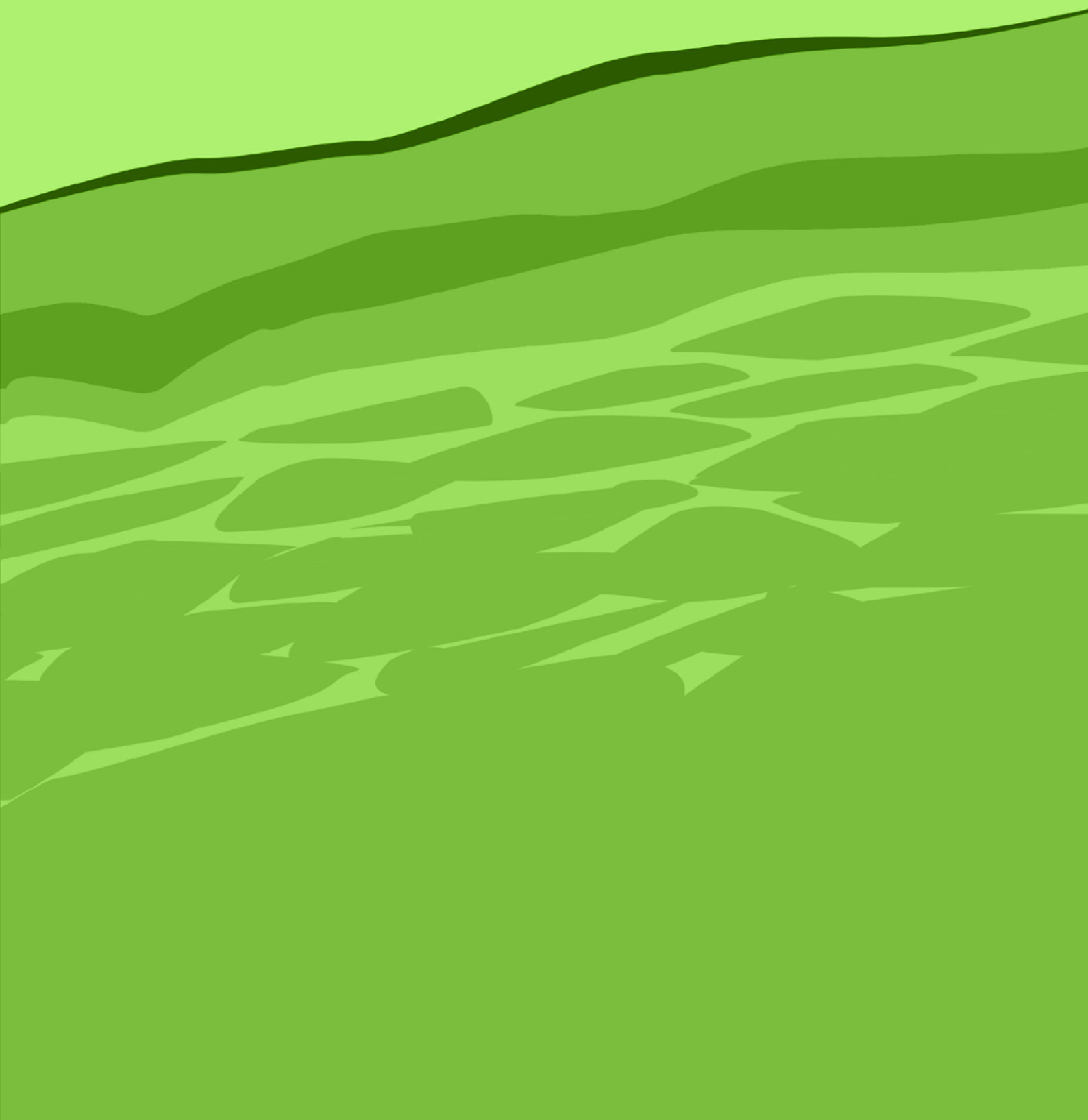
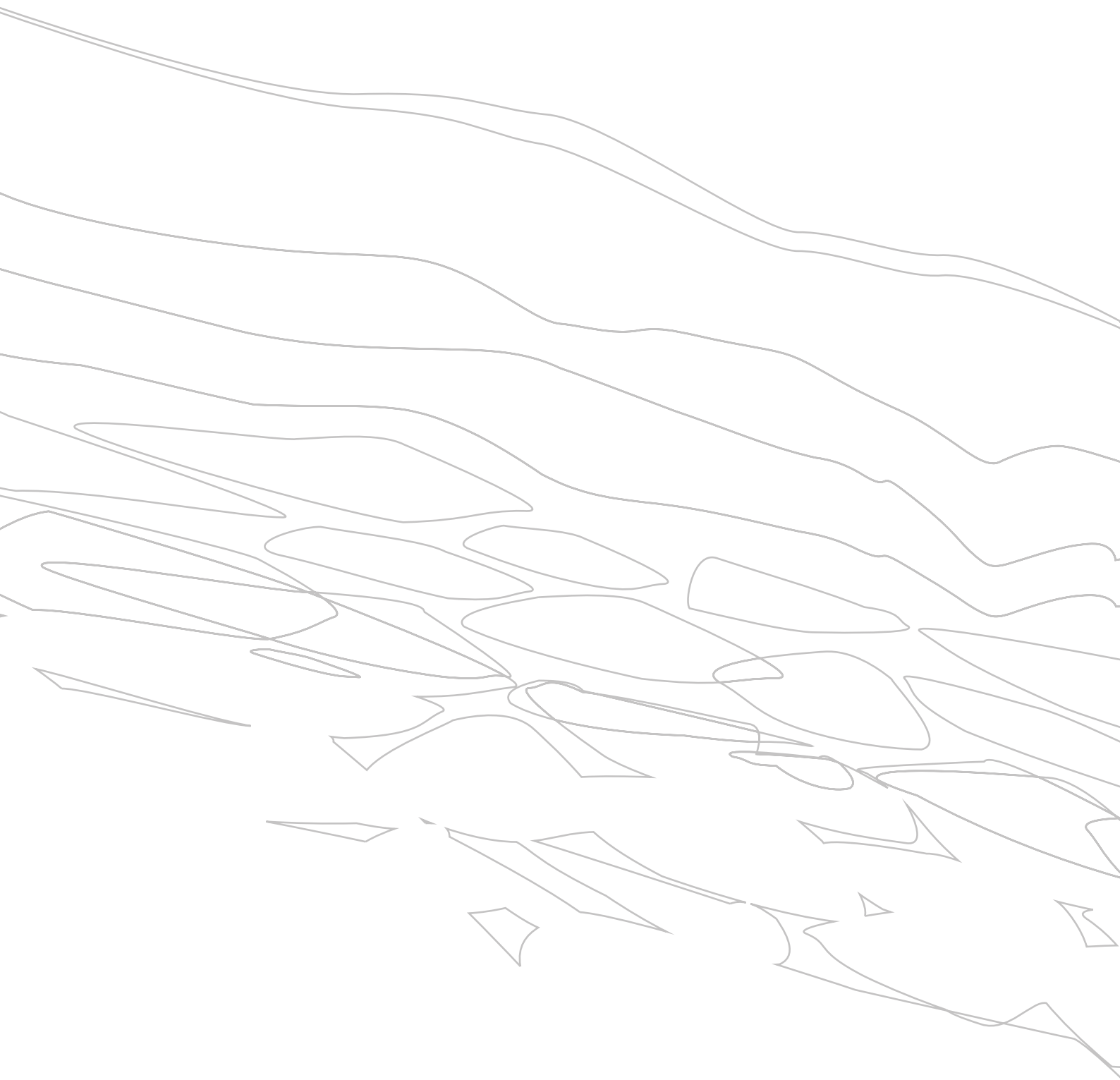


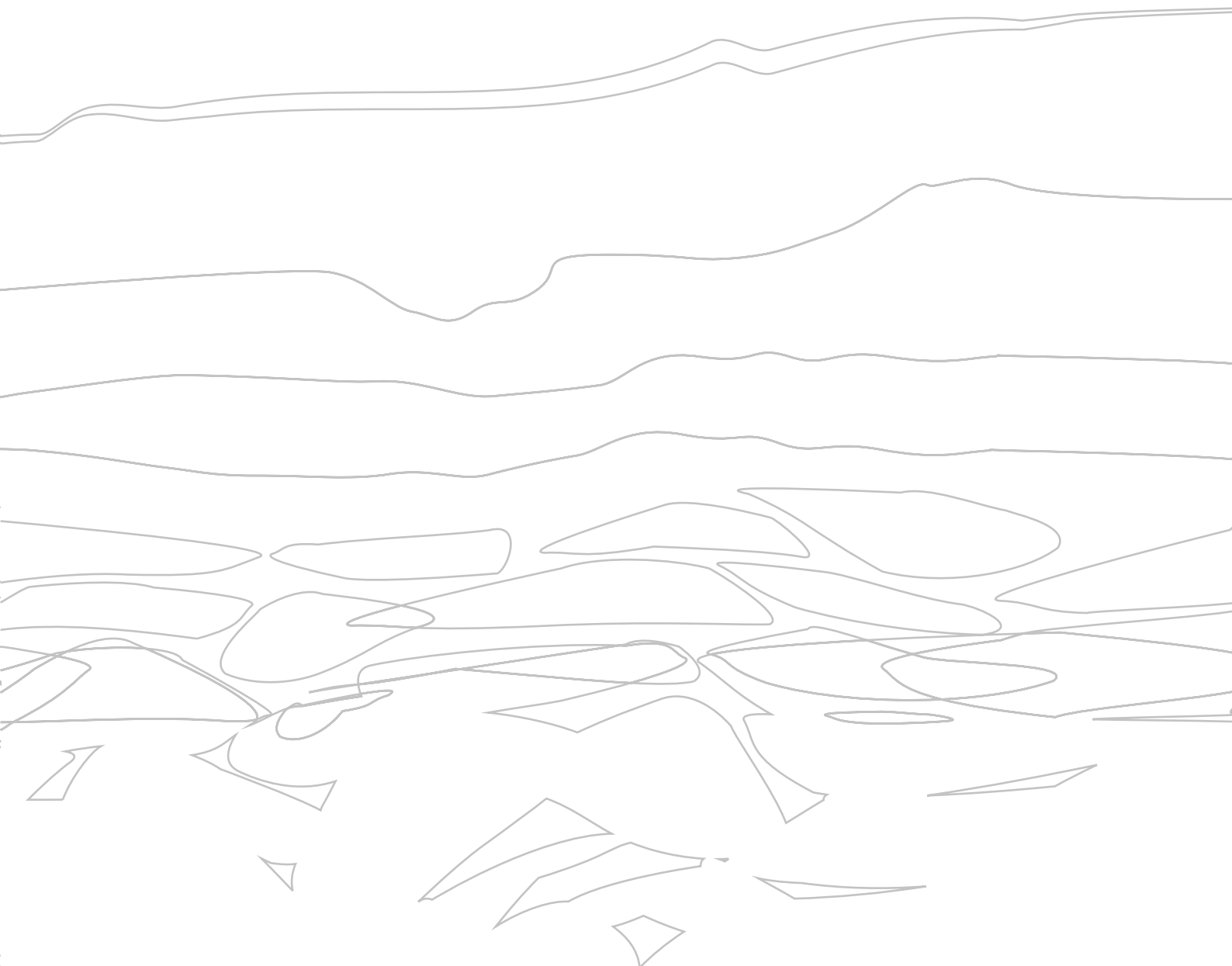
Přírodní analog Ruprechtov





OBSAH

1.1	Úvod.....	4
1.2	Přírodní analog – co to je a k čemu může sloužit v rámci vývoje hlubinného úložiště v ČR.....	4
1.3	Přírodní analog Ruprechtov	7
1.4	Český koncept hlubinného úložiště	11
1.5	Použité metodiky při výzkumu.....	12
1.6	Jak přispěl výzkum k vývoji a případně bezpečnosti hlubinného úložiště	14
1.7	Závěry.....	14
1.8	Literatura	15
1.9	Slovníček pojmů.....	16
2.1	Obrazová příloha	17



1.1 ÚVOD

Tato publikace vychází z výsledků dlouholetého výzkumu na přírodním analogu Ruprechtov a snaží se jednoduchou formou přiblížit, co se pod tímto pojmem skrývá a jaký význam má pro přípravu budoucího hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů v ČR. Publikace vznikla ve spolupráci ÚJV Řež, a. s. a SÚRAO.

1.2 PŘÍRODNÍ ANALOG – CO TO JE A K ČEMU MŮŽE SLOUŽIT V RÁMCI VÝVOJE HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ V ČR

Co znamená spojení „Přírodní analog“

Nejprve si vysvětlíme pojem analog ve vztahu k připravovanému hlubinnému úložišti. Studium analogií znamená výzkum přírodních, antropogenních, archeologických nebo průmyslových systémů, které vykazují určité podobné rysy se systémem úložiště radioaktivního odpadu a jeho okolím (Miller, 2004). K pochopení nám pomůže následující tabulka:

Proces, který chceme sledovat a je důležitý pro bezpečnost hlubinného úložiště	Kde hledat jeho analogii – příklady
Koroze kontejneru / úložného obalového souboru	Industriální a archeologické artefakty, přírodní materiály
Porušení kontejneru / úložného obalového souboru	Uranové rudy (zejména s minerálem uraninitem), přírodní skla, archeologické artefakty, cementové materiály, přírodní bitumeny, celulóza
Stabilita radionuklidů	Přírodní vody obohacené přírodními radionuklidy (např. podzemní vody z uranových ložisek), vysoce zásadité prameny
Transport radionuklidů	Uranová ložiska, podpovrchové atomové testy, únik radionuklidů do životního prostředí, přírodní koloidy
Oxidačně redukční procesy	Přírodní oxidačně redukční fronty v uranových ložiscích, redukční zóny ve skládkových procesech
Difúze do horninové matrice	Zlomové zóny v / okolo žilných mineralizací (např. uranonosná žíla)

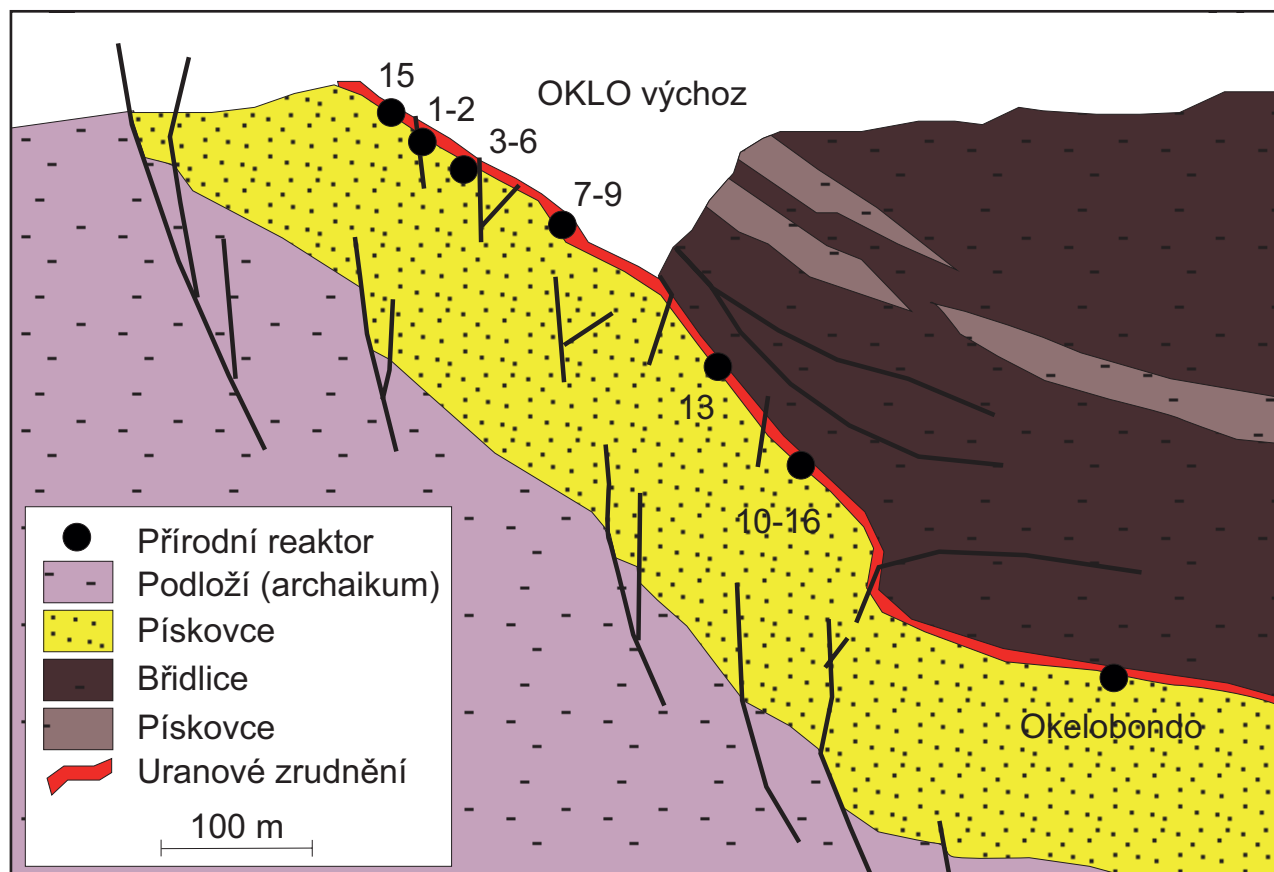
Označení „Přírodní analog“ se týká všech přírodních systémů. Důležité je si uvědomit, že žádný z přírodních systémů není zcela identický se systémem hlubinného úložiště, což znamená, že není kompletním analogem. Studujeme tedy vždy jen určitou část systému. Proč vlastně studujeme přírodní analogy a čím mohou přispět k vývoji hlubinného úložiště? Zejména je důležitá dlouhodobá bezpečnost hlubinného úložiště, kterou je nutno zaručit na velmi dlouhou dobu až stovky tisíc let. Jelikož experimenty, a to i ty dlouhodobé, mohou probíhat omezenou dobu, jsou přírodní analogy výhodné pro studium dlouhodobých procesů. Můžeme například studovat uranová ložiska, která vznikla před milióny let a v současnosti sledovat, zda a v jaké míře se uran šířil do okolí. Můžeme rovněž sledovat i jiné procesy, jako třeba vývoj vulkanismu či seizmické aktivity. Získané výsledky nám mohou posloužit pro vývoj, testování a validaci (ověřování) modelů pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště.

Jaké jsou nejzajímavější přírodní analogy ve světě

Pro zajímavost zde uvedeme výběr nejzajímavějších přírodních analogů ve světě, z několika desítek, které byly dlouhodobě zkoumány.

Přírodní reaktor – Oklo, Gabon, Afrika

Jedná se o dosud jediný známý případ přírodní štěpné reakce v extrémně bohatém uranovém ložisku (místy až 70 % UO_2) v prostředí sedimentů spodního proterozoika (2,5 - 1,6 mld. let), který byl objeven v roce 1972. Přírodní reaktory dosáhly kritického stavu před cca 2 mld. let v místech s vysokým výskytem uranu. Předpokládá se, že štěpná reakce probíhala přerušovaně po dobu statisíců až milionů let za teplot okolo 600 °C a tlaků 80 až 100 MPa. Na lokalitě bylo nalezeno 17 přírodních reaktorů, viz. obrázek.



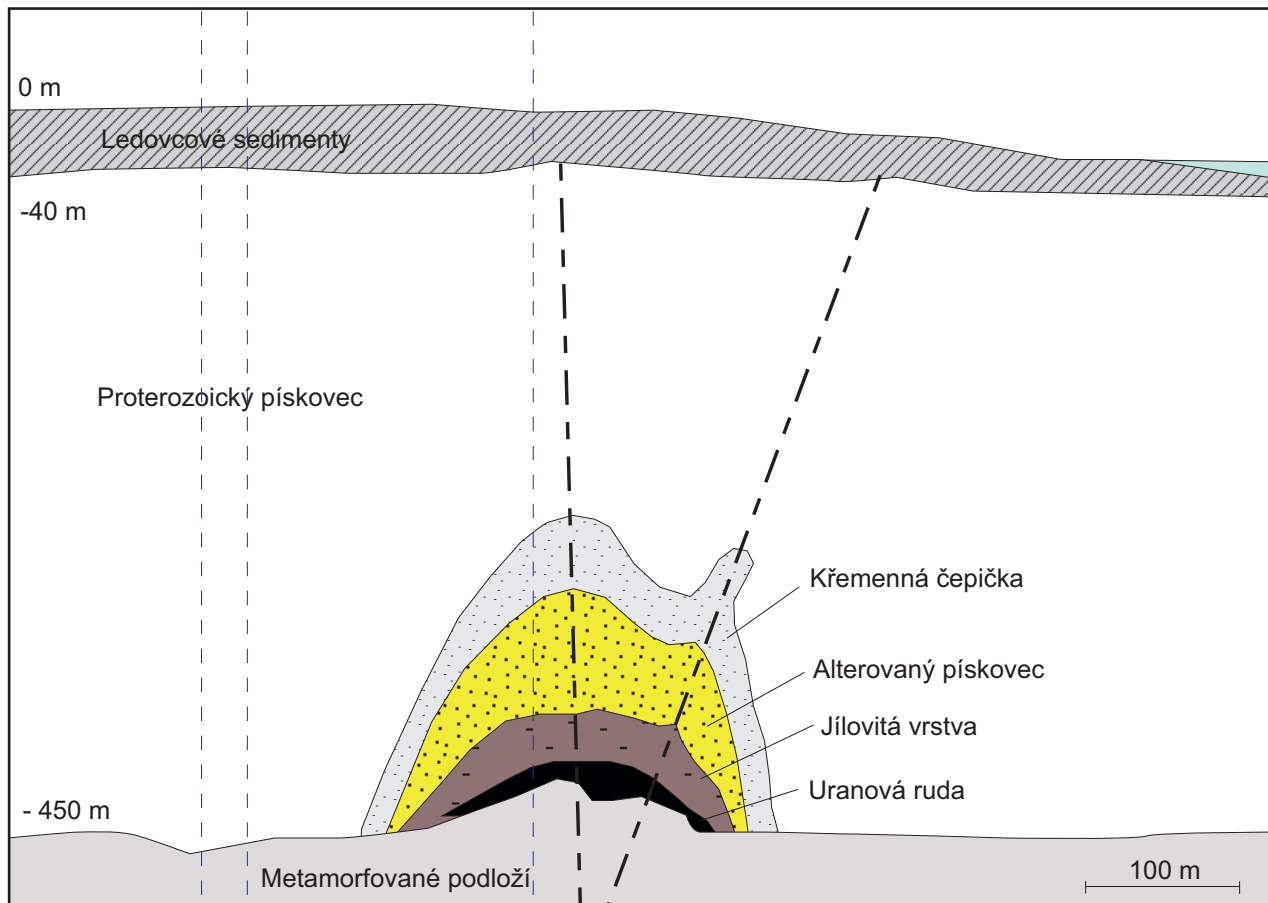
Schematický geologický řez (překresleno dle Mossman et al., 2008).

Z vědeckého hlediska byl a stále je studován zejména fenomén přírodního reaktoru. Nicméně provedeny byly i studie analogií k hlubinnému úložišti, které zahrnovaly stabilitu oxidu uraničitého, transport a zachycení radionuklidů, rozklad a radiolýzu bitumenů a produkci radiolytických oxidantů. Novodobější studie se pak zaměřily na přírodní reaktory 10, 13 a 16, které se svými podmínkami více blíží redukčním podmínkám hlubinného úložiště.

Literatura: Jakubick a Church (1986), Curtis et al. (1989), Loss et al. (1984), Brookins (1990), Chapuis a Blanc (1993).

Uranové ložisko – Cigar Lake, Kanada, Severní Amerika

Ložisko Cigar Lake je jedno z nejbohatších ložisek uranu na světě objevené v roce 1981. Rudní tělesa v podobě plochých čoček s obsahem uranu až 55 % jsou uložena v hloubce okolo 430 m pod dnešním povrchem v prostředí proterozoických pískovců, blízko nad kontaktem s podložním, vysoce metamorfovaným archaikem (3,8 - 2,5 mld. let). Rudní čočky s délkou až 2 km, šířkou 50 – 100 m a mocností 1 – 20 m jsou téměř úplně uzavřeny v 10 – 50 m mocné vrstvě jílu, v níž je převažujícím jílovým minerálem illit, jak zjednodušeně ukazuje následující obrázek.



Schematický geologický řez (překresleno dle Goodwin et al., 1989).

Využití lokality jako přírodního analogu se datuje do let 1983 - 1993. Struktura ložiska velmi připomíná systém navrhovaný pro hlubinné úložiště (obdobná hloubka, uranová ruda je obklopena jílem, který je částečně analogický výplňovému materiálu kolem úložných obalových souborů; v případě Cigar Lake jde o illit, většina úložných konceptů uvažuje v hlubinném úložišti montmorillonit). Proto byl velký důraz kladen na studium stability uraninitu jako přírodního analogu vyhořelého paliva a studium mechanismů, které způsobily zádrž radionuklidů v rudním tělese. Mimořádná pozornost byla věnována otázce koloidů. Zajímavostí je, že ložisko vzniklo před 1,3 miliardou let a do dnešních dnů nenajdeme na povrchu žádnou známku o jeho existenci. Uranové ložisko bylo od okamžiku svého vzniku velmi dobře chráněno od okolí, a to zejména z důvodu přítomnosti jílové horniny, obklopující uranovou rudu, a díky redukčním podmínkám (podzemní voda kolem ložiska neobsahuje žádný kyslík).

Literatura: Cramer a Smellie (1994).

Bronzový kanón – válečná loď Kronan, Baltské moře

Bronzové dělo bylo vyzvednuto z vraku válečné lodi švédského námořnictva Kronan, která se potopila v námořní bitvě v roce 1676 v Baltském moři. Dělo bylo částečně zabořeno v jílových sedimentech ústím hlavně dolů. Tento archeologický artefakt posloužil jako analog ke korozi měděných kontejnerů švédského konceptu KBS-3, jelikož dělo bylo vyrobeno z bronzu, s vysokým obsahem mědi a okolní jíl byl složením podobný uvažovanému jílu, který bude v úložišti kontejnery obklopotovat. Byla provedena podrobná analýza bronzového děla i okolního sedimentu. Korozní rychlost byla určena na 0,15 μm za rok, rovnoměrně po celém povrchu děla. To by například znamenalo, že kontejner z obdobného materiálu a za obdobných podmínek o tloušťce stěny 5 cm by zkorodoval za 333 tisíc let. Nicméně opět si musíme uvědomit, že jde jen o analog. Bronzové dělo obsahovalo ve slitině nečistoty, obklopoval jej jíl nasycený agresivní mořskou vodou a prostředí obsahovalo kyslík. V reálném konceptu švédského hlubinného úložiště je uvažován kontejner z vysoce čisté mědi, méně slané podzemní vody a prostředí bez kyslíku. Je však možné se z těchto analogů poučit a udělat výsledné řešení tak, aby bylo maximálně bezpečné.

Literatura: Neretnieks (1986), Hallberg et al. (1987)

1.3 PŘÍRODNÍ ANALOG RUPRECHTOV

Lokalita Ruprechtov jako přírodní analog

Výběr přírodního analogu by neměl být náhodný, ale měl by splňovat určitá kritéria, aby mohly být získané poznatky přenositelné pro systém hlubinného úložiště. Chapman et al. (1984) definovali následně pět základních pravidel pro výběr přírodních analogů:

1.	Studovaný proces musí být jasně definován. Další procesy, které mohou být zahrnuty v geochemickém systému, musí být možné identifikovat a testovat, aby mohl být jejich vliv „odečten“.
	V případě Přírodního analogu Ruprechtov byla pozornost zaměřena na výskyt přírodní uranové mineralizace a její stability v prostředí jílových hornin.
2.	Analogie chemická by měla být dobře identifikovatelná. Není vždy možné studovat chování minerálního systému, chemického prvku nebo izotopu zcela analogického zamyšlenému. Omezení daná touto skutečností by měla být plně známa.
	Studium se zaměřilo na chování prvků uranu a thoria v prostředí jílových hornin (anoxické prostředí), které jsou součástí inventáře vyhořelého jaderného paliva.
3.	Hodnoty různých fyzikálně-chemických parametrů (tlak, teplota, pH, oxidačně-redukční potenciál, koncentrace atd.) musí být stanovitelné, nejlépe více nezávislými metodami a neměly by se příliš lišit od prostředí uvažovaného v systému ukládání.
	Hodnoty fyzikálně-chemických parametrů byly měřitelné díky vrtným pracím a hydrogeologickým vrtům. Po otevření kaolinového lomu na lokalitě bylo uvažováno s možností odběru a měření přímo v otevřeném lomu. Nicméně podmínky přírodního systému odpovídaly spíše přípovrchovým zónám pokryvných útvarů nad hostitelskou horninou.
4.	Hranice studovaného systému by měla být definovatelná (tj. zda je otevřený nebo uzavřený, jaké množství materiálu bylo zahrnuto ve studovaném procesu).
	Lokalita byla definována svojí geologickou strukturou (oddělená pánev) a vznikem ložiska (sedimentární ložisko). Otevřenost či uzavřenost systému (procesy spojené s uranovou mineralizací) byla testována v průběhu výzkumu.
5.	Časová škála studovaného procesu musí být měřitelná, protože tento faktor má pro přírodní analog největší význam.
	Předpokládalo se, že dostupné radioizotopové metody datování budou vyhovující pro časový popis jednotlivých procesů (datování hornin, uranové mineralizace, podzemních vod).

Při výběru této konkrétní lokality hrály kromě výše zmíněných kritérií roli i zcela praktické věci. Zejména se jednalo o dostupnost detailních archivních informací z průzkumu uranového zrudnění, na jejichž základě bylo možno vymezit prostor, v němž se zrudnění nachází a navíc leží v hloubce, která nevyžadovala rozsáhlé důlní práce.

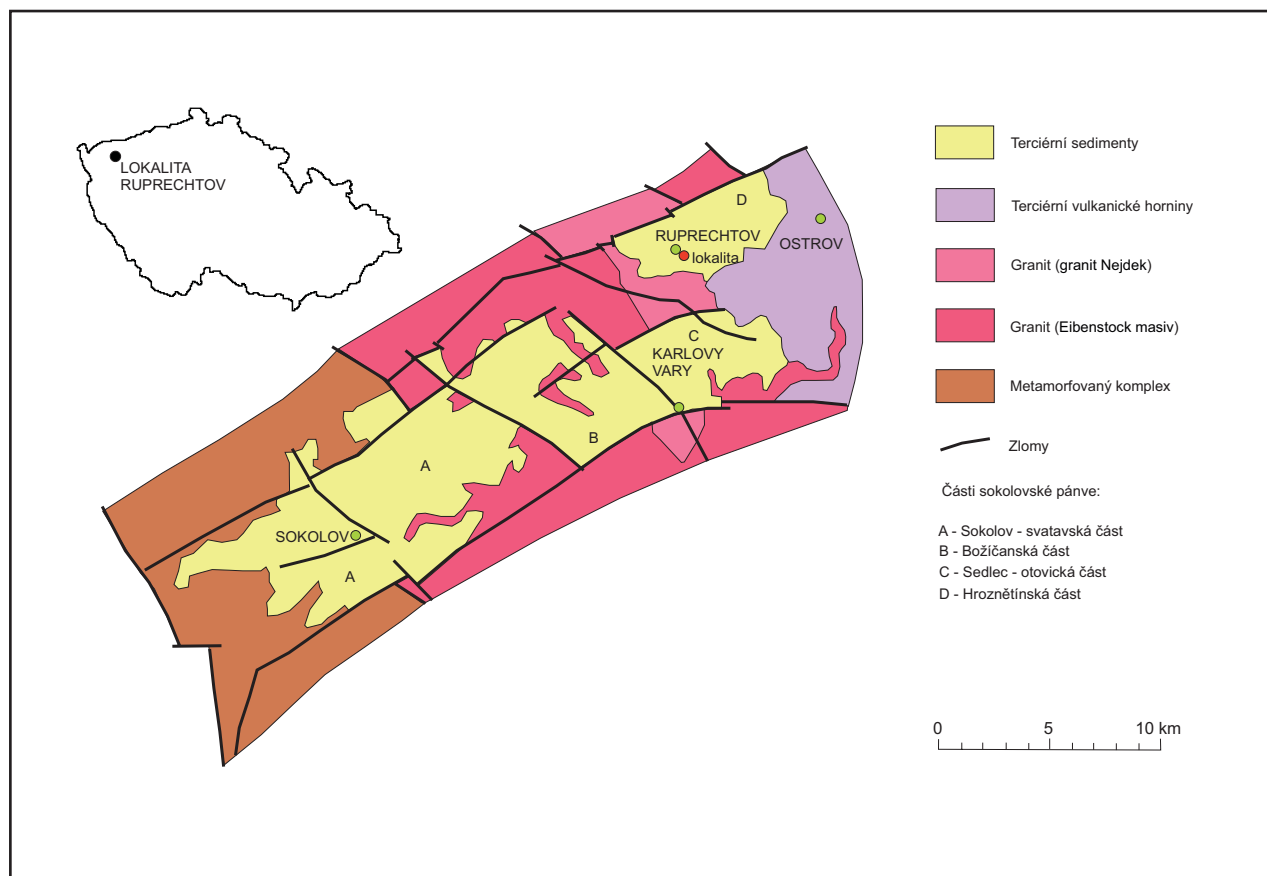
Historie výzkumu (1994 – 2012)

Již v devadesátých letech započaly první snahy o začlenění výzkumu přírodního analogu do vznikajícího programu vývoje hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva a v vysokoaktivních odpadů. V roce 1995 bylo vybráno několik potenciálních lokalit s přírodním výskytem uranu, které by mohly sloužit pro výzkum jako přírodní analog. V roce 1997 byla na

základě tzv. atomového zákona zřízena státní organizace Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), která převzala kompetence týkající se nakládání s radioaktivními odpady v ČR. Výzkum přírodního analogu na Ruprechtově byl včleněn do českého programu přípravy hlubinného úložiště a podrobněji rozpracován. Důležité je také zmínit, že již od samých začátků jsme navázali spolupráci s významnou německou institucí Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), která se následně stala naším dlouhodobým partnerem. Následoval rozsáhlý projekt s názvem „Přírodní analog“ (1999 – 2005), v rámci kterého byla na lokalitě odvrtna síť hydrogeologických vrtů, odebrány stovky vzorků hornin a podzemních vod, provedeny stovky různých analýz a výpočtů a matematických modelů. Hlavním cílem celého snažení bylo co nejlépe popsat studovanou lokalitu, probíhající procesy a následně přenést závěry z projektu přírodního analogu do hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště. Získané výsledky byly prezentovány a dále rozpracovány v mezinárodním integrovaném projektu s názvem „Fundamental processes of radionuclide migration“, zkráceně FUNMIG (2005 – 2008), jenž byl součástí 6. rámcového programu Evropské komise. Poté již následovaly drobnější projekty zaměřené na konkrétní nevyřešené otázky jako je vliv organické hmoty na migraci uranu v projektu „Studium vlivu organické hmoty na migraci uranu“ (2008 – 2009). Projekt s názvem „Studium změn redoxních podmínek v horninovém prostředí“ (2009 – 2012) naopak umožňoval, díky postupující těžbě kaolínu, sledovat vliv měnících se oxidačně redukčních podmínek na migraci uranu v tomto prostředí.

Základní popis lokality

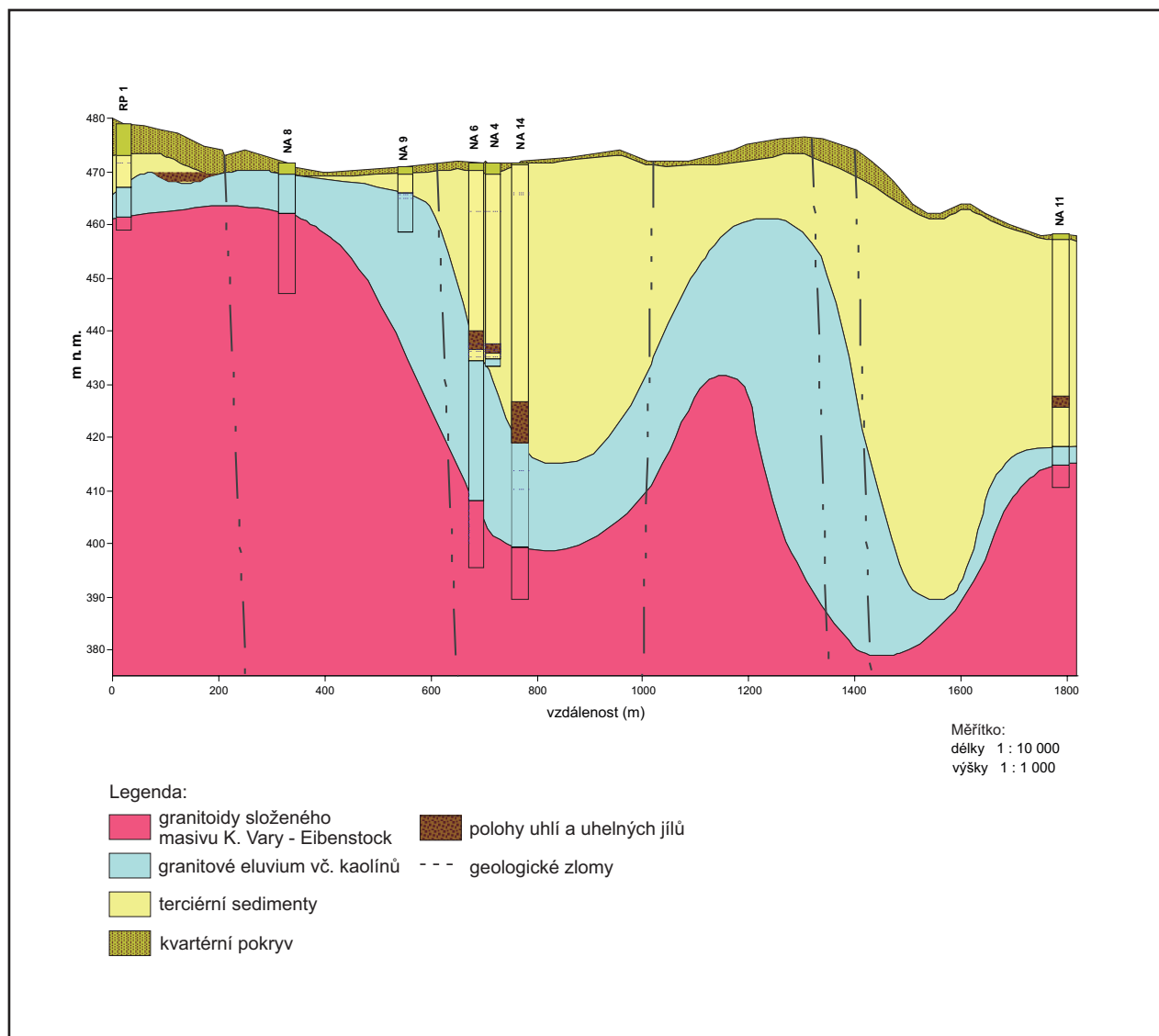
Lokalita Přírodního analogu Ruprechtov se nachází v Karlovarském kraji, cca 8 km severně od Karlových Varů a 6 km západně od Ostrova. Geologicky leží lokalita v sokolovské pánvi terciérního stáří (cca 35 miliónů let). Tektonicky ohraničený příkop, protažený ve směru západο-jihozápad a východo-severovýchod, má délku 36 km a šířku 9 km. Severní omezení je tvořeno krušnohorským zlomem, jižní pak zlomem oherským. Maximální známá mocnost terciérních sedimentů je 360 m. Východní část pánve, ve které se lokalita Ruprechtov nachází, je označována jako hroznětínská část. Od hlavní části je v současnosti oddělena denudací (souhrnem pochodů vedoucích k celkovému snížení povrchu). Hroznětínská část pánve vykazuje proti západněji ležícím částem sokolovské pánve některé významné odlišnosti, jako je výrazné ovlivnění litologie sedimentů aktivou vulkanického komplexu Doupovských hor, absence těžitelných slojí hnědého uhlí či výskyt ložisek uranu.



Geologická skica sokolovské pánve.

Na lokalitě Ruprechtov je podloží tvořeno granitoidy. V nadloží se pak nachází sedimenty starosedelského souvrství. Maximální mocnost těchto sedimentů dosahuje v centrální části pánve 42 m a sedimenty mají pouze lokální rozšíření a na řadě míst zcela chybí. Typickými horninami starosedelského souvrství jsou písky, pískovce a slepence s čočkami prachovito-písčitých kaolinických jílů. Jde o sedimenty říčního původu. Nadložní novosedelské souvrství až 85 m mocné se ukládalo v období intenzivních tektonických pohybů a vulkanické aktivity, zejména vulkanického komplexu Doupovských hor. K tomuto souvrství náleží naprostá většina terciérních sedimentů v hroznětínské části pánve. Davidovské vrstvy jsou základním členem novosedelského souvrství. Ukládaly se po hiátu (přerušení sedimentace) buď na starosedelském souvrství nebo přímo na kaolinizovaných granitech. Jsou tvořeny převážně nevytřídněnými klastiky, charakteru štěrkovito-písčitých kaolinických jílů až jílovitých štěrků. Davidovské vrstvy obsahují nejstarší stopy vulkanické aktivity. Nejvyšší jednotku novosedelského souvrství tvoří chodovské vrstvy. Jejich hranice s podložními vrstvami je konkordantní (bez přerušení sedimentace). Vrstvy jsou tvořeny komplexem vulkanoklastik, převážně tufů. V přestávkách vulkanické aktivity vznikaly tenké polohy sedimentů bohatých organickou hmotou. Horniny jsou vesměs změněné argilitizací na montmorillonitické jíly (až bentonity). Mocnost chodovských vrstev výrazně stoupá od západu k východu (směrem k Doupovským horám). V otovické části pánve dosahuje mocnosti až 80 m (Rojík; in Pešek et al., 2010).

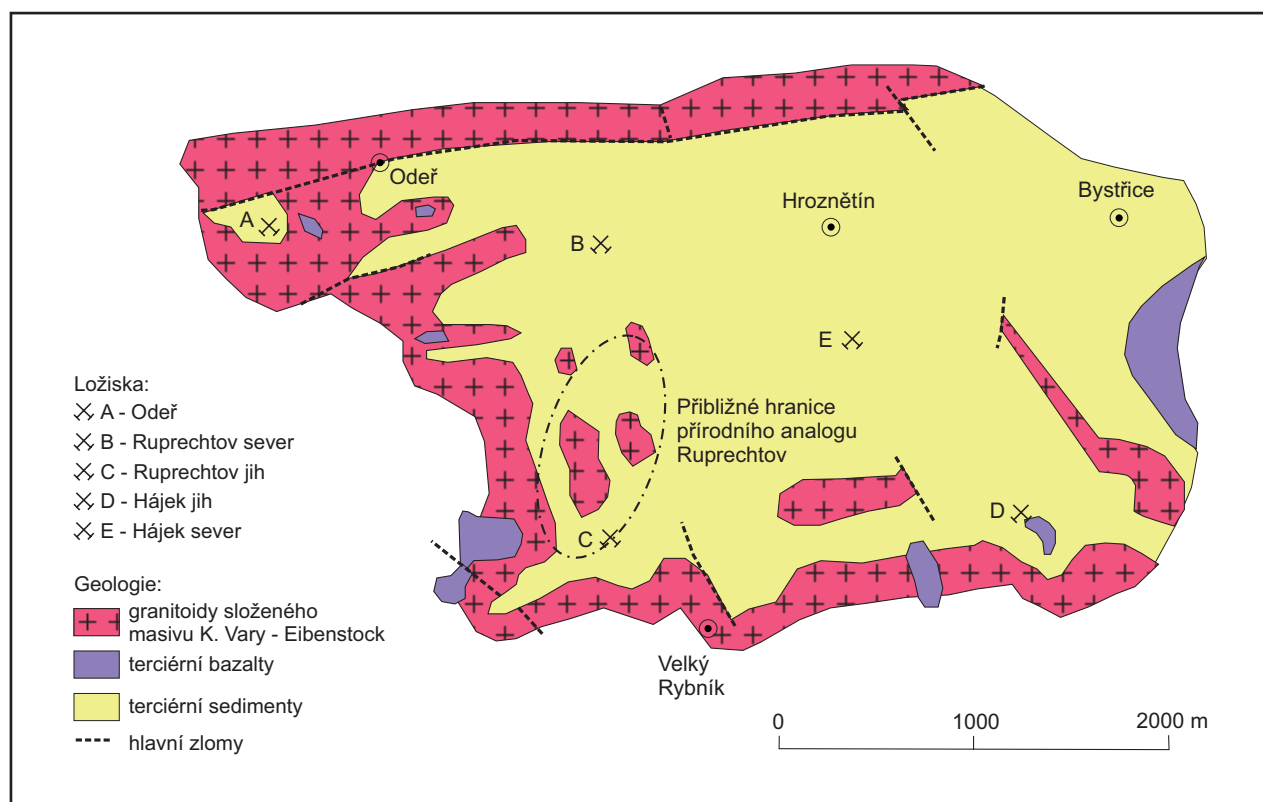
Jak vypadá geologická situace přímo na lokalitě, ukazuje následující geologický řez, který je pro větší názornost velmi silně převýšený.



Geologický řez lokalitou Ruprechtov

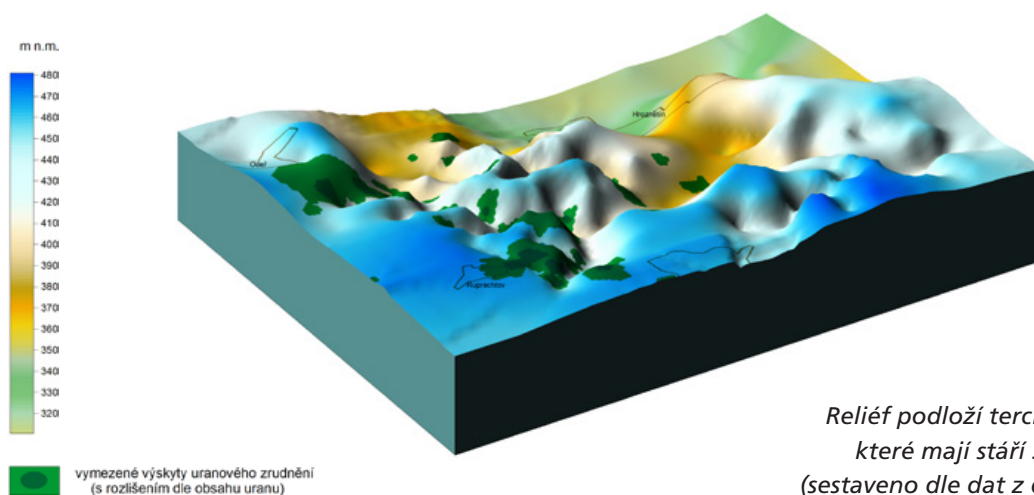
(data DIAMO, doplněná popisy vrtných jader z Přírodního analogu Ruprechtov)

Na základě leteckého gama průzkumu a podrobného vrtného průzkumu v 60. letech bylo v prostoru hroznětínské části pánve vytipováno 10 oblastí s uranovou mineralizací a 4 další v izolovaných relikttech terciérních sedimentů v těsném okolí hroznětínské části pánve. Na základě výsledků průzkumu bylo těženo 5 malých ložisek. Význam těchto ložisek byl však jen velmi malý. Bylo z nich vytěženo 355,8 t uranu (kovu), tedy přibližně 0,3 % uranu vytěženého v České republice za období 1946 – 2000.



Pozice v minulosti těžných ložisek uranu v hroznětínské části pánve (upraveno podle Kafka ed. 2003).

Z původních průzkumů a nových vrtů bylo potvrzeno, že zejména na spodní části novosedelského souvrství je vázán uran s koncentracemi v prvních desetínách procenta (v průběhu výzkumu byla zjištěna max. koncentrace uranu pouze 600 mg/kg). Zrudnění je vázáno většinou v blízkosti jílovito-organických vrstviček (částečně hnědé uhlí) v poměrně úzkém horizontu o mocnosti od 1 do 2,7 m, v nevelké vzdálenosti od hranice kaolinových sedimentů. Vzhledem ke členitosti povrchu podloží kaolínů je rozmístění uranového zrudnění nestejnorodé a nejvyšší koncentrace uranu lze nalézt na svazích jednotlivých prohlubní. To ukazuje následující obrázek.



Reliéf podloží terciérních sedimentů, které mají stáří 35 – 15 miliónů let (sestaveno dle dat z databáze DIAMO).

Z mineralogického hlediska je uran na lokalitě Ruprechtov přítomen v podobě minerálů pocházejících z původního zdroje / granitu (zirkon, monazit, xenotim, uranový leukoxen) a dále novotvořenými fázemi uranu, jako jsou uraninit či fosfátový minerál ningyot a jeho obdoba tristamit (Hercík et al., 2005). Podstatná část mineralizace (odhadována až na 50 %) je ovšem tvořena velmi malými zrny, tzv. uranovou černí, která je v podstatě nezjistitelná běžnými analytickými přístroji. Uraninit, fosfátové minerály a uranové černě tvoří hlavní část uranové mineralizace v terciérních jílových sedimentech. Obecně se předpokládá, že uran pochází z okolního granitu v podloží, ze kterého byl mobilizován důsledkem zvětvávání a pozdější vulkanické aktivity Doupovských hor. Při procesu akumulace uranu ve spodní části novosedelského souvrství hrálo roli několik dějů. Podstatná byla přítomnost organické hmoty, která vytvářela redukční prostředí, ale nepůsobila jako přímý sorbent uranu. V redukčním prostředí docházelo k vysrážení uranu rozpuštěného v podzemní vodě na povrchu arsenem bohatého pyritu. Reakcí s fosforečnany v podzemních vodách, které vznikaly jako produkt rozpadu organické hmoty, se utvářely již zmiňované fosfáty uranu.

Zajímavé je, že obsahy uranu v podzemních vodách jsou nízké. U podzemních vod navázaných na kolektor v krystalických horninách (podloží granity) dosahují koncentrace uranu maximálních hodnot 11 µg/l. V kolektoru sedimentárních terciérních hornin, kde se nacházejí i akumulace uranu, jsou koncentrace ještě o řád nižší a pohybují se mezi 0,1-2 µg/l (doporučený limit pro pitnou vodu v ČR je 15 µg/l). Obsahy organických látek v podzemní vodě jsou také nízké a dosahují max. 5-10 mg/l celkového organického uhlíku.

Celkový popis lokality byl umožněn provedením mnoha vrtů na lokalitě Ruprechtov, celkem se jednalo o 18 vrtů, přičemž 12 z nich bylo realizováno v rámci projektu Přírodní analog Ruprechtov a dalších šest pochází z doby začátku monitorování těžby ložiska kaolínů firmou Sedlecký kaolín a.s.

1.4 ČESKÝ KONCEPT HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

Současný český koncept hlubinného úložiště pro vyhořelé jaderné palivo a vysokoaktivní odpady vychází ze švédského konceptu KBS-3 V (SKB, 2010) a finského konceptu KBS-3 H (Anttila et al., 2008). Jedná se o multibariérový systém, který musí zabezpečit izolaci uloženého vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů po dobu statisíců let. V České republice jsou rozpracovány dvě varianty technického řešení (Holub et al., 1999 a Pospíšková et al., 2012). Obě technická řešení jsou založena na základních vstupních předpokladech, že vyhořelé jaderné palivo se bude ukládat nepřepřeracované, v ocelových obalových souborech, v hloubce cca 500 m pod povrchem země, v krystalinické hornině.

Hlubinné úložiště bude tvořeno dvěma areály – povrchovým a podzemním. V povrchovém areálu budou umístěny objekty nutné pro příjem a zabezpečení provozu ukládání vyhořelého jaderného paliva a radioaktivních odpadů, dále objekty nutné pro zajištění těžební činnosti, včetně jejich technického zázemí, objekty pro zajištění pobytu pracovníků, administrativu a rovněž objekty zajišťující provoz povrchového i podzemního areálu. Povrchový areál bude napojen na silniční a železniční infrastrukturu. Převážné obalové soubory/kontejnery s vyhořelým jaderným palivem budou po příjezdu do areálu zavezeny do překládacího uzlu, který bude vybaven horkou komorou. V ní bude palivo překládáno do ukládacích obalových souborů. Po jejich uzavření, kontrole a povrchové úpravě budou zaváženy do podzemního areálu k uložení. Podzemní areál hlubinného úložiště budou tvořit různé typy důlních děl, jámy, komíny, úklonné chodby, horizontální chodby, kaverny i chodby malých průřezů. Vlastní úložný prostor bude tvořen systémem přístupových chodeb a úložných vrtů. Radioaktivní odpady nepřijatelné do existujících úložišť budou ukládány v betonových kontejnerech do ukládacích komor. Vyhořelé jaderné palivo bude ukládáno v jiné části úložiště a to vertikálně do šachet (Holub et al., 1999), nebo horizontálně do velkoprofilových ukládacích vrtů (Pospíšková et al., 2012) v tzv. superkontejneru.

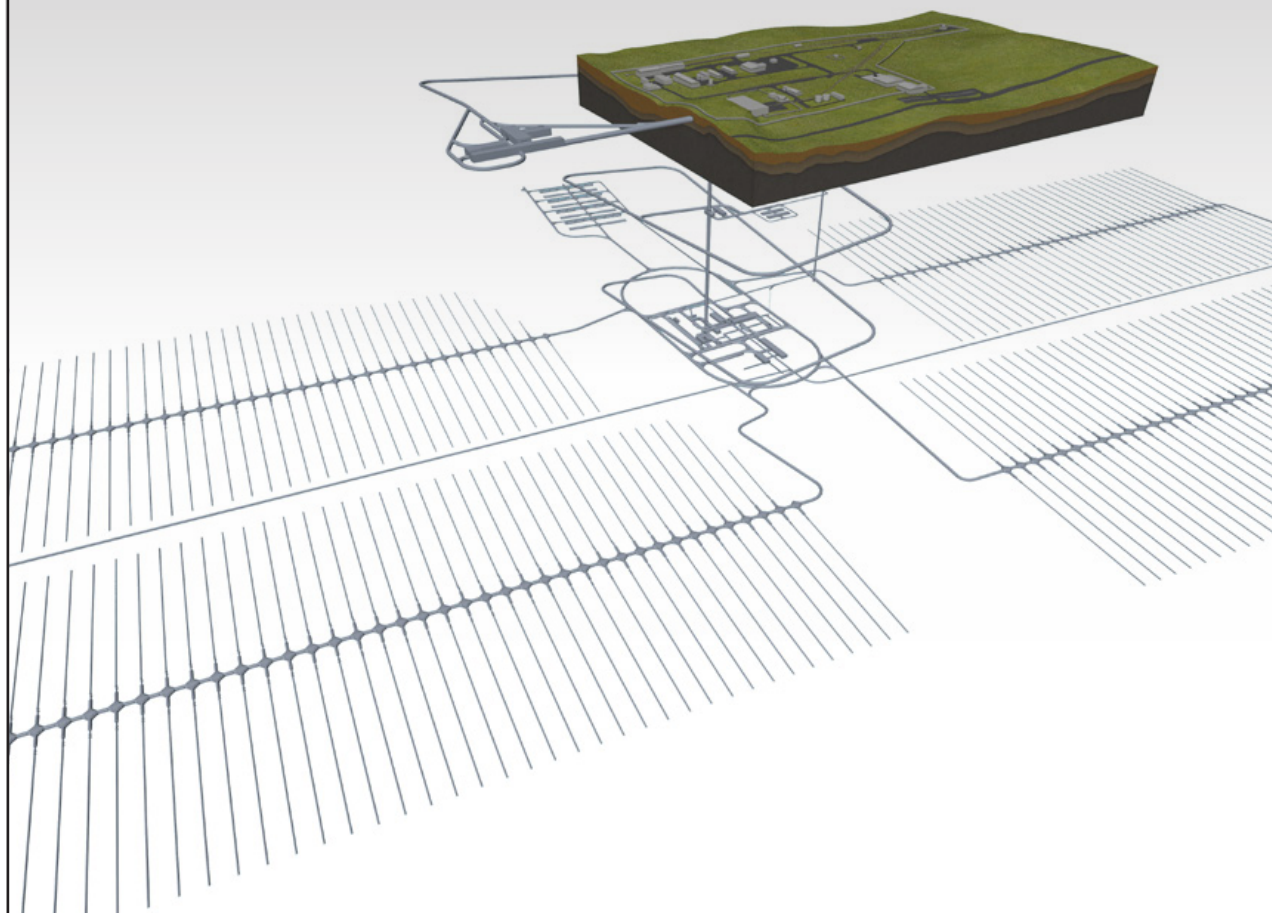
Bezpečnost celého úložiště je zajištěna systémem inženýrských a přírodních bariér. Inženýrská bariéra je tvořena superkontejnerem, který se skládá z několika částí. Jednak je to vnější koš z perforované oceli, který je vyplněn jílovým materiálem - bentonitem. Uprostřed se nachází ukládací obalový soubor obsahující dvě pouzdra. Vnější je z uhlíkové oceli a vnitřní je z korozivzdorné oceli. Uvnitř se nachází palivové články. Superkontejnery jsou uloženy v horizontálních ukládacích vrtech a jsou navzájem odděleny bentonitovými distančními bloky. Vlastní ukládací prostory jsou vybudovány ve stabilním geologickém masivu (v geologickém prostředí českého masivu jsou preferovány granity) cca 500 m pod zemí. Tato tzv. hostitelská hornina je pak přírodní bariérou, která má za účel chránit systém inženýrských bariér a dlouhodobě izolovat úložiště od životního prostředí.

Vzhledem k množství ukládaných odpadů, jejich podmínkám přijatelnosti a provozovaným technologiím může být úložiště v provozu až 90 let. Proto se předpokládá, že výstavba a vlastní provoz hlubinného úložiště budou probíhat v několika časových etapách. Nejprve příprava a výstavba podzemní laboratoře a následně technického zázemí nadzemního i podzemního areálu a úložných prostor hlubinného úložiště, kdy budou probíhat pouze činnosti stavebního a důlního charakteru. V rámci výstavby bude vyražena a připravena pro příjem vyhořelého jaderného paliva jedna sekce. V další etapě, po zahájení provozu úložiště, budou probíhat zejména činnosti spojené s ukládáním odpadů a následným utěsňováním zaplněných úložných prostor. Ražba dalších ukládacích sekcí bude probíhat postupně. Ukládací prostory budou připravovány bezprostředně před jejich využitím, zejména z důvodu ochrany masivu před zvětráváním a nepříznivými dopady vyplývajícími z tvorby zóny prostého napětí v okolí vyrubaných důlních děl. V posledním časovém období provozu hlubinného úložiště se budou provádět činnosti spojené s ukládáním odpadů a vyhořelého jaderného paliva, včetně utěsňování zaplněných úložných prostor a přípravné činnosti k ukončení provozu úložiště.

Již v začátcích výzkumu Přírodního analogu Ruprechtov v roce 1995 byla navázána spolupráce s organizací GRS Braunschweig, Německo. V této době byly v obou zemích rozdílné koncepty pro ukládání vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů a tedy i jiné důvody pro výběr Přírodního analogu Ruprechtov. ČR s ohledem na geologickou stavbu svého území vycházela ze zkušeností skandinávských zemí a tehdejší koncept obsahoval systém inženýrských bariér a preferoval jako hostitelskou horninu granity. V tomto případě byla analogie mezi bentonitem jako inženýrskou bariérou a zjiřovatělými terciérními horninami. Německo uvažovalo o úložišti zbudovaném v solných pních (solné dómy). Tato solná tělesa jsou v Německu často pokryta sedimentárními horninami, které byly v dané době považovány za jednu z geologických bariér hlubinného úložiště. Pro německou stranu byly tedy tyto sedimentární horniny analogií k pokryvným útvarům solných pní. V obou případech hrála významnou roli stabilita uranu v těchto sedimentárních horninách.



Na odkazu níže naleznete vizualizaci současné představy
o hlubinném úložišti: <https://youtu.be/Q3klant3HNg>



Koncept hlubinného úložiště.

1.5 POUŽITÉ METODIKY PŘI VÝZKUMU

Jakýkoli podrobný popis rozsáhlejšího přírodního systému je poměrně složitá věc i s dnešními znalostmi a moderními přístroji. I studium přírodního analogu vyžadovalo propojení mnoha oborů (např. strukturní geologie, izotopové chemie nebo matematického modelování) a použití mnoha různých metod. Některé dokonce musely být zcela nově vyvinuty pro konkrétní případy a situace. Obdobně jako budoucí místo pro hlubinné úložiště, stejně tak i lokalita přírodního analogu byla podrobně prostudována, a to zejména z těchto důležitých hledisek:

- Hydrogeologická charakteristika lokality
- Geochemická charakteristika lokality
- Mikrobiologie
- Role organické hmoty a organického uhlíku v systému
- Migrační procesy a stabilita uranu v prostředí

Dlouhodobý výzkum na lokalitě Ruprechtov umožnil provádět tento výzkum v jednotlivých krocích. Po prvotním výběru lokality a rešerši dostupných údajů následovaly první vrtné práce, které potvrdily výskyt přírodního uranu. Následně bylo rozšířeno zkoumané území a zhotoveny monitorovací hydrogeologické vrtý. Na základě těchto dat byl vytvořen první model lokality s modelem migrace a stability uranu. Model byl dalšími pracemi upřesněn. Následně bylo možné se zaměřit na specifické otázky např. jaký je vliv přítomnosti organické hmoty stability uranu v jílovém prostředí. Obrázek o celém systému se tedy sice tvořil postupně, nicméně postup po krocích umožnil konkrétní plánování prací, reagovat na nové otázky vzniklé během výzkumu a šetřit náklady. Podrobnější informace vědeckého rázu lze nalézt v publikaci napsané v anglickém jazyce, která vznikla ve spolupráci ÚJV Řež, a. s. a GRS Braunschweig s podporou SÚRAO (<http://www.grs.de/en/node/2517>).

Hydrogeologická charakteristika lokality

Pro posouzení jakéhokoli transportu látek v horninovém prostředí je třeba znát hydrogeologickou charakteristiku lokality, která zahrnuje hydrologický režim, směry proudění podzemní vody, dominantní procesy transportu podzemní vody a měření jejich veličin. Pro takovýto obsáhlý popis lokality bylo potřeba kombinovat několik různých metod a měření. První data byla získána po odvrtání monitorovacích vrtů pomocí karotáže, která určila významné přítoky do vrtů. V těchto místech byly ponechány perforované úseky vrtů a provedeny hydrodynamické zkoušky. Ukázalo se, že v těchto vodonosných vrstvách o mocnosti 1 až 2 metry je velká hydraulická vodivost (velká propustnost) a nacházejí se blízko vrstev bohatých organickou hmotou. Naopak laboratorní testy propustnosti pro zjílovatělé horniny a kaolín ukázaly velmi malou hydraulickou vodivost (malou propustnost). Monitorovací vrtý byly dále vybaveny automatickým snímáním výšky a teploty hladiny, což jsou podstatné informace pro zjištění hydrologického režimu lokality. Pomocí měření různých izotopů prvků (stabilních i nestabilních) bylo zjištěno stáří vod, jejich původ, případné směry proudění a mísení vod. Bylo také možné zjistit zdrojovou oblast, kde dochází ke vsaku povrchových vod. Všechna tato data pak vstoupila do hydrogeologického modelu lokality.

Geochemická charakteristika lokality

Geochemická charakteristika v sobě zahrnuje propojení studia geologického prostředí a fyzikálně-chemických procesů. Perfektní znalost geologie daného místa je základním předpokladem pro porozumění geochemickým procesům. Nejdříve byl proveden makroskopický geologický popis lokality, který zahrnoval rešerši dřívějších geologických prací, místní popis okolních výchozů hornin, popis vrtných jader a součástí byla i sedimentologická studie. Následně bylo možné přejít do menšího měřítka a věnovat se detailnějšímu popisu jednotlivých hornin a minerálů. Pomocí spektroskopických analytických technik můžeme studovat i mikroskopické objekty a zjistit např. typ, velikost, tvar či obsah různých prvků (např. uranu) v daných minerálech. Horninu můžeme i zcela rozložit pomocí různé agresivních činidel a sledovat vazbu jednotlivých prvků v různých minerálech. Zjistíme tak, kde a jak je uran vázán a je možné pak usuzovat na jeho chování v horninovém prostředí. Geochemie v sobě zahrnuje i analýzu podzemních vod, nebo třeba měření velmi malých částic v podzemních vodách, tzv. koloidů. Důležitou informací jsou také fyzikálně-chemické parametry podzemních vod, které byly dlouhodobě měřeny pomocí speciální sondy (množství rozpuštěného kyslíku ve vodě, teplota, hodnota pH či oxidačně-redukčního potenciálu a další). Na základě těchto znalostí můžeme již tvořit obrázek vývoje dané lokality a jejího současného stavu.

Mikrobiologie

Mikrobiální činnost je významným činitelem v horninovém prostředí a nelze ji opomíjet. Jelikož prostředí na lokalitě Ruprechtov bylo příhodné pro výskyt bakterií, vyskytuje se zde organická hmota v sedimentech, bylo nutné se zaměřit i na tuto problematiku. Pozornost se zaměřila na bakterie, které mohou redukovat sírany na sulfidy. Činnost těchto bakterií jednak přispívá k tvorbě minerálů jako je pyrit (obecně sulfidů) a rovněž snižuje významně redoxní potenciál. To vše napomáhá k imobilizaci uranu v tomto prostředí. Bakterie se mohou rovněž podílet na rozkladu organické hmoty. Jejich přítomnost byla potvrzena na odebraných vzorcích, přičemž nepřímým důkazem byla identifikovaná frakcionace izotopů síry.

Role organické hmoty a organického uhlíku v systému

Výskyt organické hmoty může významnou měrou ovlivnit procesy transportu radionuklidů. Velmi často se organická hmota chová jako sorbent či významně ovlivňuje oxidačně-redukční podmínky. Protože se na lokalitě Ruprechtov vyskytuje organická hmota v podobě tenkých vrstviček špatně prouhelněného uhlí, byla část výzkumu věnována i tomuto tématu. Z popisu vrtných profilů s nálezem uranových shluků vyplynulo, že polohy bohaté na organickou hmotu a uranové zrudnění se nevyskytují společně, ale pouze v těsné blízkosti. Nebyla tak prokázána přímá sorpce uranu na organickou hmotu. Nicméně na základě kombinace řady metod se podařilo dokázat, že organická hmota hrála významnou roli jako mediátor podmínek, ve kterých se uran srážel. Její přítomnost vedla ke vzniku silně redukčních podmínek, které byly určující pro stabilitu uranu. Sledován byl rovněž rozklad organické hmoty a cyklus uhlíku v systému. Zajímavé je, že v porovnání s obsahem organické hmoty v sedimentech jsou změřené koncentrace rozpuštěného uhlíku v podzemních vodách velmi nízké (1 - 5 mg/l). Vysvětlením může být velmi pomalý rozklad organické hmoty a sorpční schopnosti jílu.

Migrační procesy a stabilita uranu v prostředí

Pro získání představy o chování uranu v prostředí a jeho stabilitě (mobilizaci/imobilizaci) bylo využito několik analytických technik, z nich některé byly využity zcela poprvé na takovémto typu vzorků. Prvotní informace pocházely z pevných vzorků vrtných jader, kde byly identifikovány polohy bohaté na uran. U těchto vzorků bylo určeno prvkové složení, provedeny sekvenční extrakce s cílem určit formy přítomného uranu či oddělení uranu dle jeho oxidačních stavů (uran šestimocný a uran čtyřmocný). Rovněž byly použity moderní mikroskopické analytické metody, např. jako elektronová mikrosonda či mikro-rentgenová fluorescence. Studována byla rovněž interakce uranu s organickou hmotou. Důležité informace byly také získány z analýz podzemních vod ve vybudovaných monitorovacích vrtech.

Výsledky lze zjednodušeně shrnout následovně. Přestože se jedná o přírodní sedimentární uranové zrudnění s hloubkou okolo 40 m, jsou všechny měřené obsahy uranu v podzemních vodách velmi nízké, hluboko pod doporučenými limity pro pitnou vodu. Vyšší koncentrace v oblasti infiltrace vod (granity) jsou dány oxidačním prostředím, v oblasti s redukčním prostředím (jíly, organická hmota) jsou koncentrace velmi nízké. Pomocí izotopových metod byla prokázána dlouhodobá stabilita uranu (více než milión let) v redukčním prostředí jílových hornin. Rovněž byl identifikován proces nahromadění uranu na tomto zrudnění, tj. srážení čtyřmocného uranu v redukčních prostředí ovlivněném přítomností organické hmoty.

1.6 JAK PŘÍSPĚL VÝZKUM K VÝVOJI A PŘÍPADNĚ BEZPEČNOSTI HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

Hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště zpracovává mnoho vstupních dat z různých oborů (geologie, hydrogeologie, geofyzika, chemie apod.), které následně přenáší do rozsáhlého modelu, který popisuje celý úložný systém. Tento model pak zhodnotí bezpečnost navrhovaného řešení. Nicméně nelze očekávat, že výzkum přírodních analogů přinese konkrétní data, která by do takovýchto bezpečnostních rozborů mohla vstoupit. Jedná se totiž stále „jen“ o analogii k úložnému systému a tedy tato analogie nemůže popisovat skutečný úložný systém. Přenositelné ale jsou podpůrné argumenty k bezpečnosti hlubinného úložiště, které jsou vzhledem k povaze přírodního analogu neocenitelné (zejména význam dlouhodobých procesů).

V případě Přírodního analogu Ruprechtov je možné v dlouhém časovém měřítku sledovat zejména stabilitu uranu v prostředí jílových hornin (analogie bentonitové výplně). Výzkum na lokalitě Ruprechtov prokázal, že uran se imobilizoval v prostředí sedimentárních jílových hornin. V silně redukčním prostředí zůstal uran stabilní přes milión let a nebyl pozorován žádný významný pohyb uranu v tomto prostředí. Přestože se část rozpuštěného uranu nachází v šestimocném stavu (ten je více mobilní), jsou koncentrace v podzemních vodách velmi nízké, typicky pod 1 µg/l (doporučený limit pro pitnou vodu v ČR je 15 µg/l). Ani v případě otevření kaolinového lomu nedošlo v průběhu sledování (10 let) k nárůstu obsahu uranu v podzemních vodách, což poukazuje na silnou bariérovou funkci jílových hornin.

Geochemické výpočty potvrdily, že amorfnní fáze oxidu uraničitého kontroluje koncentraci uranu v podzemních vodách. Výsledky také ukázaly (zatím pouze v laboratoři), že je nutné v termodynamických výpočtech při speciaci uranu v podzemních vodách brát v úvahu i karbonátové komplexy šestimocného uranu s kovy alkalických zemin. Takovéto výsledky mohou jednak podporovat určité předpoklady, které se využívají při hodnocení bezpečnosti a jednak poukazovat na to, že je neustále potřebné měřená data zpřesňovat.

V budoucím hlubinném úložišti není biologická aktivita vítána, a to vzhledem k možnosti urychlení některých procesů (např. koroze ukládacího obalového souboru). V případě Přírodního analogu Ruprechtov bylo podstatným zjištěním, že mikrobiální aktivita se pozitivně podílela na imobilizaci a stabilizaci uranu v horninovém prostředí a tedy nemusí mít vždy jen negativní dopad na inženýrské bariéry hlubinného úložiště.

V rámci výzkumu bylo využito několik specifických analytických metod na charakterizaci pevných či kapalných vzorků s přírodním uranem, nebo byly inovovány některé mikroskopické metody. Nově vyvinuté metody jsou rovněž důležité pro popis hydrogeologické minulosti budoucí lokality hlubinného úložiště. Čím lépe známe minulost dané lokality, tím lépe můžeme odhadnout její budoucí vývoj. Důležitým bodem bylo rovněž propojení výsledků z různých metod a oborů do celkového obrázku lokality a jejích hlavních procesů. Pouze mezioborový výzkum může podat realistický obraz budoucí lokality hlubinného úložiště.

1.7 ZÁVĚRY

Ukazuje se, že přírodní analogy mají stále svoji nezastupitelnou roli v oblasti výzkumu a vývoje hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů v ČR i v zahraničí. Jejich význam se v posledních letech posunul z roviny získávání konkrétních dat do roviny podpůrných argumentů pro vlastní bezpečnost hlubinného úložiště. Pomocí přírodních analogů můžeme demonstrovat chování systémů analogických k hlubinnému úložišti, a to ve velmi dlouhodobém časovém měřítku. V případě Přírodního analogu Ruprechtov byla prokázána dlouhodobá stabilita uranu v prostředí jílových hornin (analogie bentonitové výplně), a to po více než milión let. Takovýto závěr může být pádným argumentem při hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště.

1.8 LITERATURA

Anttila, P., Autio, J., Berghäll, J., Börgesson, L., Eriksson, M., Hagros, A., Halvarsson, B., Johansson, E., Kotola, R., Parkkinen, I., Rönqvist, P.E., Sandén T. (2008): KBS-3H Design Description 2007. POSIVA 2008-01.

Brasser, T., Brewitz, W., Červinka, R., Havlová, V., Noseck, U., Woller, F. (2014): Natural Analogue Study Ruprechtov (CZ). GRS-349. ISBN 978-3-939355-93-9. 290 pp.

Brookins, D.G. (1990): Radionuclide behaviour at the Oklo nuclear reactor, Gabon. *Waste Management*, 10, 285-296.

Cramer, J.J. a Smellie, J.A.T. (1994): Final Report of the AECL/SKB Cigar Lake Analog Study. AECL-10851, COG-93-147, SKB TR 94-04.

Curtis, D.B., Benjamin, T.M., Gancarz, A.J., 10ss, R., Rosman, J.K.R., DeLaeter, J.R., Delmore, J.E. & Maeck, W.J. (1989): Fission product retention in the Oklo natural fission reactors. *Journal of Applied Geochemistry*, 4, 49-62.

Goodwin, B.W., Cramer, J.J., McConell, D.B. (1989): The Cigar Lake uranium deposit: an analogue for nuclear fuel waste disposal. In: *Natural Analogues in Performance Assessments for the Disposal of Long Lived Radioactive Waste*. Int. Atomic Energy Agency Tech. Rep., 304, A, pp. 37-45.

Hallberg, R.O., Ostlund, P., Wadsten, T. (1987): A 17th century cannon as analogue for radioactive waste disposal. In: Come, B. a Chapman, N.A. (editors) *Natural analogues in radioactive waste disposal*. CEC Radioactive Waste Management Series, EUR 11037, 135-139, Commission of the European Communities, Luxembourg.

Hercík, M. (2005): Závěrečné shrnutí výsledků projektu. Dílčí závěrečná zpráva. Úkol Přírodní analog 1999-2005. ÚJV Řež a.s.

Holub, J., Mandík, F., Vavřina, V., Lietava, P., Blažek, J., Tarasová, J. a kol. (1999): Referenční projekt povrchových i podzemních systémů hlubinného úložiště v hostitelském prostředí granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodního projektu a hloubce projektové studie. Projektová studie. Uh. Brod, EGP Invest, spol. s r. o., 1085 s.

Chapman, N.A., McKinley, I., Smellie, J.A.T. (1984): The potential of natural analogues in assessing systems for deep disposal of high-level radioactive waste. *Nagra TR 84-41*.

Chapuis, A.M. a Blanc, P.L. (1993): Oklo: natural analogue for transfer processes in a geological repository - present status of the programme. In: von Maravic, H. & Moreno, J. (editors) *Migration of radionuclides in the geosphere*. Proceedings of a Progress Meeting. CEC Nuclear Science and Technology Report, EUR 14690, Commission of the European Communities, Luxembourg.

Jakubick, A.T. a Church, W. (1986): Oklo natural reactors: geological and geochemical conditions - A review. Atomic Energy Board of Canada, Research Report, INFO-0179, Ottawa, Canada.

Kafka, J., ed (2003): Rudné a uranové hornictví České republiky. Diamo s.p. 647 p. Ostrava.

Loss, R.D., Rosman, J.K.R., DeLaeter, J.R. (1984): Transport of symmetric mass region fission products at the Oklo natural reactor. *Earth and Planetary Science Letters*, 68, 240-248.

Miller, W. (2004): Network to review natural analogue studies and their applications to repository safety assessment and public communication (NAnet). EC Synthesis Report, EUR 21919.

Mossman, D. J., Gauthier-Lafaye, F., Dutkiewicz, A., Brüning, R. (2008): Carbonaceous substances in Oklo reactors-Anologue for permanent deep geologic disposal of anthropogenic nuclear waste. *Reviews in Engineering Geology*, vol. 19: 1-13.

Neretnieks, L. (1986): Investigations of old bronze cannons. In: Come, B. a Chapman, N.A. (editors) *Natural analogue working group; Second meeting*, Interlaken, June 1986. CEC Nuclear Science and Technology Report, EUR 10671, 191-197, Commission of the European Communities, Luxembourg.

Pešek, J., et al (2010): Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba.

Pospíšková, I., Fiedler, F., Kotnour, P., Prachař, I., Vokál, A. (2012): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Závěrečná zpráva. Praha, ÚJV Řež, a. s., 107 s.

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) (2010): Design and production of the KBS-3 repository. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB TR-10-12, 60 pp., Stockholm.

1.9 SLOVNÍČEK POJMŮ

Akumulace – jedna z interpretací v geologii je nashromáždění prvku(ů) či minerálů na jednom místě.

Amorfní – bez jasné struktury, zde jako nekystalická látka.

Analog – analog ve vztahu k hlubinnému úložišti, studium analogií (analogů) znamená výzkum přírodních, antropogenních, archeologických nebo průmyslových systémů, které vykazují určité podobné rysy se systémem úložiště radioaktivních odpadů a jeho okolím.

Argilitizace – doslovně zjílování, rozklad horniny v agregát bohatý jílovými minerály. Nastává např. při zvětrávání či hydrotermálním rozkladu.

Archaikum – prvotní období vývoje Země, začínající vznikem zemské kůry a končící před 600 až 570 milióny let.

Artefakt – zde jako archeologický artefakt. Jedná se o předmět, který byl člověkem záměrně vytvořený nebo pozměněný tak, aby sloužil k nějakému konkrétnímu účelu.

Bitumen – též živice, skupina přírodních uhlovodíků s nepatrným množstvím kyslíku, dusíku a síry. Příkladem mohou být ropa, asphalt či dehet.

Denudace – je souhrn geologických pochodů vedoucích k celkovému snížení povrchu (např. eroze).

Diskordantní – doslovně nesouhlasné, vyjadřuje vztah dvou sousedních horninových jednotek, mezi jejichž uložením nastalo období bez sedimentace nebo období erozní činnosti.

Hiát – termín je v geologii často používán pro časový úsek bez sedimentace, souvisí s diskordancí.

Imobilní – zde používáno zejména ve spojení s ložiskem uranu. Uran se nepohybuje, zůstává na místě.

Izotop – jádra atomů izotopů jednoho prvku mají stejný počet protonů, ale mohou mít rozdílný počet neutronů (např. ^{16}O a ^{18}O).

Koloid – disperze velmi jemných částic v disperzním prostředí. V geologii je za koloid považována částice menší než 0,45 μm . Může to tedy být například malá částice oxidu křemičitého v podzemní vodě.

Litologie – původně nauka o horninách, dnes se termínem rozumí zejména makroskopický popis usazených hornin.

Proterozoikum – neboli starohory je období trvající od 2,5 do 0,6 až 0,57 miliardy let. V jeho dlouhém průběhu se uplatnily mohutné horotvorné pochody a vznikaly rozsáhlé geologické komplexy, které se staly součástmi starých štítů.

Oxidační prostředí – zde jako geologické prostředí s významným obsahem kyslíku.

Radionuklid – je nuklid s nestabilním jádrem, u kterého dochází k radioaktivnímu rozpadu. Radionuklidy mohou být přírodní nebo umělé.

Redukční prostředí – zde jako geologické prostředí s malým či žádným obsahem kyslíku

Sekvenční extrakce – postupné rozpouštění pevného vzorku stále silnějšími činidly (chemikáliemi) a sledování vazby a distribuce daného prvku (zde uranu) ve vzorku.

Sorbent – látka zachycující/uvolňující jinou kapalnou či plynou látku.

Stabilita uranu – termínem je zde míněn souhrn procesů vedoucích k uvolňování či zachytu uranu v geologickém prostředí.

Stratigrafie – obor v geologii, který popisuje sled sedimentárních vrstev a jejich vzájemných vztahů případně jejich stáří.

2.1 OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Foto 1, 2: Jádrové vrtání se soupravou ZIF 650 M s podvozkem Tatra 815, vedle V3S fekální vůz, sloužící jako zdroj vody především pro vrtný výplach.



Foto 3: Vrtné práce mohou být náročné zvláště v zimě.



Foto 4: Odběr sedimentů z otevřeného lomu na kaolín pomocí ručního odběráku.



Foto 5: Odběr vzorků z vrtných jader s obsahem organické hmoty – špatně prouhelněné uhlí.



Foto 6: Odběr vzorků podzemních vod, aparatura pro separaci U(IV) a U(VI), zleva J. Suksi, K. Kaksonen (Univerzita Helsinky) a R. Červinka (ÚJV Řež, a.s.).



Foto 7: Odběr vzorků podzemních vod pro následnou titraci.



Foto 8: Měření gama aktivity jádra terénním gamaspektrometrem.



Foto 9: Sběr dat z autonomních zapisovačů – tzv. dataloggerů (měření výšky hladiny a teploty podzemní vody). M. Hercík (ÚJV Řež, a.s.).



Foto 10: Měření specií železa a síry v podzemních vodách pomocí přenosného UV-VIS spektrofotometru. U. Noseck (GRS).

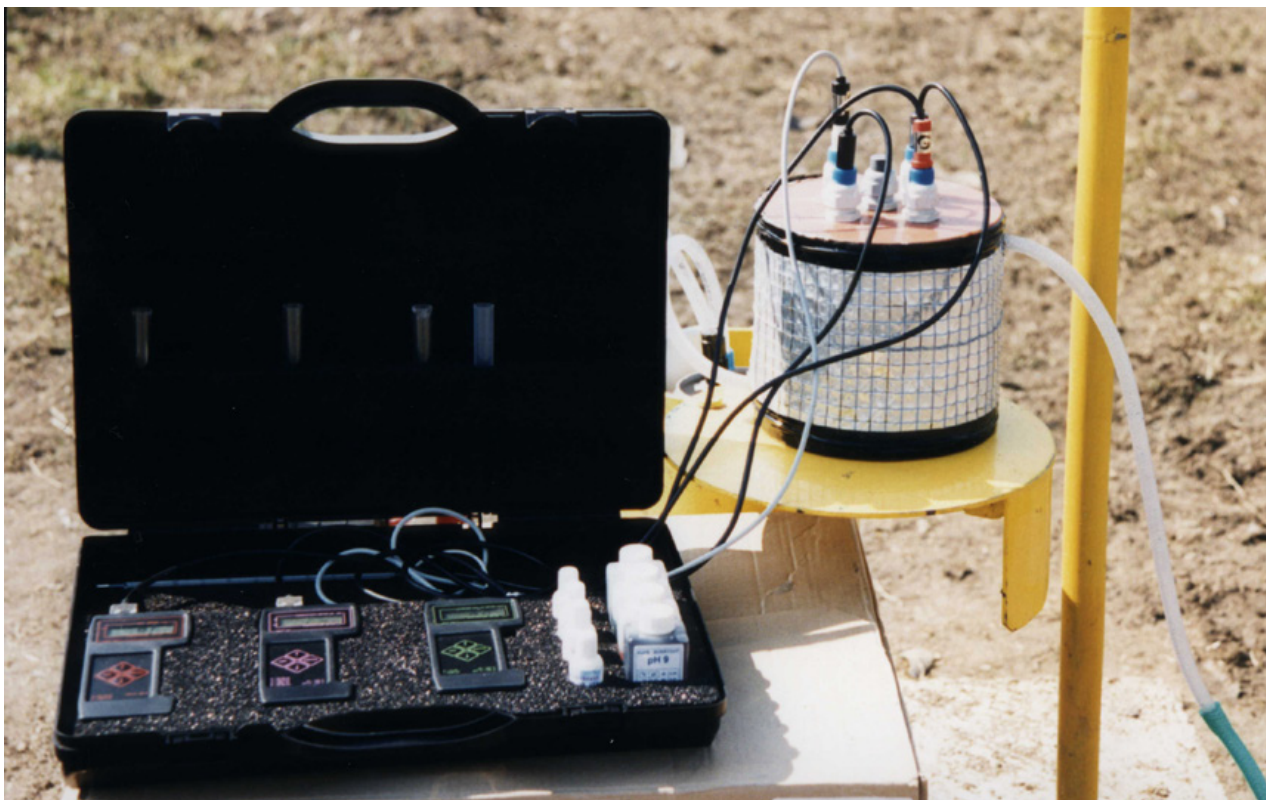


Foto 11: Měření elektrochemických veličin (vodivost, rozpuštění kyslík, pH a ORP) v podzemní vodě během čerpací zkoušky.



Foto 12: Práce se vzorky v rukavicovém boxu v anaerobní atmosféře (bez kyslíku). V. Havlová (ÚJV Řež, a.s.).



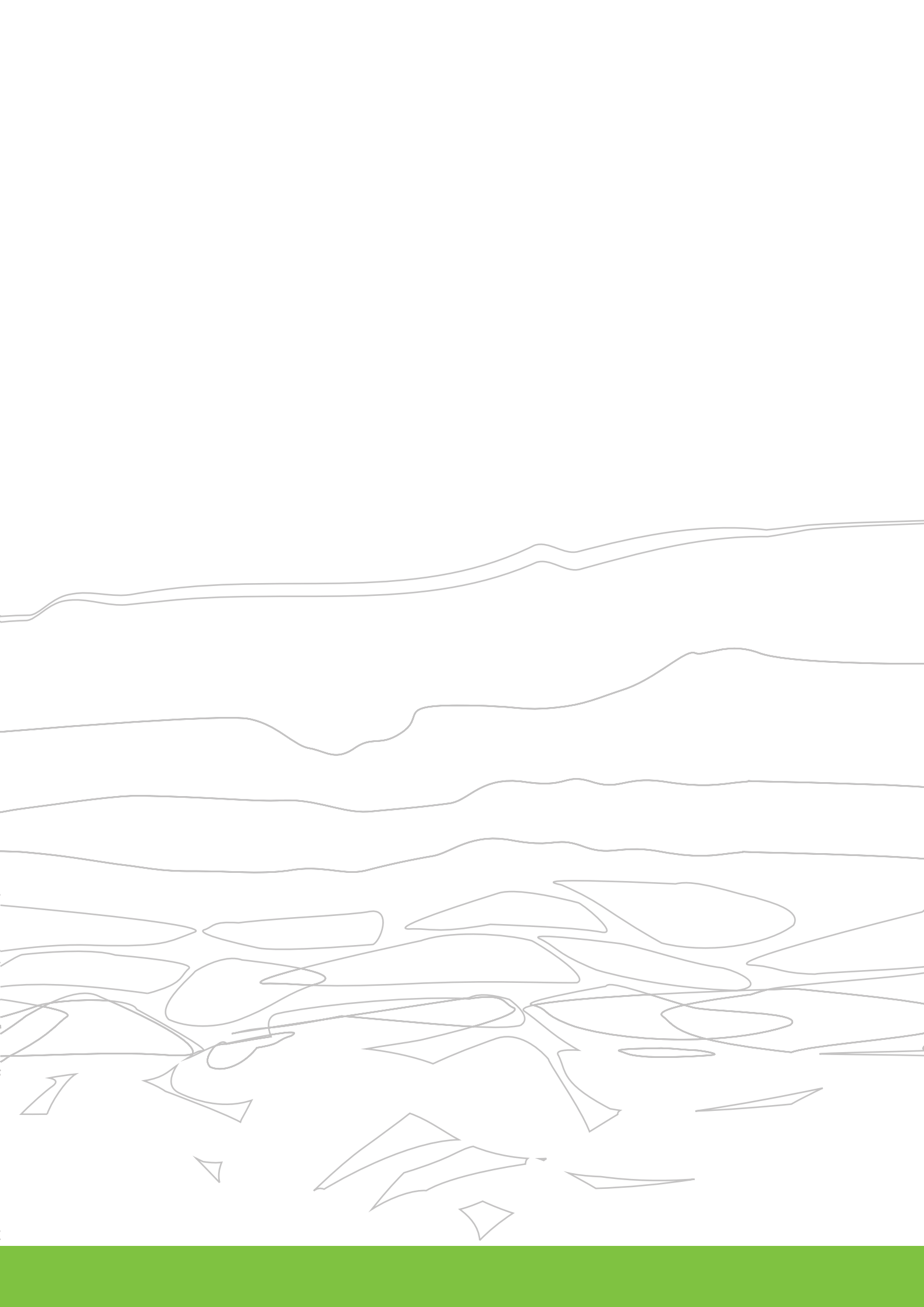
Foto 13: Pohled na lokalitu a monitorovací vrt. V pozadí zdvihající se Krušné hory.

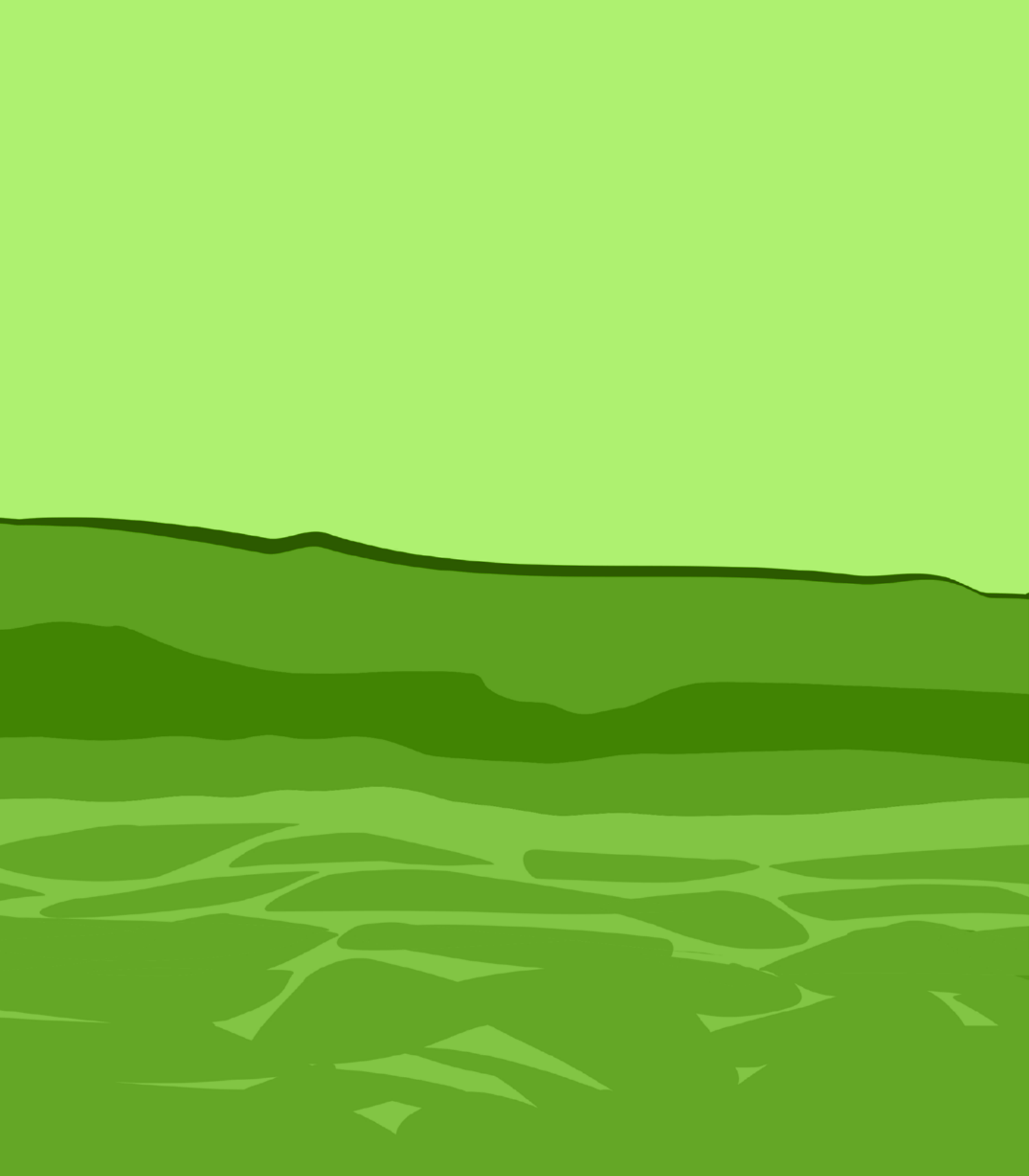


Foto 14: Těžba kaolínu na lokalitě Ruprechtov.



Foto 15: Společná fotografie z výročního setkání projektu.





SÚRAO

SÚRAO
Správa úložišť radioaktivních odpadů
Dlážděná 6, 110 00 Praha 1
www.surao.cz



ÚJV Rež, a.s.
Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec
www.ujv.cz