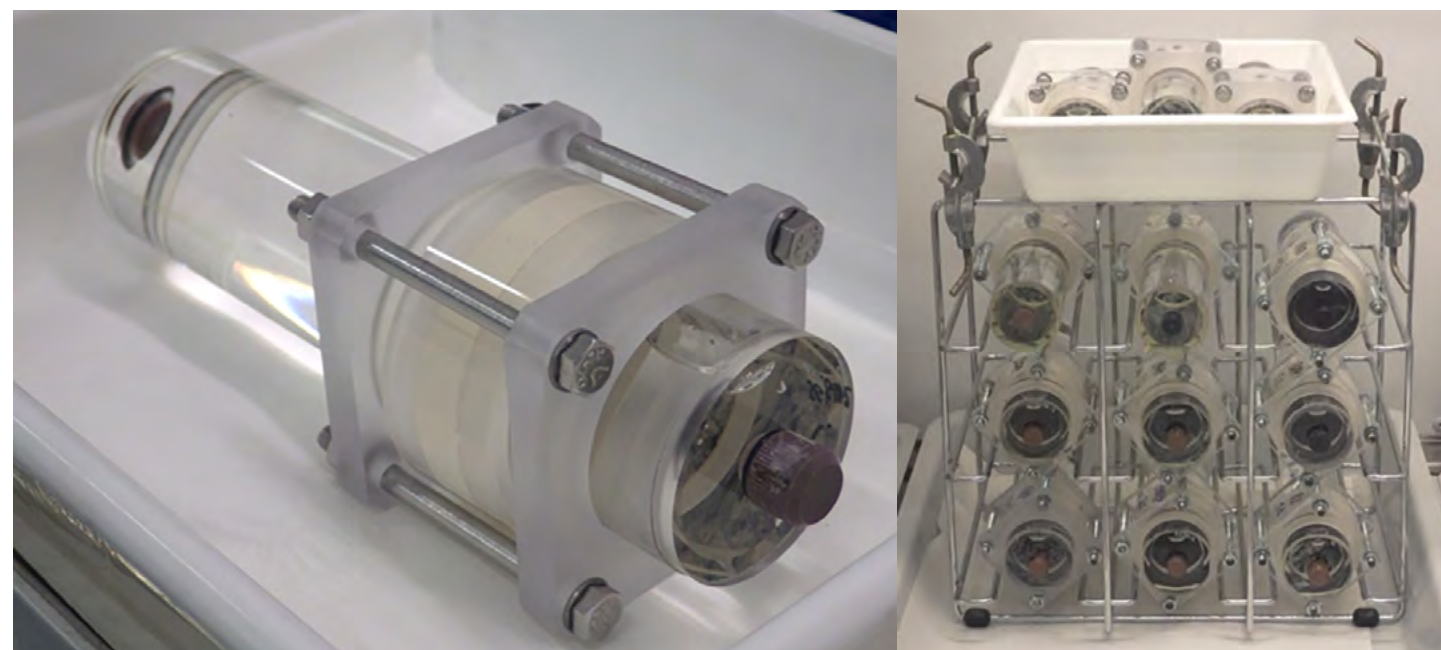


← Ukázka porušení zkušebních těles migmatitů po zkouškách pevnosti

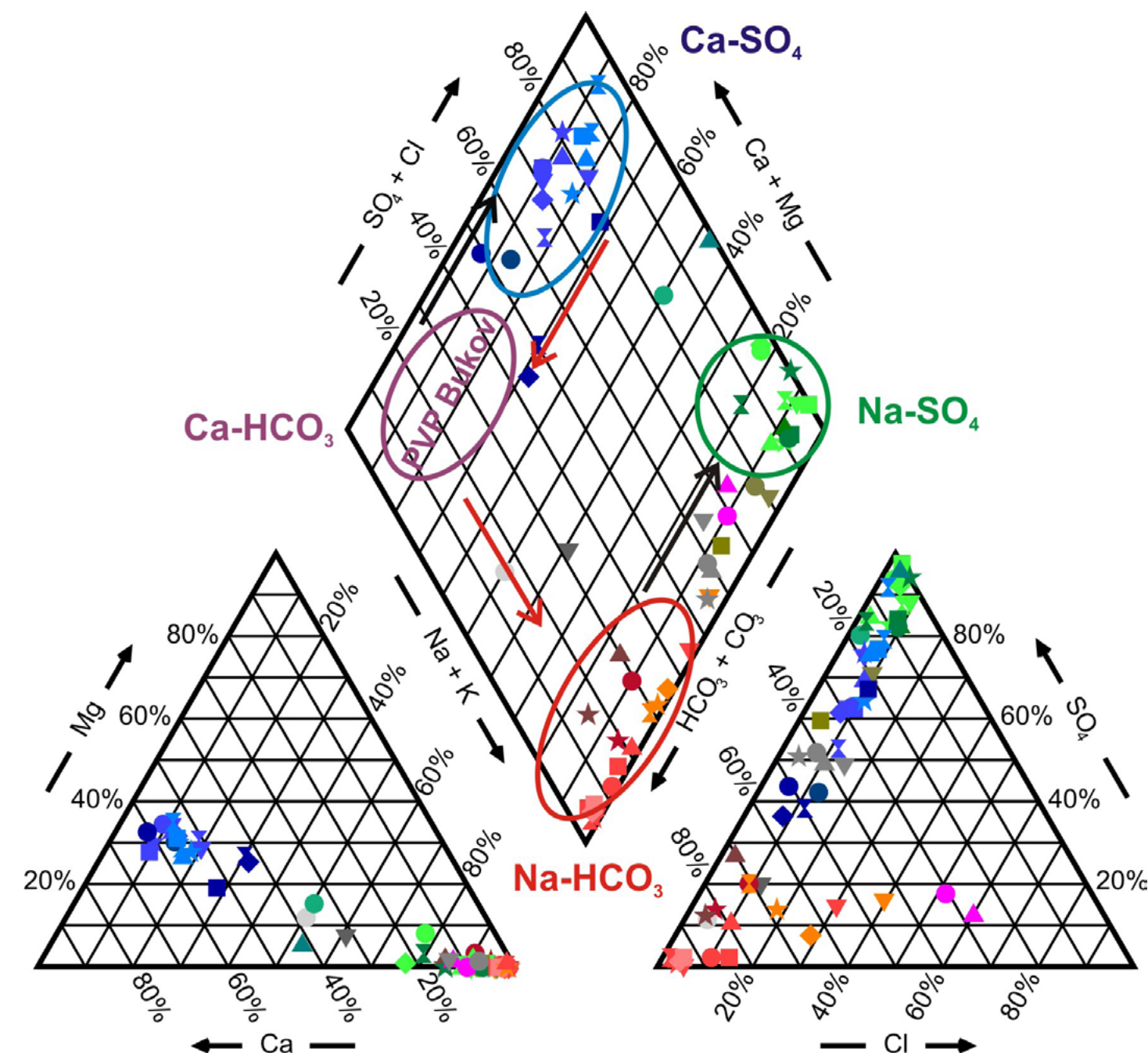
14479/S1/139,30	14479/S1/144,44	14479/S1/146,90	14479/S1/149,92
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------



↑ Ukázka výbrusů hornin z PVP Bukov. Texturní rozdíly mezi dominantními typy amfibolitů: A – migmatizovaný amfibolit, B – amfibolit, C – hydrotermálně alterovaný amfibolit



↑ Difuzní cela ÚJV pro průnikové difuzní experimenty a uložení difuzních cel během experimentu



↑ Piperův diagram složení podzemních vod v dole Rožná I s vyznačením základních typů vod a vývojových trendů. Červené šipky – přirozená změna složení podzemní vody s narůstající hloubkou, černé šipky – změna chemického složení vlivem oxidačních procesů v dole

Vznik a monitoring EDZ při výstavbě PVP Bukov

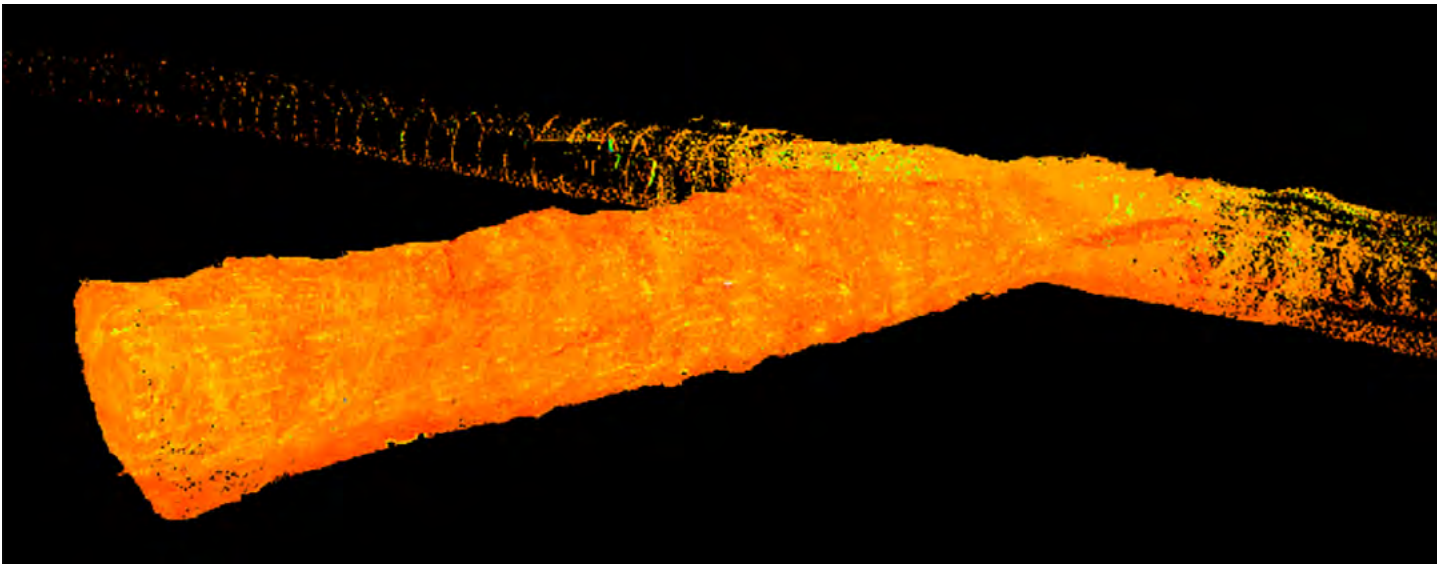
2015–2018

Řešitelé:
Ústav Geoniky Akademie věd ČR, v. v. i.;
Geotest, a. s.

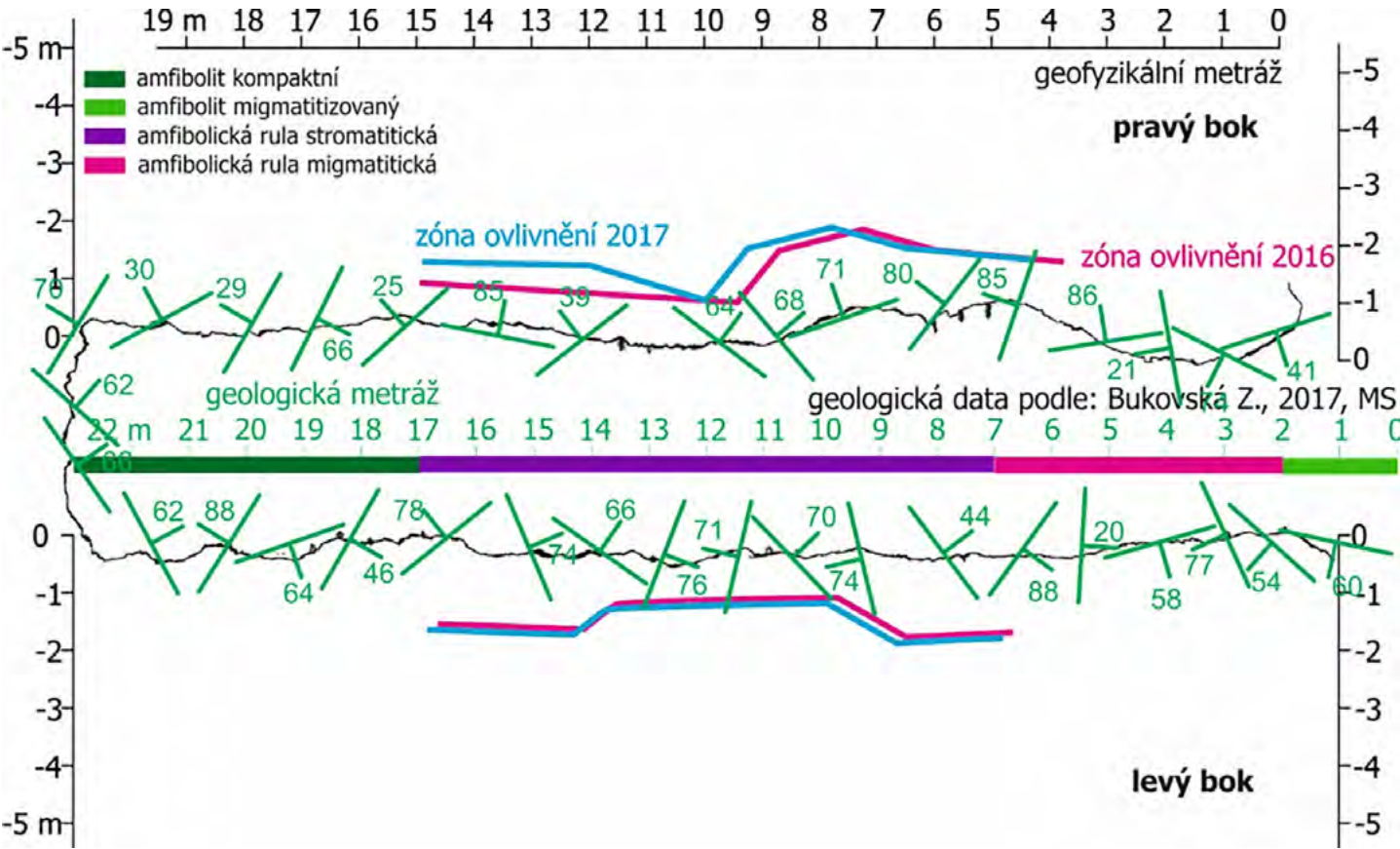
Cílem projektu bylo získat nezbytná data z hlediska vzniku a vývoje zóny poškození (EDZ) a ovlivnění (EdZ) okolo podzemního díla a horninové klenby. Zóna byla popisována geofyzikálními a in-situ napjatostními měřeními. Projekt přinesl informace ohledně vývoje této zóny v různých horninových prostředích za použití různých technologií výstavby podzemního díla. V rámci projektu byl dále zpracován 3D model prostor PVP Bukov pomocí dat z laserového skenování a vytvořen matematický model napětového pole.

Pro monitorování změn napětí v průběhu ražby byly použity kuželové tenzometrické sondy instalované do vrtů ve vějířovém uspořádání v chodbě BZ₁-XII a dalších místech v PVP Bukov. Výsledky prokázaly předpokládanou reakci na postup ražby, největší změny v napětí byly registrovány u sond nejbliže u výrubů. Dlouhodobý monitoring prokázal, že k postupné redistribuci napětí dochází i dlouho po ukončení aktivního zásahu do masivu (i s ročním odstupem).

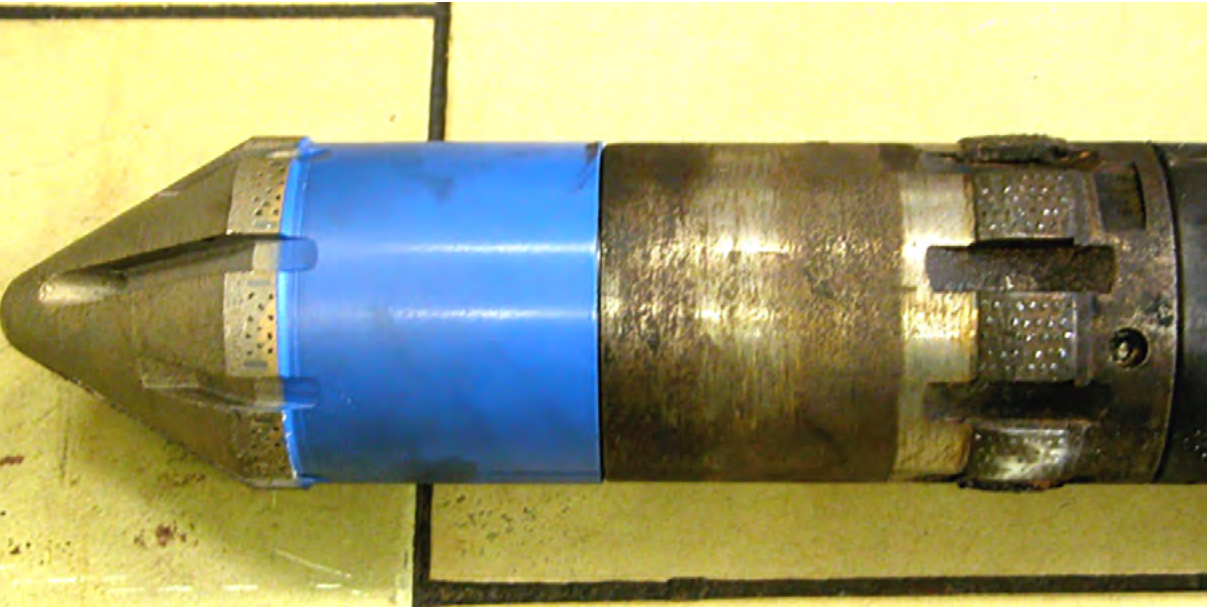
Pro detekci oblasti poškození a ovlivnění byly ve vybraných místech opakovaně aplikovány metody elektrické odporové tomografie (ERT) a seismické tomografie. Na základě seismických měření v hlavním přístupovém překopu, který byl vytvořen klasickým konvenčním způsobem ražby, je odhadován rozsah EDZ až na cca 1,5 m a EdZ na 3 až 5 m. Pomocí metody ERT aplikované na hlavním překopu byla dle změn měrných odporů zjištěna hranice v hloubkách 4 až 6 m od výrubu, která může být interpretována jako zóna ovlivnění, resp. oblast redistribuce napětí. Oproti tomu ve zkušební komoře ZK-1, tedy v místě, kde byla aplikována metoda hladkého výlomu, byla tato hranice detekována v hloubkách 0,75 až 1,5 m.



↑ Výstup laserového skenování – chodba ZK-1



↑ Výsledky z ERT měření – interpretace vývoje zóny ovlivnění v chodbě ZK-1



↑ Vrtná korunka pro úpravu dna vrtu pro instalaci kuželové tenzometrické sondy



Mikrobiální screening PVP Bukov a dolu Rožná

2017–2019

Řešitelé:
Technická univerzita v Liberci / Ústav pro nano-
materiály, pokročilé technologie a inovace

Jeden z důležitých požadavků na inženýrské bariéry HÚ a jejich materiálové složení je jejich životnost, která může být ovlivněna i přítomností mikroorganismů vyvíjejících se v důsledku lidských aktivit. Pro posouzení postupné kolonizace či naopak úbytku mikrobiálního osídlení je nutné sledovat jeho dlouhodobý vývoj. Vedle dlouhodobého trendu, který je možné pozorovat jen několikaletým sledováním, mohou na tento vývoj mít patrný vliv také sezonní fluktuace. Výkyvy teplot nebo chemického složení a režim vod se mohou projevit změnou mikrobiálního osídlení.

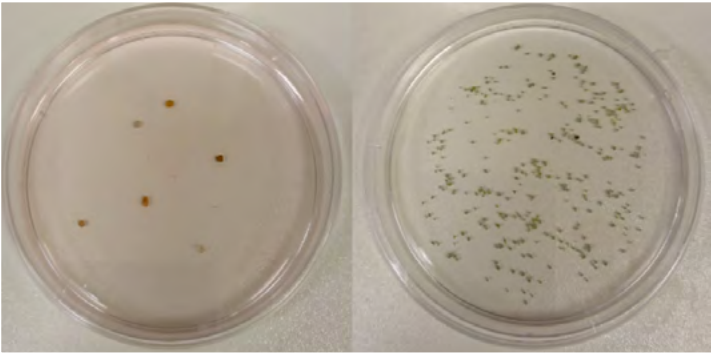
V rámci projektu byly analyzovány vzorky vod a mikrobiálních nárůstů z oblasti 12. patra (PVP Bukov i vlastní důl) a 24. patra dolu. Pro odběr mikrobiální biomasy ze zavodněných horizontálních vrtů byl vyvinut systém s pasivním vzorkovačem. Systém obsahuje obturátor pro utěsnění vrtu a komoru s filtrem pro zachytávání mikroorganismů z vody vytékající z vrtu.

Pro stanovení mikrobiální diversity byly použity především molekulárně biologické metody (konkrétně amplikonová sekvenace oblasti 16S rRNA a qPCR) a jako doplněk pro část vzorků i kultivační postupy. Důraz byl kladen na zachycení funkční diversity mikrobiálních společenstev. Mezi nejhojněji zastoupené funkční skupiny patří mikroorganismy schopné oxidovat organické látky, sloučeniny železa a síry.

Projekt byl zaměřen na identifikaci taxonů, které byly v horninovém prostředí přítomny před zásahem člověka, a k identifikaci taxonů, které byly zavlečeny antropogenní činností. V rámci řešení projektu byly identifikovány kritické druhy, které mají vliv na korozi materiálů úložného obalového souboru. Tento projekt sloužil pro získání prvotních dat o mikrobiálním osídlení a na základě výsledků byla navržena doporučení pro budoucí aktivity zahrnující dlouhodobé monitorování na lokalitě.



↑ Odběr mikrobiálních matů do sterilní zkumavky



↑ Příklad kultivovaných mikroorganismů

Monitoring aktivity křehkých struktur PVP Bukov a dolu Rožná

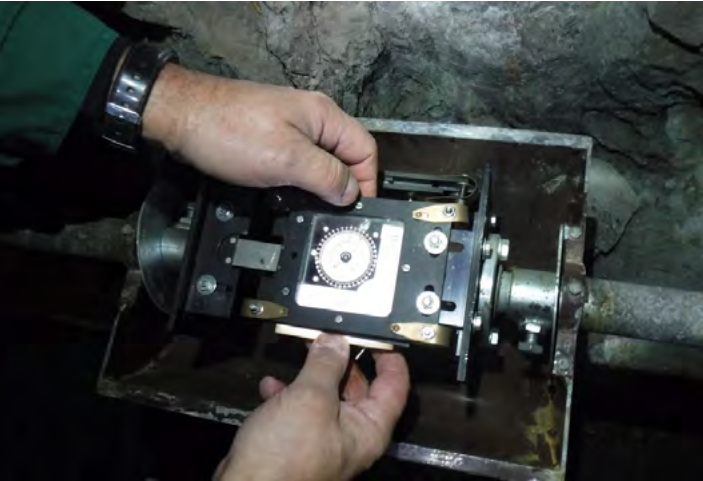
2018–2022

Řešitel:
Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i.

Cílem projektu je získání znalostí o pohybech křehkých struktur v krystalinických horninách v hloubce HÚ. Předmětem je vybudování monitorovací sítě, která bude poskytovat časové řady o chování různých generací struktur křehké tektoniky, které zahrnou reprezentativní generace struktur v měřítku zlomová zóna-zlom-puklinová zóna-puklina.

Pro měření pohybů křehkých struktur je používán 3D opticko-mechanický extenzometr TM-71. Jedná se o zařízení, které bylo vyvinuté v ÚSMH, s velmi vysokým rozlišením ve srovnání s tradičními i moderními technikami monitorování pomalých pohybů. Přístroj dokáže zaznamenat posun ve všech třech směrech a zároveň rotace a dosahuje přesnosti až 0,001 mm. Zařízení pro měření využívá jevu optické interference, kdy jsou sledovány a interpretovány vzájemné posuny spirál na dvojici překrývajících se sklíčků.

Pro instalaci extenzometrů byly v prostorách PVP Bukov vybrány vhodné struktury různého měřítka s různými orientacemi vůči hlavním směřům napětí. Dále budou sledovány pohyby dvou struktur na 24. patře a jedné nacházející se na 20. patře poblíž „první zóny“. Extenzometry jsou instalované na ocelových ramenech ukotvených do horniny a přemostujících monitorované struktury. Měřidla v prostoru PVP Bukov jsou napojena na datovou síť a ostatní jsou pak napojena na automatické záznamníky dat.



↑ Detail extenzometru na 24. patře dolu



↑ Instalace konzoly pro osazení extenzometruv chodbě BZ-XIIJ

Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov

2018–2023

Řešitelé:
Geotest, a. s.;
KOCMAN Envimonitoring, s. r. o.

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

Samotný hydrogeologický výzkum v PVP Bukov probíhá již od roku 2015, kdy byly zahájeny hydrogeologické výzkumné práce a mapování v souvislosti s charakterizací lokality v průběhu výstavby. Mimo prostor PVP Bukov jsou některé práce prováděny i v jiných hloubkových úrovních, a to až do hloubky 1 200 m (24. patro). Data získaná v podzemí jsou také doplňována o údaje z povrchového režimního měření.

V rámci projektu byla provedena pasportizace hydrogeologické monitorovací sítě, vybudované během výstavby, a dále byly instalovány nové pozorovací body a provedena automatizace a provoz sítě tak, aby byl zajištěn dlouhodobý monitoring všech přítoků vod v prostoru laboratoře a na povrchu v přilehlém okolí PVP Bukov včetně pozorování meteorologických jevů.

Další práce budou zahrnovat i hydrodynamické zkoušky ve vrtech pro získání hydraulických parametrů horninového masivu. Veškeré činnosti budou směřovat k pochopení zákonitostí proudění podzemních vod ve zkoumané oblasti.



← Meteorologická stanice u jámy B-1



↑ Ukázka původní a nové instalace přelivů na povrchové lokalitě



↑ Systém pro měření přítoků vod do PVP Bukov pomocí překlopných člunků

Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná

2017–2020

Řešitelé:
Česká geologická služba (koordinátor projektu);
ÚJV Řež, a. s.;
Ústav Geoniky AV ČR, v. v .i.;
Masarykova univerzita;
SG Geotechnika, a. s.;
INSET, s. r. o.;
DIAMO, s. p.

Cílem tohoto projektu je získání informací o prostorové distribuci geologických a geotechnických vlastností horninového prostředí v různých hloubkových úrovních dolu Rožná I. Práce zahrnují posouzení a reinterpretaaci dosavadních archivních geologických a tektonických znalostí lokality včetně cílené geologické dokumentace vybraných částí dolu, a dále charakterizaci vybraných geologických struktur, které mohou být z hlediska bezpečnosti HÚ důležité.

Vybranou strukturou pro studium je tektonická zóna označovaná jako R1 (tzv. „první zóna“), která je dobře vyvinutá v hloubkové úrovni 600 až 1 200 m. Cílem prací je stanovení strukturních, geomechanických a geochemických parametrů horniny v různých vzdálenostech od této zóny. Pro získání dat jsou využívána stanoviště umístěná na 12., 18., 20., 21., 22. a 24. patře dolu. Zvláštní důraz je kladen na dokumentaci prvků puklinové sítě, jejímž výstupem je tvorba DFN (Discrete Fracture Network) modelu. Rozsah strukturních dokumentací je navázaný na realizaci in-situ geotechnických prací a laboratorní program tak, aby byla získána data a výsledky interpretovatelné s ohledem na hloubkový profil dolu a lokalizaci vůči struktuře R1.

Celkem bylo vytvořeno více než 500 m vrtů průměru 76 mm pro určování geotechnických parametrů hornin a karotážní měření. Práce zahrnují určování přetvárných vlastností hornin metodou Goodman Jack a určení napětového stavu masivu pomocí metody hydraulického štěpení hornin. Pro sestavování strukturní charakteristiky hornin a určování rozsahu porušení horniny v okolí zlomové struktury je využívána i seismická tomografie. Projekt se dále zabývá rozsáhlým laboratorním programem, zahrnujícím např. petrografii hornin, mineralogický výzkum výplně význačných zlomů, geochemickou charakteristiku hornin, fyzikálně-mechanické a geotechnické vlastnosti hornin a transportní charakteristiky hornin (difuzní a sorpční experimenty). V podzemí jsou prováděny i odběry velkoformátových vzorků (jádrové vrty o průměru 300 mm), z kterých je poté možné odvrtáním v laboratorním prostředí získat intaktní vzorky pro analýzy.

Získané informace z tohoto projektu rozšíří existující znalostní databázi a vědecký potenciál lokality PVP Bukov a umožní věrohodněji interpretovat hloubkový vývoj geologických parametrů krystalinických hornin Českého masivu.



↑ Uložení jader ve skladu hmotné dokumentace

← Vzorky hornin ze zlomových zón 21. patra dolu pro určení mineralizace



Interakční fyzikální modely in-situ v PVP Bukov

2017–2022

Řešitelé:
ČVUT v Praze (Fakulta stavební);
Česká geologická služba;
ÚJV Řež, a. s.

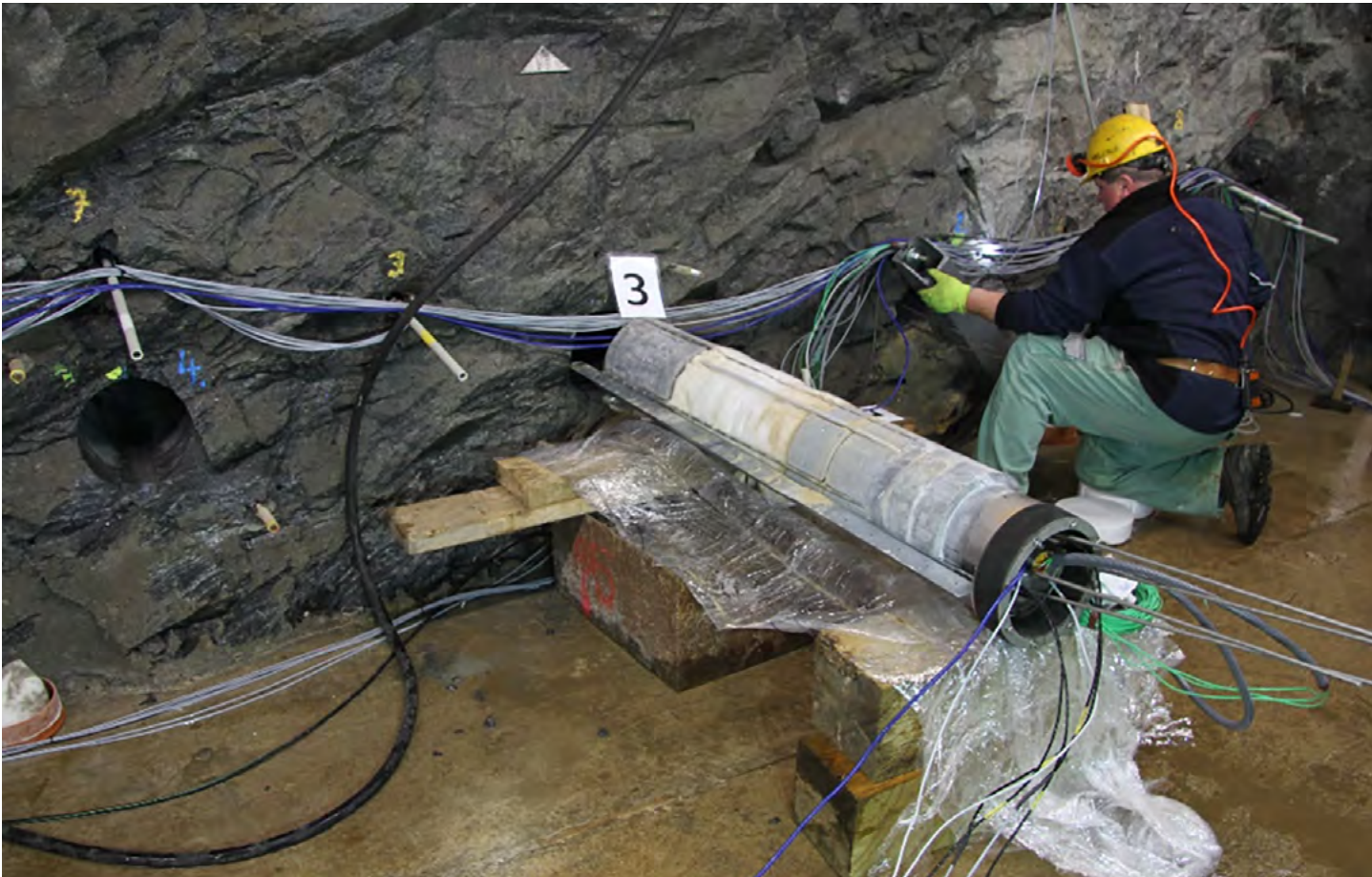
Pro potřeby návrhu inženýrských bariér HÚ je nutné rozumět spolupůsobení materiálů v podmínkách reálného horninového prostředí. Projekt označovaný jako Interakční experiment je zaměřen na studium interakcí mezi kandidátními materiály inženýrských bariér HÚ a na jejich spolupůsobení s horninovým prostředím a podzemní vodou.

Projekt zahrnuje realizaci deseti fyzikálních modelů umístěných do horizontálních vrtů. Celkem pět modelů je určeno pro studium interakcí za přirozené teploty a zbývajících pět pro studium interakcí za zvýšených teplot (4 zahříváné na teplotu 100 °C; 1 na 200 °C). Zahříváné modely jsou válcového tvaru o průměru 240 mm a délce 1450 mm. Ve středu modelu je umístěno tyčové topidlo obklopené bentonitovou výplní. Dále modely obsahují prvky z betonu, systém pro umělé sycení modelů lokální podzemní vodou a instrumentaci pro sledování vývoje nasycení bentonitové bariéry a šíření tepla. Aby bylo možno zkoumat různé typy interakcí, je pro každý z modelů zvolena jiná kombinace materiálů. Jsou zde použity lisované bentonitové bloky o dvou různých objemových hmotnostech, peletová směs, standardní beton a beton se sníženým pH. Všechny tyto materiály a horninové prostředí byly detailně charakterizovány, aby bylo možné v budoucnu studovat jejich změny.

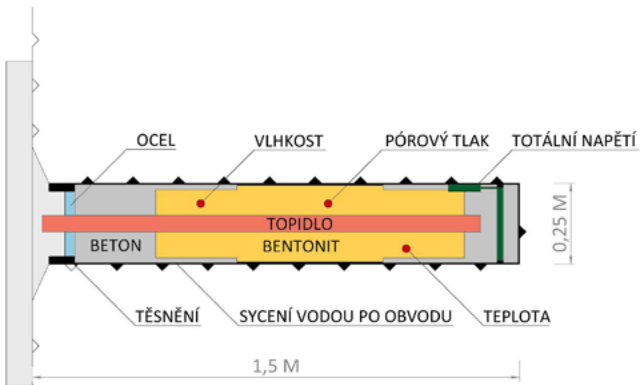
Instalace fyzikálních modelů byla provedena na začátku roku 2019 a od března probíhá zatěžovací procedura, která poběží minimálně 3 roky. V rámci experimentu je monitorován průběh teplot jak v samotných modelech, tak i v okolní hornině, a dále je sledováno sycení a bobtnání bentonitu. Výsledky monitoringu zajistí základní informace o průběhu procesů uvnitř fyzikálních modelů, avšak stěžejní pro vyhodnocení interakcí bentonit-beton-hornina bude analýza vzorků po dlouhodobém uložení modelu v in-situ podmínkách. Po skončení zatěžovací fáze dojde k vyjmutí jednotlivých fyzikálních modelů a k analytickému zpracování. Výsledkem experimentu bude detailní popis geochemických a mineralogických změn v jednotlivých materiálech.



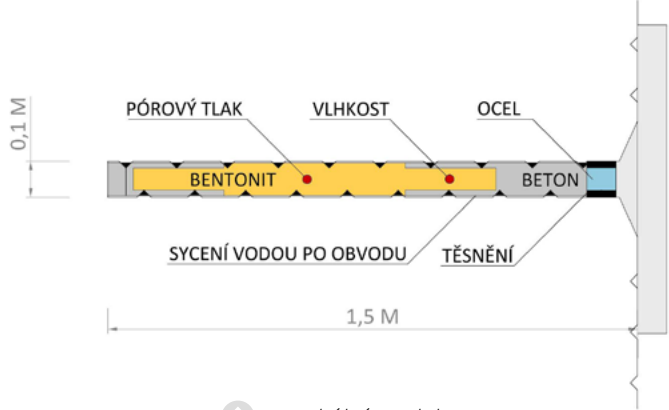
Instalace rozvaděčů a kabeláže



Fyzikální model připravený pro instalaci do vrtu



Fyzikální model 1–5



Fyzikální model 6–10

Rozvoj geotechnických a geofyzikálních metod pro získání 2D a 3D obrazu geologické stavby

2017–2021

Řešitel:
GEOtest, a. s.;
Ústav geoniky AV ČR, v. v. i.;
Technická univerzita v Liberci / Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace

Poskytovatel:
MPO, program FV - TRIOFV20294, projekt FV20294

Cílem tohoto externího projektu je testování a vývoj geotechnických a geofyzikálních metod pro získání informací o geologické stavbě ve směru kolmém i podélném k podzemnímu dílu.

V rámci projektu je testován široký komplex geotechnických a fyzikálních měření, při kterých je využíváno prostor PVP Bukov a jiných částí dolu Rožná I. Podstatou je vývoj metod, které „vidí“ dovnitř horninového masivu, zahrnující postupy, kterým postačuje měření na povrchu podzemního díla, a dále metody poskytující informace o vlastnostech horniny mezi vrty nebo mezi vrtem a povrchem podzemního díla. Součástí prací je zkoumání závislostí mezi jednotlivými fyzikálními a geotechnickými vlastnostmi a vývoj softwarových nástrojů pro interpretaci experimentálních měření.

Mezi testované geofyzikální metody patří pozemní a vrtný radar, seismická tomografie, elektrická odporová tomografie a proudové prozařování. Na PVP Bukov jsou prováděna opakovaná měření především v horninovém bloku dostupném ze tří stran z povrchu chodeb BZ-XIIJ, BZ₁-XII a ZK-2 a dále jsou využívány průzkumné vrty vytvořené během výstavby PVP. Paralelně s geofyzikálními měřeními běží etapa zahrnující geotechnická měření. Smyslem je pomocí jiných zavedených průzkumných metod ověřit a interpretovat výsledky geofyzikálních měření. Využíváno bude například metod měření napětového stavu pomocí kuželových tenzometrických sond nebo orientované optické a akustické inspekce stěn vrtů.



Seismické měření

Dlouhodobé monitorování horninového masivu v PVP Bukov nedestruktivními geofyzikálními metodami

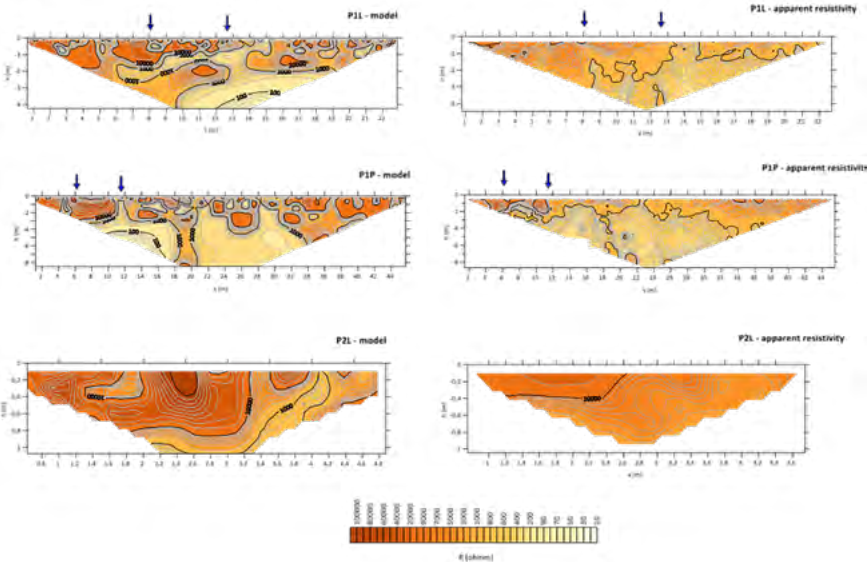
2018–2022

Řešitelé:
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy;
Technická univerzita v Liberci / Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace

Geofyzikálními metodami lze získat velmi cenné informace o geologické stavbě, vlastnostech a chování horninového masivu včetně zóny porušení okolí výrubu. Výzkumné práce jsou zaměřeny na rozvoj a optimalizaci jednotlivých geofyzikálních metodik a na charakterizaci významných geologických rozhraní, která jsou přístupná pouze nepřímým pozorováním, a jejich změn v čase.

Projekt je zaměřen na instalaci a provozování systému SGI1 pro dlouhodobé monitorování horninového masivu nedestruktivními geofyzikálními metodami. Systém SGI1 využívá geoelektrické a seismické vlastnosti masivu a je určen pro dlouhodobé monitorování změn těchto vlastností v bezprostředním okolí díla. Systém obsahuje sestavu pro elektrickou odporovou tomografii (ERT) a sestavu pro seismická měření. Pro instalaci zařízení byla vybrána hlavní laboratorní chodba BZ₁-XII, kde byly na stěny chodby instalovány série elektrod pro ERT měření, a následovat budou geofony pro seismická měření. Na levé straně chodby jsou elektrody rozmístěny ve vzdálenostech 1 m pro sledování měrného odporu hornin do hloubky v řádu decimetrů, a na protilehlé straně chodby je instalován systém s většími rozestupy elektrod pro sledování vzdálenějších poloh s dosahem kolem 10 až 15 m.

Systém byl instalován a zprovozněn v září 2019. Cílem monitorovací fáze je dlouhodobé sledování změn vlastností zájmového horninového bloku prostřednictvím opakovaného prozařování seismickými ultrazvukovými vlnami a opakovaným měřením zdánlivého měrného odporu. Změny vlastností se předpokládají například v souvislosti s dalšími experimenty, které jsou plánované v této oblasti. Kapacita monitorovacího systému SGI1 umožňuje také rozšiřovat metodiku měření. V rámci experimentálního měření budou detekovány blízké seismické zdroje, které vznikají ve fázi napjatostních změn, a to jako první indicie vzniku mikrotrhlin, které pak mohou později přecházet do existence puklinové struktury.



Ukázka interpretace výsledků ERT měření



Testování zařízení pro seismická měření na PVP Bukov

Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov

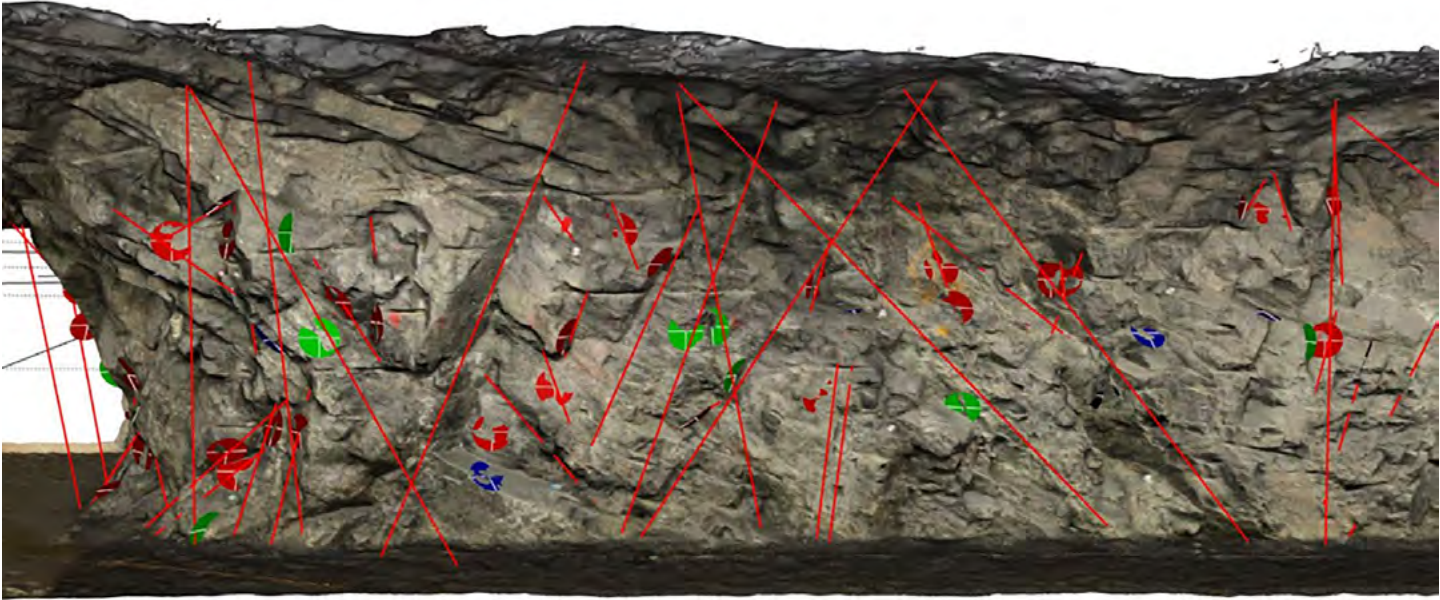
2019–2024

Řešitelé:
ÚJV Řež, a. s.;
Česká geologická služba;
SG Geotechnika, a. s.;
PROGEO s.r.o.

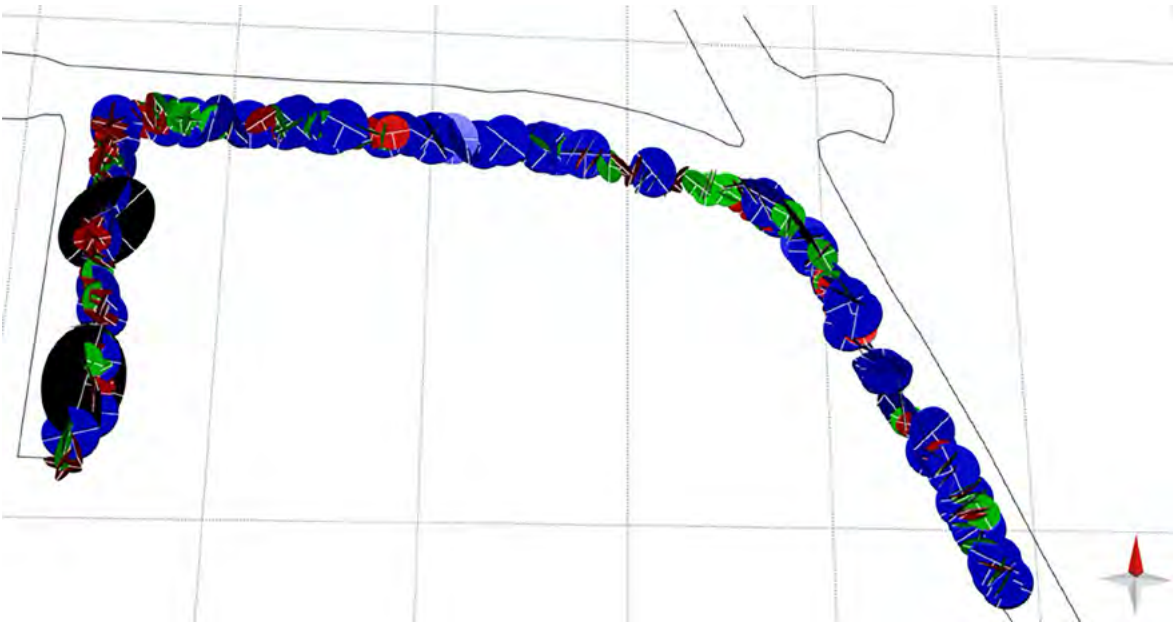
Hlavní motivací tohoto projektu je nedostatek informací o hydraulických vlastnostech hornin krystalinika Českého masivu v hloubkách odpovídajících HÚ. Detailní popis konektivity puklinových systémů tvoří jeden z nejdůležitějších příspěvků ke zlepšení porozumění transportu radionuklidů.

Mezi cíle projektu patří získání dat pro vývoj hydrogeologických modelů pro simulace proudění vody a přidruženého transportu radionuklidů. Program zahrnuje geologickou a hydrogeologickou charakterizaci vybraného horninového bloku (včetně popisu diskrétních hydraulicky vodivých struktur) v měřítku metrů až desítek metrů s důrazem na popis konektivity hydraulicky vodivých puklin. Hlavním nástrojem studia jsou hydraulické testy v jádrových vrtech (v jednotlivých vrtech, nebo mezi vrty), následné testy s použitím stopovačů a jejich matematické simulace.

In-situ aktivity obnáší postupnou tvorbu a testování v několika vrtech, které protínají vybraný horninový blok nacházející se mezi chodbami BZ-XIIJ, BZ₁-XII a ZK-2. Jednou z výhod vybraného bloku je jeho přístupnost ze tří stran, což usnadnilo počáteční tvorbu kompletního DFN (Discrete Fracture Network) modelu. Nyní je projekt ve fázi charakterizace pilotního vrtu S-27 s délkou 58 m. Všechny experimentální vrty budou charakterizovány pomocí základní sady karotážních metod (například optický a akustický televizor) a hydraulických testů. Následně budou vrty vystrojeny multipakovými systémy. In-situ práce budou doprovázeny modelováním, zahrnujícím tvorbu strukturního hydrogeologického modelu studovaného horninového bloku a jeho postupnou aktualizaci za pomoci získávaných nových dat z vrtů. Poslední fází projektu bude simulace stopovací testů pomocí vytvořeného modelu.



↑ Příklad části fotogrammetrického modelu zájmového bloku horniny s vyznačenými orientacemi strukturních měření



↑ Znázornění všech měřených a vynesných struktur ve studovaném bloku



↑ Geochemická měření v pilotním vrtu S-27



10 m

20 m

10 m

Závěr

První projekty realizované v rámci experimentálního programu v PVP Bukov jsou zaměřeny především na popis a ověření vlastností horninového prostředí a monitoring procesů v něm probíhajících. Tyto projekty přinesou informace nezbytné pro další výzkumné aktivity a návrhy in-situ experimentů, které budou reflektovat konkrétní potřeby přípravy HÚ.

Další informace o PVP Bukov naleznete na webových stránkách www.pvpbukov.cz.

Informační koutky a střediska:

SÚRAO, Praha

Úložiště Richard, Litoměřice

Úložiště Bratrství, Jáchymov

Úložiště Dukovany, Rouchovany



Lidé na projektech – náš tým



Mgr. Lukáš Vondrovic, Ph.D.

Vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK, magisterský obor Strukturní geologie. Ve stejném oboru navázal na doktorské studium, které dokončil v roce 2015.

V SÚRAO pracuje od roku 2014 jako vedoucí Oddělení geologických bariér, v roce 2018 se stal vedoucím Úseku přípravy úložišť RAO. Měl na starosti návrh, výstavbu a poté charakterizační fázi PVP Bukov. Aktuálně se podílí na organizaci provozu, rozvoji pracoviště a je manažerem některých konkrétních výzkumných projektů na PVP Bukov.



Ing. Jan Smutek, Ph.D.

Vystudoval magisterský program v oboru Inženýrství životního prostředí na Fakultě stavební ČVUT v Praze, kde pokračoval doktorským studiem v oboru Fyzikálního a materiálového inženýrství, které dokončil v roce 2017.

V SÚRAO pracuje od roku 2017 jako specialista realizace experimentů. Podílí se na organizaci provozu Podzemního výzkumného pracoviště Bukov, přípravě experimentálního plánu a dále má na starosti celkovou koordinaci výzkumných aktivit a řízení některých konkrétních projektů na tomto pracovišti.



Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.

Vystudoval Fakultu stavební ČVUT v Praze, obor Konstrukce a dopravní stavby, zaměřením geotechnika (ukončení v roce 1994). V roce 2004 získal autorizaci pro geotechniku a v roce 2005 autorizaci pro zkoušení a diagnostiku staveb. V roce 2013 obhájil disertační práci a byl jmenován odborným znalcem ČBÚ, následně byl jmenován i soudním znalcem.

Dlouhodobě se věnuje problematice podzemních staveb, projektové činnosti a posudkovým pracím v oblasti geotechniky a trhacích prací. V SÚRAO pracuje od roku 2015 jako vedoucí Oddělení projektových a inženýrských činností. Na PVP má na starosti aktivity spojené s provozem a rozvojem pracoviště.



Ing. Marek Vencel

Vystudoval Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu Ostrava, Fakultu hornicko-geologickou, obor Geologické inženýrství (Absolvoval v roce 2012). Dlouhodobě se věnuje řešení českých i mezinárodních projektů týkajících se problematiky hydrogeologie a modelování THMC procesů.

V SÚRAO pracuje od roku 2012 v Oddělení geologických bariér. V rámci aktivit na PVP Bukov je manažerem projektu hydrogeologického monitoringu.



Mgr. Jozef Urik

Vystudoval Univerzitu Karlovu, Přírodovědeckou fakultu, obor Užitá geofyzika (absolvoval v roce 2005). Je držitelem osvědčení o odborné způsobilosti v geofyzice (MŽP) a také osvědčení pro práci s uzavřenými zdroji ionizujícího záření jak v České republice, tak i na Slovensku.

Před působením v SÚRAO se zabýval především geofyzikálními pracemi v projektech zaměřených na sanaci environmentálních zátěží, hydrogeologii, stavební a inženýrskou geologii. Jeho hlavní náplní práce je příprava a vedení geofyzikálních projektů SÚRAO. V SÚRAO pracuje od roku 2015 v Oddělení geologických bariér. V rámci aktivit na PVP Bukov je manažerem projektů týkajících se geofyzikálních metod.



Ing. Markéta Dohnálková

Vystudovala Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu Ostrava, Fakultu stavební, obor Geotechnika se zaměřením na podzemní stavby (absolvovala v roce 2009). Věnuje se zejména technickým projektům zaměřeným na konstrukční řešení HÚ, in-situ experimentům a mezinárodním vědeckým projektům.

V SÚRAO pracuje od roku 2009 na pozici vedoucí specialista pro technický rozvoj v Úseku přípravy úložišť RAO. Podílela se na přípravě projektu výstavby PVP Bukov a aktuálně pracuje na přípravě nových výzkumných projektů pro toto pracoviště.



Ing. Lucie Hausmannová, Ph.D.

Vystudovala ČVUT v Praze, Fakultu stavební, obor Inženýrství životního prostředí se zaměřením na geotechniku (absolvovala v roce 2011), na což navázala doktorským studiem v oboru Fyzikální a materiálové inženýrství, které dokončila v roce 2017. Dlouhodobě se věnovala laboratornímu zkoušení zemin (převážně bentonitu) a pracovala na vědeckých projektech jak českých, tak mezinárodních.

V SÚRAO pracuje od roku 2017 v Oddělení vývoje systému inženýrských bariér a od roku 2019 je vedoucím tohoto oddělení. Jako specialista přes materiály inženýrských bariér se podílí na řízení projektu Interakčního experimentu.



Ing. Lucie Gorčica

Vystudovala Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu Ostrava, Hornicko-geologickou fakultu, obor Geologické inženýrství.

V SÚRAO pracuje od roku 2014 v Oddělení projektových a inženýrských činností. Při své práci se věnuje zejména projektům v oblasti projektového řešení HÚ. V rámci prací na PVP Bukov má na starosti sklad hmotné dokumentace.



Mgr. Lucie Mareda

Vystudovala magisterský obor Geochemie životního prostředí na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy, který dokončila v roce 2007. Před působením na SÚRAO pracovala v soukromé společnosti, kde se věnovala geologii a projektovému managementu.

Na SÚRAO pracuje od roku 2020 na pozici technický specialista v Oddělení geologických bariér. V rámci činností na PVP Bukov se podílí na projektech souvisejících s geologií, geochemií a dokumentací geologických prací.



Mgr. Ondrej Mikláš

V roce 2017 dokončil studium Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v oboru geologie.

Před působením v SÚRAO pracoval na hydrogeologických a transportních matematických modelech v rámci sanačních projektů. V SÚRAO pracuje od roku 2018 v Oddělení bezpečnosti na pozici Specialista pro bezpečnostní rozborů, kde se zabývá zejména hydrogeologií, transportem radionuklidů a matematickým modelováním.

www.pvpbukov.cz

V roce 2020 vydala SÚRAO
Správa úložišť radioaktivních odpadů
Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

www.surao.cz