

Technická zpráva číslo 303/2018

**STUDIE ZADÁVACÍ
BEZPEČNOSTNÍ ZPRÁVY PRO
UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO
ÚLOŽIŠTĚ V LOKALITĚ
KRAVÍ HORA**

Autoři: Ing. Antoním Vokál, CSc.

a kolektiv

SÚRAO

Praha, září 2018

Studie zadávací bezpečnostní zprávy pro umístění hlubinného úložiště v lokalitě Kraví hora

ŘEŠITELÉ:

SÚRAO¹, Pro Engineering, s.r.o.²

Autorský kolektiv (řazeno podle abecedy):

Jan Antoš², Jaromír Augusta¹, Karel Bárta², Pavel Čech², Kateřina Konopáčová¹, Miloš Kováčik¹, Zdena Lahodová¹, Eva Popelová¹, Ilona Pospíšková¹, Antonín Vokál¹, Lukáš Vondrovic¹

| | Funkce | Jméno | Datum | Podpis |
|-----------------|-------------------|--------------------------|-------|--------|
| Za zpracovatele | vedoucí odd. 4400 | Ing. Antonín Vokál, CSc. | | |
| Schválil | ředitel | RNDr. Jiří Slovák | | |

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Obsah | 3 |
| Definice použitých pojmů | 7 |
| Seznam použitých zkratk | 13 |
| Abstrakt | 14 |
| Klíčová slova | 14 |
| Abstract | 15 |
| Keywords | 15 |
| Účel a kontext studie ZBZ | 15 |
| A Obecná část studie ZBZ | 18 |
| A.1 Identifikační údaje o zpracovateli studie ZBZ | 18 |
| A.2 Legislativní požadavky | 19 |
| A.3 Obecné informace o vlastnostech území k umístění hlubinného úložiště | 31 |
| A.4 Výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací | 35 |
| B Vlastní hodnocení vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik | 37 |
| B.1 Geologické charakteristiky | 37 |
| B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků | 38 |
| B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností | 46 |
| B.1.3 Dostupnost dat | 49 |
| B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality | 50 |
| B.2 Hydrogeologické charakteristiky | 53 |
| B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště | 54 |
| B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu | 55 |
| B.2.3 Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě Kraví hora | 58 |
| B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality | 63 |
| B.3 Transportní charakteristiky | 65 |
| B.3.1 Doba transportu radionuklidů | 65 |
| B.3.2 Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě | 68 |
| B.3.3 Hodnocení ředění | 70 |
| B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik | 70 |

Dlážděná 6 | 110 00 Praha 1 | ČR

tel.: +420 221 421 511 | fax: +420 221 421 544 | e-mail: info@sura0.cz | www.sura0.cz

IČ: 66000769 | Bankovní spojení: ČNB Praha 1, č. ú. 35-64726011/0710

Tato zpráva je výhradně majetkem SÚRAO a její šíření bez vědomí majitele je zakázáno.

Správa úložišť radioaktivních odpadů byla zřízena k 1. 6. 1997 Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR jako státní organizace na základě atomového zákona (§ 26 zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření). Od roku 2000 je SÚRAO ve smyslu § 51 zákona č. 219/2000 Sb. organizační složkou státu.

| | | |
|-------|---|----|
| B.4 | Stabilita lokalit | 72 |
| B.4.1 | Seismická stabilita..... | 72 |
| B.4.2 | Geodynamická stabilita | 75 |
| B.4.3 | Postvulkanické jevy | 77 |
| B.4.4 | Klimatická stabilita..... | 77 |
| B.4.5 | Celkové expertní zhodnocení lokality Kraví hora z hlediska stability území | 79 |
| B.5 | Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami..... | 81 |
| B.5.1 | Tepelné vlastnosti lokality | 81 |
| B.5.2 | Hydraulické vlastnosti..... | 83 |
| B.5.3 | Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí | 83 |
| B.5.4 | Geochemické vlastnosti | 85 |
| B.5.5 | Mikrobiologické vlastnosti..... | 87 |
| B.5.6 | Plynopropustnost | 87 |
| B.5.7 | Celkové expertní zhodnocení lokality Kraví hora z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami | 88 |
| B.6 | Faktory ovlivňující možnost narušení úložiště budoucími aktivitami člověka..... | 89 |
| B.6.1 | Ložiskové poměry na lokalitě | 89 |
| B.6.2 | Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla | 90 |
| B.6.3 | Vrtná prozkoumanost | 91 |
| B.6.4 | Zdroje podzemních vod..... | 92 |
| B.6.5 | Potenciál geotermální energie..... | 92 |
| B.6.6 | Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů, | 92 |
| B.7 | Ostatní posuzované vlastnosti území jaderného zařízení umístěného na povrchu . | 94 |
| B.7.1 | Seismicita..... | 94 |
| B.7.2 | Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem | 94 |
| B.7.3 | Povodně..... | 94 |
| B.7.4 | Oběh podzemní vody | 94 |
| B.7.5 | Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových púd | 95 |
| B.7.6 | Klimatické a meteorologické jevy | 95 |
| B.7.7 | Biologické jevy | 96 |
| B.7.8 | Přírodní požáry..... | 96 |
| B.7.9 | Pád letadla a jiných objektů..... | 97 |

Dlážděná 6 | 110 00 Praha 1 | ČR

tel.: +420 221 421 511 | fax: +420 221 421 544 | e-mail: info@sura0.cz | www.sura0.cz

IČ: 66000769 | Bankovní spojení: ČNB Praha 1, č. ú. 35-64726011/0710

Tato zpráva je výhradně majetkem SÚRAO a její šíření bez vědomí majitele je zakázáno.

Správa úložišť radioaktivních odpadů byla zřízena k 1. 6. 1997 Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR jako státní organizace na základě atomového zákona (§ 26 zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření). Od roku 2000 je SÚRAO ve smyslu § 51 zákona č. 219/2000 Sb. organizační složkou státu.

| | | |
|----------|---|------------|
| B.7.10 | Výbuchy a požáry mající původ v činnosti člověka a jejich zplodiny | 97 |
| B.7.11 | Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy | 97 |
| B.7.12 | Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj..... | 99 |
| B.7.13 | Současné využití území | 100 |
| B.7.14 | Vliv jiného jaderného zařízení | 100 |
| B.7.15 | Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu | 101 |
| B.8 | Vliv šíření radioaktivních látek z nadzemních prostor úložiště za provozu úložiště 102 | |
| B.9 | Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ | 108 |
| B.9.1 | Časový rámec hodnocení..... | 109 |
| B.9.2 | Transportní cesty a cesty ozáření..... | 110 |
| B.9.3 | Bezpečnostní funkce bariér úložiště | 110 |
| B.9.4 | Odvození normálního scénáře a alternativních scénářů vývoje úložiště | 113 |
| B.9.5 | Databáze vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost úložiště.... | 114 |
| B.9.6 | Koncepční modely normálního vývoje úložiště | 114 |
| B.9.7 | Vstupní data do modelů | 126 |
| B.9.8 | Výsledky výpočtů | 146 |
| B.10 | Shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení | 156 |
| B.11 | Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení | 157 |
| B.12 | Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu 157 | |
| B.12.1 | Vyhořelé jaderné palivo..... | 158 |
| B.12.2 | Odpady z vyřazování jaderných zařízení..... | 164 |
| B.12.3 | Ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť | 169 |
| C | Popis projektu | 173 |
| C.1 | Bezpečnostní cíle projektu HÚ | 173 |
| C.2 | Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie | 173 |
| C.3 | Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy | 174 |
| C.3.1 | Ukládací obalový soubor | 174 |
| C.3.2 | Tlumící bariéra | 177 |
| C.3.3 | Výplň..... | 180 |

| | | |
|-----------------------------|---|------------|
| C.3.4 | Těsnící zátky..... | 180 |
| C.3.5 | Těsnění a injektáže | 181 |
| C.3.6 | Úložné prostory..... | 181 |
| C.4 | Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu | 184 |
| C.4.1 | Umístění povrchového areálu..... | 184 |
| C.4.2 | Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů | 184 |
| C.5 | Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu | 197 |
| C.5.1 | Umístění podzemního areálu | 197 |
| C.5.2 | Uspořádání a technologické vybavení objektů | 198 |
| C.5.3 | Přístupová a technologická díla..... | 207 |
| C.6 | Provozní režim hlubinného úložiště | 214 |
| C.6.1 | Provoz úložiště..... | 214 |
| C.6.2 | Uzavírání úložiště..... | 220 |
| C.7 | Požadavky na institucionální kontrolu..... | 221 |
| Seznam obrázků | | 222 |
| Seznam tabulek | | 224 |
| Reference | | 227 |
| D Přílohy..... | | 238 |
| D.1 | Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Kraví hora 1:50 000, ČGS 238 | |
| D.2 | Výkres - Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4) ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018) | 239 |
| D.3 | Výkres - Střety zájmů ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018)..... | 240 |
| D.4 | Výkres - Povrchový areál - objektová skladba, lokalita Kraví hora ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018) | 241 |
| D.5 | Výkres - Situace – dispozice řešení D1 ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018)..... | 242 |

Definice použitých pojmů

Betonkontejner

Betonkontejner je ukládací obalový soubor typově schválený pro ukládání RAO nepřijatelných do přípovrchových nebo podzemních úložišť.

Bezpečnostní funkce

Bezpečnostní funkce je činnost systému, konstrukce, komponenty nebo jiné součásti jaderného zařízení, která je významná pro zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení.

Efektivní dávka

Efektivní dávka je součtem vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v různých tkáních lidského těla, tedy, kde je ekvivalentní dávka v dané tkáni a je tkáňový váhový faktor vyjadřující relativní příspěvek dané tkáně k celkové zdravotní újmě způsobené při rovnoměrném ozáření celého těla. Efektivní dávka vyjadřuje radiační zátěž organismu jedinou číselnou hodnotou i při nerovnoměrném ozáření organismu (resp. jeho části).

Expoziční situace

Expoziční situace jsou všechny v úvahu připadající okolnosti vedoucí k vystavení fyzické osoby nebo životního prostředí ionizujícímu záření. Expoziční situací je:

- plánovaná expoziční situace, která je spojena se záměrným využíváním zdroje ionizujícího záření,
- nehodová expoziční situace, která může nastat při plánované expoziční situaci nebo být vyvolána svévolným činem a vyžaduje přijetí okamžitých opatření k odvrácení nebo omezení důsledků.

Fyzická ochrana

Fyzická ochrana je systém technických a organizačních opatření zabraňující neoprávněným činnostem s jaderným zařízením nebo jaderným materiálem.

Hlubinné úložiště

Hlubinným úložištěm se rozumí úložiště radioaktivního odpadu umístěné stovky metrů pod zemským povrchem a určené pro ukládání vysokoaktivního odpadu. Hlubinné úložiště je zde odlišeno od podzemního úložiště, které je definováno v § 2 jako úložiště umístěné desítky metrů pod zemským povrchem a určené zejména pro ukládání nízkoaktivního a středněaktivního odpadu.

Charakteristiky území, při jejichž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno

Charakteristikou území k umístění hlubinného úložiště, při jejímž dosažení je umístění hlubinného úložiště zakázáno podle § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b), je:

- a) horninové prostředí, které umožňuje migraci radioaktivních, chemických a toxických látek, které se mohou uvolnit z uloženého radioaktivního odpadu tak, že při očekávaném vývoji hlubinného úložiště dojde k většímu ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí (0,25 mSv za kalendářní rok - § 82 Atomového zákona 0 263/2016 Sb.)
- b) nemožnost vytvoření

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- 1) komplexního prostorového modelu geologické stavby z důvodu složité geologické stavby a tektonických poměrů,
- 2) hydrogeologického modelu v důsledku obtížné popsitelnosti a predikovatelnosti hydrogeologických poměrů území k umístění jaderného zařízení, nebo
- 3) geomechanických a geochemických modelů území k umístění jaderného zařízení, nebo

c) přítomnost zdrojů geotermální energie.

V § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) je uveden výčet vlastností území, které je třeba hodnotit, ale nejsou uvedeny hodnoty, podle kterých by bylo možno porovnávat potenciální území pro umístění hlubinného úložiště.

Chráněný prostor

Chráněný prostor je prostor, v němž se nalézá jaderný materiál II. kategorie, vnitřní prostor nebo životně důležitý prostor.

Indikátor vhodnosti

Parametr, který popisuje vlastnosti a stav horniny a podzemní vody, pro který existují hodnoty, jež mohou být použity v jedné nebo několika etapách prací na umístování, pro doložení, že požadavek nebo preference jsou splněny. Indikátorem vhodnosti může být i jiný parametr, který může mít jak číselné, tak logické hodnoty vyjadřující vhodnost lokality, např. projektové indikátory vhodnosti, environmentální indikátory, indikátory soci-ekonomické přijatelnosti.

Institucionální kontrola

Institucionální kontrola je soubor činností, kterými je zajišťována údržba a sledování území a vlastního úložiště radioaktivního odpadu po uzavření úložiště radioaktivního odpadu, a to po dobu stanovenou v dokumentaci pro povolovanou činnost.

Inženýrská bariéra

Člověkem vytvořená bariéra brání transportu radionuklidů či ztrátě bezpečnostní funkce bariér úložiště, například obalové soubory či těsnící materiály.

Jaderná bezpečnost

Jaderná bezpečnost je stav a schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod.

Kritérium

Standard (nástroj), podle kterého hodnotíme určitý jev, proces, skutkový stav a podobně, případně o něm rozhodujeme.

Kritéria v souladu s dokumentem IAEA rozdělujeme následovně:

- 1) vylučující kritéria mají charakteristiky, při jejichž dosažení je úložiště zakázáno
- 2) porovnávací kritéria nemají charakteristiky, které by vylučovaly umístění, ale charakteristiky, které jsou výhodné či nevýhodné pro plnění bezpečnostních funkcí hlubinného úložiště.

V souladu s předchozím dokumentem budeme rozdělovat kritéria na:

- 1) Projektová kritéria posuzující vlastnosti lokalit z hlediska proveditelnosti úložiště v dané lokalitě.
- 2) Bezpečnostní kritéria posuzující vlastnosti lokalit z hlediska bezpečnosti.
- 3) Environmentální kritéria posuzující vlastnosti lokalit z hlediska vlivu na životní prostředí.

- 4) Socio-ekonomická kritéria posuzující úložiště z hlediska dopadu na socio-ekonomické faktory a životní preference místních obyvatel.

Kontrolované pásmo

Kontrolované pásmo je prostor s kontrolovaným vstupem, v němž jsou zavedena zvláštní pravidla k zajištění radiační ochrany a předcházení šíření kontaminace.

Obalový soubor

Obalový soubor je soubor konstrukčních dílů nezbytných k úplnému uzavření radioaktivního obsahu.

Ochrana do hloubky

Ochrana do hloubky je způsob ochrany založený na několika nezávislých úrovních stupňovitě bránících vzniku možnosti ozáření pracovníků a obyvatelstva, šíření ionizujícího záření a úniku radioaktivních látek do životního prostředí.

Optimalizační mez

Efektivní dávka, která podle principu optimalizace radiační ochrany (§ 82 Atomového zákona) nesmí být překročena. V případě hlubinného úložiště jde o dávku 0,25 mSv za rok pro reprezentativní osobu.

Posuzování území k umístění jaderného zařízení

Podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) výsledky posuzování území k umístění jaderného zařízení musí být srovnány s charakteristikami vlastností území, při jejichž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno. Posuzování musí zahrnout hodnocení:

- a) souběžného působení a vzájemného ovlivňování vlastností, jejich intenzity a doby trvání
- b) budoucího vývoje vlastností území

Pozemek jaderného zařízení

Část území k umístění jaderného zařízení, na které se bude ve fázích životního cyklu následujících po umístění jaderného zařízení nacházet areál jaderného zařízení.

Pracoviště IV. kategorie

Pracoviště IV. kategorie je, ve smyslu AZ a jeho prováděcích vyhlášek, pracoviště s jaderným zařízením.

Primární víko

Primární víko je přišroubované nebo přivařené víko POS nebo UOS, které je blíže VJP, než sekundární víko.

Radiační havárie

Radiační havárie - je radiační mimořádná událost nevládnutelná silami a prostředky obsluhy nebo pracovníků vykonávajících práci v aktuální směně HÚ, při jejíž činnosti radiační mimořádná událost vznikla, která vyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Radiační mimořádná událost

Radiační mimořádná událost je událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření, a která vyžaduje opatření, jež by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajištění radiační ochrany.

Radiační ochrana

Radiační ochrana je systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzické osoby a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření.

Radioaktivní odpad

Věc, která je radioaktivní látkou nebo předmětem nebo zařízením jí obsahující nebo jí kontaminovaným, pro kterou se nepředpokládá další využití a která nesplňuje podmínky stanovené Atomovým zákonem 0 pro uvolňování radioaktivní látky z pracoviště.

Referenční projekt (řešení, komponenty, materiál) HÚ

Referenční projekt (řešení, komponenty, materiál) HÚ je v současné době uvažované technické řešení částí HÚ, které je společné pro všechny lokality.

Reprezentativní osoba

Jednotlivec z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány.

Sekundární víko

Sekundární víko je přišroubované nebo přivařené víko POS nebo UOS, které je dále VJP, než primární víko.

Skladování RAO/VJP

Skladování RAO/VJP je předem časově omezené umístění radioaktivního odpadu nebo vyhořelého jaderného paliva do prostoru, objektu nebo zařízení s úmyslem jej znovu vyjmout.

Střežený prostor

Střežený prostor je prostor, v němž se nalézá jaderný materiál III. kategorie, nebo chráněný prostor.

Technická bezpečnost

Technická bezpečnost je stav trvalé shody vybraného zařízení s technickými požadavky na něj kladenými, při němž není ohroženo lidské zdraví, životní prostředí a majetek.

Úložiště radioaktivních odpadů

Prostor, objekt nebo zařízení sloužící k ukládání radioaktivního odpadu.

Vyhořelé jaderné palivo

Ozářené jaderné palivo, které bylo trvale vyjmuto z aktivní zóny jaderného reaktoru.

Vyřazování z provozu

Vyřazování z provozu jsou administrativní a technické činnosti, jejichž cílem je úplné vyřazení nebo vyřazení jaderného zařízení, pracoviště III. kategorie nebo pracoviště IV. kategorie s omezením k použití k dalším činnostem souvisejícím s využíváním jaderné energie nebo činnostem v rámci expozičních situací.

Vysvětlení některých geologických pojmů

Duktilní deformace

„Plastické“ deformace hornin, při kterých se nevytvářejí plochy nespojitosti. Opakem jsou křehké deformace. Mezi těmito krajními případy je široké pole deformací duktilně-křehkých. Duktilní deformace je dominantní v hlubší části zemské kůry a v plášti, kde úzce souvisí s podmínkami metamorfózy, případně s parciální anatexí (částečným natavením) hornin.

Glaciál

Jinými slovy - ledová doba, časové období s chladným a suchým podnebím. Glaciály se dělí na dílčí chladnější výkyvy - stadiály a teplejší výkyvy - interstadiály. V historii Země známe více dob ledových, nejlépe prozkoumaná jsou však za posledních 1,8 mil. let. Teplota v nejstudenějším období glaciálu na území Česka byla zhruba o 11-13°C nižší oproti současnému průměru. Jeden glaciální cyklus trvá zhruba 120 tisíc let (100 tisíc let – doba ledová a 20 tisíc let – doba meziledová).

Hydrostatický tlak (angl. Hydrostatic pressure)

Hydrostatický tlak je tlak, který vzniká v kapalině (obvykle ve vodě) její vlastní tíhou.

Hydraulický sklon (angl. Hydraulic gradient)

Poměr rozdílu hladiny nebo tlakové výšky kapaliny (vody) a dráhy její proudění. Synonyma: hydraulický gradient, hydraulický spád.

Křehké deformace

Pukliny a zlomy nacházející se v horninách, které vznikly při samotném vzniku horniny, nebo při jeho mechanickém namáhání vlivem zejména endogenních sil. Na vznik křehkých deformací mají vliv především vlastnosti samotné horniny, velikost napětí a jeho orientace, okolní teplota a rychlost deformace. Opakem křehké deformace je deformace duktilní. Mezi těmito krajními případy je široké pole deformací duktilně-křehkých.

Krystalinikum

Komplex krystalických, většinou metamorfovaných a magmatických hornin, hlavně granitoidů.

Kvartér

Geologické období, zahrnující zhruba posledních 2,6 milionů let. Dělí se na starší čtvrtohory (pleistocén) a mladší čtvrtohory (holocén).

Litostatický tlak

Tlak v hloubce způsobený vahou nadložních hornin. Přibližný tlak v hloubce hypotetického úložiště v 500 m je cca 13 - 15 MPa.

Napjatostní stav horninového prostředí

Napětí v horninovém masivu, které je způsobené nahromaděním energie. Příčinou jsou tíha nadložních hornin, horotvorné procesy v geologické minulosti a současnosti a další vlivy, vyplývající z geologické stavby masívu (např. vnitřní nehomogenity, diskontinuity, anizotropie vlastností hornin apod.).

Permafrost (angl. Permafrost)

Věčně zmrzlá půda. Nejsvrchnější část litosféry, která má po dobu dvou let teplotu 0 °C a nižší. Mocnost permafrostu na Zemi bývá od několika cm až více než tisíc metrů. V polárních oblastech se permafrost vyskytuje v místech věčného ledu a v oblasti tundry. Permafrost se může vyskytovat i pod mořskou hladinou. Vznikl v poslední době ledové, na jejímž konci byl

zatopen díky zvýšení hladiny oceánů. Teplota moře v současné době nestačí k roztání, a tak permafrost stále přetrvává.

Puklina

Křehké porušení geologického tělesa (horniny) změnou napětí bez pozorovatelného přemístění. Pukliny představují nejběžnější typ porušení mechanické soudržnosti hornin a horninového masivu.

Rozpojitelnost

Odolnost horniny vůči působení nástroje, kterým se oddělují její části.

Odprysk (Spalling)

Lokální destrukce masivu, při které dojde k prudkému uvolnění částí stěny (překročení pevnosti materiálu), která odletí (odprýskne) s charakteristickým třaskavým zvukem.

Ztekucení zemin (angl. Soil liquefaction)

Fenomén, když částečně nebo úplně saturovaná zemina podstatně ztratí svoji pevnost nebo tuhost. Důvodem je nárůst pórového tlaku, vznik výrazné deformace, přičemž efektivní napětí klesne na nulu a zemina se chová jako tekutina. K ztekucení zemin dochází při dynamickém namáhání (např. při seizmických otřesech).

Úložné vrty

Podle typu úložného systému krátké svislé vrty vyhloubené v chodbách hlubinného úložiště, nebo dlouhé horizontální či subhorizontální vrty, ve kterých budou uloženy obalové soubory s odpadem. Mezi samotnými kontejnery a horninovým prostředím bude několik decimetrů hrubá vrstva bentonitu.

Vertikální pohyby zemské kůry

Velmi pomalé pohyby bloků svrchní části zemské kůry, při kterých se bloky diferenciatně pohybují podél zlomu ve vertikálním směru. Tento pohyb může být pozitivní (výzdvih), nebo negativní (pokles). Rychlost pohybů je v Českém masivu obecně $<0,5$ mm/rok, tj. (<50 m/100 000 roků).

Zlom

Zlom či dislokace je geologická porucha v litosférické desce, která může dosahovat od několika milimetrů až po tisíce kilometrů. Je definován jako fraktura, podél které došlo k pozorovatelnému přemístění okolních částí větších než 1 m.

Zóna ovlivnění výrubem EdZ (angl. Excavation disturbed zone, EdZ)

Část horninového masivu v podzemí přiléhající k vyrubanému prostoru (tunelu, kaverna, štola), která vykazuje nevýznamné hydromechanické a geochemické nebo reverzibilní změny. Tyto změny mohou být také reverzibilní.

Zóna poškození výrubem EDZ (angl. Excavation damaged zone, EDZ)

Část horninového masivu v podzemí přiléhající k vyrubanému prostoru (tunelu, kaverny) která vykazuje významné, nezvratné změny, přičemž vznikly pohyby podél existujících fraktur, případně vznikly nové fraktury. V prostředí s vysokým napětím může docházet k odštěpování a vypadávání bloků horniny ze stěn výrubu.

Zvodeň

Hydraulicky jednotná a souvislá akumulace gravitačních podzemních vod v hornině, tj. spojitě těleso vody (akumulace) v kolektoru, kterým se mohou šířit hydraulické impulsy, resp. může docházet k přenosu (transportu) hmot.

Seznam použitých zkratk

| | |
|--------|--|
| ASŘTP | automatizovaný systém řízení technologického procesu |
| AZ | (podle kontextu) atomový zákon nebo aktivní zóna reaktoru |
| CMVJP | centrální mezisklad vyhořelého jaderného paliva |
| ČR | Česká republika |
| DFN | Discrete Fracture Network |
| DSS | systemy rozhodovací analýzy (<i>Decision Support System</i>) |
| DuSO | důlní stavební objekt |
| DuPS | důlní provozní celek |
| EDU | Jaderná elektrárna Dukovany |
| EdZ | Excavation disturbed zone (Zóna ovlivnění výrubem) |
| EDZ | Excavation damaged zone (Zóna poškození výrubem) |
| EIA | Environmental Impact Assessment (posouzení vlivu na životní prostředí) |
| ETE | Jaderná elektrárna Temelín |
| EU | Evropská unie |
| EVL | evropsky významná lokalita |
| GAP | revize stavu („mezer“) dat a jejich potřeby |
| GIS | geografický informační systém |
| HÚ | hlubinné úložiště |
| CHKO | chráněná krajinná oblast |
| CHLÚ | chráněné ložiskové území |
| IAEA | Mezinárodní agentura pro atomovou energii |
| ICRP | Mezinárodní komise pro radiační ochranu |
| IRF | okamžitě uvolnitelná frakce radionuklidů po poškození UOS |
| JE | jaderná elektrárna |
| LANDEP | metodika krajinářsko-ekologického plánování (<i>LANDscape Ecological Planning</i>) |
| NJZ | nové jaderné zdroje |
| NP | národní park |
| NPP | národní přírodní park |
| NPR | národní přírodní rezervace |
| POS | přepravní obalový soubor (obalový soubor typově schválený pro přepravu VJP) |
| PK | palivová kazeta (samostatná jednotka paliva u reaktorů VVER 440) |
| PO | ptačí oblast |
| PP | přírodní památka |

| | |
|---------|---|
| PS | (podle kontextu) provozní soubor |
| PS | (podle kontextu) palivový soubor (samostatná jednotka paliva u reaktorů VVER 1000) |
| PR | přírodní rezervace |
| PÚ ZZZK | Průzkumné území pro zvláštní zásah do zemské kůry |
| RAO | radioaktivní odpad(y) |
| RMU | radiační mimořádná událost |
| SO | stavební objekt |
| SSG | doporučení specifické bezpečnosti IAEA |
| SSR | specifické bezpečnostní požadavky IAEA |
| SÚRAO | Správa úložišť radioaktivních odpadů |
| SÚJB | Státní úřad pro jadernou bezpečnost |
| TNR | tlaková nádoba reaktoru |
| UNESCO | Organizace OSN pro výchovu, vědu a kulturu (<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>), |
| UOS | ukládací obalový soubor (obalový soubor typově schválený pro ukládání VJP) |
| VAO | vysokoaktivní odpad |
| VJP | vyhořelé jaderné palivo |
| VZT | vzduchotechnika |
| ZBZ | zadávací bezpečnostní zpráva |
| ZCHÚ | zvláště chráněná území |
| ZUPA | zájmové území povrchového areálu hlubinného úložiště |
| ŽP | životní prostředí |

Abstrakt

Tato zpráva shrnuje hodnocení lokality Kraví hora z hlediska možnosti umístění hlubinného úložiště. Formát zprávy je ve formě zadávací bezpečnostní zprávy podle požadavků § 20 vyhlášky č. 378/2016 Sb. o umístění jaderného zařízení. Studie hodnotí všechny dostupné znalosti o vlastnostech posuzované lokality a jejich vlivu na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, zvládnutí mimořádné události a zabezpečení během životního cyklu jaderného zařízení. Posuzovány jsou zejména ty charakteristiky vlastností území k umístění jaderného zařízení, při jejichž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno. Výsledky této studie budou sloužit jako podklad pro posouzení vhodnosti lokality Kraví hora z hlediska požadavků SÚJB a rozhodnutí o jejím zařazení do další fáze výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště.

Klíčová slova

hlubinné úložiště, umístění, výběr lokality

Abstract

This report summarizes the assessment of the Kraví hora site in terms of the siting of the deep geological repository. The format of the report is in the form of an Initial Safety Analysis Report according to the requirements of § 20 of Decree No. 378/2016 Coll., on siting of a nuclear installation. The study evaluates all available knowledge of the properties of the site under consideration and its impact on nuclear safety, radiation protection, technical safety, radiation situation monitoring, radiation extraordinary event management and security during the life cycle of a nuclear installation. In particular, the characteristics of the site for a nuclear installation are considered, the achievement of which causes the siting of a nuclear installation to be prohibited. The results of this study will serve as a basis for assessing the suitability of the Kraví hora site in terms of the SÚJB requirements and for the decision to include it in the next phase of selection of sites for the siting of the deep geological repository.

Keywords

deep repository, siting, site selection

Účel a kontext studie ZBZ

Koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR byla přijata usnesením vlády ČR č. 487/2002 v roce 2002. Tato koncepce deklarovala, že základní strategií ČR je uložení VJP a ostatního RAO nepřijatelného k uložení do přípovrchových úložišť do hlubinného úložiště. HÚ by mělo být připraveno k provozu v roce 2065. Uložení vyhořelého jaderného paliva či jeho zbytků po přepracování do hlubinného úložiště je v současné době ve světě považováno za nejbezpečnějším způsob jeho zneškodnění. Provoz prvních úložišť v EU by měl být zahájen zhruba kolem roku 2020–2035 ve Finsku, Švédsku a Francii. Uložení nebezpečného odpadu několik stovek metrů pod povrch země zabrání neúmyslnému kontaktu člověka s odpadem a ochrání úložiště před procesy a událostmi probíhajícími na povrchu. Výstavba hlubinného úložiště je podmíněna prokázáním jeho bezpečnosti po dobu tisíců až statisíců let.

Systematický proces přípravy hlubinného úložiště v ČR začal po zrušení smlouvy o bezplatném odvozu vyhořelého jaderného paliva do bývalého Sovětského svazu v roce 1989. ČGÚ v roce 1992 vybral 27 potenciálně vhodných oblastí pro umístění hlubinného úložiště. Do roku 1998 byla provedena obsáhlá rešerše dostupných geologických dat o těchto lokalitách, byly shrnuty dostupné informace o množství VJP a ostatních RAO, které bude třeba uložit do HÚ, a byly analyzovány základní informace o vlastnostech VJP a RAO, potřebných inženýrských bariérách a vlastnostech různých horninových prostředí. Byly navrženy robustní dvouvrstvé ukládací obalové soubory na bázi uhlíkové a korozivzdorné oceli a vypracovány základní ideové projekty podzemní i nadzemní části HÚ. Byla zvolena hloubka pro HÚ kolem 500 m, které by měla splňovat jak bezpečnostní kritéria, tak i kritéria proveditelnosti úložiště.

Po kritickém zhodnocení vytipovaných oblastí z hlediska splnění vylučujících kritérií pro umístění jaderných zařízení v souladu s vyhláškou č. 215/1997 Sb. a vlivu na přírodu, jak vyplývá ze zákona č. 114/1992 Sb., bylo v roce 2002 vybráno 11 potenciálních lokalit ve

třech různých typech hornin.¹ SÚRAO z těchto navržených lokalit upřednostnilo 6 lokalit v granitovém horninovém prostředí. Po prověření archivních geologických informací byla do výběru přiřazena lokalita Kraví hora na Žďársku, kde se očekával pozitivní přístup obyvatelstva k průzkumným pracím pro HÚ vzhledem k dlouhodobým zkušenostem s těžbou uranu. Ze stejných důvodů bylo v roce 2016 iniciováno zpracování geologických a technických studií, zaměřených na nalezení dalších potenciálních lokalit na územích v blízkosti jaderných elektráren v Dukovanech a Temelíně. V současné době je uvažováno následujících 9 potenciálních lokalit pro umístění HÚ: Čertovka (Lubenec, Blatno - Ústecký kraj), Březový potok (Pačejov, Chanovice - Plzeňský kraj), Magdaléna (Jistebnice, Vlksice - Jihočeský kraj), Čihadlo (Pluhův Žďár, Lodhěřov - Jihočeský kraj), Hrádek (Nový Rychnov, Rohozná – Kraj Vysočina) a Horka (Budišov, Oslavička - Kraj Vysočina), Kraví hora (Kraj Vysočina), Na Skalním (Kraj Vysočina), Janoch (Jihočeský kraj).

V následující tabulce (Tab. 1) je uveden aktuální harmonogram výběru vhodných lokalit a výstavby HÚ podle aktualizace Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice schválené usnesením vlády České republiky č. 852/2017 dne 29. 11. 2017.

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ

| Milník / činnost | Rok |
|--|-----------|
| Výběr dvou kandidátních lokalit na základě předběžné charakterizace lokalit se stanoviskem dotčených obcí | 2022 |
| Výběr finální lokality se stanoviskem dotčených obcí a podání žádosti o územní ochranu vybrané lokality | 2025 |
| Zahájení procesu EIA pro podzemní laboratoř ve finální lokalitě | 2026 |
| Podání žádosti o vydání územního rozhodnutí pro podzemní laboratoř ve finální lokalitě | 2028 |
| Zahájení procesu EIA pro HÚ | 2035 |
| Předložení dokumentace k územnímu řízení pro HÚ všem dotčeným orgánům včetně SÚJB (zadávací bezpečnostní zpráva) | 2040 |
| Předložení dokumentace ke stavebnímu řízení | 2045 |
| Výstavba hlubinného úložiště (s první ukládací sekcí) a další práce a příprava dokumentace pro zahájení provozu | 2050–2064 |
| Příprava dokumentace k povolení provozu HÚ, vydání rozhodnutí | 2063–2065 |
| Zahájení provozu hlubinného úložiště | 2065 |

Tato studie shrnuje podklady získané z lokality Kraví hora ve formě zadávací bezpečnostní zprávy podle požadavků uvedených v § 47 atomového zákona 236/2016 Sb. (AZ) a vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b). Pro každou v současné době zvažovanou lokalitu je připravována obdobná studie. Účelem přípravy všech těchto studií je:

¹ V granitoidních masivech to byly lokality označované Čertovka (Lubenec, Blatno - Ústecký kraj), Březový potok (Pačejov, Chanovice - Plzeňský kraj), Magdaléna (Jistebnice, Vlksice - Jihočeský kraj), Čihadlo (Pluhův Žďár, Lodhěřov - Jihočeský kraj), Hrádek (Nový Rychnov, Rohozná – Kraj Vysočina) a Horka (Budišov, Oslavička- Kraj Vysočina) a Borohrádek, v prostředí metamorfovaných hornin lokality Teplá a Zbytiny, a v prostředí sedimentárních hornin lokalita Lodín – Nový Bydžov.

1) shrnout jednotlivé vlastnosti území k umístění hlubinného úložiště a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění hlubinného úložiště a

2) porovnat všechny vlastnosti z hlediska způsobilosti ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, procesů a událostí, které se mohou vyskytnout v době nebezpečnosti odpadů.

Dalšími podklady pro porovnání potencionálních lokalit nezahrnutými do této studie budou studie proveditelnosti popisující projekt úložiště ve vybrané lokalitě, studie vlivu na životní prostředí a socio-ekonomicko-demografické studie zahrnující i výsledky komunikace s veřejností z dotčených obcí. Výsledky porovnání všech potencionálních lokalit budou uvedeny v samostatné zprávě SÚRAO.

A OBECNÁ ČÁST STUDIE ZBZ

A.1 Identifikační údaje o zpracovateli studie ZBZ

Studie ZBZ byla sestavena zejména z dílčích výsledků následujících projektů SÚRAO:

- Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště (projekt je zaměřen na hodnocení dlouhodobé bezpečnosti)
- Výzkumná podpora pro projektové řešení hlubinného úložiště (projekt je zaměřen i na hodnocení bezpečnosti za provozu)
- Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku

Řešení těchto projektů se zúčastnilo více než 300 výzkumných a inženýrských pracovníků, V těchto projektech byly shrnuty všechny dostupné archivní poznatky a poznatky získané z výzkumných a průzkumných prací lokality Kraví hora vycházejících z logiky, postupnosti a zvolených průzkumných metodik z HYPL (Procházka et al. 2010). Metodiky byly přizpůsobeny rozsahu prací a časovému omezení, které bylo uvedeno v rozhodnutí o stanovení PÚZZK.

Hlavní autoři zpráv, z nichž bylo kompilováno hodnocení dlouhodobé bezpečnosti umístění hlubinného úložiště v lokalitě Kraví hora uvedené v této zprávě, byli (autoři jsou řazeni abecedně):

Zita Bukovská², Matěj Černý³, Radek Červinka¹, Barbora Dudíková Schulmannová², Alena Dudková², Karel Dušek², Jan Franěk², Jenny Gondolli¹, Libor Gvoždík³, Václava Havlová¹, Milan Hokr⁴, Jan Holeček², Tomáš Hroch², Hana Huščáková¹, Jakub Jankovec³, Jan Jelének², Jan Jelínek², Renata Kachlíková², Zdeněk Kaláb⁵, Martin Klajmon¹, Josef Klomínský², Kateřina Kolomá¹, Milan Kouřil⁹, Jiřina Královcová⁴, Radek Kučera², Eva Kunceová², Markéta Lednická⁵, Jiří Maryška⁴, Martin Milický³, Daniel Nývlt², Pavel Ondra², Jaroslava Pertoldová², Michal Polák³, Vladislav Rapprich², Lenka Rukavičková², Jakub Říha⁴, Jana Steinová⁴, Jiří Svoboda⁶, Pavel Šír², Ondřej Švagera², Dáša Trpkošová, Radek Vašíček⁶, Martin Vavro⁵, Aleš Vetešík⁷, Kryštof Verner², Dušan Vopálka⁷, Josef Zeman⁸, Ondřej Zeman³

ÚJV Řež, a.s.¹, ČGS², PROGEO spol. s r.o.³, Technická univerzita v Liberci⁴, ÚGN AV ČR⁵, Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT⁶, FJFI ČVUT⁷, Masarykova univerzita⁸, VŠCHT v Praze⁹

Hlavní autoři zprávy (Martinčík et al. 2018) ze, které vycházelo hodnocení provozní bezpečnosti, byli:

Martinčík Jiří, Vrba Tomáš, Čechák Tomáš, Thinová Lenka, Průša Petr, Musílek Ladislav, Zahradník Ondřej, Louženský Tomáš, Fiedler František, Nohejl Jaroslav, Veverka Aleš.

Hlavními autory zprávy (Špinka et al. 2018), na jejímž základě byla zpracována část c) studie ZBZ „Popis projektu“ jsou:

Špinka Ota, Grünwald Lukáš, Pořízek Jan, Zahradník Ondřej, Veverka Aleš, Fiedler František a Nohejl Jaroslav.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Vlastního zpracování studie ZBZ se zúčastnili pracovníci SÚRAO: Antonín Vokál, Ilona Pospíšková, Lukáš Vondrovic, Jaromír Augusta, Martin Eliáš, Zdena Lahodová, Eva Popelová, Miloš Kováčik a pracovníci společnosti PRO ENGINEERING, s.r.o. (Pavel Čech, Jan Antoš, Karel Bárta), kteří se zaměřili zejména na sledování kompatibility výstupů s požadavky SÚJB a s požadavky plynoucími s doporučení IAEA a WENRA a na závěrečnou korekturu zprávy a zpracování části C. studie ZBZ.

A.2 Legislativní požadavky

Zvláštní požadavky na rozsah a způsob posuzování k umístění hlubinného úložiště podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 2).

Tab. 2: Požadavky na posuzované vlastnosti podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)

| Pol. | Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) | Kapitola |
|----------|---|-----------------------|
| § 5 | Seismicita | B.4.1, B.4.5 |
| § 6 | Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem | B.1.1.2, B.4.5, B.7.2 |
| § 7 | Povodně | B.7.3 |
| § 8 | Oběh podzemní vody | B.2, B.7.4 |
| § 9 | Další geodynamické jevy a geotechnické parametry základových půd | B.7.5 |
| § 10 | Klimatické a meteorologické jevy | B.4.4, B.7.6 |
| § 11 | Biologické jevy | B.5.5, B.7.7 |
| § 12 | Přírodní požáry | B.7.7 |
| § 13 | Pád letadla a jiných objektů | B.7.9 |
| § 14 | Výbuchy a požáry, které mají původ v činnosti člověka, a jejich zplodiny | B.7.10 |
| § 15 | Kolize s ochranným nebo bezpečnostním pásmem | B.7.11 |
| § 16 | Šíření radioaktivní látky ovzduším, podzemní a povrchovou vodou a potravním řetězcem | B.8, B.9 |
| § 17 | Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj | A.3 |
| § 18 | Zvláštní požadavky na rozsah a způsob posuzování území k umístění hlubinného úložiště | Viz níže |
| § 18 (1) | Posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí hodnotit, zda izolační a zádržné vlastnosti horninového prostředí v kombinaci s uměle vytvořenými překážkami zajišťují, že uložený radioaktivní odpad nezpůsobí při očekávaném vývoji hlubinného úložiště větší ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí. Při získávání informací o území k umístění hlubinného úložiště musí být v nejvyšší možné míře zachovány původní vlastnosti geologického prostředí. | B, C |

| Pol. | Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) | Kapitola |
|----------------|---|---------------------------|
| § 18 (2) | Posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí dále hodnotit | Viz níže |
| § 18 (2) a) | hloubkový dosah a rozměr vhodného horninového masívu pro umístění hlubinného úložiště a vzdálenost geologických rozhraní a tektonických poruch, které mohou působit jako cesty pro transport radioaktivních látek, | A.3, B.1, B.2 |
| § 18 (2) b) | strukturně geologické vlastnosti horninového prostředí, ve kterém je umístěno hlubinné úložiště, včetně křehké a duktilní tektoniky, | B.1.4 |
| § 18 (2) c) | původ a předpokládaný vývoj horninového prostředí, | B.1.1.5 |
| § 18 (2) d) | vhodnost mechanických vlastností hornin pro zajištění dlouhodobé stability přírodní bariéry hlubinného úložiště | B.5.3 |
| § 18 (2) e) | petrografické a mineralogické složení horninového prostředí | B.1.2, B.5.3, Příloha D.1 |
| § 18 (2) f) | výskyt nestejnorožného horninového prostředí s petrograficky a mechanicky odlišnými typy hornin, které jsou postiženy hydrotermálními a jinými druhotnými přeměnami | B.1.2, Příloha D.1 |
| § 18 (2) g) | výskyt endogenních a exogenních jevů, které mohou v přírodní bariéře hlubinného úložiště vyvolat významné změny, zejména tektonických procesů, seismické aktivity, vulkanismu, diapirismu, deformací povrchu území a rychlosti eroze a sedimentace, | B.4.1, B.4.2, B.4.3 |
| § 18 (2) h) | oběh podzemních vod v území k umístění hlubinného úložiště z hlediska možné doby transportu, retardace, rozpustnosti a změny koncentrace radioaktivní látky v důsledku mísení s podzemními vodami, | B.2 |
| § 18 (2) i) | paleohydrogeologické procesy, klimatickou historii a předpokládaný dlouhodobý vývoj klimatu v regionálním a globálním měřítku, | B.4.4 |
| § 18 (2) j) | zranitelnost horninového prostředí a oběhu podzemních vod z hlediska dlouhodobých klimatických změn a jejich doprovodných jevů, zejména překrytí hlubinného úložiště ledem, permafrostem nebo vodou, | B.4.4 |
| § 18 (2) k) | fyzikálně chemické, geochemické a mikrobiologické vlastnosti geologického prostředí, zejména | Viz níže |
| § 18 (2) k) 1. | zádržné vlastnosti horninového prostředí a uměle vytvořených překážek, | B.3, B.5, C.3 |
| § 18 (2) k) 2. | chemické složení podzemní vody, | B.5.4 |
| § 18 (2) k) 3. | redukční podmínky, | B.5.4 |
| § 18 (2) k) 4. | obsah kyslíku a | B.5.4 |
| § 18 (2) k) 5. | přítomnost mikroorganismů, koloidů a organických látek, | B.5.5 |
| § 18 (2) l) | geomechanické vlastnosti, zejména | Viz níže |
| § 18 (2) l) 1. | pevnostní a deformační vlastnosti hornin a | B.5.3 |

| Pol. | Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) | Kapitola |
|----------------|--|--|
| § 18 (2) l) 2. | napjatostní stav horninového prostředí, | B.5.3 |
| § 18 (2) m) | plynpropustnost hornin, | B.5.6 |
| § 18 (2) n) | tepelné vlastnosti horninového prostředí, včetně tepelného gradientu, | B.5.1, B.6.5 |
| § 18 (2) o) | výskyt současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, zejména využití hostitelské horniny těžbou nerostných surovin nebo využíváním geotermální energie nebo využíváním systému pro podzemní zásobníky plynu, | B.6, B.7.10, B.7.11, B.7.13 |
| § 18 (2) p) | výskyt změn v hostitelském a okolním geologickém prostředí vzniklých vrtnou a báňskou činností v průzkumné fázi umísťování hlubinného úložiště, při kterých by vznikly nové preferenční cesty pro migraci radioaktivních látek, a | B.6.1, B.6.2, B.6.3, B.6.4 |
| § 18 (2) q) | popsatelnost a predikovatelnost geologické stavby, oběhu podzemních vod a fyzikálních, mechanických a geochemických vlastností horninového prostředí území k umístění hlubinného úložiště. | B.1.1, B.2 |
| § 18 (3) | Hodnocení vlastností území k umístění hlubinného úložiště podle odstavce 2 musí zohlednit hloubku pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění hlubinného úložiště. | B (údaje pro hloubku 500 m pod povrchem) |
| § 18 (4) | Charakteristikou vlastností území k umístění jaderného zařízení, při jejímž dosažení je umístění hlubinného úložiště zakázáno, je | Viz níže |
| § 18 (4) a) | Horninové prostředí, které umožňuje migraci radioaktivních, chemických a toxických látek, které se mohou uvolnit z uloženého radioaktivního odpadu tak, že při očekávaném vývoji hlubinného úložiště dojde k většímu ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí, | B.9 |
| § 18 (4) b) | nemožnost vytvoření | Viz níže |
| § 18 (4) b) 1. | komplexního prostorového modelu geologické stavby z důvodu složité geologické stavby a tektonických poměrů, | B.1.4 |
| § 18 (4) b) 2. | hydrogeologického modelu v důsledku obtížné popsatelnosti a predikovatelnosti hydrogeologických poměrů území k umístění jaderného zařízení, nebo | B.2 |
| § 18 (4) b) 3. | geomechanických a geochemických modelů území k umístění jaderného zařízení, nebo | B.5.3, B.5.4 |
| § 18 (4) c) | přítomnost zdrojů geotermální energie. | B.6.5 |

Jedinými vylučujícími požadavky, které se týkají podzemní části hlubinného úložiště, jsou požadavky uvedené v § 18 pod bodem (4) a písmeny a) až c). Požadavek uvedený pod písmenem a) se vztahuje k výpočtu ozáření reprezentativní osoby, která nesmí být větší, než je optimalizační mez, která je stanovena v zákoně 263/2016 Sb., §82, odst. (1)) pro reprezentativní osobu na hodnotu 0,25 mSv za rok (definice - jednotlivec z obyvatelstva

zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány - zákon 263/2016 Sb., §2, odst. (3), bod j)).

Obecné požadavky na jaderné zařízení, které se vztahují především na nadzemní části hlubinného úložiště, jako je například horká komora pro překládání vyhořelých palivových souborů ze skladovací a přepravních obalových souborů do ukládacích obalových souborů (UOS), jsou uvedeny v §§ 5 až 17 vyhlášky 378/2016 Sb. (SUJB 2016b).

Požadavky jako je seismická (§ 5), porušení území k umístění zlomem (§6), oběh podzemní vody (§ 8) či některé geodynamické vlivy (§ 9) se vztahují jak na podzemní, tak i nadzemní část hlubinného úložiště.

V současné době není atomovým zákonem předepsána osnova (členění) ZBZ. Vyhláška č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) pouze stanoví v § 20 požadavky na obsah zadávací bezpečnostní zprávy. Vyhláška č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) dále požaduje (§ 9, bod 1 a 2), že v ZBZ nebo v bezpečnostním rozboru, který je součástí ZBZ, musí být vzato v úvahu období provozu pracoviště, kde se nakládá s radioaktivním odpadem, a v případě úložiště radioaktivního odpadu též období po uzavření úložiště. Posouzení bezpečnosti úložiště radioaktivního odpadu po jeho uzavření musí vycházet z rozboru scénářů definovaných na základě vlastností, událostí a procesů, které mohou ovlivnit jeho bezpečnost. Podle odst. 1) § 9 vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) v ZBZ musí být:

- a) navržen a odůvodněn rozsah bezpečnostní zprávy, časový interval posouzení bezpečnosti a soubor vstupních parametrů,
- b) používány pouze výpočtové programy, které prošly procesy verifikace a validace, a
- c) pro úložiště radioaktivního odpadu provedeny citlivostní rozborů a rozborů neurčitostí; pokud existuje riziko vzniku kritického stavu, musí posouzení zajištění podkritičnosti zohlednit neurčitosti bezpečnostních rozborů.

Dále podle odst. 6) § 9 vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) ZBZ pro úložiště radioaktivních odpadů, která je součástí dokumentace podle části 1. písm. a) přílohy č. 1 atomového zákona, musí obsahovat vyhodnocení charakterizace území k umístění tohoto jaderného zařízení. Charakterizace území spočívá v ověřování stavu geologického prostředí a úložných prostor a musí obsahovat:

- a) výsledky základního průzkumu území k umístění jaderného zařízení,
- b) popis normálního vývoje úložiště radioaktivního odpadu a
- c) identifikaci vlastností, událostí a procesů, které mohou narušit normální vývoj úložiště radioaktivního odpadu a mohou mít vliv na jeho bezpečnost.

V souladu s požadavky § 20 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) na ZBZ je tato studie rozdělena na 4 části:

- a) Obecnou část, obsahující
 1. identifikační údaje o zpracovateli ZBZ
 2. obecné informace o vlastnostech území
 3. výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací
- b) Vlastní zhodnocení vlastností území k umístění HÚ a jejich charakteristik, včetně výčtu podkladů a zdrojů informací použitých při hodnocení

- c) Popis projektu HÚ z hlediska naplnění požadavků na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace a zvládnutí radiační mimořádné události
- d) Výkresovou dokumentaci

Požadované charakteristiky území uvedené pod body 1 až 5 části b) ZBZ: vlastní zhodnocení vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik, zahrnující:

1. blízká průmyslová, dopravní a vojenská zařízení a lesní porosty, kde se mohou vyskytnout jevy, kde se mohou vyskytnout jevy, které mají původ v činnosti člověka, a způsob jejich posouzení,
2. vliv jiného jaderného zařízení v území k umístění jaderného zařízení,
3. klimatické a meteorologické jevy,
4. oběh podzemní vody a povodně
5. geodynamické jevy a geotechnické parametry základových půd,

nejsou prioritní pro umístění podzemní části hlubinného úložiště a vzhledem k možnosti umístit povrchový areál v okruhu cca 5 km od ukládacích chodeb, nemohou tyto charakteristiky vyloučit umístění ve zvažované lokalitě. SÚRAO proto s přihlédnutím k požadavkům § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) a doporučení IAEA (2011b) a dokumentu SÚRAO MP. 22 (Vokál et al. 2017) zvolilo následující členění části b) studie ZBZ pro umístění HÚ:

- 1) geologické charakteristiky
- 2) hydrogeologické charakteristiky
- 3) transportní charakteristiky
- 4) stabilita lokality
- 5) popis a hodnocení vlastností lokality důležitých pro ochranu systému inženýrských bariér, tj. slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami
- 6) popis lokality z hlediska přítomnosti faktorů, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka
- 7) ostatní vlastnosti pro hodnocení bezpečnosti nadzemní části hlubinného úložiště podle vyhlášky 378/2016 Sb.² (SUJB 2016b)
- 8) vliv šíření radioaktivních látek z povrchového areálu HÚ
- 9) vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ
- 10) shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení
- 11) Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderného zařízení
- 12) Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu

Geologické charakteristiky zahrnují požadavky vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) uvedené pod §18 písmeny a), b), c), d), e), f) a q). Hydrogeologické charakteristiky zahrnují požadavky vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) uvedené pod § 18 písmeny h) a částečně j). Transportní charakteristiky zahrnují požadavky vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) uvedené pod § 18 písmeny písm. h) a k). Kapitola „Stabilita lokality“ zahrnuje body: g) a j) a zároveň i zpracování požadavků na seismicitu (§ 5) a porušení území zlomem (§ 6). Slučitelnost lokalit s inženýrskými bariérami zahrnuje písm. k), l), m) a n) a popis lokality

² Ostatní posuzované vlastnosti zahrnují i požadavky bodu 1 až 5. Tato část je obšírně zpracována ve zprávě řešící proveditelnost úložiště v lokalitě Kraví hora, která je shrnuta v části c) této studie.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

z hlediska přítomnosti faktorů, které by mohly vést k narušení úložiště budoucími aktivitami člověka, zahrnuje písm. o) a p).

Kromě požadavků ve vyhlášce č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) byly zohledněny i požadavky IAEA SSG 14 shrnuté v následující tabulce.

Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|--|---------------------|
| I.21 | Geologické prostředí pro hlubinné úložiště by mělo umožnit úplnou charakterizaci a mělo by mít příznivé geometrické, fyzikální a chemické charakteristiky pro umístění hlubinného úložiště a pro utlumení pohybu radionuklidů z hlubinného úložiště do životního prostředí po uvažovanou dobu. | B.1, B.2, B.3 |
| I.22 | Hloubka a rozměry hostitelského prostředí by měly být dostatečné pro umístění hlubinného úložiště. Preferují se homogenní horninové formace v poměrně jednoduchých geologických podmínkách, protože je pravděpodobné, že budou lépe charakterizované a jejich vlastnosti by mohly být lépe předvídatelné. Podobně, formace s několika málo hlavními strukturními prvky nebo potenciálními transportními cestami, jejichž dopad na provoz může být snadno posouditelný, jsou také upřednostňovány. Je však možné, že při pokračování průzkumů a charakterizace, zdánlivě jednoduché prostředí, se může ukázat být složitější, než se původně očekávalo. | B.1.1, Příloha D.5 |
| I.23 | Mechanické vlastnosti hostitelského prostředí by měly být příznivé pro bezpečnou výstavbu, provoz a uzavření hlubinného úložiště a pro zajištění dlouhodobé stability geologické bariéry obklopující hlubinné úložiště. Teplotní a tepelně-mechanické vlastnosti hostitelského prostředí je také třeba vzít v úvahu v případě odpadů produkujících teplo. S ohledem na možnost produkce plynů v hlubinném úložišti je třeba při posuzování vzít v úvahu vlastnosti geologické bariéry z hlediska transportu plynu. | B.5.1, B.5.3, B.5.6 |
| I.24 | Informace, které by měly být shromážděny k získání odpovídající úrovně porozumění geologickému prostředí, zahrnují místní a regionální údaje o struktuře a stratigrafii sedimentů hornin a zemin a jejich chemických a fyzikálních vlastnostech, včetně mechanických, a v případě účelnosti tepelných vlastností. | B.5.3, B.5.4 |
| I.25 | Hostitelské prostředí by nemělo být náchylné k poškození budoucími geodynamickými jevy (např. změnou klimatu, neotektonikou, seizmicitou, vulkanismem, diapirismem) do té míry, že by tyto mohly nepříjemně poškodit těsnostní a izolační schopnosti celého úložného systému. | B.4 |
| I.26 | Vývoj klimatu představovaný glaciálními cykly může mít za následek zásadní změny v hydrosféře, jako je kolísání mořské hladiny, změny v erozních nebo sedimentačních procesech a jejich vzájemném poměru, změny v glaciálních nebo periglaciálních podmínkách, a změny rovnováhy v hydrogeologických a hydrologických poměrech. Geodynamické efekty, jako např. pohyby země spojené se zemětřesením, sesuvem nebo poklesem a zdvihem terénu, vulkanismem a diapirismem mohou vyvolat změny v podmínkách a | B.4.4 |

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|--|----------|
| | <p>procesech v zemské kůře. Tyto typy událostí, které v některých případech mohou být vzájemně propojené, mohou mít vliv na úložný systém v důsledku poruch integrity lokality nebo změny proudění podzemní vody. Předběžné posouzení předvídatelnosti a účinků těchto jevů by mělo být provedeno v požadovaných časových periodách v počáteční fázi procesu umístění. Lokalita by měla být umístěna v geologickém a geografickém prostředí, kde tyto geodynamické procesy nebo události nebudou pravděpodobně a nepovedou k nepřijatelným únikům radionuklidů.</p> | |
| I.27 | <p>Reakce geosféry na změny prostředí na povrchu má tendenci klesat s hloubkou. Faktory, které ovlivňují stabilitu geosféry, by měly být posouzeny. Informace nezbytné pro jakékoliv hodnocení obsahují:</p> <ul style="list-style-type: none"> (A) klimatickou historii (místní a regionální) a očekávané dlouhodobé budoucí trendy v lokálním a globálním měřítku (B) historii tektonického vývoje, rámcové geologické členění na lokální i regionální úrovni a historii seizmického vývoje (C) evidence aktivních (kvartérních a pozdně tercierních) neotektonických procesů, jako je zdvih, pokles, náklon, vrásnění a zlomová tektonika (D) výskyt zlomů v geologickém prostředí (např. jejich umístění, délka, hloubka a informace o stáří posledního pohybu) (E) napěťové pole v oblasti lokality (F) odhady charakteristik a maximální intenzity zemětřesení, které by byly možné v lokalitě na základě jejich seizmotektonických vlastností; (G) odhady geotermálního gradientu a důkazy o termálních pramenech (H) důkazy o aktivním (kvartérním a pozdně tercierním) vulkanismu (I) důkazy diapirů (diapirované struktury); (J) paleohydrologie. <p>Výše uvedené informace nemusí být dostupné ve fázi průzkumu oblasti. Nicméně, měly by být shromažďovány v rámci programů průzkumů, charakterizace a potvrzení lokality.</p> | B.4 |
| I.28 | <p>Hydrogeologické charakteristiky a charakteristika geologického prostředí by měly mít tendenci omezovat proudění podzemní vody v rámci úložiště a měly by podpořit bezpečné uzavření a izolaci odpadu s požadovanou věrohodností, že jakékoliv radionuklidy, které by mohly migrovat z prostředí úložiště, budou zpomaleny v důsledku omezené vodivosti nebo by byly rozptýleny v geosféře, což vede k dlouhým transportním časům, které sníží jejich koncentraci na povrchu.</p> | B.2, B.3 |
| I.29 | <p>Takové hodnocení mechanismů proudění podzemní vody, jako je analýza směru a rychlosti proudění, bude důležitým vstupem pro hodnocení bezpečnosti všech lokalit, protože nejpravděpodobnější způsob úniku radionuklidů je vlivem proudění podzemní vody. Bez ohledu na povahu odpadu nebo způsob uložení, horninové prostředí má být schopné omezit průtok, přítok a odtok podzemní vody a tím zabránit nepřijatelnému uvolňování radionuklidů. Fenomény jako zvodně a zlomová pásma jsou možnými cestami pro únik radionuklidů. Takovéto cesty by měly být omezeny v hostitelských horninách úložiště tak, aby ochranná funkce geologických a inženýrských bariér zůstala kompatibilní. Ředící schopnost hydrogeologického systému může být</p> | B.2 |

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|--|---------------------------|
| | důležitá a měla by být hodnocena. Umístění by mělo být optimalizováno z hlediska délky cest pomalu tekoucí podzemní vody z hlubinného úložiště do životního prostředí. | |
| I.30 | Možné důsledky pro hydrogeologii vyplývající z procesů způsobených hlubinným úložištěm (např. tepelné a radiační účinky, zvýšená hydraulická vodivost v důsledku důlního díla) by měly být brány v úvahu. | V této etapě neposuzováno |
| I.31 | Data potřebná pro hydrogeologii: (a) hydrogeologické vyhodnocení místních a regionálních geologických formací a charakterizace a identifikace zvodněných a nepropustných poloh v dostatečných podrobnostech (b) identifikace a charakterizace významných hydrogeologických formací v regionu (např. jejich umístění, rozsah, souvislosti) (c) odhad přítoku a odtoku do a z hlavních místních a regionálních hydrogeologických formací (umístění a vodní bilance) (d) hydrogeologické charakteristiky hostitelské horniny (např. distribuce pórovitosti, propustnosti, hydraulický gradient); (e) proudění podzemní vody (průměrný průtok a převládající směry) všech hydrogeologických jednotek v geologickém prostředí (f) fyzikální a chemické vlastnosti podzemní vody a hostitelské horniny v geologickém prostředí (g) výzkum paleo-hydrogeologického vývoje lokality | B.2 |
| I.32 | Fyzikálně-chemické a geochemické charakteristiky horninového a hydrogeologického prostředí by měly mít tendenci k omezování uvolňování radionuklidů z hlubinného úložiště do okolního prostředí, nebo alespoň omezit jejich migraci. | B.3 |
| I.33 | Volba hostitelského prostředí a okolního geologického prostředí, které má vhodné geochemické vlastnosti a dobré zpoždovací vlastnosti pro dlouhodobé radionuklidy, je zvláště důležitá pro hlubinné úložiště. Ve formaci, kde nastává proudění spodní vody přes zlomy a póry, zpomalení minerály, jak v matici horniny, tak na stěnách puklin by mohly být důležité pro podporu dlouhodobé funkce úložného systému. Procesy geochemického zadržení nebo zpoždění, které řídí následně rychlost a velikost migrace radionuklidů zahrnují takové procesy, jako difúze, srážení, sorpce, iontové výměny a chemické interakce. Schopnost podzemních vod transportovat radioaktivní koloidy může být důležitá a měla by být také brána v úvahu. Biogeochemie je dalším faktorem, který může mít význam pro konkrétní lokalitu. | B.3, B.5 |
| I.34 | Informace nezbytné k odhadu potenciálu pro migraci radionuklidů do životního prostředí by měly zahrnovat popis geochemických a hydrochemických podmínek hostitelské horniny a okolích geologických a hydrogeologické formací a jejich průtokový systém. Tato informace by měla zahrnovat: (a) mineralogické a petrografické složení geologických médií a jejich geochemické vlastnosti (b) chemismus podzemní vody | B.5 |
| I.35 | Řada chemických a fyzikálně-chemických interakcí mezi formou odpadu, obalem a zásypovým materiálem a prostředím hlubinného úložiště by | B.5 |

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|---|----------|
| | <p>měly být hodnoceny. Pro posouzení migrace radionuklidů do životního prostředí vyplývající z interakce hornina-voda-obal odpadů následovaný korozí obalu odpadů a vyluhováním radionuklidů z odpadu, by měly být získány informace o:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) chemickém, radiochemickém a mineralogickém složení hornin (včetně výplní puklin) (b) sorpční kapacitě minerálů a hornin pro ionty důležitých radionuklidů (c) obsahu radionuklidů a chemickém složení podzemních vod, včetně pH a Eh (d) účincích záření a zbytkového tepla na horniny a na chemismus podzemních vod (e) vlivu organických, koloidních a mikrobiologických materiálů (f) charakteristika pórů a povrchu minerálů hornin (včetně trhlin) (g) efektivní difúzní rychlosti nuklidů v hornině (h) rozpustnosti a speciace radionuklidů | |
| I.36 | <p>Umístění hlubinného úložiště by mělo být provedeno s ohledem na současné i potenciální lidské činnosti v lokalitě nebo její blízkosti. Pravděpodobnost, že tyto činnosti by mohly mít vliv na uzavření a izolační schopnosti úložiště a způsobit nepřijatelné důsledky, by měla být minimalizována.</p> | B.6 |
| I.37 | <p>Při hodnocení hostitelské horniny pro hlubinné úložiště je třeba zvážit i další možnosti zhodnocení nebo potencionálního zhodnocení hostitelské horniny jako těžitelné suroviny nebo pro vybudování skladovacích prostor. Například možná přítomnost plynu nebo ropných ložisek a hodnotných ložisek nerostných surovin a jakýkoliv významný potenciál geotermální energie by měly být vzaty v úvahu, aby se minimalizovala možnost lidského zásahu do geologického ukládání odpadu systém. Přednost by měla být dána lokalitám nacházejícím se v oblastech, které minimalizují pravděpodobnost, že hostitelské prostředí by mohlo být takto využito.</p> | B.6 |
| I.38 | <p>Pokud již existující vrty a výkopy v hostitelské hornině a v jejím okolí vykazují skutečné nebo potenciální hydraulické propojení, mělo by být identifikováno, kde mohou mít vliv na bezpečnost. V takových případech by vrty a další struktury, které by mohly představovat potenciální migrační cesty pro radionuklidy, měly být utěsněny.</p> | B.6 |
| I.39 | <p>Charakteristiky (vlastnosti) povrchu, které by mohly vést k zaplavení hlubinného úložiště, jako důsledek selhání stávajících nebo plánovaných vzduť povrchových vod by měly být pečlivě zváženy a vyhodnoceny. Při analýze regionu mohou být potenciální lokality vybrány na základě závažnosti účinků povodní. Zařízení postavena v blízkosti svahů by měla být hodnocena v kontextu svahových poruch a skalních sesuvů vzniklých v důsledku lidských činností, jako je odlesňování.</p> | B.7.3 |
| I.40 | <p>Informace nezbytné pro vyhodnocení toho, jak současné i potenciální lidské činnosti by mohly mít vliv na hlubinné úložiště, zahrnuje:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) záznamy z minulosti a současnosti o vrtání a těžbě v blízkosti lokality (b) informace o výskytu energetických a nerostných surovin v oblasti lokality (c) zhodnocení aktuálního a budoucího možného využití povrchových a | B.6 |

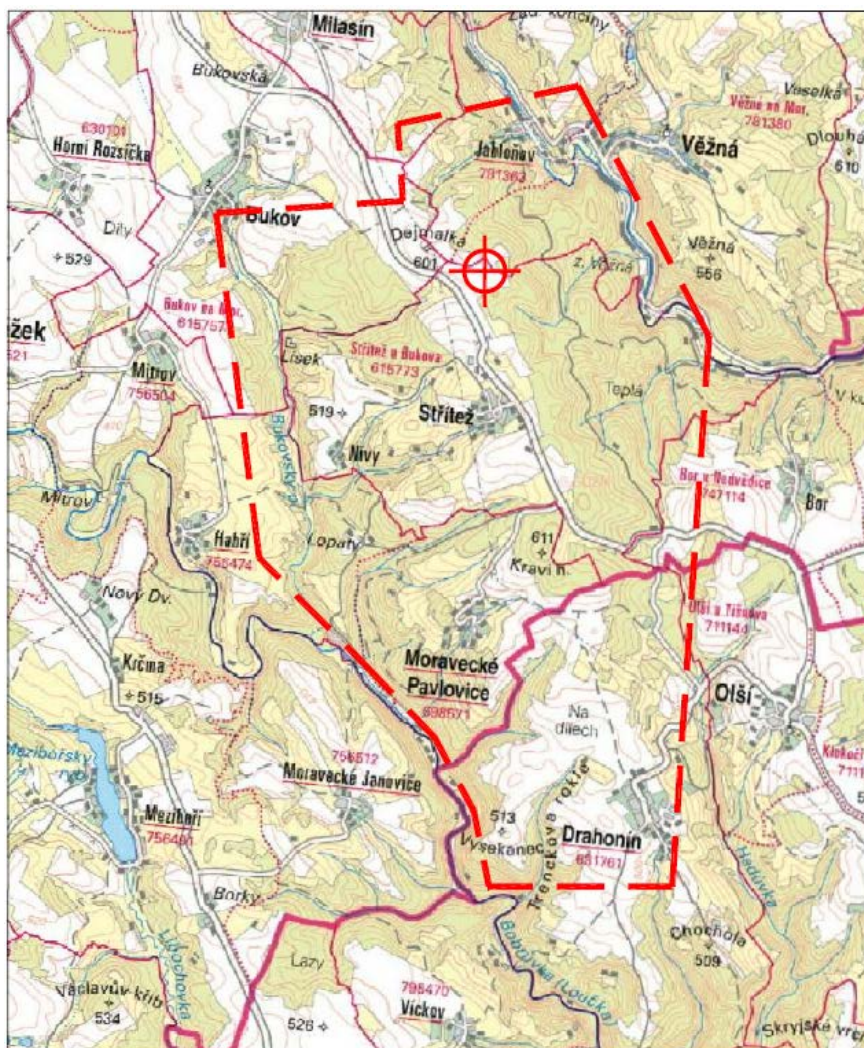
| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|---|--------------------------|
| | podzemních vod v lokalitě (d) umístění stávajících a plánovaných vodních děl. | |
| I.41 | Povrchové a podzemní charakteristiky lokality by měly umožnit návrh optimalizovaného plánu povrchových zařízení, a konstrukci všech ražeb v souladu s příslušnými bezpečnostními předpisy. | C |
| I.42 | Celkové strategie výstavby nebo hloubení by měly být připraveny a použity při přípravě důlního díla tak, aby zajistily, že jsou v souladu s národními předpisy pro stavbu podzemních děl, a že souběžně probíhající výkopové práce a ukládání odpadu se navzájem neovlivňují. Razící práce musí být prováděny tak, aby nevytvářely takové změny v okolním horninovém prostředí, které by představovaly nepřijatelné únikové cesty z hlubinného úložiště do biosféry. Materiál z hloubení šachet, tunelů a chodeb může být uvažován, např. s ohledem na jeho použití jako zásyrový materiál v navrhovaném úložišti. Není-li to možné, měl by se tento materiál vzít v úvahu pro terénní úpravy ke zlepšení přírodního prostředí. Vzdálenost od vhodných zdrojů kameniva nebo vody pro stavební činnosti může být vzata v úvahu | B.7.11, C |
| I.43 | Údaje nezbytné pro posouzení stavebních a inženýrských podmínek zahrnují: (a) podrobné geologické a hydrogeologické údaje o hostitelské hornině a o jejím nadloží (b) topografie lokality a jejího okolí (c) povodňová (záplavová) historie oblasti (d) specifikace oblastí náchylných k sesuvům půdy, potenciálně nestabilních svahů nebo materiálů s nízkou únosností nebo s vysokým zkapalňovacím potenciálem (e) potenciálně nepříznivé podmínky, které se mohou vyskytnout během ražby (vysoká teplota horniny, vysoká koncentrace plynu, vysoký poměr napětí a pevnosti, výskyt smykových zón) (f) historické údaje o seizmicitě regionu; (g) geomechanické a tepelné vlastnosti hostitelské horniny | B.7 |
| I.44 | Lokalita by měla být umístěna tak, že kvalita životního prostředí bude dostatečně chráněna a potenciální negativní dopady lze zmírnit na přijatelnou úroveň, s ohledem na technické, ekonomické, sociální environmentální faktory. | C, Studie EIA |
| I.45 | Geologické úložiště, jako i jiná velká průmyslová zařízení, musí být v souladu s požadavky na ochranu a zachování životního prostředí a s dalšími příslušnými předpisy ne-radiologické oblasti. Mezi možnými nepříznivými dopady, které může mít geologické úložiště na životní prostředí, mohou být uvedeny následující: (a) zhoršování životního prostředí v důsledku těžebních aktivit a dalších průmyslových provozů v oblasti zájmu. Takové zhoršování může zahrnovat: hluk a vizuální efekty a fyzický vliv, jako například z nebezpečných výluhů. (b) dopad na oblasti významných veřejných hodnot (c) zhoršení zásobování vodou (d) dopad na život rostlin a živočichů, zejména ohrožených druhů | B.7.11, C, Studie EIA |

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|--|---|
| I.46 | Pro odhad možných dopadů na životní prostředí, potřebné informace se budou týkat dat nutných pro zhodnocení dopadů na životní prostředí a měly by věnovat pozornost: (a) územím národních parků, rezervacím divokých zvířat, územím zvláštních vědeckých nebo kulturních zájmů a historickým oblastem (b) stávajícím zdrojům povrchové i podzemní vody (c) stávající suchozemské a vodní vegetaci a volně žijícím živočichům | B.7.11, C, Studie EIA |
| I.47 | Při výběru vhodných lokalit, by mělo být zvaženo využití půdy a vlastnické vztahy k půdě v souvislosti s možným budoucím rozvojem a regionálním plánováním v zájmové oblasti. Územní jurisdikce (působnost) nebo vlastnictví pozemků bude ve většině států významným faktorem s ohledem na ekonomiku a postoj veřejnosti. Stávající vlastnictví půdy provozovatelem navrhovaného zařízení nebo státem by mohlo zjednodušit plánovací a hodnotící práce a redukovat problémy spojené s vynětím půdy. Informace shromažďované pro účely umístování musí obsahovat podrobné údaje o stávajícím půdním fondu, jurisdikci a územních plánech zájmové oblasti. | C, Studie EIA |
| I.48 | Pro účely umístění, musí být shromážděny informace o: (a) alternativních způsobech dopravy a infrastruktury pro transport odpadů, (b) alternativní dopravní trasy (c) hustotě populace podél navrhovaných dopravních tras. | Neposuzováno (železniční trasy z elektráren do zvažovaných lokalit jsou obdobné) |
| I.49 | Přeprava radioaktivního odpadu do hlubinného úložiště v sobě skrývá možnost ozáření veřejnosti ionizujícím zářením. Možnost ozáření se může zvyšovat s rostoucí vzdáleností, po kterou má být odpad přepravován. Posouzení dopravy odpadů do hlubinného by mohlo být faktorem při získávání souhlasu veřejnosti o umístění hlubinného úložiště. | Viz položka I.48 |
| I.50 | V některých případech budou muset být budovány nové přístupové cesty nebo zlepšeny existující. Výstavba přístupových cest je složitější a dražší při existenci nevhodných terénních podmínek, jako jsou prudká klesání a stoupání a přirozené překážky. Z těchto důvodů může být dána přednost lokalitám, které vyžadují kratší dopravní vzdálenosti a omezený počet doprovodných staveb, a kde přístupové cesty nemusí projít obtížným terénem. Nicméně, výstavba nových silnic nebo další dopravní infrastruktury, v souhrnu nebo jednotlivě, může umožnit provozovateli optimalizovat dopravní síť, například vyhnout se obydleným nebo citlivým oblastem nebo podporovat vznik dopravních spojení pro místní komunitu. | C.4.2.3 |
| I.51 | Výstavba a provoz v povrchovém areálu, jako je přijímání a manipulace s kontejnery s odpadem, dekontaminace a přebalení odpadu pokud je nutné, stejně jako ostatní velké průmyslové činnosti, by se neměla konat v hustě obydlených oblastech. Na druhé straně, lokalita by se měla nacházet v oblasti schopné absorbovat s projektem související fluktuaci a požadavky na potřebné služby, jako je jako stavební práce a obsluhy, | A.3, B.8, Studie EIA |

| Pol. | Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář) | Kapitola |
|------|--|----------|
| | bydlení, hotely a restaurace, Podpůrné průmyslu a založila občanské a kulturní organizace. Obecně platí, že přednost by měla být dána lokalitě vzdálené, od hustě osídlených oblastí, ale které jsou schopny absorbovat očekávané změny v infrastruktuře a ve kterých je dostupná pracovní síla. | |

A.3 Obecné informace o vlastnostech území k umístění hlubinného úložiště

Průzkumné území pro zvláštní zásah do zemské kůry (PÚZZK) Kraví hora se nachází mezi obcemi Milasín, Habří a Olší. Uvnitř PÚZZK se nacházejí obce: Jabloňov, Střítež, Nivy, Moravské Pavlovice, Drahonín a část obce Bukov. Území dále zasahuje do území kraje Jihomoravského (okres Brno–venkov (katastrální území Drahonín, Litava a Olší u Tišnova). Průzkumné území má tvar nepravidelného dvanáctiúhelníku o výměře cca 17 km² (Obr. 1). Podle údajů PPM Factum (2016) zde žije 1197 obyvatel, tj. nejméně ze všech potenciálních lokalit. Obecně lze říci, že lokalita je tvořena malými obcemi, z nichž žádná nemá více než 500 obyvatel.



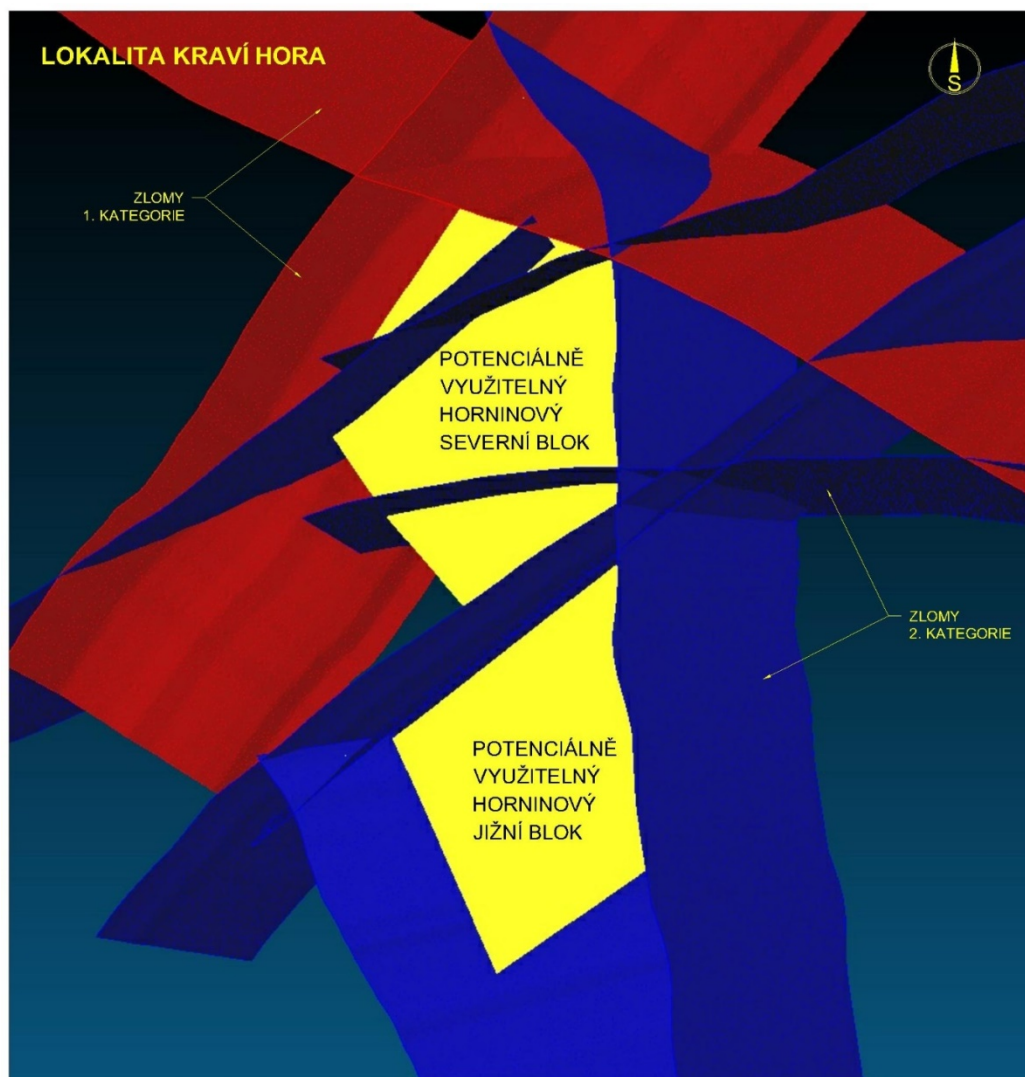
 PREFEROVANÉ UMÍSTĚNÍ PA

Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚZZK Kraví Hora a blízkého okolí včetně návrhů pro umístění povrchového areálu

Na základě regionálně geologického členění Českého masivu (Franěk et al. 2018) je širší okolí lokality Kraví hora tvořeno: (a) jednotkou svrateckého krystalinika s výskytem ve východní části území, (b) jednotkou strážeckého moldanubika vystupující ve střední a západní části území a (c) jednotkou moravika, které ve velmi omezeném rozsahu zasahuje

do jihovýchodního cípu území. V rámci jednotky strážeckého moldanubika byly konvenčně vymezeny čtyři dílčí litotektonické podjednotky: (a) strážecké moldanubikum s. s., (b) gföhlská skupina, (c) těleso drahonínského granulitu jako součást granulitových komplexů moldanubika a (d) intruzivní těleso drahonínského plutonu. Pokryvné útvary jsou zastoupeny velmi omezeně, jedná se převážně o svahové a říční sedimenty omezené mocnosti kvartérního stáří. Vztahy mezi dílčími jednotkami jsou definovány průběhem regionální metamorfni stavby. Tělesa magmatických hornin mají vůči svému okolí kontakty intruzivní povahy. Tyto kontakty duktilní povahy byly místy modifikovány naloženými strukturami křehké deformace (zlomy a zlomové zóny).

Geologické podloží lokality Kraví Hora tvoří horniny regionálně geologické jednotky moldanubika na západě a svrateckého krystalinika v jeho východní části. Do hornin strážeckého moldanubika byly dále vmístěny granitoidy až syenitoidy drahonínského plutonu. Strážecké moldanubikum je tvořeno migmatitizovanými pararulami, migmatity, a granulity, které tvoří cílovou litologii pro hlubinné úložiště, dále pak hojné polohy serpentinitů amfibolitů, mramorů a kvarcitů. Území svrateckého krystalinika je dominantně tvořeno leukokrátními dvojslídnyými migmatity, ortorulami, pararulami a svory s polohami mramorů, vápenatosilikátových hornin a amfibolitů. Mezi zastoupené pokryvné útvary patří svahové a říční sedimenty omezené mocnosti kvartérního stáří. Identifikované zlomové struktury vykazují dvě odlišné orientace: relativně starší zlomy směru SSZ(S)–JJV(J), na které je vázána uranová mineralizace vytěžených ložisek Rožná a Olší a v podřízené formě v průběhu VSV(V)–ZJZ(Z) a V-Z. Vyšší hustota zlomů obou uvedených systémů byla zjištěna podél západního a východního okraje průzkumného území, podél okraje relativně homogenního bloku tělesa felsického granulitu. Vymezené potenciální horninové bloky pro umístění hlubinného úložiště jsou umístěny v severní a jižní části průzkumného území, které byly definovány na základě průběhu hranic horninových těles a předpokládaného směru zlomových struktur: severní blok, který je umístěn v nejsevernější části předpokládaného granulitového masivu a východně ležících částečně migmatitizovaných pararulách. Představuje jej v průmětu kosočtverec o hranách 1540 m a 1350 m; a jižní blok, který je v hloubce cca 500 m pod povrchem zaujímá rozsah zhruba 1650 m x 1600 m. a nalézá se zhruba ve střední části granulitového masivu předpokládaného v hloubce 500 m. V severním bloku lze očekávat výskyt těles serpentinizovaných peridotitů.



Obr. 2: Geologické schéma umístění využitelných horninových bloků v lokalitě Kraví Hora

Umístění povrchového areálu v rámci kandidátní lokality bylo navrženo na základě environmentálních kritérií, resp. na základě minimalizace střetů zájmů se zájmy ochrany životního prostředí a jeho jednotlivých složek a ochrany veřejného zdraví v rámci neradiologických environmentálních kritérií (Špinka et al. 2018).

S ohledem na charakter posuzovaného území a rozložení environmentálních střetů je zřejmé, že střední část lokality zaujímají zalesněné plochy tvořící prvky regionálního ÚSES spolu s významným migračním koridorem velkých savců.

Jižní část lokality je významně poddolovaná bývalou hlubinnou těžbou. Zároveň se jedná o území s významnými přírodními hodnotami (EVL Trenckova rokle, EVL Bobrůvka, území sítě EEconet, ochranné lesy). Do severní části lokality pak zasahuje chráněné území pro zvláštní zásahy do zemské kůry. Severovýchodní část lokality naproti tomu vykazuje minimální environmentální střety. Na základě vyhodnocení střetů zájmů byla jako nejvhodnější v rámci zájmového území vybrána oblast severně od obce Střítež v katastrálních územích obcí Střítež a Věžná spadajících pod ORP Bystřice nad Perštejnem na zemědělské půdě s nízkou třídou ochrany v maximální vzdálenosti od obytné zástavby s minimální vizuální intruzí. Částečně je tvořena trvalými travními porosty a minoritně zasahuje do okraje lesních porostů. Umístění povrchového areálu je vymezeno severně od obce Střítež, cca 150 m

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

severovýchodně od silnice II/385 v prostoru Střítežského hřbetu a na středně sklonitém svahu severovýchodní orientace.

S ohledem na možnost napojení povrchového areálu na CMVJP Skalka bylo vybráno invariantní umístění povrchového areálu (Špinka et al. 2018).

Bylo zhodnoceno, že přístup k umístění aktivních provozů do podzemí s využitím přirozené terénní elevace je na řešené lokalitě velmi problematický. Projektová studie (Špinka et al. 2018) navrhuje alternativní řešení, které zachovává parametry jaderné bezpečnosti popsané výše a respektuje možnosti lokality při snaze minimalizovat environmentální i ekonomické nároky řešení.

Návrh počítá s plánovaným vybudováním CMVJP Skalka a jeho podzemním propojením s horkou komorou umístěnou v podzemí. V případě nevybudování CMVJP Skalka lze považovat podzemní napojení horké komory a překládacího uzlu (s obdobným trasováním jako při vybudování CMVJP Skalka) na železniční síť za ekonomicky a environmentálně vhodné řešení. Toto řešení umísťuje horkou komoru opět do podzemí, překládací uzel je rovněž v podzemí a bezprostředně přiléhá k CMVJP Skalka. Přeprava RAO je uvažována do PA po silničních komunikacích a dále do podzemí komunikací přes tunelový portál umístěný ve střeženém prostoru PA. Objekt aktivních provozů je navržen v hloubené jámě o hloubce 30 m v půdorysu střeženého prostoru v PA, na povrchu je objekt přesypán 5m bezpečnostním přesypem. Půdorysně je objekt aktivních provozů spolu se souvisejícími

Významným pozitivním příspěvkem tohoto řešení je možnost účinněji se vyhnout rozličným střetům zájmů a ve výsledku umístit PA co možná nejcitlivěji vzhledem k životnímu prostředí a krajinnému rázu. Areál zaujímá plochu 76 320 m² a je celý oplocen.

Podrobnosti o způsobu výběru území pro umístění povrchového areálu jsou uvedeny v části c) této zprávy. Bylo zhodnoceno, že přístup k umístění aktivních provozů do podzemí s využitím přirozené terénní elevace je na řešené lokalitě velmi problematický. Projektová studie (Špinka et al. 2018) navrhuje alternativní řešení, které zachovává parametry jaderné bezpečnosti popsané výše a respektuje možnosti lokality při snaze minimalizovat environmentální i ekonomické nároky řešení.

A.4 Výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací

Hodnocení lokality z hlediska umístění hlubinného úložiště zahrnuje aktivity z mnoha oblastí výzkumu a vývoje. Výsledky geologických, hydrogeologických, geofyzikálních, geochemických a dalších výzkumů a projektů charakterizujících podzemní část lokality, studium inženýrských bariér, či testování a vývoj konstrukce a materiálů obalového souboru poskytují informace pro interpretační etapy hodnocení. Hlavní zdroje informací pro tuto studii pochází zejména z informací získaných v rámci zejména následujících projektů 1) Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště 2) Výzkumná podpora pro projektové řešení hlubinného úložiště 3) Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku a mnoha dalších.

Získaná data byla převedena do formy modelů popisující geologické, hydrogeologické a geochemické vlastnosti lokality a následně bezpečnostních výpočtů. Všechna tato data, jak hmotná, tak nehmotná jsou uložena do systému, který umožní kdykoli ověřit jejich původ, zpracování a věrohodnost po co možná nejdelší dobu. Celý životní cyklus dat, od požadavku na jejich vznik, přes vyhodnocení zdrojů a řízení projektů, včetně ověření výsledků až k jejich dalšímu využití je řízen systémem tzv. data managementu, který transparentně a věrohodně zajišťuje celý proces nakládání s daty a informacemi.

Data management ve své podstatě představuje převzetí hmotných i nehmotných údajů a výsledků projektů do systému správy. Transparentní uložení dat, jejich důvěryhodné skladování s jednoznačným popisem metadaty pro vyhledání či porozumění obsahu, s perspektivou dalšího využití nebo ověření v rozhodovacím procesu výběru nejvhodnější lokality tvoří základní datovou a znalostní bázi. Fakticky se jedná o uložení výstupů projektů a zpracovávaných dat dle jejich charakteru do:

- **Archivu zpráv**, který slouží pro uložení všech originálních tištěných výstupů z projektů a dalších zdrojů. Tyto výstupy, včetně příloh jsou vedeny v evidenční knize, kde při jejich zaevidování dostanou unikátní evidenční číslo, skládající se z typu dokumentu (VZ-výzkumná zpráva, TZ- technická zpráva, atd.) roku vydání (zaevidování) a pořadového čísla. Pod tímto číslem je položka vedena, včetně všech příloh. Funkce archivu zpráv je definován v řádu Ř.05 Spisový řád SÚRAO.
- **Centrálního datového skladu – Elektronický archiv** – verze předávaných tištěných dokumentů s podpůrnými a doprovodnými daty jsou ukládány také, pokud je to možné, v digitální podobě. Jejich zpracování se řídí metodickým pokynem „MP 23 - Požadavky na geografická a související data zpracovávaná při činnostech SÚRAO“. Jedná se o elektronické verze zpráv, přílohy, mapy ve formátu ArcGIS a jiné, 3D modely se zdrojovými daty, scany map pěších túr geologického mapování apod. Pro každý uložený soubor je vyplněn krycí list, který definuje vazbu na projekt, řešitele a také popisuje obsah předávaných dat. Kombinací údajů v krycím listu (číslo smlouvy-dodavatelská organizace-datum předání-název souboru) se automaticky generuje unikátní identifikátor, který umožňuje zpětné dohledání historie a metodiky vzniku popisovaných dat.
- **Skladu hmotné dokumentace** – Pro hmotné výstupy či materiály dokládající výsledky či postupy experimentů slouží sklad hmotné dokumentace. Zde jsou uložena popsaná vrtná jádra, dokumentační vzorky a výbrusy. Položky hmotné dokumentace jsou evidovány samostatně s popisem, charakteristikou a uvedením kódu projektu (smlouvy) dle evidenční knihy SÚRAO a lokalizace, pokud je to možné.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | <i>TZ303/2018</i> |

Každá z uvedených oblastí data managementu vyžaduje vlastní přístup s napojením na Centrální datový sklad, aby byla zajištěna konzistence celého systému. Propojení jednotlivých agend ukládaných dat a informací představuje komplexní systém správy dat z projektů a dává věrohodný základ pro rozhodovací procesy výběru té nejvhodnější lokality pro umístění úložiště vysoce aktivního odpadu.

Celá správa dat se řídí platnými řády a metodickými pokyny SÚRAO a reaguje na aktuální platnou legislativu o archivnictví (zákon č. 499/2004 Sb.) v platném znění.

Všechny podklady vztahující se k vypracování této bezpečnostní zprávy jsou uvedeny v textu s odkazem na část „Reference“.

B VLASTNÍ HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ ÚZEMÍ K UMÍSTĚNÍ JADERNÉHO ZAŘÍZENÍ A JEJICH CHARAKTERISTIK

B.1 Geologické charakteristiky

Geologické charakteristiky jsou děleny podle metodického pokynu SÚRAO MP. 22 (Vokál et al. 2017), který shrnuje požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria pro výběr lokalit pro umístění hlubinného úložiště na základě analýzy doporučení IAEA (IAEA 2011a a IAEA 2011b) na:

- 1) Popsatelnost a predikovatelnost lokality
- 2) Variabilita vlastností
- 3) Dostupnost dat

Tyto geologické charakteristiky zahrnují i posouzení požadavků vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) uvedené pod písmeny § 18.: a), b), c), d), e), f) a q.

Podle doporučení IAEA, 2011a při výběru lokality pro umístění hlubinného úložiště je třeba především vycházet z potřeby dobré popsatelnosti a predikovatelnosti lokalit, tj. možnosti porozumět jevům a procesům probíhajícím v lokalitě a schopnosti horninového prostředí zadržet a izolovat radionuklidy.

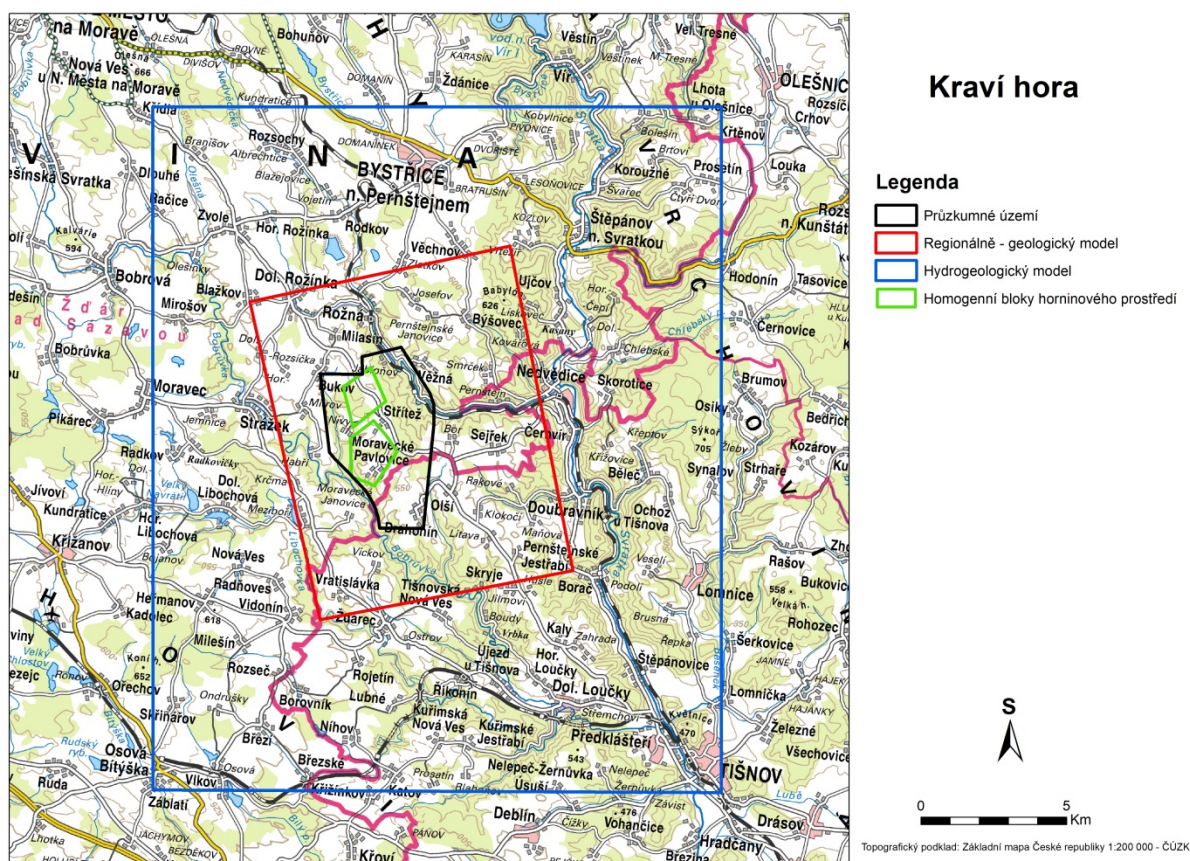
Obecné charakteristiky uvedené v dokumentu SÚRAO MP. 22 byly dále rozděleny na následující geovědní parametry odborníky z České geologické služby (Zpráva Havlová et al. 2018b):

- 1) Popsatelnost a predikovatelnost
 - a. Regionální stavba území
 - b. Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury
 - c. Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové struktury
 - d. Stupeň duktilní deformace
 - e. Věrohodnost komplexního prostorového modelu geologické stavby
- 2) Variabilita fyzikálně-mechanických vlastností
 - a. Prostorová variabilita horninového prostředí
 - b. Petrologická variabilita hornin
 - c. Geochemická variabilita hornin
 - d. Stupeň alterace hornin a minerálů
- 3) Dostupnost dat
 - a. Množství, kvalita a dostupnost archivních dat
 - b. Aplikovatelnost standardních geologických metod

Pro účely popisu a hodnocení lokality byly definovány následující stupně podrobnosti (Franěk et al. 2018):

- 1) Homogenní bloky horninového prostředí – objem horniny, který je vhodný pro umístění úložných vrtů.
- 2) Průzkumné území – území, ve kterém jsou vyhledávány a potvrzovány homogenní bloky horninového prostředí, zahrnuje nejvýznamnější geologické struktury, které je nutné ověřit
- 3) Regionálně-geologický model - území v širším okolí průzkumného území, které je nutné popsat za účelem tvorby věrohodného geologického modelu lokality
- 4) Hydrogeologický model - území v širším okolí průzkumného území, které je nutné popsat za účelem tvorby věrohodného hydrogeologického modelu lokality

V textu tohoto dokumentu jsou používány u relevantních geologických charakteristik odkazy na výše definované polygony.



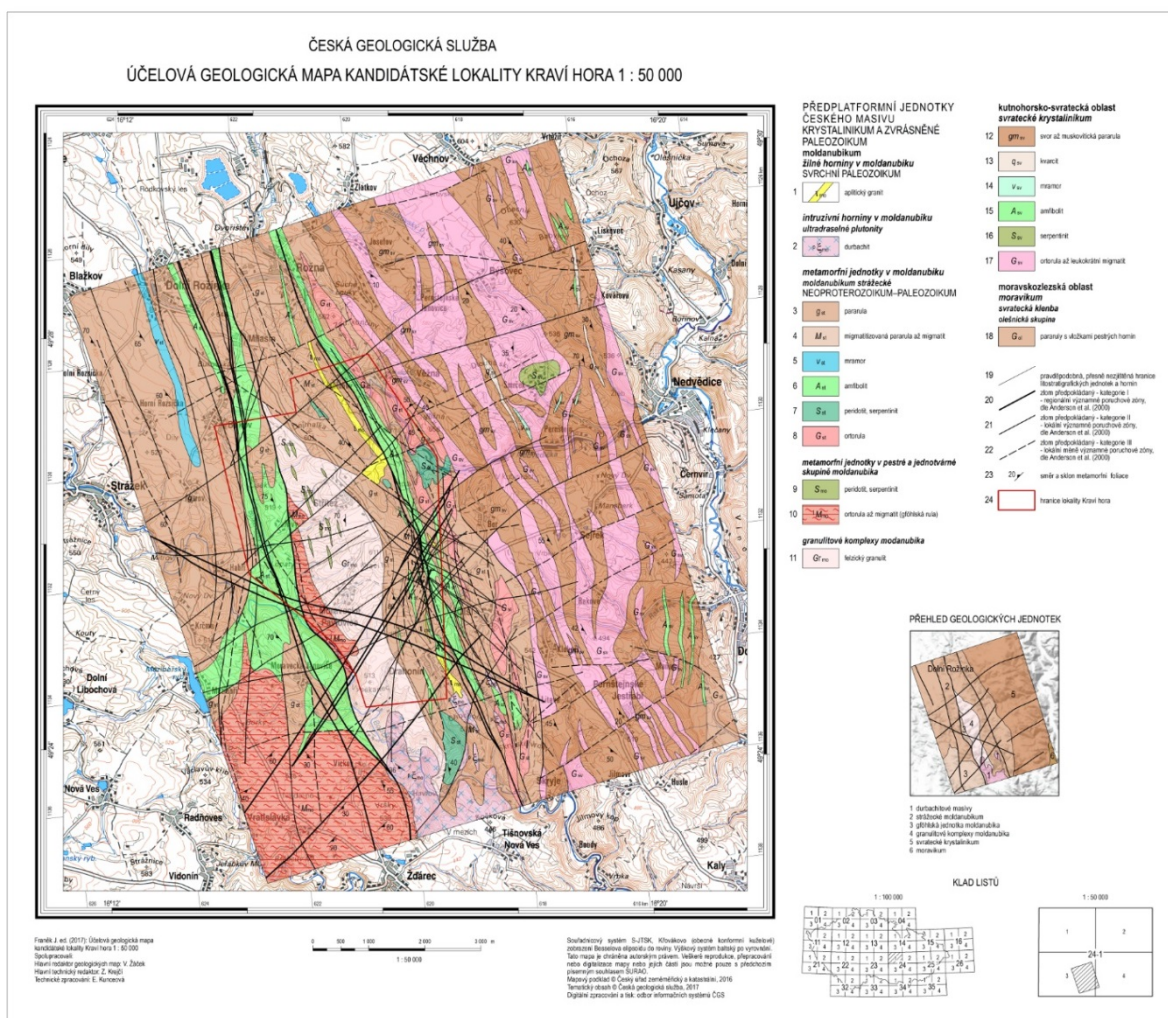
Obr. 3: Úrovně popisu lokality Kraví hora

B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

B.1.1.1 Regionálně-geologická a litologická stavba území

Horniny okolí lokality Kraví hora jsou součástí regionální jednotky Českého masivu, konkrétně moldanubické zóny jednotky variského orogénu. Variský orogén byl vytvořen během spodního paleozoika akrecí gondwanských mikrokontinentů ke kontinentu Laurusie během uzavírání Rheického oceánu (např. Pharaoh 1999). Výsledkem bylo rozsáhlé horstvo, horniny lokality Kraví hora spadají do oblasti, která je označována jako variský orogenní kořen (Schulmann et al. 2005, 2008), tedy do oblasti metamorfovaných hornin

hornin, které byly polyfázově deformovány a intrudovány (např. Žák et al. 2012). Na základě regionálně geologického členění Českého masivu (Chlupáč a Štorch 1992) je území strukturně-geologického modelu lokality Kraví hora (Obr. 4) tvořeno: (a) jednotkou svrateckého krystalinika s výskytem ve východní části území, (b) jednotkou strážeckého moldanubika vystupující ve střední a západní části území a (c) jednotkou moravika, které ve velmi omezeném rozsahu zasahuje do jihovýchodního cípu území. V rámci jednotky strážeckého moldanubika byly konvenčně vymezeny čtyři dílčí litotektonické podjednotky: (a) strážecké moldanubikum s. s., (b) gřohlská skupina, (c) těleso drahonínského granulitu jako součást granulitových komplexů moldanubika a (d) intruzivní těleso drahonínského plutonu. Pokryvné útvary jsou zastoupeny velmi omezeně, jedná se převážně o svahové a říční sedimenty omezené mocnosti kvartérního stáří. Vztahy mezi dílčími jednotkami jsou definovány průběhem regionální metamorfni stavby. Tělesa magmatických hornin mají vůči svému okolí kontakty intruzivní povahy. Tyto kontakty duktilní povahy byly místy modifikovány naloženými strukturami křehké deformace (zlomy a zlomové zóny).



Obr. 4: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Kraví hora

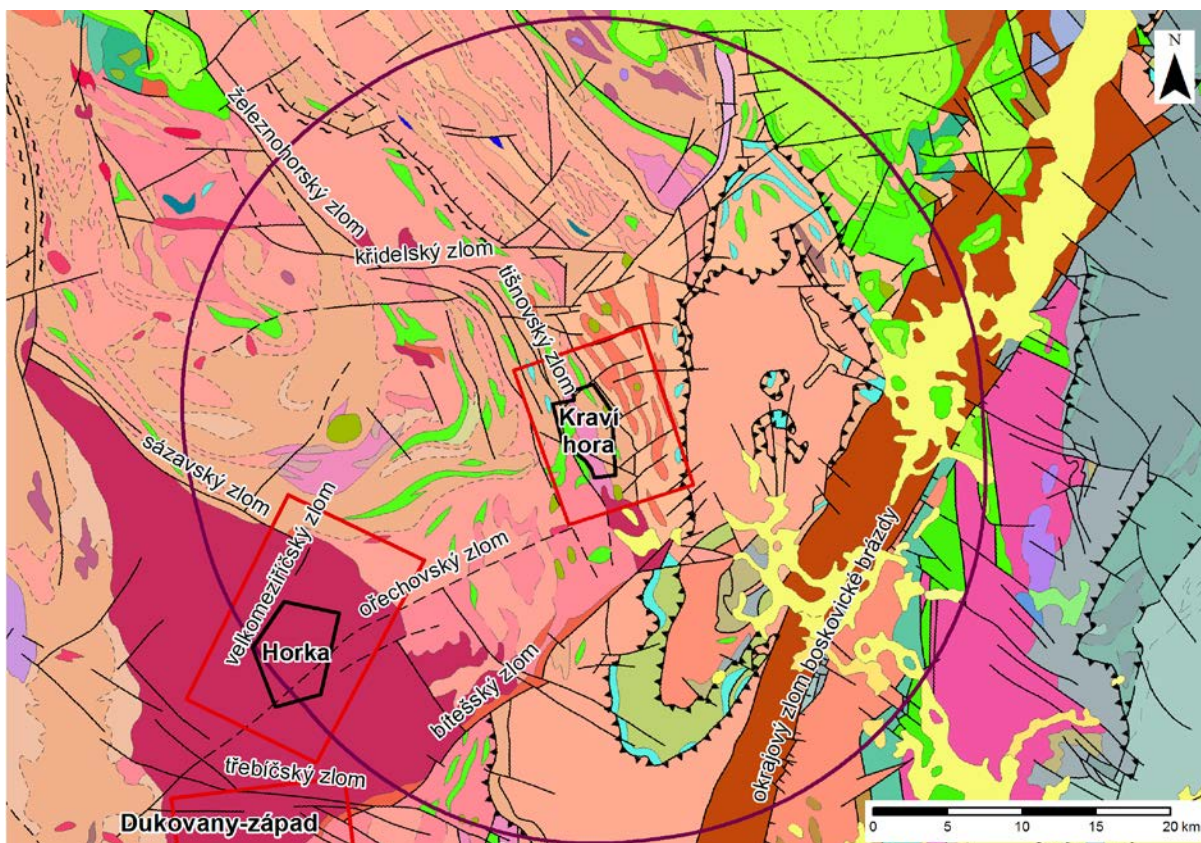
B.1.1.2 Stupeň křehké tektoniky – zlomové struktury

Charakteristika struktur duktilní a křehké deformace vychází z projektu SÚRAO 3D strukturně-geologické modely potenciálních lokalit HÚ (Fránek et al. 2018). Číslování zlomů

v této zprávě bylo převzato ze zprávy Franěk et al. (2018). V této zprávě je také uvedena ucelená databáze a charakteristika všech zlomů ve studované oblasti.

Zlomové struktury regionálního měřítka (v okruhu 25 km)

V širším regionu (okruh 25 km od lokalizace průzkumného území; Obr. 5) se vyskytují regionální křehké deformační (zlomové) zóny, které odrážejí lokalizovanou tektonickou aktivitu v závěrečném období variských orogenních procesů a v období mezozoika až terciéru během alpínské orogeneze. Mezi nejvýraznější zlomové struktury regionálního měřítka v okruhu 25 kilometrů od zájmové lokality Kraví hora patří zlomové omezení boskovické brázd v průběhu SSV–JJZ (okrajový zlom boskovické brázd) s výskytem ve východní části okruhu. Další význačnou strukturou je bítešský zlom subparalelní zlomové struktury v průběhu SV–JZ. Bítešský zlom odděluje severovýchodní okraj třebíčského plutonu a východní části strážeckého moldanubika od jednotky moravika. Mezi další zlomové struktury regionálního významu patří soubor zlomových struktur, které jsou lokalizované podél severovýchodního okraje strážeckého moldanubika v průběhu SZ(ZSZ)–JV(VJV) označované jako tišnovské zlomové pásmo a v jeho pokračování pak železnohorské zlomové pásmo. Severozápadně od lokality Kraví hora probíhá ve v–z. směru křídelský zlom a podřízené zlomy SSV(SV)–JJZ(JZ) průběhu. Uvedené zlomové struktury mají převažující strmý sklon a jsou doprovázeny úzkými zónami kataklastické deformace a alterace.



Obr. 5: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Kraví hora

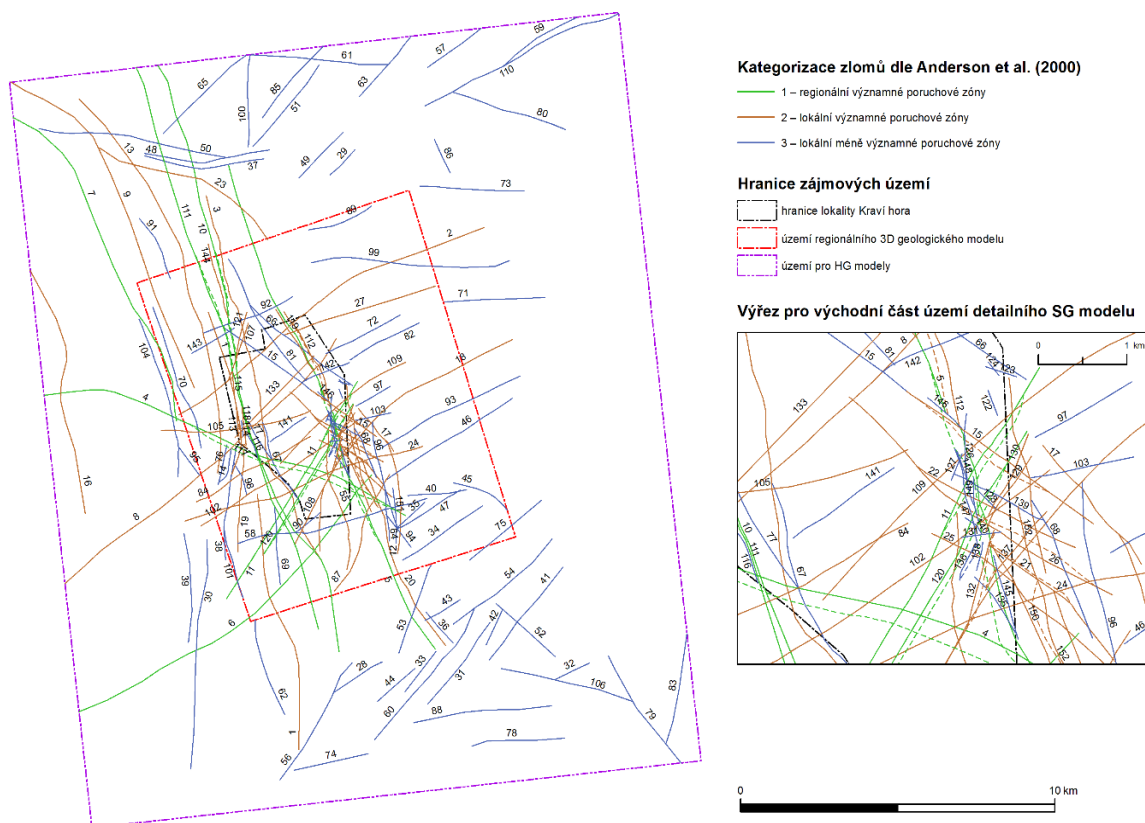
(okruh 25 km od lokalizace zájmového území), červený polygon – rozsah 3D strukturně geologických modelů, menší černý polygon – lokalita. Současně jsou uvedeny polygony i pro lokalitu Horka a Na Akalním (Dukovany-západ)

Zlomové struktury regionálně-geologického modelu

V oblasti zájmového území byly identifikovány zlomové struktury dvou odlišných orientací (Obr. 6) s dobrou návazností na struktury regionálního měřítka v okruhu 25 km (viz výše). Identifikované zlomové struktury v rámci vymezeného území mají převažující průběh ve směru SSZ(S)–JJV(J) a v podřízené formě v průběhu VSV(V)–ZJZ(Z). Vyšší hustota zlomů obou uvedených systémů byla zjištěna podél západního a východního okraje zúžené zájmové oblasti, podél okraje relativně homogenního bloku tělesa felsického granulitu.

Na základě pozorovaných kinematických indikátorů v širším okolí zájmové lokality Kraví hora a prostředí hlubinného důlního díla Rožná – Olší (Hrkalová 2011; Bukovská, Verner 2017) zlomy s indikátory násunové kinematiky upadají převážně pod strmými úhly k SV až V a nesou striace strmého až středního úklonu. Pravděpodobně se jedná o relativně nejstarší systémy křehkého porušení s dominantním výskytem v jednotce strážeckého moldanubika. Ostře naložené plochy poklesových zlomových struktur upadají pod strmými až středními úhly k ZSZ až SZ a nesou striace orientované pod středními úhly k SSZ. Plochy podřízeného zlomového systému s poklesovou kinematikou upadají pod strmými až středními úhly k JZ. Tyto zlomy s poklesovou kinematikou byly místy reaktivovány v režimu pravostranného posunu. Zlomové struktury s pravostrannými indikátory pohybu upadají převážně pod strmými úhly k ZSZ nebo VJV. Zlomové plochy s levostrannou kinematikou upadají pod různými úhly k SZ nebo JV. Zlomové struktury bez prokazatelných kinematických indikátorů dominantně upadají pod strmými úhly k SSZ, JZ a J a nesou striace mírného sklonu k SV až S nebo JZ. V horninách zájmového území je dále možné pozorovat tři hlavní skupiny subvertikálních extenzních puklin. Nejvýraznější systém puklinového porušení tvoří subvertikální pukliny v průběhu VSV–ZJZ (v maximech 55–75°). Relativně méně výrazné systémy pak tvoří pukliny v průběhu SZ(SSZ) až JV(JJV) a SSV–JJZ.

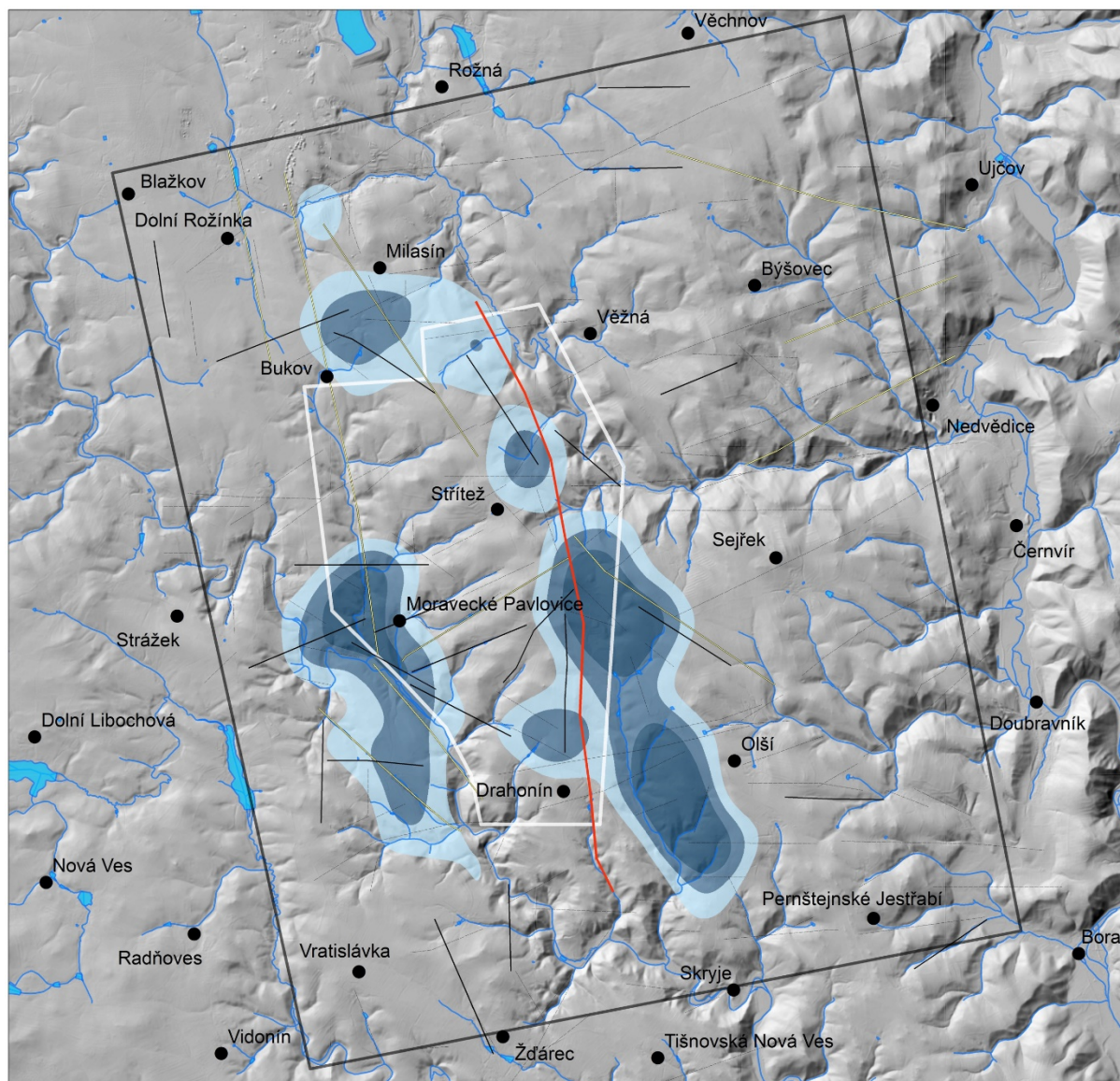
Vzhledem ke klasifikaci zlomů (klasifikace SKB; Anderson et al. 2000) dle rozsahu lze konstatovat, že nejdelší a teoreticky nejvýznamnější poruchové zóny byly zastiženy v západní části zájmového území. Jedná se o zlomy v průběhu S–J a zlomy s průběhem VSV–ZJZ, jejichž délka místy přesahuje 10 km (ID 1–11). Patnáct zlomů v rámci zájmové lokality Kraví hora bylo zařazeno do kategorie 2 – lokální významné poruchové zóny, jejichž délkový rozsah je 1–10 km (ID 12–27). Tyto zlomy vykazují převažující orientaci ve směru SZ–JV, Z–V nebo S–J. Poslední skupinou jsou zlomy spadající do kategorie 3 (zlomy kratší než 1 km). Jedná se převážně o krátké úseky zlomů v dominantní orientaci VSV–ZJZ nebo Z–V, výjimečně také ZSZ–VJV. Mezi nejvýznačnější struktury (regionální významné poruchové zóny) dále patří pásmo zlomových struktur O1 a O46, které upadají pod strmými úhly k západu (ID5), dále struktura litavských dislokací upadající strmě k JZ (ID4) a systém dislokací O23 strmého sklonu k SZ (ID11).








Obr. 6: Schéma zlomů na lokalitě Kraví hora a v širším okolí v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu


Morfotektonické zhodnocení zájmové lokality bylo provedeno na základě morfostrukturní analýzy digitálního modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G), radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2 a leteckých stereoskopických snímků. Rozložení strukturních lineárních indikací je nerovnoměrné (Obr. 7). Hustotní maxima lineárních indikací jsou lokalizována přibližně na okraje průzkumného území. Hustotní mapa vykazuje nejvyšší míru lineárních indikací v oblasti poblíž bývalého dobývacího prostoru Olší a v jižní části dobývacího prostoru dolu Rožná v okolí Moraveckých Pavlovic. Tato maxima velmi dobře korespondují s hlavními zlomy směru SSZ–JJV.

V zájmovém území nebyla detekována strukturní lineární indikace první kategorie (Marek et al. 2005; Woller 2006). Vyskytuje se zde pouze jedna strukturní lineární indikace druhé kategorie probíhající ve směru SSZ–JJV v oblasti kontaktu svrateckého krystalinika a strážeckého moldanubika, která je vázána na regionální zlom ID 5. Lineární indikace třetí kategorie stejného směru, procházející sídlem Bukov, odpovídá regionálnímu zlomu ID 10. V oblasti granulitového tělesa a svrateckého krystalinika se vyskytují lineární indikace také směru SV–JZ, které mají vazbu na puklinové systémy či zlomy nižšího řádu.


 0  4 km

| | |
|---|----------------|
|  | Detailní území |
|  | Území zakázky |

| Hustota strukturálních lineárních indikací | |
|---|--------------|
|  | Zvýšená |
|  | Vysoká |
|  | Velmi vysoká |

| Kategorie strukturálních lineárních indikací | |
|---|---|
|  | 2 |
|  | 3 |
|  | 4 |
|  | 5 |

Obr. 7: Klasifikované lineární indikace

na podkladě hustotního rastru, který představuje změny v plošné distribuci tektonických lineárních indikací detekovaných pomocí metod analýzy DMR, radarových družicových dat, leteckých stereoskopických snímků a zlomové sítě (převzato z Kopačková et al. 2017). Bodové symboly reprezentují centroidy katastrů obcí

B.1.1.3 Stupeň křehkého porušení - puklinové struktury

Puklinové systémy byly na lokalitě Kraví hora studovány v rámci projektu na tvorbu DFN modelů 7 lokalit (Kabele et al. 2018). Na základě získaných dat bylo dle prostorové orientace

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

identifikováno celkem 5 populací puklin, z nichž se nejčastěji vyskytují strmé pukliny (sklon 70–90°) upadající k SV až S a dále pak pukliny se středním úklonem (sklon 40–60°) upadající k JZ, SZ, SV a JV. Pukliny sub-horizontální (sklon 0–30°) se na lokalitě vyskytují v minimálním množství a upadají převážně k Z až JZ. Z těchto dat byly vypočteny statistické parametry matematického DFN modelu. Z tohoto matematického modelu byl získán parametr P30, který určuje, kolik puklin se vyskytuje v jednotce objemu, tedy jejich hustotu (Kabele et al. 2018). Pro lokalitu Kraví hora je jeho hodnota 0,352 puklin na m³.

B.1.1.4 Stupeň duktilní deformace

Stavby a struktury metamorfovaných hornin

V zájmovém území byly identifikovány tři odlišné tektonometamorfní stavby regionálního významu a stavby magmatických hornin. V oblasti strážeckého moldanubika mezi relativně nejstarší stavby patří vrásněné metamorfní foliace (S_1). Stavby S_1 jsou ve své primární orientaci zachovány reliktně, a to zejména v tělesech migmatitů a polohách vysokotlakých hornin (granulitech, eklogitech a peridotitech). Jedná se o izoklinální až bezkořenné vrásy centimetrového až decimetrového měřítka pozorované jako relikty v rámci superponované stavby S_2 . Foliační plochy stavby S_2 , které jsou definovány nepravidelným kompozičním páskováním, upadají pod středními až strmými úhly k ~Z až SZ. Na foliačních plochách S_2 je místy možné pozorovat minerální lineace primárních horninotvorných minerálů, a to v mírném sklonu k SSZ nebo JJV. Míra zachování těchto staveb v původní orientaci roste směrem k jihozápadu do centrálních částí strážeckého moldanubika. V rámci zájmového území byla pozorována poměrně výrazná superpozice metamorfní foliace S_3 , která nabývá mírného až středního úklonu (0–45°) k ~SSZ až JZ. Planární stavby S_3 jsou doprovázeny výraznými lineacemi charakteru protažení deformovaných či rekrystalovaných agregátů křemene, živců a biotitu, které upadají pod mírnými úhly k ~SZ–JV až J. Vrásové roviny upadají převážně pod mírnými až středními úhly k JZ a jsou tak subparalelní s průběhem metamorfní foliace S_3 . Osy těchto vrás jsou orientovány převážně pod mírnými úhly k SZ nebo JV. Vztahy mezi stavbami S_2 a S_3 reprezentuje soubor asymetrických vrás, jejichž osy mají subparalelní orientaci s měřenými lineacemi. Příslušné vrásové roviny pak upadají pod mírnými úhly k Z až JJZ. Celý horninový komplex je dále postižen systémem relativně mladších deformačních událostí. Jedná se zejména o výrazné zkrácení ve směru ~V(VSV)–Z(JZ). S těmito událostmi je spojen vznik asymetrických vrásových struktur s osními rovinami strmé orientace v průběhu ZSZ–VJV a subparalelně orientovanými nízkoteplotními stavbami, místy mající charakter kliváže. Tyto stavby byly identifikovány zejména ve východní části mapovaného území, podél hranice strážeckého moldanubika a svrateckého krystalinika.

Dominantní metamorfní stavbou hornin přilehlé části svrateckého krystalinika je foliace charakteru kompozičního páskování, která upadá pod středními úhly k ~Z až JZ. Tyto foliace nesou homogenně orientované lineace protažení, které se uklání pod mírnými úhly k SZ a JV. V geologicky více kompetentních horninách (migmatitech a granulitech) byly lokálně identifikovány starší deformační stavby, nejčastěji ve formě asymetrických uzavřených až izoklinálních vrás. Regionální stavba S_3 je v převážné míře subparalelní orientace s průběhem litologií jednotky a částečně modifikuje původní hranici mezi jednotkou strážeckého moldanubika a svrateckého krystalinika.

B.1.1.5 Geologický vývoj

Geologický vývoj širší oblasti lokality Kraví hora je interpretován jako polyfázový a popsán níže:

Období neoproterozoika až spodního paleozoika

Mezi relativně nejstarší události v geologickém vývoji oblasti patří vznik protolitu vysoce metamorfovaných hornin strážeckého moldanubika a přilehlého svrateckého krystalinika. V období neoproterozoika (ca. 580 Ma) docházelo k ukládání relativně monotónní sekvence klastických sedimentů s hojným doprovodem bazického vulkanismu (Pertoldová et al. 2014; Košler et al. 2014). Další etapou bylo období magmatické aktivity ve svrchním kambriu až spodním ordoviku, které bylo spojeno s intruzemi granitoidů (Verner et al. 2009; Buriánek et al. 2009; Pertoldová et al. 2010). V tomto období dále pravděpodobně docházelo k první fázi regionální metamorfózy, a to v souvislosti s kadomskými nebo kambro-ordovickými geodynamickými procesy (Verner et al. 2009; Buriánek et al. 2009; Pertoldová et al. 2010).

Období svrchního paleozoika

Klíčové období vzniku a vývoje hornin spadá do období variských orogenních procesů v časovém rozmezí 350 až 335 Ma (Kříbek a Hájek eds. 2005; Schulmann et al. 2005; Verner et al. 2009; Pertoldová et al. 2010). Mezi nejstarší zaznamenané události patří vysokoteplotní-vysokotlaká metamorfóza a deformace spojená se vznikem těles felsických granulitů. Reliktní metamorfní stavby tohoto stádia jsou označovány jako S_1 . Vznik granulitových hornin byl časově spjat s maximálním ztluštěním kontinentální kůry během kolizních událostí v období okolo 350 Ma. V další fázi došlo k celkovému zkrácení horninového komplexu v režimu pravostranné transprese, což bylo spojeno s tvorbou strmých metamorfních foliací (S_2) v průběhu SZ–JV (Schulmann et al. 2005; Verner et al. 2009; Pertoldová et al. 2010). Tyto události byly následovány vertikální extruzí (exhumací) vysoce metamorfovaných hornin a superpozicí plochých metamorfních staveb (S_3), pravděpodobně v souvislosti s šikmým podsouváním brunie ve směru SSV–JJZ pod jednotku moldanubika (stáří 340–335 Ma; Schulmann et al. 2005; Tajčmanová et al. 2006; Verner et al. 2009). Synchronně se závěrečnou etapou těchto deformačních událostí dochází k vmístění durbachitů drahonínského plutonu, jehož krystalizační stáří bylo stanoveno na 339 Ma (Verner et al. 2009). Metamorfní podmínky variského vývoje hornin strážeckého moldanubika byly v případě výšetlaké minerální asociace v sousedních granulitech (granát-kyanit) odhadnuty na P : 1,8 GPa a T : 850 °C. Nízkotlaká re-ekvilibrace během relativně mladších deformačních událostí probíhala v podmínkách P : 0,35–0,45 GPa a T : 680–720 °C (souhrn Tajčmanová et al. 2006).

Během závěrečných fází výzdvihu hornin v období svrchního karbonu docházelo k lokalizaci deformace a přechodu od duktilního ke křehkému chování. Jedná se zejména o střížné zóny, zlomové a puklinové poruchy, které byly spojeny s projevy lokální extenze, vmístěním žil leukogranitů a pegmatitů. Hlavní zlomové struktury v rámci vymezeného území mají převažující průběh ve směru SSZ(S)–JJV(J) a v podřízené formě v průběhu VSV(V)–ZJZ(Z).

Období mezozoika až kenozoika

Velká část zlomových struktur byla v mladším (postvariském) období polyfázově reaktivována, což Kříbek a Hájek (2005) dokumentují radiometrickým datováním novotvořených minerálů na plochách významných zlomů a hydrotermálních alterací v jejich okolí. Jedná se zejména o regionálně významné systémy zlomů přibližně v orientaci blanické a boskovické brázdy, labského zlomového pásma. V tomto období je však zájmové území

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

převážně denudační oblastí, kde převládá transport a eroze materiálu. Na území byly mapovány kvartérní sedimenty malého plošného rozsahu i genetického zastoupení. Jedná se o uložení svahové, fluvialní, splachové, organické a antropogenní. Stratigrafické stáří sedimentů spadá do období pleistocén až holocén.

B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností

B.1.2.1 Prostorová variabilita

Centrální část lokality Kraví hora tvoří těleso felsického granulitu (v erozním řezu o rozměrech ~1,5×6 km). Jeho vnitřní část má nevýrazné metamorfni páskování a tektonické porušení. Okrajové části granulitového tělesa jsou tvořeny granulity a granulitovými rulami se záznamem vyšší míry retrogradní přeměny. Pro tyto okrajové domény je charakteristická přítomnost vyšší strukturní anizotropie duktilního charakteru (kompoziční páskování definované nepravidelným střídáním pásků biotitu, křemene a živců). V tělese granulitu se dále vyskytují čočky serpentinizovaných peridotitů o rozměrech v řádech desítek až prvních stovek metrů. Okolí granulitového tělesa je tvořeno migmatizovanými biotit-amfibolickými rulami, amfibolickými a biotitickými migmatity. Podél západního okraje granulitového tělesa se vyskytují polohy amfibolitů mocnosti v řádech stovek metrů. Intenzita migmatitizace je variabilní, dominují stromatitické migmatity, místy s přechody do nebulitických migmatitů. V migmatitech je vzácně možné pozorovat tenké vložky vápenatosilikátových hornin.

Na lokalitě Kraví hora jsou zastiženy různé typy kontaktů a hranic mezi litologiemi metamorfovaných hornin (Obr. 4), které jsou výrazně protaženy ve směru SSZ(SZ)–JJV(JV). Jejich kontakty jsou v převážně paralelní s průběhem metamorfni foliace, která ve své primární orientaci upadá pod strmými úhly k ZJZ až JZ. V závislosti na míře transpozice (převrácení) metamorfni foliace do ploch mírných sklonů k J až JZ je orientace těchto kontaktů místy modifikována. Kontakty mezi dílčími varietami migmatitů, migmatizovaných pararul a pararul mají charakter pozvolných přechodů. Hranice mezi kontrastními litologiemi (granulity, migmatity, amfibolity, ortoruly a další pestré horninové vložky) jsou pak ostré (v závislosti na odkrytosti terénu mají přesně zjištěný nebo nepřesně lokalizovaný průběh). Vysoká četnost těles kontrastních litologií v pararulách až migmatitech a dále v severní části drahonínského granulitu vymapovaná na zemském povrchu, indikuje jejich vysokou četnost také v hlubších částech zájmového horninového masivu. Vzhledem k relativně malé mocnosti, výrazné a superponované deformaci (vrásové stavbě) a kontrastním reologickým vlastnostem hornin je však velmi obtížné odhadovat vertikální dosah, mocnost a přesnou lokalizaci kontrastních litologií ve vertikálním měřítku. Hranice paralelní s foliací byly dále místy modifikovány vlivem zlomové tektoniky. Zjištěné zlomové struktury v rámci vymezeného území mají převažující průběh ve směru SSZ–JJV a dále v průběhu VSV(V)–ZJZ(Z). Na základě terénních pozorování mají hlavní zlomové struktury strmý sklon. Šířka tektonického porušení hornin a alterace dosahuje běžně mocnosti v řádech centimetrů až několika metrů, v případě nejvýznamnějších zlomů až desítek metrů. Vyšší hustota zlomů obou uvedených systémů byla zjištěna podél západního a východního okraje lokality (zlomová pásma v linii Rožná – Drahonín a Bukov – Moravecké Janovice), podél okraje relativně homogenního tělesa felsického granulitu. V západní a centrální části modelu jsou tyto zóny křehké deformace ověřené báňskými pracemi do hloubek výjimečně až 1200 m.

B.1.2.2 Petrologická variabilita

Variabilita petrologických vlastností hornin

Metamorfované horniny

Horninové prostředí zájmového území lokality Kraví hora je tvořeno komplexem vysoce metamorfovaných hornin. V užším zájmovém území lokality (viz červeně vyznačený polygon na Obr. 4) se vyskytují felsické granulity a granulitové ruly s obalem migmatitizovaných sillimanit-biotitických pararul až migmatitů, amfibolických rul, amfibolitů v různém stupni migmatitizace. V prostředí tělesa felsického granulitu se vyskytují rozsahem omezené čočky serpentizovaných peridotitů o mocnosti v řádech desítek až prvních stovek metrů. Mezi zastoupené intruzivní horniny žilného původu patří leukogranity. Níže je uvedena stručná petrografická charakteristika hlavních horninových typů, které tvoří užší zájmové území lokality.

Felsické granulity (granulitové ruly) tvoří protažené těleso uložené paralelně s foliací okolních migmatitů a amfibolitů (v průběhu SSZ–JJV). Jedná se o bílou, nažloutlou nebo světle šedou drobnozrnnou a někdy páskovanou horninu. Často jsou přítomny až 1 mm velké porfyroblasty hypautomorfního kyanitu a granátu. Oba minerály uzavírají často drobné inkluze křemene a někdy rutilu. Základní granoblastická hmota je tvořena křemenem, draselným živcem a plagioklasem. Tyto tři minerály většinou tvoří xenomorfní zrna s laločnatým okrajem. Kyanit často bývá částečně nebo zcela nahrazen sillimanitem. Draselný živce někdy obsahuje drobné perthity a oba živce bývají místy postiženy sericitizací. Se vzrůstem stupně retrográdních přeměn roste také modální zastoupení biotitu. Ten pak často částečně zatlačuje granát. Místy se objevují drobné porfyroblasty draselného živce. Granulitová rula je středně zrnitá, světle šedá, často páskovaná hornina. Složení granulitové ruly je podobné jako u granulitu, avšak granát je nahrazen biotitem a kyanit sillimanitem. Biotit je přítomen ve formě drobných lupínků, které rostou souhlasně s nevýraznou foliací hornin.

Migmatitizované sillimanit-biotitické pararuly až stromatitické migmatity s cordieritem vystupují zejména ve střední části polygonu. Jedná se o jemně až drobně zrnité horniny s páskovanou texturou, jednotlivé pásy nepřesahují cm mocnosti. Leukosom převažuje nad melanosomem a je zpravidla středně zrnitý jemnozrnný. Leukosom se skládá z křemene, plagioklasu, draselného živce a biotitu. Křemen a perthitický draselný živce jsou xenomorfní, zatímco polysynteticky zdvojitý plagioklas je hypautomorfní. V malém množství se objevuje sillimanit. Melanosom tvoří tenké polohy s vyšším obsahem biotitu. Relativně častý je v těchto horninách především výskyt granátu, který tvoří hypautomorfně omezená zrna do velikosti 0,4 mm. Akcesoricky je v migmatitech zastoupen ilmenit, apatit a zirkon. Nebulitický biotitický migmatit tvoří maximálně několik stovek metrů dlouhá tělesa uvnitř stromatitických migmatitů.

Amfibolit a migmatizovaný amfibolit vystupuje v podobě výrazných pruhů po obou stranách granulitového tělesa. Šedý, středně až hrubě zrnitý amfibolit se skládá hlavně z amfibolu a plagioklasu. Amfibol tvoří až několik mm dlouhé hypautomorfní sloupce, které jsou někdy na okrajích zatlačovány chloritem (vzácně byl chlorit nalezen také uvnitř amfibolu). Plagioklas je automorfní až hypautomorfní a často oscilačně zonální. Běžně je patrné dvojitě lamelování a sericitizace, která často postihuje jen některé zóny uvnitř plagioklasu. Místy se objevuje biotit, který je často chloritizovaný. V migmatitech jsou

přítomné až několik cm mocné polohy leukosomu. V amfibolických rulách jsou běžné oválné porfyroblasty plagioklasu. Leukosom obsahuje křemen, plagioklas, draselný živec a často biotit. Akcesoricky se vyskytuje titanit, apatit a zirkon.

Serpentinit až peridotit tvoří čočky o rozsahu v řádech desítek až prvních stovek metrů, která převážně vystupují v tělese felsického granulitu. Většinou se jedná o tmavě šedé až šedozelené masivní horniny, které místy obsahují větší zrna pyroxenu a vzácně také granátu. Místy je v serpentinitech patrná foliace, která je dána přítomností velkých lupínků chloritu. Původní olivín se často vyskytuje pouze v drobných reliktech a také větší vyrostlice pyroxenu bývají často na okrajích postiženy serpentinizací. Serpentinit má mřížovitou nebo smyčkovitou stavbu. V serpentinizovaných peridotitech naopak převládá olivín s ortopyroxenem a minerály serpentinové skupiny jsou přítomny jen jako drobné žíly, které často lemují intergranulární hranice mezi zrny.

Žilné horniny

Aplitický leukogranit tvoří většinou žíly o mocnosti od několika cm do několika m. Vystupuje však také jako větší protáhlé tělesa SV od obce Střítež. Žíly i tělesa jsou obvykle paralelní s průběhem okolních litologických pruhů. Hornina má bělošedou barvu, větráním získává žlutavý odstín a je středně zrnitá. Skládá se z křemene, draselného živce a plagioklasu, akcesoricky se vyskytují muskovit a vzácně také turmalín.

B.1.2.3 Geochemická variabilita

První skupinu tvoří bazické horniny ($\text{SiO}_2 = 46,5\text{--}52,1$ hm. %), které jsou zastoupeny amfibolity (moldanubikum a moravikum) a eklogitem (moldanubikum). Tyto horniny jsou charakterizovány vysokým obsahem FeO_t (6,1–11,7 hm. %), MgO (3,8–9,5 hm. %) a CaO (8,7–17,0 hm. %). Skarny ($\text{SiO}_2 = 39,5\text{--}47,2$ hm. %) ze svrateckého krystalinika mají variabilní obsah železa ($\text{FeO}_t = 7,0\text{--}26,5$ hm. %), hořčíku ($\text{MgO} = 2,8\text{--}35,4$ hm. %), vápníku ($\text{CaO} = 1,9\text{--}24,5$ hm. %) a nízký obsah sodíku ($\text{Na}_2\text{O} = 0,13\text{--}0,95$ hm. %) a draslíku ($\text{K}_2\text{O} = 0,02\text{--}0,71$ hm. %). Ultramafické horniny ($\text{SiO}_2 = 39,2\text{--}41,5$ hm. %) jsou zastoupeny čtyřmi vzorky serpentinitu, pro které je typický vysoký obsah MgO (33,7–38,0 hm. %), nízké obsahy FeO_t (6,5–7,6 hm. %) Al_2O_3 (1,6–1,8 hm. %). Horniny s vyšším obsahem SiO_2 ($\text{SiO}_2 = 69,3\text{--}71,4$ hm. %) jsou reprezentovány ortorulami (svratecké krystalinikum, moravikum) a granulity (moldanubikum). Všechny analýzy vykazují slabě peraluminický charakter ($A/\text{CNK} = 1,0\text{--}1,1$). Typická je převaha K nad Na ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1,3\text{--}2,0$).

Pararuly a svory z moravika a svrateckého krystalinika jsou horniny s vysokým obsahem SiO_2 (56,4–80,8 hm. %) a Al_2O_3 (9,2–23,2 hm. %). Obsahy sodíku ($\text{Na}_2\text{O} = 0,8\text{--}2,4$ hm. %), draslíku ($\text{K}_2\text{O} = 1,6\text{--}6,1$ hm. %) jsou variabilní. Dva vzorky chemických analýz mramorů pochází z moravika a moldanubika a mají nízké obsahy SiO_2 (0,95–1,64 hm. %). Vzorek pocházející z moravika odpovídá kalcitickému mramoru ($\text{MgO} = 0,4$ hm. %, $\text{CaO} = 54,6$ hm. %) a z moldanubika dolomitickému mramoru ($\text{MgO} = 19,0$ hm. %, $\text{CaO} = 32,8$ hm. %).

B.1.2.4 Stupeň alterace hornin a minerálů

Poměrně častá je přítomnost žil a žilek pegmatitů, granitů a hydrotermálních žil. Jedná se zejména o křemenné nebo křemen-karbonátové žíly s akcesorickým množstvím sulfidů. Velmi časté jsou také projevy kataklázy podél tektonických poruch, často spojené s hydrotermální alterací podrcených hornin i okolního horninového masivu. Hojná je sericitizace a kaolinizace živců, místy je také patrná intenzivní hematitizace a chloritizace biotitu a amfibolů. Tyto procesy jsou někdy provázeny projevy draselné metasomatózy,

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

grafitizace kataklastických zón a v případě některých poruch precipitace uranových rud ve vysokých koncentracích. Podrobnou sukcesi polyfázových alteračních procesů popisují na příkladu uranového ložiska Rožná např. Kříbek a Hájek (2005). Archivní materiály i nově provedené terénní výzkumy indikují významný rozsah alterací i v jiných částech lokality Kraví hora. Alterace dosahují běžně mocností v řádech centimetrů až několika metrů, v případě významnějších zón až vyšších desítek metrů (Bukovská, Verner 2017).

B.1.3 Dostupnost dat

B.1.3.1 Množství, kvalita a dostupnost archivních dat

Aplikovatelnost metod geologického výzkumu byla založena na rešerši dostupných archivních dat o širším území vymezené lokality Kraví hora. Cílem rešerše bylo prostudovat možnosti různých geologických metod a postupů a posoudit jejich vhodnost k výzkumu lokality uvažované jako případné hlubinné úložiště. Pro lokalitu Kraví hora jsou k dispozici archivní materiály ČGS – Geofondu, SÚRAO a DIAMO a jedná se zejména o:

- základní geologické mapy měřítek 1:1 000 až 1:50 000,
- doprovodné textové vysvětlivky a zprávy o geologickém a aplikovaném průzkumu,
- vrtnou dokumentaci (vrty do 1200 m),
- archivní výbrusový materiál,
- zprávy o geologickém a aplikovaném průzkumu z oborů geofyzika, ložisková geologie, petrografie, mineralogie, geochemie. Ucelený přehled archivních materiálů je obsažen v dílčí technické zprávě z roku 2015 (Švagera et al. 2015).

Mezi nejvýznamnější zdroje geologických dat, které byly využity pro zpracování komplexní rešerše geologické stavby lokality Kraví hora, patří níže uvedený výčet publikací, zpráv a mapových výstupů. Komplexní set geologických dat byl pořízen v rámci řešení projektu „Zhodnocení existujících geologických a dalších informací z území mezi ložisky Rožná a Olší z hlediska vymezení horninového masivu potenciálně vhodného po vybudování hlubinného úložiště (Hrkalová 2011; Navrátilová 2011) a Geologické mapování v okolí Rožné v měřítku 1:5 000, morfotektonická interpretace družicových a leteckých dat (Vondrovic et al. 2012) a ZL 3D modely (Švagera et al. 2015). Mezi další důležité zprávy shrnující informace o geologické a hydrogeologické stavbě v oblasti ložiskového území Olší a jižní části ložiska Rožná s důrazem na lokalitu Kraví hora patří zejména práce Ondříka (2010a), Ondříka et al. (2011), Navrátilové (2011) a Hrkalové (2011). Databáze základních geologických informací je uvedena v práci Ondříka (2010b). Hydraulické vodivosti hornin a výsledky geochemického modelování včetně transportního modelu lokality Kraví hora jsou uvedeny v práci Královcové et al. (2012). Přehled dostupných geologických map podrobných měřítek z lokality Kraví hora a blízkého okolí uvádí Ondřík (2010c, d). Výsledky geofyzikálního průzkumu a interpretací tektonické stavby na lokalitě Kraví hora se zbývá zpráva Sedláka (2010). Přehled fyzikálně-mechanických vlastností hornin shrnují práce Součka (2010) a Součka et al. (2009). Z hlediska ověření vhodnosti horninového prostředí pro umístění hlubinného úložiště byly poznatky o zájmovém území lokality Kraví hora shrnuty ve zprávě Kováčika et al. (2015). Ucelený přehled archivních materiálů včetně provedení geofyzikálního průzkumu je obsažen v dílčí technické zprávě z roku 2015 (Švagera et al. 2015) vypracované v rámci ZL 3D modely.

B.1.3.2 Aplikovatelnost standardních geologických metod

Lokalita Kraví hora je tvořena systémem paralelních od SZ k JV probíhajících hřbetů a relativně hlubokých údolí toků Loučka a Nedvědička. Územím protékají vodní toky, a to Bukovský potok se Střítěžským potokem (přítok Loučky) a Janovický potok a Věžná (přítoky Nedvědičky). Vodní plochy tvoří asi 1 % z celkové rozlohy zájmového území. Z hlediska využití území je cca 40 % plochy zalesněno. Lesní půda tvoří celky, které se nacházejí především na svazích podél toků Loučky a Nedvědičky a jejich přítoků. Zemědělská půda tvoří cca 58 %. Četnost skalních výchozů není vysoká. Na strmých svazích hlubších údolí místy dochází ke svahovým gravitačním procesům, které způsobují přemísťování horninových hmot po svahu dolů, za vzniku deluviálních sedimentů. Rozsah svahových deformací na území je malý. Ojedinele se projevují svahové pohyby v podobě roztroušených bloků. S možnostmi vzniku svahových deformací lze místy počítat ve svahových sedimentech, zvětralinách a pokryvných útvarech. Na území nebyly identifikovány projevy výrazné hloubkové říční eroze, která bývá hlavním erozivním činitelem. Exogenní procesy způsobují zvětrávání krystalinických hornin. Zvětralá zóna obvykle nepřesahuje hloubku 15 m. Na základě těchto faktů lze na území provádět podrobný geologický výzkum a průzkum standardními metodami.

Do oblasti zasahují chráněná území (maloplošná chráněná území a evropsky významné lokality NATURA 2000 – Loučka a Trenckova rokle) a prvky Územního systému ekologické stability.

Z hlediska praktické aplikovatelnosti standardních metod geologického výzkumu se území jeví jako středně vhodné jak vzhledem k jeho geologické stavbě, tak k jeho stávajícím geomorfologickým podmínkám a prostupnosti.

B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality

Z pohledu litologické náplně a geologické stavby je území lokality Kraví hora poměrně pestré. Centrální části území jsou tvořeny felsickými granulity a granulitovými rulami, místy s čočkami serpentinizovaných peridotitů. Pro jeho okolí je charakteristické střídání různých horninových litologií (pararuly, migmatity a amfibolity), a to v pruzích SSZ–JJV průběhu. Poměrně homogenní těleso granulitů nabývá v erozním řezu rozměrů cca 2×7,5 km. Hloubkový dosah felsického granulitu byl na základě gravimetrických dat odhadnut na 2,5 až 2,8 km (Franěk et al. 2018), s největším předpokládaným vertikálním dosahem ve střední části tělesa. Pozorované alterace hornin a přípovrchové zvětrání hornin je poměrně časté. Nicméně tyto jevy pravděpodobně nemají na homogenitu horninových bloků výraznější vliv.

Dominantními stavbami v oblasti lokality Kraví hora jsou strmé metamorfní foliace SSV–JJZ průběhu, které byly heterogenně převrásněny nebo střížně refoiovány do subhorizontálních směrů. Tyto stavby v regionálním měřítku definují primární hranice jednotlivých litologií a celkovou geologickou stavbu širší oblasti. Žíly aplitů a křemene o mocnostech několika metrů se vyskytují ojedinele a z hlediska hodnocení jsou nevýznamné.

Na území lokality Kraví hora a v jejím blízkém okolí se vyskytuje větší spektrum tektonických poruch (zlomových zón, zlomů, střížných a extenzních puklin). Celkový přehled a bližší charakteristiku zlomových struktur uvádí závěrečná zpráva Fraňka et al. (2018). Lokalizace, orientace a sklony zlomů byly interpretovány na základě geologické dokumentace důlních prostor ložiska Rožná – Olší (přehled v Ondřík 2010a, b, c) a dále stanoveny na základě výsledků terénního strukturního výzkumu. Vzhledem k přítomnosti důlního díla Rožná – Olší

jsou znalosti geologické stavby a tektonického porušení na lokalitě Kraví hora poměrně podrobné.

Struktury tektonického porušení na lokalitě Kraví hora mají dominantní průběh ve směru SSZ–JJV, SZ–JV a VSV–ZJZ. Je možné konstatovat, že nejdelší a nejméně významnější poruchové zóny byly identifikovány v západní a jihovýchodní části území. Jedná se o zlomy orientované SSZ–JJV nesoucí uranovou mineralizaci a zlomy s průběhem SV–JZ, které odpovídají kategorii 1 – regionální významné poruchové zóny. Další skupina zlomových struktur v dominantním průběhu SZ–JV, Z–V nebo S–J odpovídá kategorie 2 – lokální významné poruchové zóny s délkovým rozsahem 1–10 km. Poslední skupinu tvoří kratší úseky zlomů v dominantní orientaci VSV–ZJZ nebo Z–V, výjimečně také ZSZ–VJV. Na území lokality Kraví hora byly identifikovány tři hlavní trendy v orientaci subvertikálních extenzních puklin. Jedná se o velmi výrazný puklinový systém průběhu VSV–ZJZ (v maximech 55–75°) a relativně méně výrazné systémy extenzních puklin v průběhu SZ (SSZ) až JV (JJV) a SSV–JJZ.

Na základě komplexního zhodnocení dostupných dat a archivních materiálů zpracovaných v kapitole B.1.3.1 je možné konstatovat, že průzkumné území lokality Kraví hora má velmi složitou prostorovou a petrologickou variabilitu horninového prostředí, horniny vykazují vysoký stupeň duktilní deformace a křehkého porušení. Přes tyto uvedené skutečnosti však nebyla zjištěna žádná vylučující kritéria pro umístění HÚ.

Klasifikace jednotlivých geologických indikátorů uvedená v Tab. 4. byla založena na výše shrnutých dostupných geovědních informacích ve stupnici 1 – nejlepší až 5 – nejhorší. Lokality se navzájem výrazně liší množstvím i kvalitou geologických informací (např. mapy různého měřítka, odlišný počet chemických analýz atd.) a nelze je tedy porovnávat exaktními a kvantitativními postupy. Proto bylo zvoleno porovnání formou expertního odhadu na základě diskuze specialistů a jejich shody (viz zpráva Havlová et al. 2018b).

Tab. 4: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení

| Parametr indikátorů | Vyhodnocení |
|--|-------------|
| Popsatelnost a predikovatelnost lokality | |
| Regionálně geologická stavba území (1 - jednoduchá až 5 - velmi složitá) | 3 |
| Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 4 |
| Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 3 |
| Stupeň duktilní deformace (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 4 |
| Možnost vytvoření komplexního prostorového modelu geologické stavby (1 - nejlepší až 5 - nejhorší) (odhad celkové velikosti homogenních bloků v km ²) | 2 |

| Parametr indikátorů | Vyhodnocení |
|---|--------------------|
| Variabilita vlastností | |
| Prostorová variabilita horninového prostředí (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 5 |
| Petrologická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 4 |
| Geochemická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 3 |
| Stupeň alterace hornin a minerálů (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší) | 4 |
| Dostupnost dat | |
| Množství, kvalita a dostupnost archivních dat (1 - nejlepší až 5 - nejhorší) | 1 |
| Aplikovatelnost standardních geologických metod (1 - nejlepší až 5 - nejhorší) | 2 |

B.2 Hydrogeologické charakteristiky

Charakteristickou vlastností území pro umístění hlubinného úložiště, při jejímž dosažení je umístění úložiště zakázáno, je nemožnost vytvoření hydrogeologického modelu v důsledku obtížné popsitelnosti a predikovatelnosti hydrogeologických poměrů území (viz § 18, odst. 4, písm. b (2) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)). Posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí dále hodnotit podle § 18: písm. h) oběh podzemních vod v území k umístění hlubinného úložiště z hlediska možné doby transportu, retardace, rozpustnosti a změny koncentrace radioaktivní látky v důsledku mísení s podzemními vodami.

Vzhledem k tomu, že hodnocení mechanismů proudění podzemní vody, jako je analýza směru a rychlosti proudění, je jedním z nejdůležitějších vstupů pro hodnocení bezpečnosti, protože jako nejpravděpodobnější způsob šíření radionuklidů do okolního životního prostředí se považuje jejich migrace prostřednictvím proudění podzemní vody, požadavky na hydrogeologické charakteristiky lokalit jsou podrobněji rozebírány v IAEA doporučení (IAEA, 2011b, SSG 14, I-28 až I.31 – viz Tab. 3). Konkrétní umístění HÚ v lokalitě by mělo být optimalizováno podle doporučení IAEA z hlediska výskytu preferenčních cest pro pohyb podzemních vod z hlubinného úložiště do životního prostředí odst. (IAEA, 2011b SSG 14, I.29).

Uvedené požadavky SÚJB a doporučení IAEA byly přeformulovány na následující 4 indikátory a kritéria v dokumentu SÚRAO MP.22.

- i. přítomnost zvodní v izolační části úložiště – vylučující kritérium (IAEA, SSG 14, I.29),
- ii. identifikace a umístění drenážních bází v lokalitě – doporučení IAEA, SSG 14, I.31
- iii. rychlost proudění vody a propustnost horninového masivu – doporučení IAEA, SSG 14, I.26
 - a. v úrovni úložiště
 - b. podél trajektorií transportních cest
- iv. obtížnost vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu – požadavek SÚJB, 378/2016 Sb. (SUJB 2016b), § 18, odst. 4, písm. b), IAEA, I.29

Tato kritéria byla obdobně jako v případě geologických charakteristik dále rozpracována odborníky z oblasti hydrogeologie až do formy geovědních parametrů (viz Havlová et al. 2018b)

Výpočty proudění podzemní vody a transportu radionuklidů byly realizovány s využitím komerčních softwarů MODFLOW-USG a FEFLOW (Progeo s.r.o. a ÚJV Řež a.s. a výpočetního kódu FLOW 123D vyvinutého na Technické univerzitě v Liberci. Pro danou výpočetní periodu byla realizována simulace proudění podzemní vody i simulace transportu (s využitím metody particle tracking). Kalibrační set dat pro simulaci proudění obsahoval informace o:

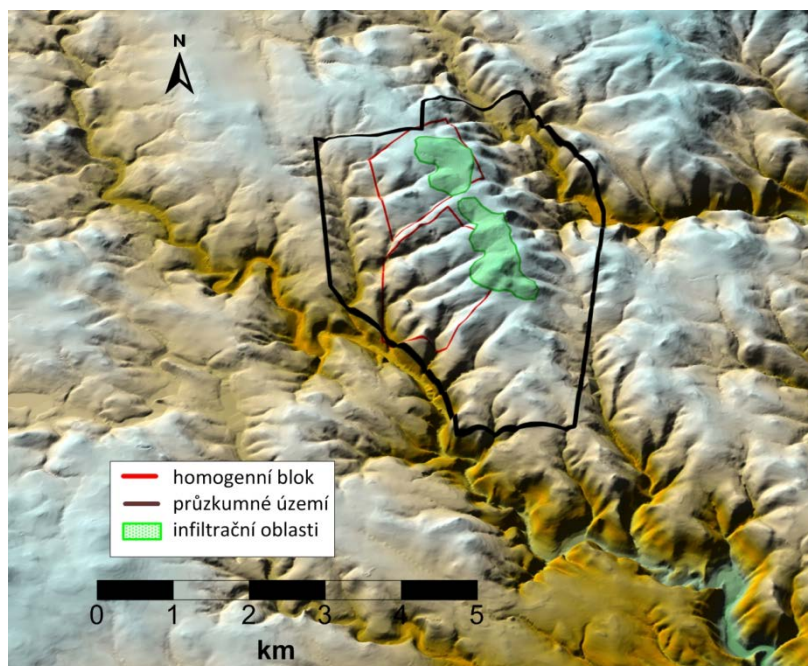
- úrovni hladin přibližně ve stovce mělkých vrtů, penetrujících pouze připovrchovou zónu.
- hladině v připovrchové zóně situované mělce pod terénem (vstupní předpoklad).

Popis transportu radionuklidů vzdáleným polem byl proveden s využitím:

- techniky particle tracking (vypočtena je průměrná postupová doba nereagující nesorbující látky),
- 3D transportního modelu MODFLOW-USG, FEFLOW a FLOW 123D

Regionální, hydrogeologický model lokality Kraví hora popisuje podrobně technická zpráva SÚRAO (Uhlík et al. 2017). Zpracování zprávy pro detailní, hydrogeologický model lokality Kraví hora bude dokončeno v roce 2018.

Dva homogenní bloky, určené pro umístění HÚ, jsou z hlediska reliéfu situovány na západním úbočí Střítežského hřbetu. Infiltrační oblast pro horninový masiv s projektovanými úložnými chodbami HÚ (průměrná úroveň -125 m n. m.) se pravděpodobně nachází ve vrcholových partiích hřbetu (Obr. 8).



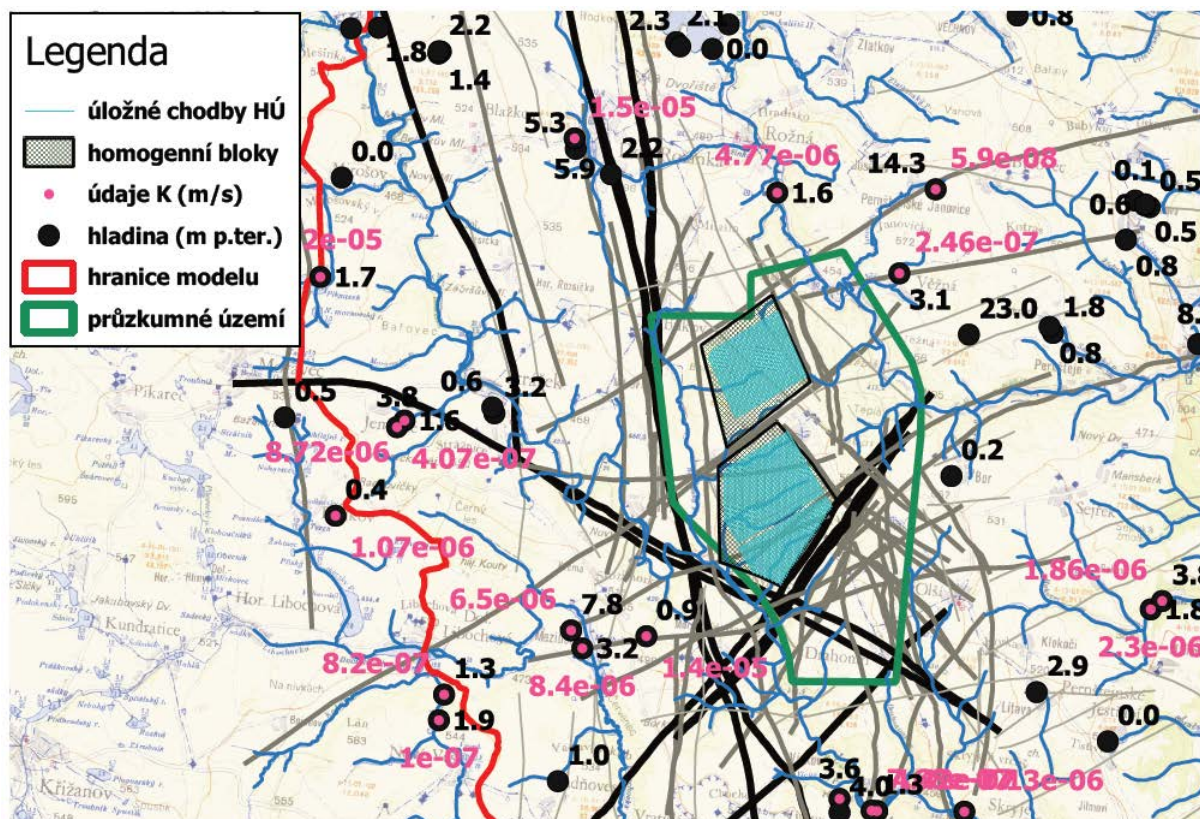
Obr. 8: Mapa reliéfu lokality Kraví hora s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ

B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště

Lokalizace HÚ je zvolena v prostoru dvou homogenních bloků (severní a jižní) vymezených ČGS ve stanoveném průzkumném území (Obr. 9). Úložné chodby HÚ jsou projektovány v průměrné hloubce -125 m n. m.

Podle hydrogeologické rajonizace (Vyhláška č. 5/2011 Sb) je na území lokality Kraví hora vymezen hydrogeologický rajon základní vrstvy 6560 Krystalinikum v povodí Svratky. Horniny moldanubika a svrateckého krystalinika, zastoupené na území lokality Kraví hora, je možné označit jako hydrogeologický masiv. Různá intenzita zvětrání a zejména rozpukání masivu generuje rozdíly v propustnosti. V příporchové vrstvě, ovlivněné procesy zvětrání, se uplatňuje porozita puklinová i průlinová. Ve vlastním hydrogeologickém masivu převládá porozita puklinová, která vzniká sekundárně následkem tektonické expozice.

Vzhledem k malému vodárenskému významu přítomných horninových typů moldanubika a svrateckého krystalinika je hydrogeologická prozkoumanost území malá a nerovnoměrná. Rozložení vrtné prozkoumanosti a vybraných hydrogeologických dat na lokalitě Kraví hora znázorňuje Obr. 9.

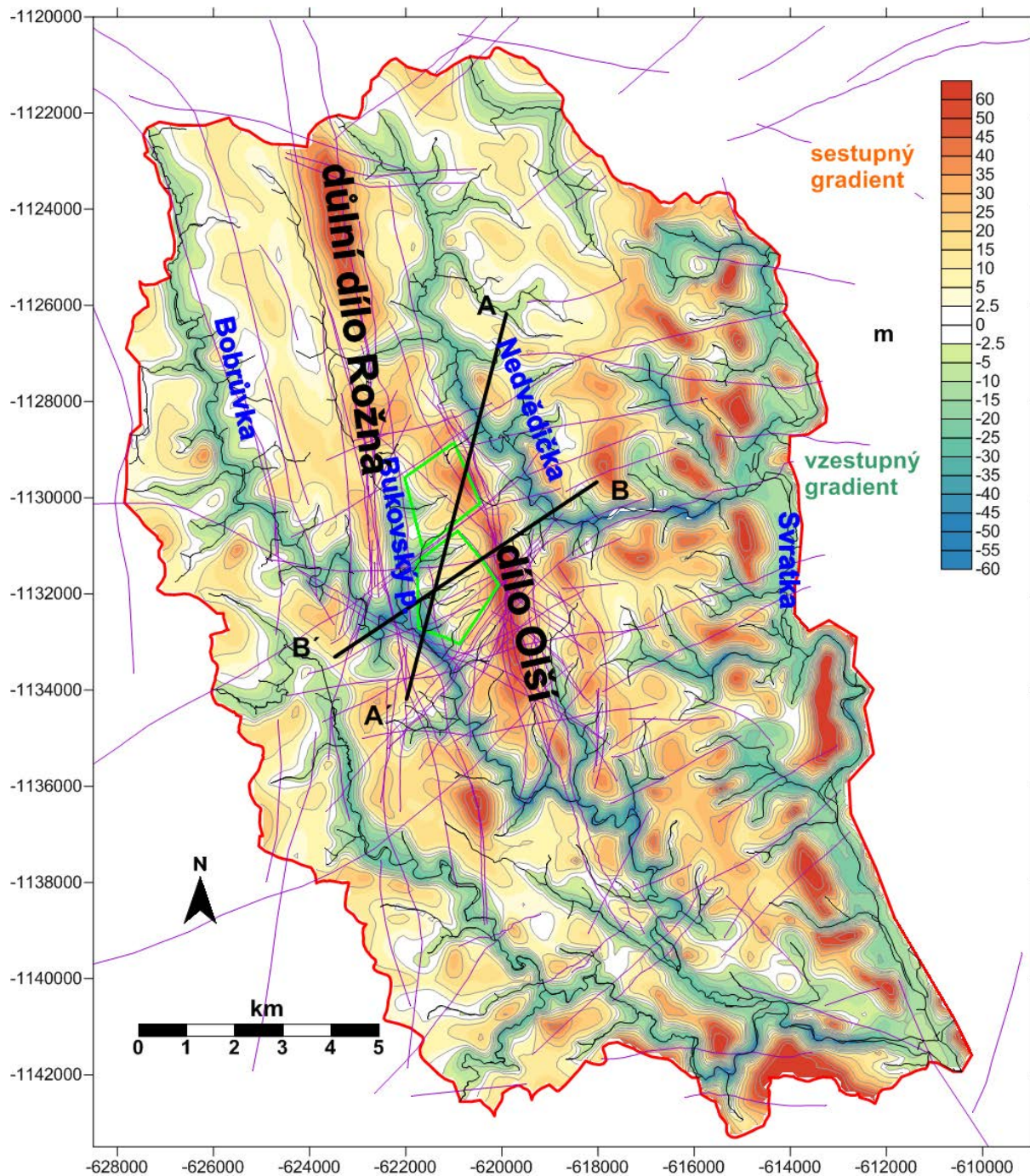


Obr. 9: Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS

V hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma o tři až pět řádů nižší než v přívodové zóně rozvolnění puklin a nelze předpokládat, že zde bude souvislá zvědeň.

B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu

V zájmové oblasti lze obecně předpokládat standardní vertikální vývoj tlakového pole, kdy v infiltračních oblastech převládá sestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k poklesu hydraulické výšky) a v oblastech drenáže převládá vzestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k nárůstu hydraulické výšky). Kromě morfologie terénu ovlivňují tlakové poměry odporové parametry horninového prostředí, jejichž heterogenita je v zájmovém území více než litologií dána tektonikou. V tektonických zónách, které efektivně propojují oblasti s různou hydraulickou výškou, dochází k deformaci pole daného primárně úrovní terénu. V zájmové oblasti lze obecně předpokládat standardní vertikální vývoj tlakového pole, kdy v infiltračních oblastech převládá sestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k poklesu hydraulické výšky) a v oblastech drenáže převládá vzestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k nárůstu hydraulické výšky).



Obr. 10: Rozdíl modelové hydraulické výšky v přípovrchové vrstvě a v úrovni HÚ

V širší oblasti homogenních bloků, vymežujících prostor HÚ, jsou dobře patrné drenážní oblasti, vázané na údolní nivu Bobruvky, Bukovského potoka, Nedvědičky a Svratky. Při zahloubení říční sítě desítky až první stovky metrů pod okolní terén lze pro úroveň HÚ očekávat v puklinových systémech horninového masivu výtláčnou úroveň hladiny výrazně nad úroveň terénu v nivách drenážních toků (Obr. 10).

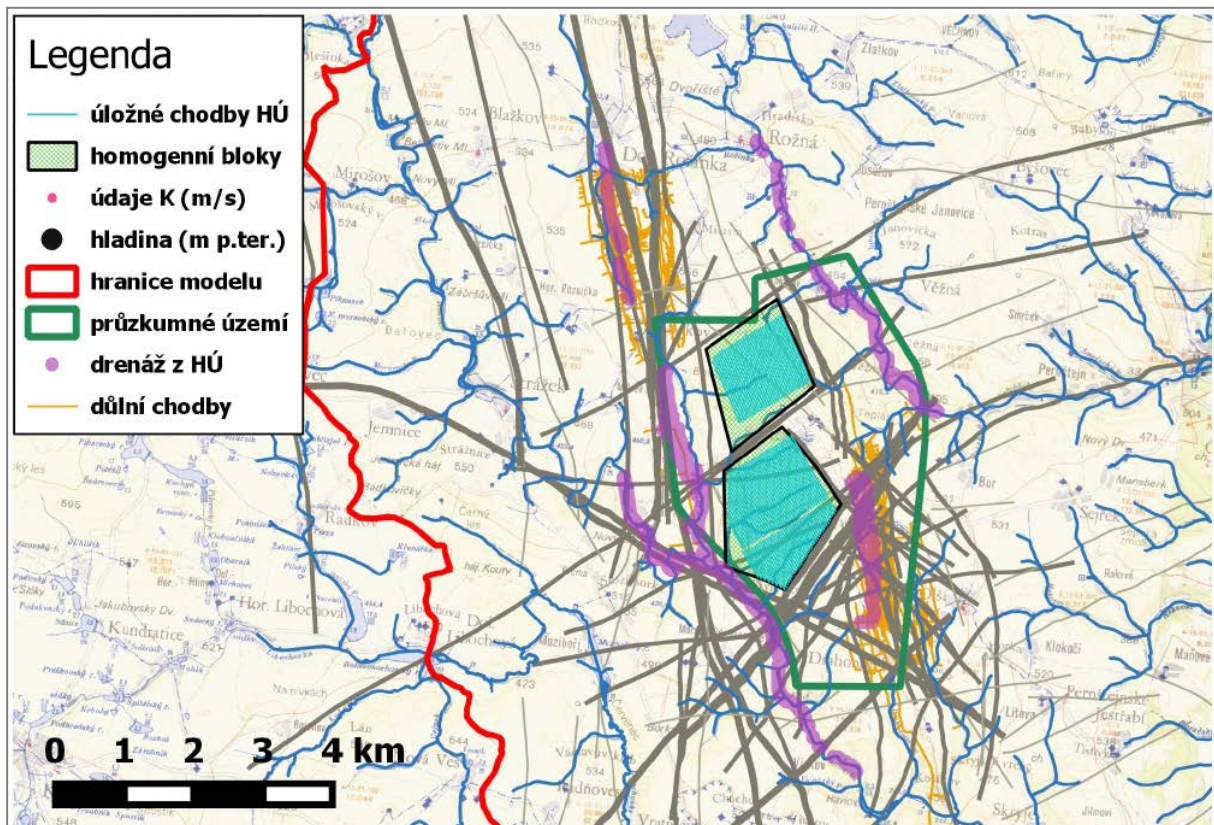
Na východním okraji projektovaného HÚ (oba bloky) lze očekávat sestupné proudění podzemní vody. V masivu Střítežského hřbetu dominuje infiltrace vody do horninového masivu. Naopak v západní části bloků HÚ již může v rámci hlubokého oběhu docházet k výstupu podzemní vody po puklinových systémech do drenážních oblastí Bobruvky a Bukovského potoka.

V lokalitě Kraví hora v prostoru projektovaného HÚ dominuje sestupné proudění podzemní vody – přibližně na 80 % plochy (Uhlík et al. 2016).

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni -2 až 18 m n. m. byly stanoveny modelem proudění s využitím metody particle tracking. Místa drenáže z úrovně HÚ jsou znázorněna na Obr. 11. Drenáž podzemní vody z horninového masivu je zprostředkována přípovrchovou vrstvou zvětralin a rozpojení puklin do povrchových toků. Místa drenáže hlubokého oběhu podzemní vody závisí na výrazně heterogenních a anizotropních odporových parametrech horninového prostředí. K drenáži z masivu dochází v místech napojení vodivých puklin do prostoru s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zvětralinové zóny. Ta je podél drenážních toků zastoupena sedimenty kvartérního stáří.

Drenážní oblasti hlubokého oběhu lze očekávat zejména v úsecích tektonicky predisponovaných toků. Specifikem lokality Kraví hora je, že drenážní oblastí pro horninový masiv s úložištěm budou i prostory opuštěných důlních děl (respektive jejich reliktv: dílo Olší, průzk. úsek Habří a částečně i dílo Rožná).

Místa drenáže podzemní vody z projektovaných prostor HÚ byla stanovena metodou particle tracking (sledování částic v proudovém poli z počáteční polohy v místě úložných bloků HÚ). Dokumentována jsou na Obr. 11. K drenáži do povrchových toků z prostor projektovaného HÚ dochází v povodích Bukovského potoka, Bobrůvky a Nedvědičky.



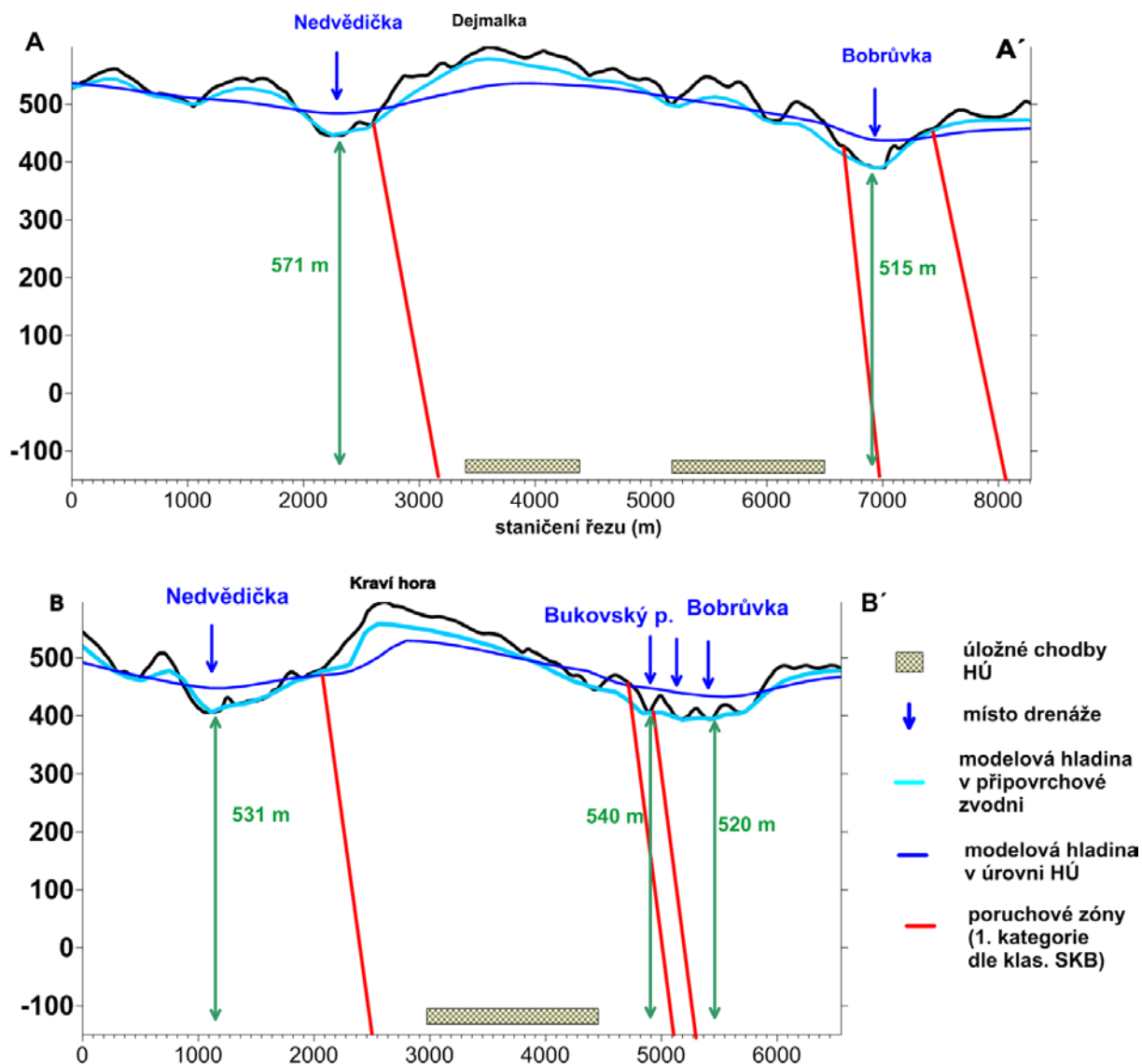
Obr. 11: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ

Proudění podzemní vody z úložných bloků HÚ je v lokalitě Kraví hora "všesměrné". Ve vztahu k projektovanému umístění úložiště je hlavním drenážním tokem Bobrůvka (přímá drenáž přibližně 61 % plochy úložiště). Na celém povodí Bobrůvky dále dochází k drenáži do Bukovského potoka a do zaplaveného úseku důlního díla Habří. Celkem je tak v celém

povodí Bobrůvky drénováno přibližně 82% plochy HÚ. Zbýlá část plochy HÚ je odvodněna do Nedvědičky a minoritně do důlních děl Olší a Rožná (přibližně 3 % úložné plochy HÚ).

Vertikální odlehlost HÚ a drenážních oblastí je dána nadmořskou úrovní říční sítě. Nejnižší položená drenáže z HÚ pro Bobrůvku z modelové analýzy proudění vychází v úrovni 358 m n. m. Naopak nejvýše položená drenáže vychází v úrovni přibližně 459 m n. m. Nejmenší a největší vertikální odlehlost HÚ a drenážních oblastí pro lokalitu vychází v rozmezí 483–584 m n. m. (Obr. 12).

(Obr. 12)



Obr. 12: Schématické řezy se znázorněním horizontální a vertikální vzdálenosti drenáže podzemní vody z prostoru projektovaného HÚ (fialové šipky) a homogenních bloků (modré šipky)

B.2.3 Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě Kraví hora

Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě jsou ovlivněny zejména:

- Hodnotou tlakového pole, tj. zejména rozdílem výšky terénu v infiltrační a drenážní oblasti (diskutováno výše)

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- b) Bilancí množství infiltrační vody přecházejících do hlubších vrstev
- c) Vlivem vodivých poruchových zón
- d) Propustností horninového masívu

B.2.3.1 Bilance množství podzemní vody

Celková bilance množství podzemní vody v lokalitě Kraví hora byla primárně (pro regionální model) odvozována z map specifického odtoku podzemní vody (Krásný et al.1982). V rámci prací na detailním modelu byla celková bilance upřesněna s využitím znalosti průtokových poměrů Nedvědičky a došlo ke snížení infiltrovaného množství srážek do podzemní vody. Rozložení infiltrace v detailním hydrogeologickém modelu vychází z plošné distribuce srážkového normálu na lokalitě (data poskytl ČHMÚ).

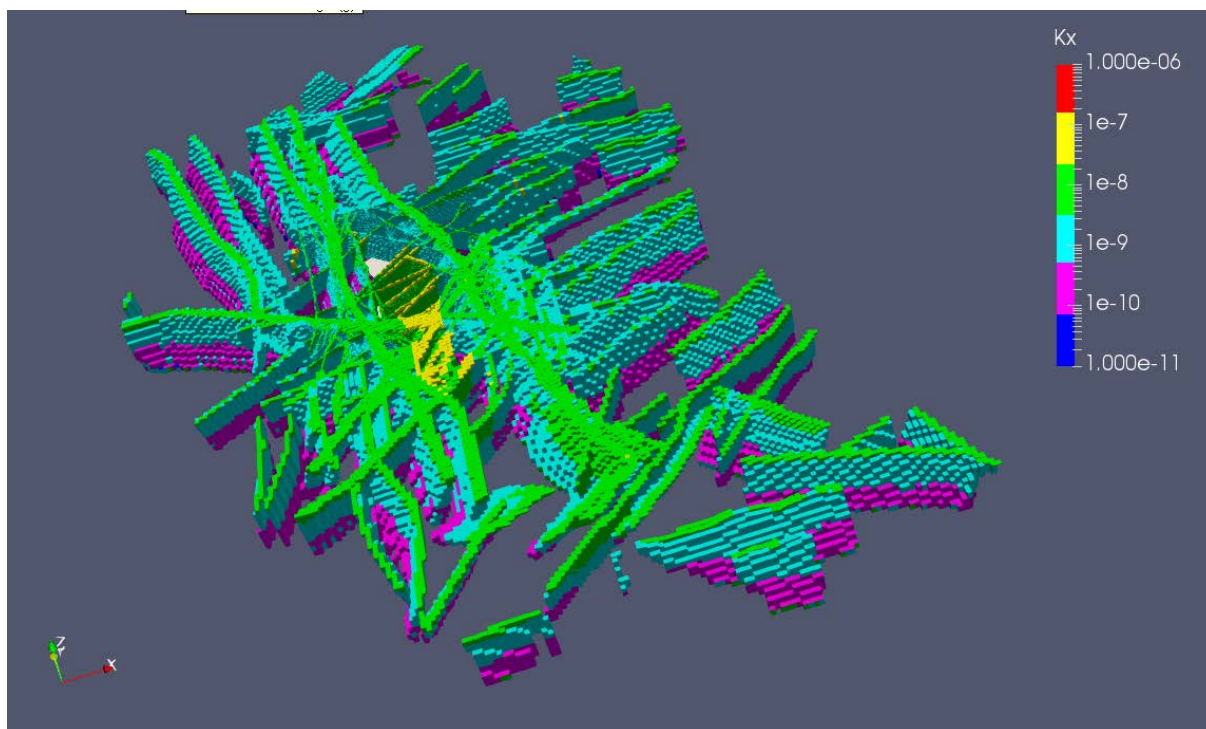
Do podzemní vody (v celé ploše modelu 263,5 km²) v detailním hydrogeologickém modelu infiltruje 358 l.s⁻¹. Značná část infiltrované podzemní vody se účastní pouze mělkého oběhu v přípovrchové vrstvě. Pouze přibližně 50 l.s⁻¹. se dle výsledků detailního modelu účastní hlubšího oběhu horninovým masivem.

Průtok prostorem projektovaného úložiště z modelu vychází 3,7.10⁻² l.s⁻¹. To odpovídá specifickému průtoku na půdorysnou plochu HÚ 1,1.10⁻² l.s⁻¹.km⁻².

B.2.3.2 Vliv poruchových zón na poměry proudění

Koncepce proudění podzemní vody v prostředí hydrogeologického masívu předpokládá existenci pásem zvýšených hydraulických vodivostí, vázaných na tektonické poruchové zóny. V hlubších horizontech horninového prostředí proudí podzemní voda po puklinách. Lze přitom předpokládat, že existence lépe propojené, konduktivní puklinové sítě, zprostředkovávající hydraulické propojení hlubších horizontů s drenážními úseky toků na povrchu, je více pravděpodobná v poruchových zónách kolem významných zlomů s hlubinným dosahem.

V lokalitě Kraví hora je i vzhledem k důlním dílům k dispozici relativně podrobná informace o tektonické stavbě. Na Obr. 13 jsou vykresleny modelové hydraulické vodivosti zlomových linií. Modelové hydraulické vodivosti horninového masívu i zlomových zón byly kalibrovány na základě údajů o ustáleném přítoku do důlních děl. Hlubinné úložiště je ze západu, jihu i východu situováno mezi zlomové zóny první kategorie dle klasifikace SKB. Důlní díla Rožná a Olší, vzhledem k jejich pozici, přímo ověřila propustnost zlomových linií směru SSZ-JJV. Ta z hlediska regionálního pohledu není zásadně odlišná od okolního horninového masívu. Lokálně se ale mohou vyskytovat anomálie.

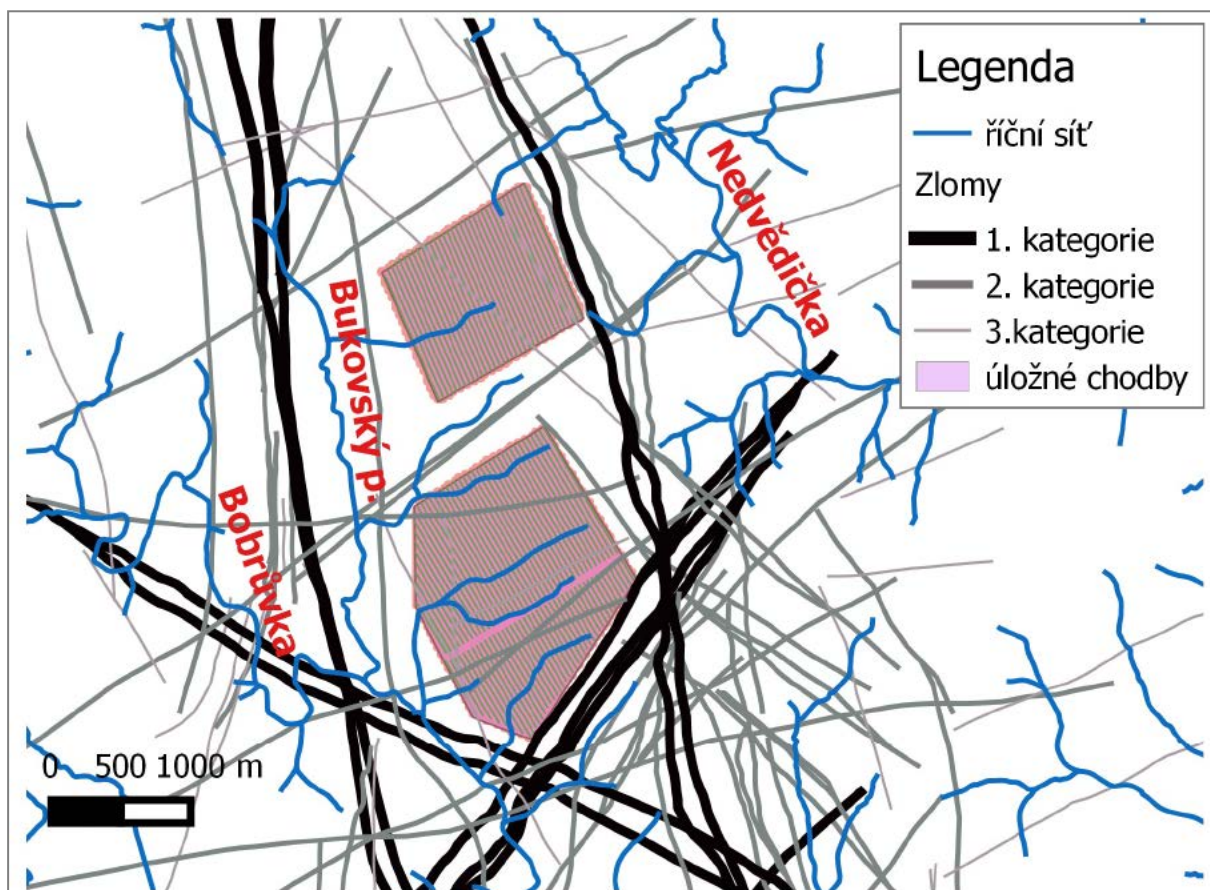


Obr. 13: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón

Zlomy představují potenciální preferenční cestu z prostoru HÚ do drenážní báze. V zájmové lokalitě jsou zejména kritické ty zlomy, které propojují oblasti projektovaného HÚ do nejbližší drenážní oblasti (Obr. 14). Severní blok HÚ je odvodňován k toku Nedvědičky a do Bukovského potoka. Jižní blok je dominantně drénován v povodí Bobrůvky.

Primárně proudění z oblasti projektovaného HÚ do Bobrůvky mohou zrychlit tektonické linie směru SV-JZ, kterých je v kategorii 2 (dle klasifikace SKB) přibližně 5. Směr SV-JZ vykazuje rovněž 2 zlomové linie první kategorie, situované jižně od úložných bloků. Sekundárně rychlosti proudění k Bobrůvce zřejmě ovlivní i tektonické linie první kategorie (směr ZSZ-VJV), predisponující směr toku při JZ okraji jižního bloku HÚ.

Potenciálně tak v lokalitě Kraví hora může proudění podzemní vody z HÚ ovlivnit přibližně 10 poruchových zón (Obr. 14).



Obr. 14: Plocha HÚ, tektonické line v úrovni úložiště a drenážní toky

B.2.3.3 Propustnost horninového masivu

Horninové prostředí je z hlediska zadání modelové propustnosti rozděleno na tři oblasti: 1) přípovrchová zóna ovlivněná procesy zvětrání, 2) přirozeně rozpukaný horninový masiv a 3) horninový masiv ovlivněný průběhem poruchových zón.

Svrchní část horninového profilu (v modelu je přípovrchová zóna reprezentována jedinou vrstvou) tvoří málo mocné sedimentární horniny, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masívu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Propustnost této části horninového prostředí lze popsat jako puklinově-průlinovou. Modelová mocnost přípovrchové zóny dosahuje první desítky metrů. Rozpětí modelových hodnot hydraulické vodivosti přípovrchové zóny je nejčastěji v řádu 10^{-6} až 10^{-8} $m \cdot s^{-1}$.

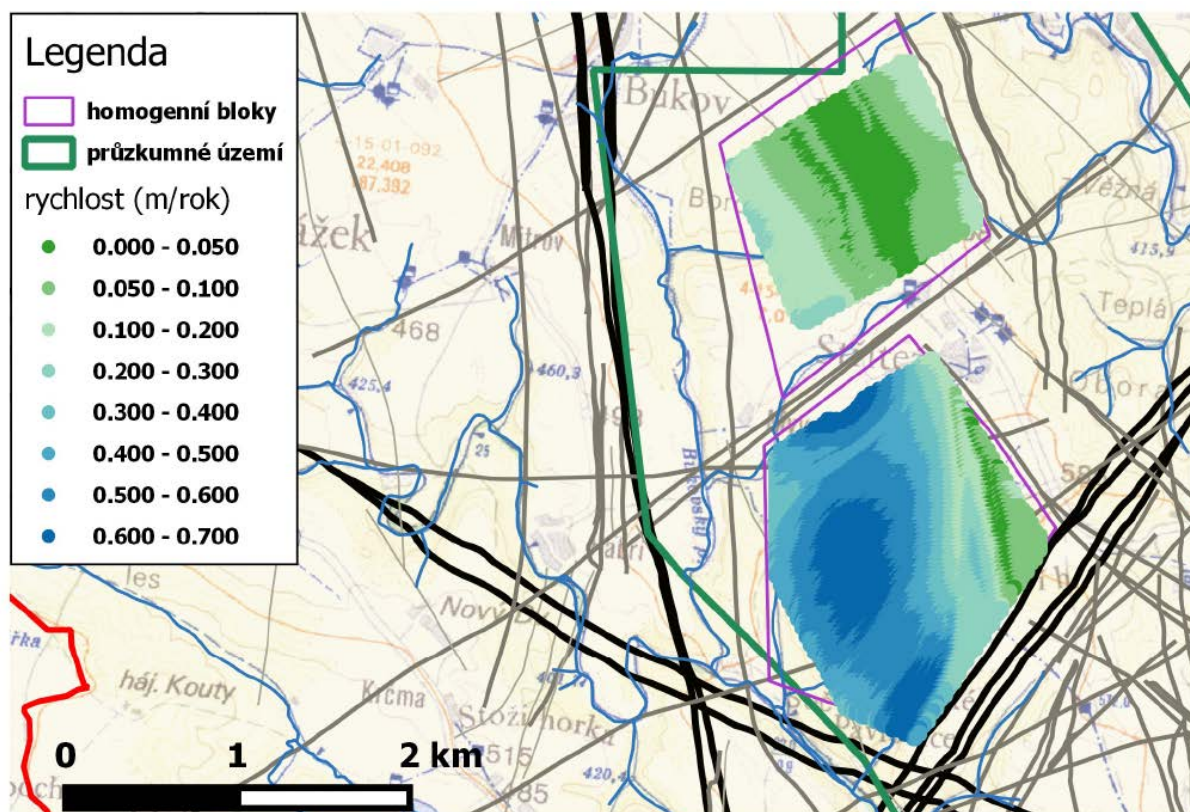
Zbylou část horninového profilu tvoří krystalické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako prostředí zvodněné, heterogenní a anizotropní. Proudění podzemní vody je v tomto prostředí omezeno na síť vzájemně propojených ploch diskontinuit, které oddělují z makroskopického měřítká prakticky nepropustné bloky. Na základě analogie lze předpokládat, že intenzita puklinového porušení v lokalitě s hloubkou klesá. Větší pravděpodobnost hydraulicky vodivých zón je v oblastech poruchových pásem. Propustnost masivu pro podzemí vodu je v modelu reprezentována koeficientem hydraulické vodivosti. Na základě kalibrace podle přítoků do důlních děl je zadán pokles hydraulické vodivosti horninového masivu v závislosti na hloubce pod terénem dle empirické rovnice. Hydraulická vodivost klesá o jeden řád s nárůstem hloubky pod terénem o 675 m.

Odhad hydraulické vodivosti horniny (mimo poruchové zóny) v prostoru projektovaného HÚ vychází podle popsaného konceptu v rozsahu $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $5,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mimo poruchové zóny modelový koeficient hydraulické vodivosti v izolační části horninového masivu nabývá hodnot $1,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $1,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rychlosti proudění podzemní vody v horninovém prostředí jsou spočteny pomocí metody particle tracking (výpočet trajektorie částic v poli proudění podzemní vody z detailního hydrogeologického modelu).

Průměrná rychlost proudění z prostoru projektovaného HÚ do drenážních oblastí je stanovena jako podíl celkové transportní dráhy a celkové doby zdržení částice v horninovém prostředí. Výsledek je vykreslen na Obr. 15.

Vypočtené průměrné rychlosti proudění se pohybují v rozmezí $0,02$ až $0,66 \text{ m}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Obr. 15). Pro jižní úložný blok vychází rychlosti vyšší než pro severní blok. Modelový výsledek je především ovlivněn morfologií terénu. V oblasti severního bloku prochází orografická a hydrogeologická rozvodnice. Jižní úložný blok HÚ je situován blíže k regionální drenážní bázi (Bobruvka).



Obr. 15: Rozložení průměrných rychlostí proudění v $[\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}]$ z prostoru HÚ v modelu proudění

B.2.3.4 Zhodnocení obtížnosti vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu

Hydrogeologický model pro lokalitu Kraví hora se od ostatních lokalit odlišuje dostupnou informací z důlních děl Rožná a Olší a rovněž informací z podzemního výzkumného pracoviště Bukov. Obě důlní díla jsou zahlobena pod projektovanou úroveň HÚ a jsou situována mimo granulitový masiv, primárně uvažovaný jako hostitelské prostředí HÚ.

Důlní díla na jednu stranu poskytla potřebná data pro kalibraci hydraulické vodivosti horninového masivu v projektované úrovni HÚ. Na druhou stranu důlní díla reprezentují problém z hlediska simulací proudění podzemní vody (i transportu rozpuštěných látek). Důlní díla v současnosti i v průběhu dalšího geologického vývoje z hydraulického hlediska reprezentují preferenční cesty pro proudění podzemní vody. Jejich zadání do modelu rovněž ovlivňuje numerickou stabilitu výpočtů.

Z dosavadních prací na hydraulickém a transportním modelu vyplývá, že část (jednotky procent) transportních cest radionuklidů z projektovaného HÚ prochází důlními díly (zaplavená průzkumná sekce Habří a důlní dílo Olší).

Lokalita Kraví hora je z hlediska geologické a strukturní stavby poměrně komplikovaná. Tato komplikovanost se promítá i do popisu hydrogeologických poměrů (Uhlík et al. 2016)

B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality

Hydrogeologická data pro granulitový masiv, primárně určený pro situování HÚ, nejsou aktuálně k dispozici. Znalost lokality ve vztahu k hlubokému oběhu podzemí vody vychází především z poznatků zjištěných v rámci důlní činnosti. Pro horninové prostředí mimo dosah důlních děl jsou na základě analogie předpokládány obdobné hydrogeologické poměry.

Soubor zvolených hydrogeologických charakteristik lokality je získán především s využitím informací z hydrogeologického modelu, založeném v rámci aktuální fáze hodnocení kandidátních lokalit HÚ na reprezentaci horninového prostředí pomocí ekvivalentního porézního kontinua.

Průvodním jevem hodnocení hydrogeologických charakteristik lokality je nedostatek informací. Ten se přenáší do hydrogeologického modelu v podobě nejistot na straně posuzovaných vstupních i výstupních dat. Koncepčně ale modelování všech kandidátních lokalit HÚ vychází ze shodných principů – získané výsledky jednotlivých lokalit lze vzájemně porovnávat.

Identifikována jsou nejvíce pravděpodobná místa drenáže podzemní vody z projektovaného prostoru úložiště, specifikovány jsou další informace charakterizující hlubinný oběh. Vzhledem k morfologii terénu lze proudění podzemí vody procházející masivem HÚ na západě poměrně spolehlivě omezit linií Bobrůvky. Nejzazší východní hranici reprezentuje tok Svratky, významně se ale uplatní i drenáž podzemní vody do Nedvědičky.

K odvodnění prostoru projektovaného HÚ aktuálně přispívají důlní díla. I během dalšího geologického vývoje lokality budou relikty důlních děl fungovat jako preferenční cesty proudění podzemní vody.

Snížení nejistot hodnocení lokality závisí na pokračování hydrogeologického průzkumu. Ten by měl analyzovat hydraulickou funkci zjištěných poruchových zón potenciálně ovlivňujících proudění a transport z prostoru projektovaného HÚ. Zásadní je rovněž průzkum a hodnocení informací dokumentujících intenzitu oběhu podzemní vody v horninovém masivu mimo regionální poruchové zóny.

Hydrogeologické parametry (charakteristiky) lokality vzhledem k posuzovaným hydrogeologickým veličinám jsou ve zjednodušené formě shrnuty v Tab. 5.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Kraví hora

| | Kraví hora |
|--|---|
| střední úroveň HÚ [m n.m.] | -125 |
| plocha HÚ [km²] | 3,46 |
| Tlakové poměry proudění | |
| drenážní báze - horizontální vzdálenost od hranice HÚ [km] | 0,3–2,9 |
| drenážní báze - vertikální vzdálenost od úrovně HÚ [m] | 483–584 |
| počet drenážních toků | 2 |
| počet drenážních povodí | Bobrůvka (61 %) |
| dominantní drenážní tok [% plochy HÚ] | Bobrůvka (82 %) |
| dominantní drenážní povodí [% plochy HÚ] | 80 |
| sestupná vertikální složka proudění [% plochy HÚ] | |
| Bilance množství podzemní vody | |
| průměrná infiltrace ze srážek [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] | $3,7 \cdot 10^{-2}$ |
| průtok přes prostor HÚ [$l \cdot s^{-1}$] | $1,1 \cdot 10^{-2}$ |
| specifický průtok v prostoru HÚ [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] | |
| Vliv poruchových zón | |
| maximální propustnost zón do 1 km od hranice HÚ [$m \cdot s^{-1}$] | $6,8 \cdot 10^{-9}$ |
| počet zón 1. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ | 12 |
| počet zón 2. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ | 40 |
| počet zón ovlivňující proudění mezi HÚ a drenáží | 10 |
| Propustnost horninového masivu | |
| v prostoru HÚ [$m \cdot s^{-1}$] | $3,6 \cdot 10^{-10}$ až $5,2 \cdot 10^{-9}$ |
| izolační část masivu do vzdálenosti 300 m od HÚ [$m \cdot s^{-1}$] | $1,3 \cdot 10^{-10}$ až $1,3 \cdot 10^{-8}$ |
| Rychlost proudění podzemní vody | |
| průměrná z prostoru HÚ k drenáži [$m \cdot rok^{-1}$] | 0,02–0,66 |
| | 0,06–1,2 |

Všechny zjištěné informace o hydraulických charakteristikách lokality spíše vedou k závěru, že požadavky SÚJB týkající se území pro umístění hlubinného úložiště budou splněny, tj. nebyla zjištěna vlastnost lokality, při jejímž překročení je umístění úložiště zakázáno.

B.3 Transportní charakteristiky

Transport různých forem radionuklidů spolu s proudící vodou je ovlivněn řadou procesů, jako je jejich srážení, rozpouštění, difúze, sorpce či ředění v důsledku mísení s nekontaminovanou vodou (viz zpráva SÚRAO: Havlová et al., 2015)

Jak již bylo řečeno výše podle § 18, odst. 4), písm. a) vyhlášky SÚJB č. charakteristickou vlastností území k umístění jaderného zařízení, při jejímž dosažení je umístění hlubinného úložiště zakázáno, je horninové prostředí, které umožňuje migraci radioaktivních látek tak, že při očekávaném vývoji hlubinného úložiště dojde k většímu ozáření reprezentativní osoby, než je dáno optimalizační mezí. Podle § 18 písm. k), bodu musí být posouzeny fyzikálně chemické, geochemické a mikrobiologické vlastnosti geologického prostředí, zejména podle bodu 1. zádržné vlastnosti horninového prostředí a uměle vytvořených překážek. Doporučení IAEA, SSG 14 v bodech I.32 až I.34 popisuje požadavky potřebné pro posouzení zádržných informací geologického prostředí (viz Tab. 3). Transportní vlastnosti geologického prostředí byly v dokumentu SÚRAO MP.22 (Vokál et al. 2017) rozděleny do následujících 3 oblastí:

- doba transportu radionuklidů,
- rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě (maximální koncentrace radionuklidu v podzemní vodě),
- zředění radionuklidu v důsledku mísení s nekontaminovanými vodami.

B.3.1 Doba transportu radionuklidů

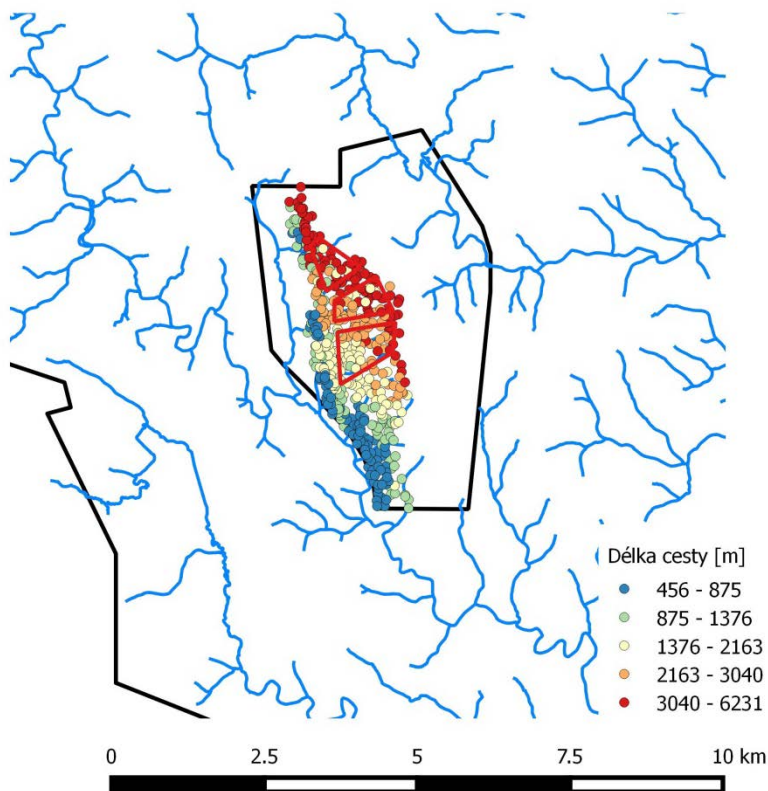
Doba transportu radionuklidů z úložných vrtů do sítě puklin krystalinického prostředí je dána zejména hustotou a vlastnostmi zvodnělých puklin, které probíhají přes úložné vrty a poměrem délky transportní cesty do zvodnělých příporchových vrstev horninového prostředí a dobou zdržení kontaminantu v geologickém prostředí, která je dána rychlostí pórové vody a retardací kontaminantů v prostředí. Při výpočtu celkové délky transportní cesty je třeba vycházet ze součtu jednotlivých úseků celkové cesty na základě výsledků detailních, hydrogeologických a transportních modelů a určení pravděpodobných transportních cest.

Doba transportu radionuklidů do životního prostředí je ovlivněna řadou retardačních procesů, jako je difúze do matrice horniny či sorpce jednak na povrchu stěn puklin, jednak na výplních puklin či ve vlastní matici horniny. Kromě několika velmi mobilních prvků jako je jód, chlór či selen je doba transportu radionuklidů určena spíše velikostí retardace než dobou advektivního toku vody.

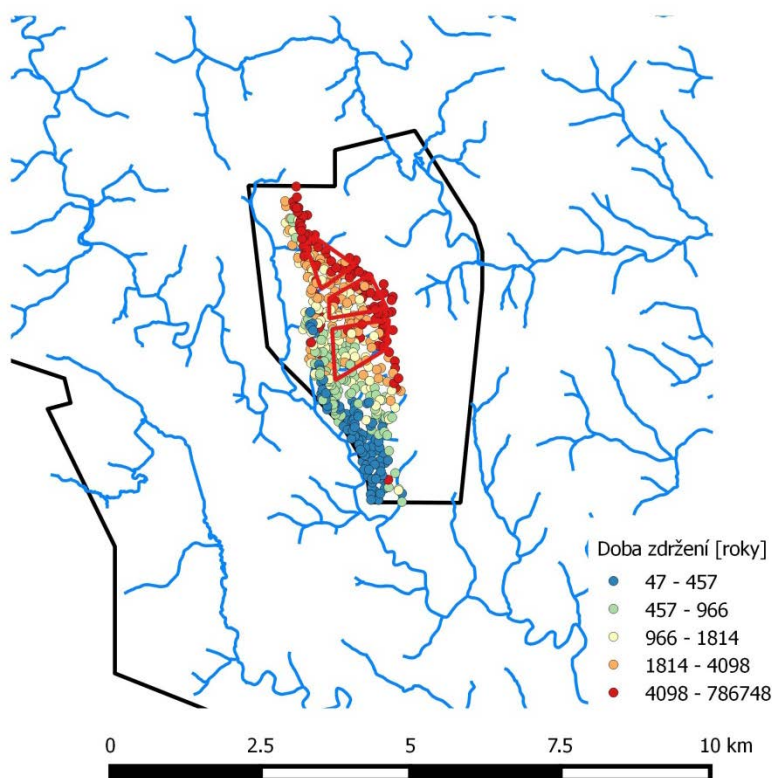
B.3.1.1 Doba toku nesorbujícího kontaminantu

Transportní cesty nesorbujících kontaminantů jsou chápány jako posloupnost bodů v prostoru (elementů výpočetní sítě) definující cestu v určitém smyslu dominantního šíření transportované látky ze zdroje (hlubinné úložiště) na hranici oblasti. Využitím metody particle tracking byly pomocí dvou různých výpočetních kódů (MoldFlow a Flow 123D) prováděných na pracovištích společnosti Progeo s.r.o a Technické university v Liberci spočteny možné transportní cesty z uvažovaných bloků úložiště i z celého průzkumného území (viz podrobněji Říha a Královcová 2018)

Délky transportních cest a doby zdržení pro částice z prostoru vymezeného průzkumného území lokality Kraví hora jsou uvedeny na Obr. 16 a Obr. 17.

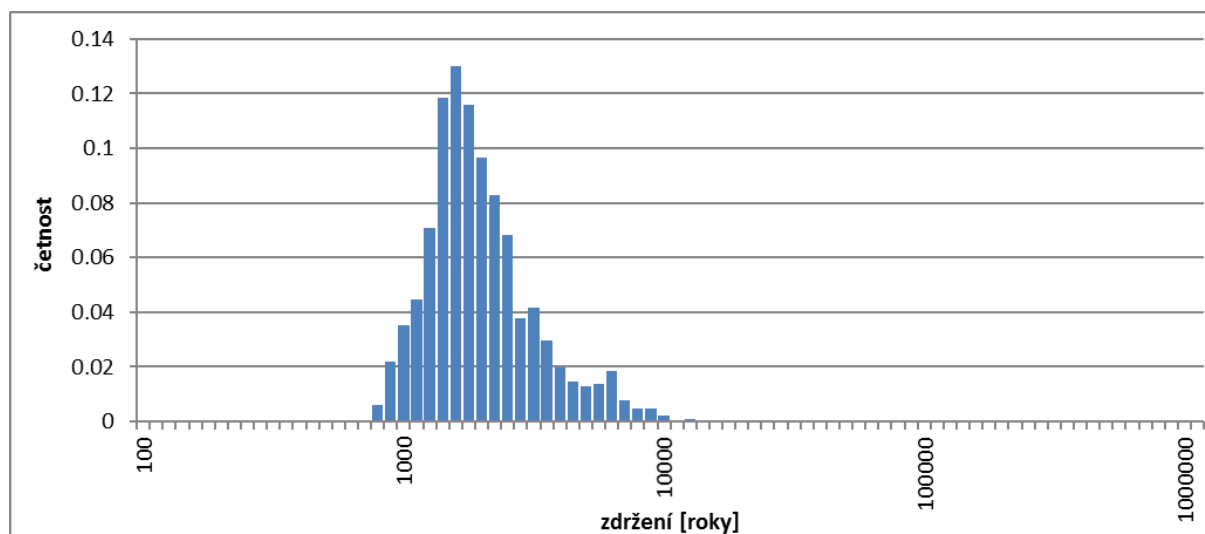


Obr. 16: Mapa délky trajektorie transportních cest (m), lokalita Kraví hora



Obr. 17: Doby zdržení pro částice (roky) pro průzkumné území lokality Kraví hora

Příklad histogramu doby zdržení pro lokalitu Kraví hora je uveden na Obr. 18.



Obr. 18: Histogram doby zdržení částic v horninovém prostředí, homogenní blok (severní), lokalita Kraví hora

V Tab. 6 jsou uvedeny délky transportních cest a doby zdržení od severního, centrálního a jižního homogenního bloku.

Tab. 6: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení

Severní blok

| | min | 5 % | průměr | medián | 95 % | max |
|-----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| transportní cesta [m] | 927,5 | 2 057,4 | 2 601,9 | 2 658,7 | 3 035,2 | 3 338,5 |
| doba zdržení [roky] | 755,0 | 900,6 | 1 814,6 | 1 624,8 | 3 568,4 | 10 058,3 |

Centrální blok

| | min | 5 % | průměr | medián | 95 % | max |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| transportní cesta [m] | 1 189,7 | 1 900,5 | 2 472,5 | 2 456,7 | 3 192,2 | 3 738,4 |
| doba zdržení [roky] | 753,4 | 963,6 | 2 121,8 | 1 690,3 | 5 135,9 | 14 112,1 |

Jižní blok

| | min | 5 % | průměr | medián | 95 % | max |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| transportní cesta [m] | 1 074,2 | 1 255,1 | 1 889,1 | 1 845,5 | 2 705,7 | 3 201,5 |
| doba zdržení [roky] | 303,4 | 515,1 | 1 682,9 | 1 199,1 | 4 194,0 | 12 797,4 |

B.3.1.2 Retardační vlastnosti horninového prostředí

Hodnota retardace radionuklidů v horninovém masivu ve srovnání s proudící vodou je specifická pro jednotlivé radionuklidy a závisí na:

- 1) hodnotě difúzního koeficientu radionuklidu do matrice horniny,
- 2) hodnotě porozity matrice,
- 3) hodnotě smáčeného povrchu pukliny,
- 4) sorpčních vlastnostech matrice horniny,
- 5) sorpčních vlastnostech výplní poruchových zón,
- 6) chemických vlastnostech podzemní vody.

Difúzní vlastnosti hornin na lokalitě byly sledovány na základě experimentálního programu difúze tří screeningových radionuklidů - ^3H , ^{36}Cl a ^{125}I (metodika průnikových difúzních experimentů v ÚJV Řež, a.s.). Experimentální výsledky stanovení hodnot D_e pro tyto screeningové radionuklidy jsou uvedeny v Tab. 7. Současně jsou v této tabulce uvedeny i hodnoty D_e doporučené pro použití v bezpečnostních výpočtech ve zprávě Havlové et al. (2017).

Tab. 7: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů

(pro granitické horniny Českého masivu (Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky z lokality Kraví hora (experimentální program v ZL Transport 1; použití syntetická podzemní voda SGW2; Verner et al. 2016; probíhající experimentální činnost).)

| Radio-nuklid | Doporučené hodnoty D_e [$10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$] | Experimentální hodnoty D_e [$10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$] (průměr ze tří vzorků) | | | |
|------------------|--|--|-------------------------|---------------------|--------------------|
| | | Havlová et al. (2017) | Granulit GRB Dolní Bory | Amfibolit PVP Bukov | Pararula PVP Bukov |
| ^3H | 3,1 | 7,0 | 1,4 | 1,5 | 2,8 |
| ^{36}Cl | 0,26 | 3,0 | 0,1 | 0,28 | 0,85 |
| ^{125}I | 0,26 | 3,0 | 0,2 | 0,17 | 0,56 |

Jak je patrné z výsledků experimentálních prací, pro horniny analogické granulitům z lokality Kraví hora byly změřeny vyšší hodnoty difúzního koeficientu než pro ostatní metamorfované horniny v komplexu hornin Kraví hora. A je také jednoznačně patrný nižší difúzní koeficient pro anionty pro metamorfované horniny – tj. již pozorovaný jev aniontové exkluze.

Pro hodnotu porozity pro horniny Českého masivu bylo ve zprávě Havlová et al. (2017) definováno rozpětí hodnot 0,14–1,29 % a doporučen medián 0,4 % pro výpočty hodnocení bezpečnosti.

Sorpce radionuklidů v horninovém prostředí je závislá především na složení podzemní vody (a tedy na speciaci radionuklidů) a na mineralogickém složení horniny a puklinových výplní. Složení podzemní vody ovlivňuje speciaci (formu) radionuklidu v systému a potenciální vazbu na pevnou fázi. Sorpční vlastnosti horniny jsou dány především obsahem minerálů s obsahem Fe (tmavé slídy, pyrit), sekundárních minerálů (apatit, chlorit, illit, kaolinit, kalcit).

B.3.2 Rozpuštěnost radionuklidů v podzemní vodě

Doba transportu radionuklidů závisí výrazně maximální možné koncentraci forem radionuklidů v podzemní vodě. Na základě dostupných informací o lokalitě Kraví hora (Havlová et al. 2015; Červinka a Gondolli 2017) je možno předpokládat, že podzemní voda z lokality Kraví hora nemá extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek). Tento předpoklad je však zatížen značnou nejistotou, plynoucí z neznalosti složení chemismu podzemní vody pro větší hloubky lokality.

Podle hydrogeologické rajonizace, která byla uvedena v platnost vyhláškou č. 5/2011 Sb. je na území 3D regionálního modelu lokality Kraví hora vymezen hydrogeologický rajon základní vrstvy 6560 Krystalinikum v povodí Svatky – střední část. Tento hydrogeologický rajon je vázán převážně na různé horninové typy moldanubika a svrateckého krystalinika. Mezi horninovými typy jsou výrazněji zastoupeny ruly, migmatity, durbachity, svory a vyskytují se zde i z hydrogeologického hlediska významné polohy mramorů.

V podzemních vodách z archivních hydrogeologických vrtů (hloubka vrtů do 100 m) má naprostou převahu chemický typ Ca-HCO₃ a to bez ohledu na hloubku objektu nebo zastižené horninové prostředí. Výše celkové mineralizace je značně rozkolísaná od 192 do 717 mg.l⁻¹, pH dosahuje hodnot 6,70–7,70.

V naprosté většině podzemních vod vyvěrajících v pramenech na území lokality Kraví hora převažuje mezi kationty vápník, v ojedinělých případech hořčík. Zastoupení aniontů je podstatně proměnlivější. Nejčastější je převaha síranů, následují hydrogenuhličitan, u antropogenně ovlivněných vod chloridy a dusičnany. V podzemních vodách z pramenů na lokalitě Kraví hora převažuje chemický typ Ca-SO₄, který je typický pro mělký oběh podzemních vod v oxidační zóně krystalinika. V několika případech se objevují chemické typy Ca-HCO₃ a Mg-HCO₃, které mohou indikovat hlubší oběh podzemních vod drénovaných příslušným pramenem. pH je u pramenů v rozmezí od 6 do 8,5, celkový obsah rozpuštěných látek nejčastěji v intervalu 100 až 400 mg.l⁻¹.

Typické podzemní vody z 12. patra dolu Rožná v prostoru PVP Bukov (hloubka 550 m pod povrchem) jsou typu Ca-HCO₃ s celkovou mineralizací 240 až 356 mg.l⁻¹. Hodnoty pH se pohybují v rozmezí 7,8 až 8,6. V hlubších částech dolu Rožná, v hloubkovém intervalu 950 až 1200 m, se vyskytují podzemní vody typu Na-HCO₃. Průměrná hodnota TDS je u těchto vod 350 mg.l⁻¹, pH je v rozmezí od 8 do 9,8. Mezi kationty zcela převažuje sodík, poměrné zastoupení hydrogenuhličitanů je nad 80 meq%.

Na základě dostupných informací o lokalitě Kraví hora (Havlová et al. 2015; Červinka a Gondolli 2016; Franěk et al. 2018, Bukovská a Verner 2017) je možno předpokládat, že podzemní voda z lokality Kraví hora nemá extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek) v porovnání s ostatními vodami granitických hornin Českého masivu.

Vzhledem k nejistotám spojeným se stanovením retenčních vlastností hornin na dané lokalitě byla jako kvantitativní porovnávací kritérium zvolena rozpustnost pěti vytipovaných screeningových radionuklidů (U, Np, Tc, Se a Ni) v podzemní vodě na dané lokalitě tak, aby bylo následně možno lokality mezi sebou porovnat. Radionuklidy byly voleny tak, aby zahrnovaly především ty radionuklidy, které jsou senzitivní na výše zmíněné parametry, tj. složení vody, E_n, pH a obsah komplexotvorných látek. Rozpustnostmi U, Np, Tc, Se a Ni v podzemních vodách uvažovaných lokalit se podrobně zabývá studie Kolomé a Klajmona (2018).

Výsledné hodnoty rozpustností uvažovaných radionuklidů pro lokalitu Kraví hora určené v práci Kolomé a Klajmona (2018) jsou celkově shrnuty v Tab. 8.

Tab. 8: Rozpustnost screeningových radionuklidů ve vodě Kraví hora (SGW2)

| Prvek | Fáze limitující rozpustnost | Rozpustnost [mol.l ⁻¹] |
|-------|---|------------------------------------|
| U | Becquerelit | 3,43 · 10 ⁻⁵ |
| Np | NpO ₂ (am,hyd) | 1,15 · 10 ⁻⁹ |
| Tc | TcO ₂ :1.6 H ₂ O(s) | 4,17 · 10 ⁻⁹ |
| Se | Se(mono) | 1,63 · 10 ⁻¹² |
| Ni | Ni(OH) ₂ (beta) | 3,07 · 10 ⁻⁵ |

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Vývoj geochemického modelu je pouze v začátcích. Dosavadní výsledky jsou shrnuty ve zprávě SÚRAO (Červinka et al. 2018).

B.3.3 Hodnocení ředění

Pokles koncentrace radionuklidů v důsledku mísení s nekontaminovanými vodami na cestě od úložiště do přípovrchových vrstev byl na základě výstupů modelu Flow123D kvantifikován pomocí parametru ředění. Tento parametr byl vypočten zvlášť pro každé povodí, které funguje jako drenáž pro uvažovaný zdroj kontaminace umístěný v homogenních blocích ve vertikálním rozsahu minus 100 až plus 100 metrů nad mořem. Výsledky jsou uvedeny v následující Tab. 9.

Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí

| Povodí | Ředění proti maximu [-] | Ředění proti průměru [-] |
|------------|-------------------------|--------------------------|
| Bobruvka | 9,11E-03 | 7,61E-02 |
| Nedvědička | 7,00E-03 | 5,85E-02 |

B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik

Transportní charakteristiky lokality Kraví hora vycházejí zejména z analýzy možných transportních cest kontaminantů pomocí metody particle tracking a analýz dostupného dostupných vzorků. Nebyl zjištěn žádný parametr, který by vylučoval umístění hlubinného úložiště v této lokalitě. V následující Tab. 10 jsou shrnuty vybrané transportní parametry.

Tab. 10: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality

| Parametr | | Hodnota |
|--|--|-------------------------------|
| Délka transportních cest (medián) | Pro polygon HÚ | 2 136 m |
| | Pro část HÚ, jež je drénována do dílčího povodí | BO: 2 079 m; NE: 2 220 m |
| Doba zdržení (medián) | Pro polygon HÚ | 5 244 let |
| | Pro část HÚ, jež je drénována do dílčího povodí | BO: 3 273 let; NE: 19 644 let |
| Délka transportních cest (medián) | Pro polygon HÚ | 3 422 m |
| Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí (vztažená k maximální koncentraci) | Bobruvka (BO) | 9,11E-03 |
| | Nedvědička (NE) | 7,00E-03 |
| Složení podzemní vody na lokalitě (O) | Na základě dostupných informací o lokalitě lze předpokládat, že podzemní voda nemá v hloubce 500 m extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek) | |
| Hodnoty difúzního koeficientu D_e pro vybrané RN ($\times 10^{13}$ [m ² .s ⁻¹]) – granit (lokalita lom Dolní Bory) | ³ H | 7,0 |

| Parametr | | Hodnota |
|---|--|---------------------------------------|
| | ³⁶ Cl | 3,0 |
| | ¹²⁵ I | 3,0 |
| Porozita [%] Granulit (granulit Dolní Bory) | | 0,37 |
| Vyhodnocení míry sorpce pro vybrané RN* | U(VI) | Nízká (O) |
| | Np | Vysoká (O) |
| | Tc | Nízká (O) |
| | Se | Nízká (0,3±0,8 ml.g ⁻¹) |
| | ¹³⁷ Cs | Nízká (12,8±1,6 ml.g ⁻¹) |
| | ⁹⁰ Sr | Nízká (2,7±0,9 ml.g ⁻¹) |
| Obsah tmavých minerálů v horninách (modelové složení hornin na lokalitě) | Slídy | |
| | Granulit (%) | 9 |
| | Migmatit (%) | 19 |
| Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě | Fáze limitující rozpustnost | Rozpustnost [mol.l ⁻¹] |
| U | Becquerelite | 3,43 · 10 ⁻⁵ |
| Np | NpO ₂ (am,hyd) | 1,15 · 10 ⁻⁹ |
| Tc | TcO ₂ ·1.6H ₂ O(s) | 4,17 · 10 ⁻⁹ |
| Se | Se(mono) | 1,63 · 10 ⁻¹² |

B.4 Stabilita lokalit

Geologická stavba území k umístění hlubinného úložiště musí zaručit stabilitu hlubinného úložiště po dobu nejméně statisíců let. Podle § 18, odst. 2, písm. g), i), či j) vyhlášky č. 378/2016 Sb (SUJB 2016b), musí být posouzen výskyt endogenních a exogenních jevů (g) předpokládaný vývoj klimatu (i), či zranitelnost horninového prostředí z hlediska dlouhodobých klimatických změn (j). Podle IAEA hostitelské prostředí (IAEA 2011b) pro hlubinné úložiště by nemělo být náchylné k poškození budoucími geodynamickými procesy a následnými jevy a jinými faktory (např. změnou klimatu, neotektonickými pohyby, vysokou seizmicitou) do té míry, že by tyto vlivy mohly nepříjemně poškodit bezpečnostní funkce celého úložného systému. Na základě předchozích poznatků (Pačes et al. 2010) plyne, že v ČR mohou být důležité především následující vlivy:

1. Zemětřesení vyšší intenzity a přítomnost potenciálně aktivních zlomů (seismická stabilita).
2. Pokles nebo výzdvih povrchu území (geodynamická stabilita).
3. Postvulkanické jevy.
4. Klimatické změny.

Podle odst. 3 §9 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) je charakteristikou dalších geodynamických jevů a geotechnických parametrů základových půd, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno, výskyt vulkanických hornin pliocenního až holocenního stáří nebo projevů postvulkanické činnosti, zejména výronu plynů anebo minerálních vod, spojených s minulou vulkanickou aktivitou, do vzdálenosti 5 km.

Zhodnocení stability území lokalit Kraví hora se skládá se ze čtyř celků (i) seismické stability, (ii) geodynamické stability, (iii) postvulkanické stability a (iv) posouzení klimatických změn.

B.4.1 Seismická stabilita

Studie seismické stability, tj. rešerše historických a aktuálních zemětřesení a výsledky neo-deterministické analýzy, byla prezentována ve zprávě Kalába et al. (2015), nově jsou doplněny informace o lokálních zemětřeseních z let 2015 a 2016. Studie seismoaktivních zlomů v okolí potenciálních lokalit HÚ byla zpracována na základě mapy „Zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů“ z Atlasu krajiny České republiky (Hrnčiarová et al. 2009). Tato mapa zobrazuje různé typy zlomů a též kategorii seismotektonicky aktivní zlomy. Pro sestavení seismotektonického modelu, a to zvláště v detailu okolí potenciální lokality HÚ, pravděpodobně tato mapa není postačující, a bylo by nutno realizovat podrobné mapování a případně i monitoring v potenciální lokalitě HÚ místní seismickou sítí. Vzhledem k nízké úrovni seismické aktivity ve sledovaných oblastech lze očekávat výsledek až z několikaletého sledování. Nedílnou součástí monitoringu je sestavení lokálního seismického modelu z geofyzikálních měření.

Nejintenzivnější historické zemětřesení (v okolí do 300 km) je popsáno z 15. září 1590 z oblasti Niederösterreich (Rakousko) – magnitudo $M_w = 6,06 \pm 0,47$. Účinek tohoto zemětřesení je použit pro hodnocení potenciálního seismického zatížení oblastí. Podle mapy byly na území dnešní ČR pozorovány projevy odpovídající hodnotě intenzity I_0 až 7–8 (Jihlavsko), hodnoty $I_0 = 6–7$ jsou uváděny východně od Prahy. Za hranicí 300 km je doloženo zemětřesení z 25. ledna 1348 (Carinzia, Itálie, $M_w = 6,99 \pm 0,30$, makroseismický projev na území ČR je nepravděpodobný) – toto zemětřesení vzhledem ke vzdálenosti již

není zahrnuto do hodnocení. Nejintenzivnější zemětřesení na území ČR v letech 1900–1990 bylo zaznamenáno v oblasti Náchodska z 10. 1. 1901 (02:30) s magnitudem $M_w = 5,1$.

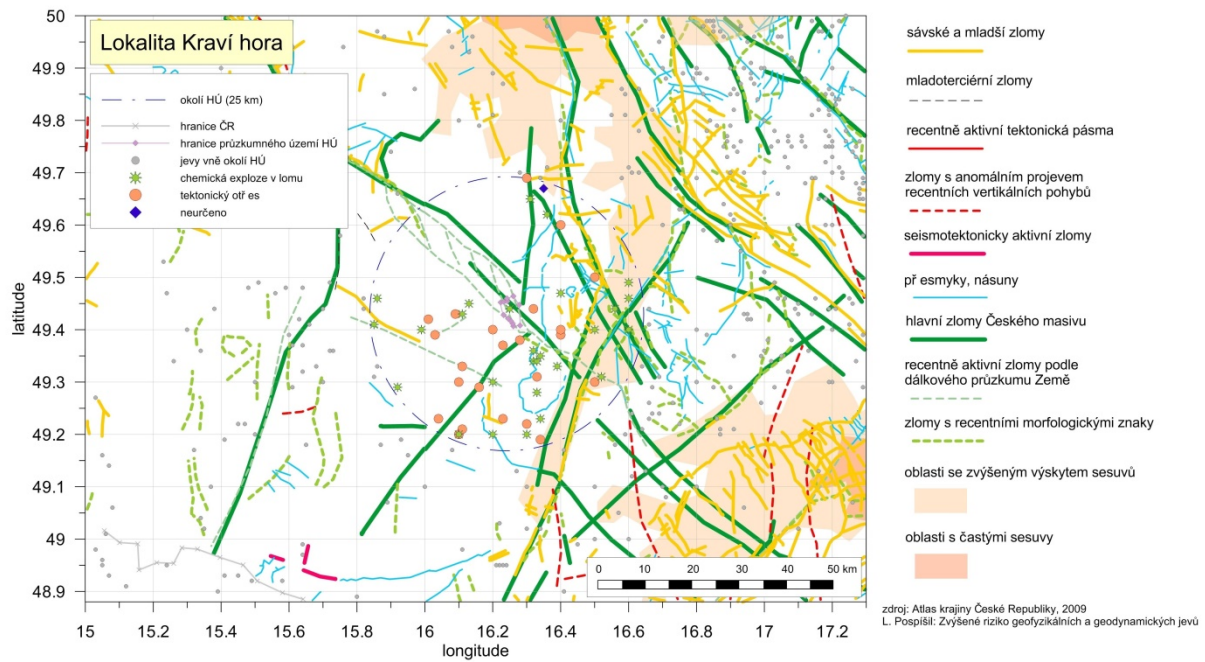
Výsledky studie zemětřesení v okolí potenciální lokality Kraví hora za období 1991–2016 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území jsou uvedeny na *Obr. 19*. Popis tektonických jevů je uveden v *Tab. 11*. Tektonický jev s maximálním lokálním magnitudem $M_L = 1,6$ byl zaregistrován dne 26. 3. 2006 (18:11) cca 25 km od hranice polygonu průzkumného území Kraví hora. Jevy vzniklé mimo okolí HÚ jsou vyneseny malými šedými symboly, žádný z jevů nepřesáhl hodnotu lokálního magnitudu 5,0.

Výsledek výpočtu neo-deterministickou metodou pro lokalitu Kraví hora lze stručně shrnout následovně. Z období do roku 1900 mělo největší projev zemětřesení z Niederösterreichu (epicentrální vzdálenost cca 130 km). Vypočtená hodnota pro účinek na povrchu dosáhla maximálního horizontálního zrychlení $0,113 \text{ m.s}^{-2}$ ($0,0638 \text{ m.s}^{-2}$ přepočteno do hloubky 500 m). Tato veličina byla vypočtena také pro účinek dvou nejsilnějších lokálních zemětřesení v okolí HÚ. Pro zemětřesení z 26. 3. 2006 byla získána hodnota $0,00114 \text{ m.s}^{-2}$ na povrchu ($0,000796 \text{ m.s}^{-2}$ pro přepočteno do hloubky 500 m), pro zemětřesení ze 4. 12. 1998 byla získána hodnota $0,000172 \text{ m.s}^{-2}$ na povrchu ($0,000125 \text{ m.s}^{-2}$ pro přepočteno do hloubky 500 m).

Hodnocení tektonického obrazu okolí potenciální lokality Kraví hora dle výše uvedené mapy lze shrnout následovně: na území polygonu a v okolí do 25 km je vyznačeno několik zlomů (*Obr. 19*). V okolí potenciálního HÚ je zakresleno sedm zlomů s označením hlavní zlomy Českého masivu, čtyři zlomy vedou SZ-JV směrem (jeden z nich vede průzkumným územím HÚ), další dva mají směr S-J, poslední dva pak směr SSV-JJZ. SZ-JV směrem vede také soustava zlomů s recentními morfologickými znaky. Ve východní části okolí HÚ je několik sávkových a mladších zlomů. V jihovýchodní části okolí HÚ se nachází oblast se zvýšeným výskytem sesuvů (Hrnčiarová et al. 2009), ale v registru svahových nestabilit ČGS nejsou žádné svahové deformace registrovány. Ani v morfologii nebyly zjištěny projevy svahových nestabilit. Nejbližší seismotektonický aktivní zlom se nachází JZ směrem ve vzdálenosti cca 63 km od polygonu.

Souhrnné hodnocení pro lokalitu Kraví hora je založeno na výše uvedených poznatcích, tj. data z archivních materiálů a databáze ČRSS (nejsou k dispozici data z lokální seismické sítě s vysokou citlivostí). Existence zemětřesení s magnitudem nad 5 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území není doložena. Intenzity 8 stupně dle MSK-64 nebylo v daném místě dosaženo. Podle *Interpretace kritérií* z roku 2012 (SÚJB 2012) nesmí být na lokalitě překročena hodnota horizontálního zrychlení 1,5 (až 2,5) m.s^{-2} . Přítomnost seismicky aktivního zlomu do vzdálenosti 25 km od vymezeného území není doložena.

Na základě dostupných dat není na lokalitě Kraví hora z hlediska seismicity překročeno žádné z vylučujících kritérií.



Obr. 19: Výřez z mapy „Zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů“ (v Hrnčiarová et al. 2009) s vyznačením potenciální lokality Kraví hora a okolí HÚ a seismickými jevy z databáze ČRSS

Tab. 11: Databáze zemětřesení v okolí potenciální lokality Kraví hora

(za období 1991–2016 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území – viz Obr. 21 (podle katalogu ČRSS). Vysvětlení v textu a zprávě Kaláb et al. (2015))

| Datum | Čas vzniku | | | Reg | Souřadnice | | Hlo km | Mag | ML | Ty | I0 | Centum | Komentář |
|------------|------------|----|------|-----|------------|-------|-----------|-----|-----|----|----|--------|------------------------------|
| | h | m | s | | lat | lon | | | | | | | |
| 31.01.1991 | 1 | 20 | 37,6 | 547 | 49,5 | 16,5 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 31.08.1993 | 11 | 44 | 39,3 | 547 | 49,4 | 16,2 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 15.11.1993 | 14 | 11 | 47 | 547 | 49,2 | 16,1 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 28.07.1994 | 11 | 49 | 49,8 | 547 | 49,23 | 16,23 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 05.10.1994 | 19 | 31 | 52,8 | 547 | 49,2 | 16,1 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 14.12.1994 | 14 | 13 | 27,6 | 547 | 49,6 | 16,4 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 24.10.1995 | 14 | 38 | 40,3 | 547 | 49,44 | 16,32 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 31.10.1995 | 0 | 24 | 31 | 547 | 49,3 | 16,5 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 02.03.1996 | 15 | 21 | 37,3 | 547 | 49,43 | 16,09 | 0 | 0 | 1 | T | 0 | GFU | |
| 05.03.1997 | 14 | 31 | 9,6 | 547 | 49,22 | 16,3 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 19.05.1997 | 15 | 19 | 46,1 | 547 | 49,42 | 16,01 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 27.05.1997 | 15 | 22 | 11,2 | 547 | 49,39 | 16,03 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 03.06.1997 | 11 | 35 | 43 | 547 | 49,4 | 16,4 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 24.06.1998 | 11 | 52 | 25,6 | 547 | 49,31 | 16,33 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 06.08.1998 | 17 | 27 | 152 | 547 | 49,23 | 16,04 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 19.08.1998 | 14 | 14 | 52,6 | 999 | 49,67 | 16,35 | 0 | 0 | 0,9 | | 0 | GFU | |
| 27.11.1998 | 14 | 47 | 43,7 | 547 | 49,19 | 16,34 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 04.12.1998 | 15 | 49 | 58,4 | 547 | 49,21 | 16,11 | 0 | 0 | 1,1 | T | 0 | GFU | |
| 01.07.1999 | 0 | 43 | 5,9 | 547 | 49,29 | 16,16 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 06.09.1999 | 6 | 27 | 51,3 | 547 | 49,39 | 16,4 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 21.09.1999 | 14 | 18 | 46,8 | 547 | 49,37 | 16 | 0 | 0 | 0,9 | T | 0 | GFU | |
| 01.06.2000 | 10 | 54 | 49 | 547 | 49,38 | 16 | 0 | 0 | 0,9 | T | 0 | GFU | |
| 13.09.2000 | 11 | 39 | 52,9 | 547 | 49,3 | 16,1 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 05.11.2003 | 13 | 19 | 54,1 | 547 | 49,33 | 16,11 | 0 | 0 | 0 | T | 0 | GFU | |
| 26.03.2006 | 18 | 11 | 38,1 | 547 | 49,69 | 16,3 | 0 | 0 | 1,6 | T | 0 | GFU | TECTONIC EVENT POLICKA |

B.4.2 Geodynamická stabilita

Zhodnocení lokality z hlediska geodynamické stability zahrnuje vliv geodynamických jevů na pozemek jaderného zařízení, jako je vliv eroze a akumulace sedimentů, možnost zaplavení pozemku a posouzení svahových pohybů snižující jadernou bezpečnost (viz § 9

vyhlášky SÚJB 378/2016 Sb.) a změn reliéfu, které by v dlouhodobém měřítku mohly vést k exhumaci potenciálního úložiště.

Území Kraví hora leží v povodí řeky Svratky jejími pravobřežními přítoky Bobrůvka a Nedvědička. V širším území studované oblasti jsou vymezeny dvě úrovně zarovnaného povrchu okolo 600 m n. m., snížená úroveň ve výšce 500–550 m n. m. (Hroch a Pačes 2015). Jejich souvislejší rozsah je zachován severozápadně od průzkumného území, v blízkém okolí lokality jsou tyto zarovnané povrchy zachovány pouze jako plošně omezené reliktů vázané na rozsochy mezi výraznými erozními údolími. Území je silně postiženo zpětnou erozí pronikající do oblasti od hlavních toků a erozní údolí podél vodních toků, hluboká až 200 m, jsou lemována prudkými erozními svahy s četnými erozními stržemi a výraznými čely zpětné eroze v jejich uzávěrech. Erozní báze odpovídá úrovni nivy řeky Svratky, která se nachází v nadmořské výšce cca 300 m n. m.

Archivní údaje o rychlosti zahlubování říčního systému z širšího okolí lokality jsou k dispozici pouze na základě geomorfologické pozice zachovaných teras, avšak chybí data pořízená moderními datovacími metodami. Žížala a Vilímek (2011) odhadují rychlosti zahlubování říčního systému v povodí Svratky v oblasti nad Tišnovem následovně: ve svrchním miocénu a pliocénu 0,003–0,01 mm/rok, během staršího pleistocénu 0,03–0,04 mm/rok, ve středním pleistocénu 0,06–0,09 mm/rok a v průběhu svrchního pleistocénu 0,05–0,1 mm/rok. Podobné rychlosti zahlubování odpovídají i pozicím říčních akumulací v Dyjsko-svrateckém úvalu, kde se báze spodnopleistocenních teras pohybuje ve výškách 30 až 70 m nad současnou nivou, a terasy středního pleistocénu jsou umístěny v relativní výšce cca 15 až 25 m vůči současné nivě (Zeman 1973). Tyto údaje jsou v souladu s výsledky Balatky a Kalvody (2008), kteří na základě studia výškového rozdílu penneplenizovaných povrchů a zachovalých fluvialních sedimentů stanovili rychlosti zahlubování v průběhu pleistocénu 0,02–0,86 mm/rok. Tyráček et al. (2004) korelací labských a vltavských teras odhadují průměrnou rychlost výzdvihu centrální části Českého masívu ve spodním pleistocénu na 0,04 mm/rok a během středního a svrchního pleistocénu až 0,15 mm/rok.

Dosavadní studie vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů ^{10}Be a ^{26}Al jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masívu. Z jihozápadního okraje Českého masívu jsou odhady rychlosti eroze 0,023–0,027 mm/rok (Schaller et al. 2001), z oblasti Šluknovského výběžku jsou v průběhu středního a svrchního pleistocénu odhady eroze stanoveny na 0,025–0,027 mm/rok (Nývlt 2008). Uvedené oblasti, kde byly tyto metody využity, sice nevykazují identické geologické charakteristiky se studovanou lokalitou, ale jsou umístěny v podobné geomorfologické pozici. Na lokalitě lze z tohoto důvodu očekávat podobné rychlosti eroze a denudace, a proto jsou tyto údaje v hodnocení lokalit zohledněny. Z výše uvedených údajů vyplývá, že známé hodnoty vertikálních pohybů zemského povrchu, resp. **rychlosti zahlubování drenážního systému, nepřekračují hodnoty vylučujícího kritéria pro danou lokalitu.**

Údaje pocházející z měření pomocí velmi citlivých GPS přinášejí značně heterogenní výstupy. Použitá metodika je do značné míry závislá na citlivosti jednotlivých zařízení, jejich umístění a původních cílech konkrétní studie a studované oblasti a krátkém intervalu měření, který lze těžko aproximovat na stovky tisíc let, avšak pro současnou fázi hodnocení lokalit jsou tyto údaje dostatečné. Na širší geografické škále jsou tato data k dispozici v rámci dlouhodobého projektu EUVN (European Vertical GPS Reference Network), kde je pro území Českého masívu udáván údaj 1,1 mm/rok. Ze sítě GPS stanic umístěné v oblasti jižní Moravy jsou také data značně heterogenní a v rámci jednotlivých lokalit rozdílná. V jižní části Boskovické brázdy jsou udávány rychlosti pohybů 1 až 2 mm/rok (Schenkova a Kottnauer

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

2009, Pospíšil et al. 2010, Roštínský et al. 2013). V oblasti železnohorsko-těšnovské tektonické zóny jsou uváděny pohyby až 2,4 mm/rok (Roštínský et al. 2013). **Vyskočil (1996)** uvádí v oblasti okraje Českého masivu s Karpatskou soustavou rychlosti až 5 mm/rok.

Dalším faktorem, který předurčuje možnost ovlivnit geodynamickou charakteristiku lokality, je tektonická predispozice a možnosti tektonické aktivity na zlomových strukturách, která má dopad na změnu morfologických poměrů a spádových křivek říčních systémů, a tím i na intenzitu eroze a denudace.

Na území se výrazně projevují lineární geomorfologické prvky. V oblasti je vyvinut paralelní systém výrazných údolích s orientací SSZ-JJV, které odpovídají metamorfním stavbám hornin a puklinovému systému. Stejný směr se projevuje v orientaci výrazných hřbetnic (např. jižně od Rožné, nebo jižně od Věžné). Boční přítoky Nedvědičky a levobřežní přítoky Bukovského potoka tvoří systém JZ-SV orientovaných paralelních erozních údolí. Na jihu území se v reliéfu výrazně uplatňuje SZ-JV orientované přímé erozní údolí Kozlího potoka.

V širším okolí se nacházejí indikace změn říční sítě. Na toku řeky Svratky východně průzkumného území jsou zachovaná opuštěná říční údolí (např. Žížala a Vilímek 2011). Tyto změny říční sítě mohou být predisponovány tektonikou nebo pirátstvím řek. Na stáří a příčiny přeložení toku nepanují jednotné názory. Jižně od území také prochází výrazný morfolineament vázaný železnohorsko-těšnovskou tektonickou zónou. Avšak na území polygonu omezující průzkumné území **nejsou zjištěny geomorfologické fenomény vykazující zřetelné indikace mladých pohybů.**

Litologická charakteristika území se v reliéfu odráží pouze omezeně. Dominantní lineární struktury SSZ-JJV směru jsou paralelní s hranicemi jednotlivých litotypů a průběhem litologických přechodů v rámci metamorfovaných moldanubika, avšak umístění lineárních struktur většinou neodpovídá umístění zakreslených litologických rozhraní na účelové geologické mapě.

Svahové deformace jsou uváděny pouze ze širšího okolí mimo oblast průzkumného území. V údolí Křeptovského potoka nebo v údolí Svratky u Prudké jsou destabilizovány skalní bloky sesouvající se podél zón metamorfní foliace (Žížala et al. 2010). **Na ploše průzkumném území nebyly žádné svahové deformace, které by mohly ohrozit bezpečnost budoucího HÚ, zjištěny.**

B.4.3 Postvulkanické jevy

Lokalita se nachází mimo oblasti kenozoického vulkanizmu spojeného s vývojem oherského riftu a rozptýleného alkalického magmatizmu Českého masivu nebo karpatského oblouku. **V okruhu 100 km od lokality nejsou známy projevy vulkanické ani postvulkanické aktivity za posledních 250 milionů let. Z hlediska postvulkanických jevů nejsou na lokalitě překročena vylučující kritéria.**

B.4.4 Klimatická stabilita

Studie klimatické stability je založená na rešerši a interpretaci dostupné publikované literatury i nepublikovaných dat ve smyslu cíle projektu, kterým je zhodnocení klimatické stability území lokality HÚ Kraví hora po dobu budoucích 100 tisíc let, a vychází ze studie Klimatická stabilita lokality (Nývlt a Dobrovolný 2015). Budoucí stav klimatického systému není v dlouhodobém časovém horizontu predikovatelný. Proto studie zahrnuje definici

hlavních prvků klimatického systému a řídicích parametrů, které klima ovlivňují na různých časových škálách včetně zhodnocení dřívějšího vývoje klimatu. Další část zhodnocuje tři limitní scénáře budoucího vývoje klimatu vycházející z jeho dřívějšího chodu. Scénáře zahrnují i) maximální oteplení a zvlhčení klimatu známé z kvartérních interglaciálů, ii) maximální ochlazení a vysušení klimatu známé z kvartérních glaciálů a iii) z modelového vývoje budoucího chodu klimatu v důsledku antropogenně změněných podmínek. Scénáře zároveň zhodnocují možnost ovlivnění lokality HÚ Kraví hora ledovcem, výskyt permafrostu a jeho vliv na hydrogeologický režim. Naproti tomu modelové predikce antropogenně podmíněného vývoje klimatu v příštích 100 tisících letech byly posouzeny z pohledu analogových scénářů chodu hlavních řídicích parametrů během dřívějších období kvartéru a variant budoucího vývoje klimatu vycházejících z různě antropogenně zvýšených koncentrací CO₂ v atmosféře. Pro všechny časové horizonty lze predikce a scénáře budoucího vývoje klimatu chápat pouze jako regionální, a proto jsou níže uvedené výsledky aplikovatelné na všechny hodnocené lokality HÚ.

Hlavními faktory formujícími budoucí klima budou jednak množství insolace z podstatné části determinované orbitálními parametry Země a také koncentrace skleníkových plynů. Insolace a její průběh v budoucích 100 tisících letech je predikovatelný faktor. Budoucí vývoj klimatu je tak závislý na neznámých emisích skleníkových plynů, především CO₂. Současná koncentrace CO₂ v troposféře >400 ppmv je nesrovnatelně vyšší než kdykoliv během posledního miliónu let a obdobné koncentrace byly v zemské atmosféře naposledy ve středním pliocénu před ~3 milióny lety. Budoucí výhled IPCC (2013) dokonce počítá v nejbližších stoletích s koncentrací CO₂ >500 ppmv i vyššími. Pokud budou antropogenně zvýšené hodnoty koncentrace CO₂ (>300 ppmv) v troposféře přetrvávat, dojde k úplnému roztátí Grónského ledovcového štítu a obecně budou na celé severní polokouli během následujících 100 tisíc let probíhat bezledovcové podmínky. Stejně tak pravděpodobnost vzniku permafrostu a jeho vlivu na hluboký oběh podzemních vod je velmi malá. Detailní průběh počasí a klimatu je na škále 100 tisíc let nepredikovatelný. Jediné, co lze s větší jistotou říci, je značné zvýšení variability klimatu v prostoru střední Evropy.

Z pohledu scénářů založených na chodu klimatu v posledním miliónu let by mohl budoucí vývoj vypadat následovně: v případě ochlazení a vysušení klimatu, tedy přirozeného nástupu glaciálních podmínek, které by mohly na severní polokouli začít za 40–50 tisíc let a přetrvat dalších 50–60 tisíc let, nedojde k dostatečnému poklesu insolace pro to, aby tyto podmínky klimaticky odpovídaly vrcholným středopleistocenním glaciálům. Předpokladem ke vzniku glaciálních podmínek v nejbližších 100 tisících letech je snížení koncentrace CO₂ v troposféře na předindustriální úroveň (<280 ppmv). V glaciálních podmínkách by se v nezaledněných oblastech střední Evropy vytvořil permafrost dosahující na lokalitě Kraví hora maximálně 200–250 m. Permafrost by zásadně ovlivňoval oběh podzemních vod především díky nulové infiltraci povrchové vody do hlubších částí zemské kůry a hluboký hydrogeologický oběh by permafrostem byl efektivně oddělen od povrchového hydrologického oběhu. Z pohledu trvalého uložení VJP v hloubkách vyšších než 300–400 m je nástup glaciálních podmínek odpovídajících scénáři maximálního ochlazení a vysušení klimatu velmi vhodný, protože díky tvorbě permafrostu dojde k oddělení povrchového hydrologického a hlubinného hydrogeologického oběhu vod a permafrost tak představuje přirozenou bariéru pro možnou kontaminaci povrchu uloženými radioaktivními látkami. V žádném z předchozích vrcholných glaciálů nebylo širší území lokality HÚ Kraví hora zaledněno, a proto nelze s přímým vlivem ledovce na tuto lokalitu počítat ani v budoucích 100 tisících letech. V případě budoucího oteplení a zvlhčení klimatu, tedy nástupu

přírozených vrcholně interglaciálních (hypsitermálních) podmínek odpovídajících holsteinu (MIS 11), které lze považovat za relevantní pro budoucí vývoj klimatu během nejbližších 50 tisíc let, dojde k úbytku nebo rozpadu plošného zalednění severní polokoule a permafrost ve střední Evropě nevznikne. Zvlhčení klimatu oproti dnešku způsobí vyšší infiltraci teplejších povrchových vod do přípovrchových kolektorů. Avšak vliv klimatických podmínek na hydrogeologický režim HÚ Kraví hora zůstane podobný dnešním podmínkám.

B.4.5 Celkové expertní zhodnocení lokality Kraví hora z hlediska stability území

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat zpracovaných v této kapitole nebyla na základě dat, která jsou pro komplexní hodnocení dostupná, zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ. Hodnocení je však spojeno s následujícími nejistotami

- Studie seismoaktivních zlomů v okolí potenciálních lokalit HÚ byla zpracována na základě jediné dostupné mapy; pro další fázi hodnocení bude vhodné realizovat podrobné tektonické mapování a případně i monitoring v potenciální lokalitě HÚ místní seismickou sítí.
- Údaje o vertikálních pohybech z GPS měření jsou velmi heterogenní, jelikož použitá metodika je do značné míry závislá na citlivosti a umístění jednotlivých zařízení, krátkém intervalu měření, který lze těžko aproximovat na stovky tisíc let.
- Údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému na základě výškového rozdílu peneprenizovaných povrchů jsou již staršího data, pochází ze studií v regionálním měřítku a na základě interpretace dat ze spodní část povodí Vltavy a Labe. Chybí detailnější studie v odpovídajícím měřítku. Také studie vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů ^{10}Be a ^{26}Al jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masivu. Chybí tak detailnější analýzy vývoje říčního systému v dotčených částech povodí včetně s použitím metod moderního datování povrchů.

Shrnutí vybraných parametrů indikátorů pro tuto oblast je uvedeno v Tab. 12.

Tab. 12: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení

| Parametr indikátorů | Vyhodnocení |
|--|--|
| Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z neo-deterministické analýzy pro lokální seismické jevy | 0,113 m.s ⁻² (0,0638 m.s ⁻² přepočteno do hloubky 500 m) |
| Minimální vzdálenost lokality k seismicky aktivnímu zlomu. | 63 km |
| Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria. | 300 m |

| Parametr indikátorů | Vyhodnocení |
|--|--|
| <p>Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného mladými cykly zpětné eroze a svahovými deformacemi (menší podíl rozlohy těchto povrchů k celkové ploše lokality představuje příznivější hodnotu porovnávacího kritéria).</p> | 85 % |
| <p>Výskyt zlomových svahů s indikacemi mladých pohybů (výrazné hrany a vysoký sklon svahů se systémem krátkých drenážních struktur). Jejich výskyt na dané lokalitě lze brát jako negativní faktor pro porovnání s ostatními lokalitami</p> | <p>Na ploše průzkumného území se nevyskytují, v širším okolí území (Železnohorsko-tišnovská zóna)</p> |
| <p>Přítomnost post-vulkanických jevů</p> | <p>V okruhu 100 km od lokality nejsou známy projevy vulkanické, ani postvulkanické aktivity za posledních 250 milionů let.</p> |
| <p>Potenciální přítomnost ledovce na lokalitě</p> | Není pravděpodobná |
| <p>Potenciální změna hydrogeologického režimu na lokalitě vlivem zalednění (přítomnost permafrostu)</p> | Pravděpodobná |

B.5 Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami

Podle § 18, odst. 1) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí hodnotit izolační a zádržné vlastnosti horninového prostředí b kombinaci s uměle vytvořenými překážkami (inženýrskými bariérami). Podle doporučení IAEA (SSR 5], požadavek 16, SSG) inženýrské bariéry musí být fyzikálně i chemicky kompatibilní s hostitelským horninovým prostředím a celkové projektové řešení úložiště musí být navrženo tak, aby zajistilo bezpečnost po celou dobu životnosti úložiště. Posuzování lokalit z hlediska bezpečnosti je proto třeba vždy vztahovat k navrženému projektovému řešení úložiště a systému inženýrských bariér, který je v českém konceptu tvořen:

- 1) Stabilní formou odpadu (pro úložiště VJP jde o vlastní matici paliva a pro úložiště VAO především o cementovou matici), z nichž se pouze velmi pomalu uvolňují radionuklidy.
- 2) Ukládacími obalovými soubory s životností minimální 10 000 let a průměrnou životností nejméně 100 000 let.
- 3) Tlumícím, výplňovým a těsnícím systémem, reprezentovaným zpravidla zhutněným bentonitem či jeho směsmi s jinými materiály.

Slučitelnost horninového prostředí se systémem inženýrských bariér a projektovým řešením úložiště je možno rozdělit podle vlivu následujících vlastností horninového prostředí na bezpečnostní funkce inženýrských bariér (vždy je však nutno vzít v úvahu i možné synergické vlivy jednotlivých faktorů):

1. tepelné vlastnosti,
2. hydraulické vlastnosti,
3. mechanické vlastnosti,
4. chemické vlastnosti,
5. mikrobiologické vlastnosti,
6. plynopropustnost.

Tyto vlastnosti mohou mít hodnoty, které mohou vylučovat umístění úložiště či vyžadovat přijetí technického řešení. V první fázi přípravy úložiště však zpravidla slouží pro porovnávání vlastností lokalit.

B.5.1 Tepelné vlastnosti lokality

Průměrná povrchová teplota, tepelný gradient a tepelné vlastnosti hornin jsou důležitými parametry hornin majícími, kromě jiného, vliv na rychlost degradace inženýrských bariér, proudění podzemní vody a rychlost migrace radionuklidů.

Nejde o vylučující kritérium, protože vždy lze vhodným designem úložiště (vzdálenost tunelů, úložných míst, tloušťka tlumícího materiálu, hloubka úložiště) zajistit snížení teploty na přijatelnou hodnotu. Další možností je i možnost prodloužení doby skladování radioaktivních odpadů. Vyšší tepelná vodivost a nižší tepelný gradient horninového prostředí jsou však výhodné jak z hlediska nároků na velikost potřebného homogenního bloku, tak i z hlediska obvykle výrazně nižší rychlosti degradace inženýrských bariér při nižších teplotách.

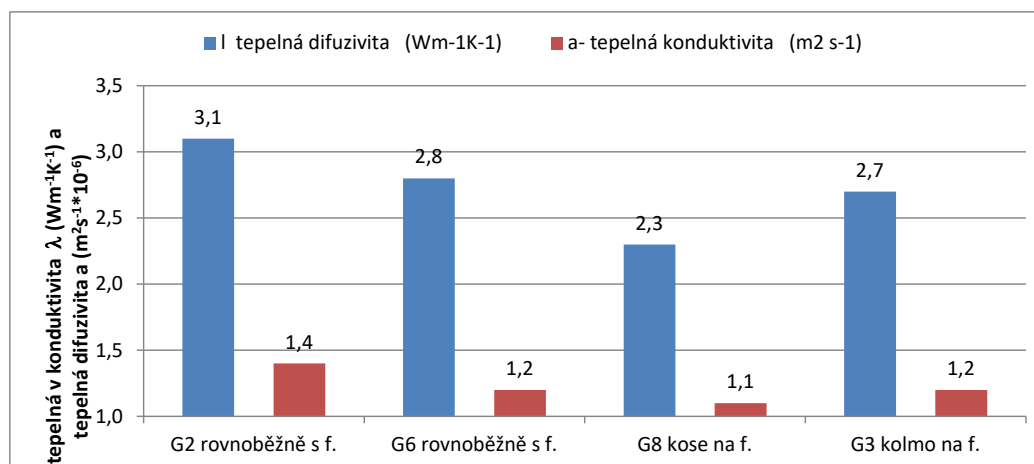
Za kritickou hodnotu bývá považována teplota na rozhraní ukládací obalový soubor/bentonit, která by neměla překročit 100 °C z důvodů snížení rychlosti degradace inženýrských bariér, zejména bentonitu a rovněž z důvodu komplikovanosti hodnocení procesů probíhajících v úložišti při teplotách nad 100 °C. Vlastnosti podzemní vody jsou také ovlivňovány teplotou, zejména její chemizmus, viskozita a objemová hmotnost. Tepelné vlastnosti hornin (zejména tepelná vodivost a tepelná difuzivita) vstupují jako proměnné do geomechanických a geochemických modelů a procesních modelů popisujících a predikujících degradaci inženýrských bariér.

V prvních letech provozu HÚ jsou určující pro teplotu na rozhraní UOS/tlumící materiál tepelné vlastnosti bentonitu a tloušťka bentonitové vrstvy obklopující UOS, avšak z dlouhodobého hlediska je rozhodující geometrie úložiště a tepelné vlastnosti horniny (Kobylka 2017). Tepelné vlastnosti horninového prostředí jsou tak jedním z kritických vstupů pro dimenzování a hodnocení HÚ. Nejdůležitějším parametrem je pak součinitel tepelné vodivosti λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$). Příliš nízké hodnoty tepelné vodivosti horninového prostředí by byly příčinou špatného odvodu tepla generovaného uloženým VJP s rizikem růstu teploty v blízkém okolí v důsledku akumulace tepla. Výhodná je vysoká tepelná vodivost prostředí.

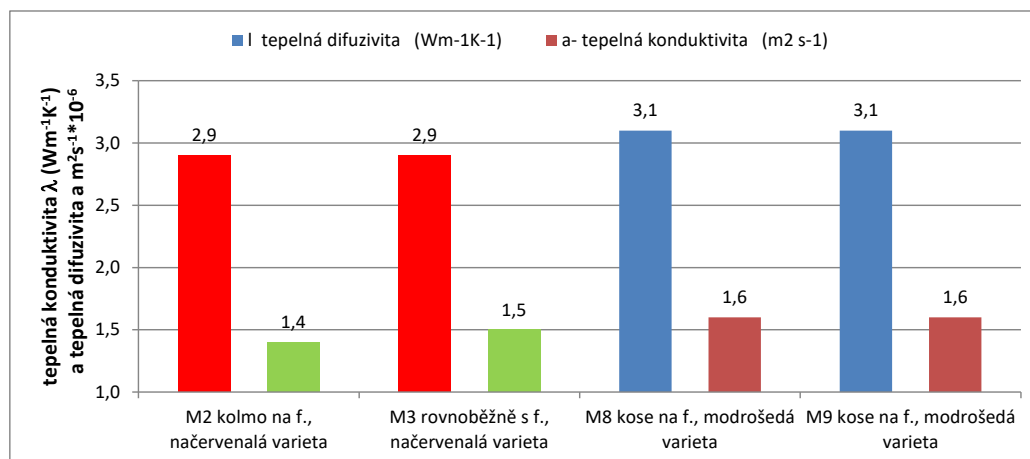
Tepelné vlastnosti horninového prostředí jsou dány texturou, mineralogickým složením horniny a obsahem přirozeně se vyskytujících radioaktivních izotopů uranu, thoria a draslíku v horninovém prostředí.

Pro hodnocení slučitelnosti horninového prostředí s inženýrskými bariérami nejsou stanovena žádná limitní kritéria tepelných charakteristik horninového prostředí. Dostupná technická řešení vždy umožňují navrhnout a dosáhnout požadované funkční vlastnosti.

Výsledky hodnocení tepelných vlastností hornin na lokalitě Kraví hora jsou uvedeny na Obr. 20 a Obr.21.



Obr. 20: Tepelná vodivost (λ) a tepelná difuzivita (a) u granulitů (G) – lokalita Kraví Hora



Obr.21: Tepelná vodivost (λ) a tepelná difuzivita (a) u migmatitů (M) – lokalita Kraví Hora

Tepelná vodivost stanovená na vzorcích rovnoběžně s foliací je u granulitů (G) vyšší (2,8 a 3,1 W.m⁻¹K⁻¹), než u vzorků kolmo nebo kose orientovaných (2,3 a 2,7 W.m⁻¹K⁻¹).

U migmatitů (M) se hodnotově odlišuje načervenalá varieta (2,9 W.m⁻¹K⁻¹) od variety modrošedé (3,1 W.m⁻¹K⁻¹). Příčiny lze určit pouze podrobnějším petrologickým rozбором měřených vzorků.

B.5.2 Hydraulické vlastnosti

Funkčnost inženýrských bariér (IB) ovlivňuje proudění podzemní vody a její chemismus. Směry a rychlosti proudění podzemní vody v granitovém masivu jsou závislé na puklinových systémech v okolí HÚ – rozevření, konektivitě a transmisivitě puklin. Vliv rychlého proudění vody přes úložné vrty má především vliv na rychlost eroze tlumícího materiálu a rychlost koroze ukládacího obalového souboru. V současné době však nejsou k dispozici údaje z hloubek úložiště. Pro převažující migmatit byla stanovena hydraulická vodivost $8,46 \times 10^{-12} \pm 3,73 \times 10^{-12}$ m/s a pro granulit $7,09 \times 10^{-13} \pm 3,95 \times 10^{-13}$ m/ (Petružálek 2017).

B.5.3 Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí

K hodnocení mechanických vlastností byly použity dostupné podklady (Petružálek 2017, Hanák et al. 2017), a údaj z archivu vlastností hornin ÚGN AV ČR, v. v. i. (Tab. 13).

Tab. 13: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností granulitů a migmatitů z území kandidátní lokality Kraví hora

| Vlastnost | granulity | | | migmatity | | |
|--|--------------|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|---------------------|
| | databáze ÚGN | Petružálek (2017) | Hanák et al. (2017) | databáze ÚGN | Petružálek (2017) | Hanák et al. (2017) |
| Měrná hmotnost [kg.m ⁻³] | – | 2692 | 2675 | – | 2664 | 2648 |
| Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] | 2649 | 2655 | – | 2617 | 2618 | – |
| Celková pórovitost [%] | – | 1,37 | 0,75* | – | 1,73 | 0,92* |

| Vlastnost | <i>granulity</i> | | | <i>migmatity</i> | | |
|---|------------------|----------------------|------------------------|------------------|----------------------|------------------------|
| | databáze ÚGN | Petružálek (2017) | Hanák et al. (2017) | databáze ÚGN | Petružálek (2017) | Hanák et al. (2017) |
| Nasákavost [%] | 0,29 | – | – | 0,46 | – | – |
| Rychlost šíření P-vln [m.s ⁻¹] | 4139 | 4049 | 5650 | 4327 | 3922 | 5531 |
| Pevnost v prostém tlaku [MPa] | 240 | 215 | – | 164 | 202 | – |
| Modul přetvárnosti [MPa] | 40992 | 49800 | – | 35782 | 49300 | – |
| Poissonovo číslo [-] | 0,22 | 0,19 | – | 0,23 | 0,17 | – |

* Pórovitost stanovena jako otevřená pórovitost

Jak vyplývá z hodnot jednotlivých sledovaných vlastností, uvedených v Tab. 13, granulity i migmatity, které představují hlavní petrografické typy kandidátní lokality Kraví hora, lze v intaktním stavu charakterizovat jako hutné, kompaktní horniny s poměrně nízkou celkovou pórovitostí a nízkou nasákavostí. Měrná hmotnost odpovídá petrografickému složení obou horninových typů, tj. přítomnosti křemene a živců jako hlavních felsických horninotvorných minerálů a biotitu jako dominantnímu minerálu mafickému. Rovněž hodnoty rychlosti průchodu podélných ultrazvukových vln, naměřené jednotlivými autory v rozmezí přibližně 4,0–5,5 km.s⁻¹ se pohybují v rámci intervalu, obecně udávaného pro ruly a obdobné kyselé krystalinické horniny (Milson 2003). Na základě průměrné pevnosti intaktních vzorků v jednoosém (prostém) tlaku (cca 160–200 MPa v případě migmatitů a přibližně 210–240 MPa u granulitů) je pak možno posuzované horniny lokality Kraví hora zařadit do třídy hornin s velmi vysokou pevností ve smyslu pevnostních klasifikací podle Bieniawského (1989) nebo Hoeka a Browna (1997). Průměrné hodnoty modulu přetvárnosti při zkoušce v prostém tlaku v úrovni zhruba 35–50 GPa a Poissonova čísla 0,17–0,23 korespondují se zjištěnými pevnostními vlastnostmi a jsou obdobné jiným krystalickým horninám obdobného složení a stavby.

Kraví hora je, díky existenci podzemního výzkumného pracoviště (PVP) Bukov při severní hranici průzkumného území, jedinou z kandidátních lokalit, u níž bylo možno získat informace o výsledcích lokálních měření napětí v horninovém masivu. V rámci projektu geologické charakterizace prostorů PVP Bukov (PB-2017-ZL-U2304-004-BUKOV) totiž bylo, mimo jiné, provedeno měření napěťového stavu horninového masivu metodou hydraulického štěpení stěn měřících vrtů (hydrofracturing). Z výsledků měření vyplývá, že maximální horizontální napětí (S_H) je generelně orientováno ve směru přibližně S-J až SV-JZ, velikost S_H se pohybuje v rozpětí cca 20–35 MPa a poměr velikostí maximálního a minimálního horizontálního napětí se pohybuje okolo hodnoty 2,0 (Souček et al. 2017a, b). Výsledky měření napětí horninového masivu v oblasti PVP Bukov provedené metodou hydrofracturingu jsou v poměrně velmi dobré shodě s verifikačními měřeními metodami overcoringu (CCBO) a INVGEM (blíže viz Souček et al. 2017.). Měřeními zjištěná orientace maximálního horizontálního napětí v oblasti PVP Bukov pak rovněž velmi dobře odpovídá

předpokládanému směru S_H odvozenému krigovacímí postupy pro tuto část Českého masívu (Heidbach et al. 2016).

B.5.4 Geochemické vlastnosti

Podle § 18, odst. 2, písm. k) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) je třeba posuzovat fyzikálně chemické a geochemické vlastnosti horninového prostředí, zejména s ohledem na zádržné vlastnosti horninového prostředí, chemické složení podzemní vody, redukční podmínky a obsah kyslíku.

Základní bezpečnostní požadavek pro český bezpečnostní koncept hlubinného úložiště je především rychlé dosažení redukčního prostředí v úložišti po jeho uzavření. Není proto přípustné, aby existovaly preferenční cesty, jež by mohly vést k průniku kyslíku do úložných prostor po jeho uzavření. Důležitá je i hodnota pH, která by se neměla odlišovat od běžných hodnot podzemních vod v krystalinickém prostředí.

Vylučujícím kritériem pro umístění úložiště je zpravidla přítomnost kyslíku v podzemní vodě svědčící o propojení úložiště s povrchovými vrstvami. Indikátorem přítomnosti kyslíku ve vodě může být například nepřítomnost železnatých iontů. Rovněž některé ostatní chemické vlastnosti podzemní vody mohou mít hodnoty, které budou vylučovat umístění úložiště, například přítomnost velkého množství chloridů. Většina chemických parametrů však slouží především pro porovnávání lokalit. Například příznivěji bude hodnocena lokalita s menší koncentrací chloridových či sulfidických iontů či menším obsahem komplexujících látek a koloidů. V současné době však není možno určit hodnoty, jejichž dosažení by bylo nepřijatelné pro umístění úložných prostor, ale je možno na základě analýzy zahraničních prací určit hodnoty, které nejsou vhodné pro umístění hlubinného úložiště z hlediska vlivu na obalový soubor a bentonit. V této oblasti byla připravena řada technických zpráv SÚRAO (viz zprávy Červinka et al. (2013 až 2018).

Pro lokalitu Kraví hora jsou dostupná data z PVP Bukov. Vybrané Výsledky terénních měření hydrochemických parametrů podzemních vod a výsledky chemických analýz vzorků podzemních vod odebraných v PVP a na povrchu lokality jsou ve zprávě Rukavičková et al.(2017). Rozpuštěný kyslík byl měřen v jednotkách koncentrace (mg.l^{-1}) i stupně nasycení (%). Od hloubky 0,3 m koncentrace rychle klesá z $0,34 \text{ mg.l}^{-1}$ (odpovídá 3,4% nasycení) na hodnotu $0,02 \text{ mg.l}^{-1}$ (odpovídá 0,2% nasycení) v hloubce 5 m. Prakticky nulové koncentrace kyslíku jsou zachyceny v hloubce 15 m a níže. Oxidačně redukční potenciál v hloubce pod 15 zůstává mezi hodnotami -150 a -160 mV. Hodnota pH je vcelku stálá a po počátečním vzrůstu na 7,95 v hloubce 1 m roste velmi pomalu na hodnotu 7,8 – 8 v hloubce 45 m. Profil teploty vrtu odpovídá teplotnímu gradientu $0,018^\circ\text{C.m}^{-1}$ s maximální teplotou $15,8^\circ\text{C}$ na dně vrtu v hloubce 45 m. Konduktivita vody v nejsvrchnější části vrtu nejprve vzrostla z hodnoty $380 \mu\text{S.cm}^{-1}$ na hodnotu $430 \mu\text{S.cm}^{-1}$ v hloubce 1,3 m. Následuje postupný pokles hodnoty s hloubkou a v úseku 10-25 m se konduktivita ustaluje na hodnotě $400 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Hluběji se již hodnota konduktivity drží v rozsahu hodnot $390\text{-}400 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Z profilových měření provedených ve vrtech S-8 a S-18 vyplývá, že obsah rozpuštěného kyslíku klesá výrazně v intervalu 0 až 2 (S-8) respektive 4 m (S-18) pod počvou chodby. Poté nastává velmi pomalý pokles na hodnoty blízké nule až do hloubky 15 respektive 20 m. V hlubších částech vrtů je hodnota obsahu rozpuštěného kyslíku stabilní, blízká nule. Nicméně již v hloubce 2 respektive 4 m pod počvou je obsah rozpuštěného kyslíku v podzemní vodě nižší než je přesnost měření uváděná výrobcem senzoru ($0,1 \text{ mg.l}^{-1}$). Hodnoty Eh se v hlubších částech vrtů (nad 15 m) pohybuji v rozmezí -110 až -160 mV.

Další vybraná geochemická data (Havlová et al. 2018b) jsou uvedena v Tab. 14.

Tab. 14: Vybrané hodnoty geochemických indikátorů z lokality Kráví hora

| Popis indikátoru | Hodnocení |
|--|---|
| Hodnota pH Hodnota pH v rozsahu 6-9 | pH = $8,2 \pm 0,1$ až $9,4 \pm 0,6$ (SGW3) |
| Hodnota Eh | Dle geochemických výpočtů na základě reálných analýz složení plynů v podzemních vodách na PVP Bukov (vrt S-1) nebo měření oxidačně-redukčního potenciálu při obnově stabilního režimu na zatopeném ložisku Olší-Drahonín (Červinka et al. 2018) |
| Rozpuštěný kyslík | Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria. Je velmi pravděpodobné, že podzemní voda v těchto hloubkách bude mít redukční charakter a nebude obsahovat měřitelný rozpuštěný kyslík. Doposud nebylo provedeno dlouhodobé měření rozpuštěného kyslíku, Eh, pH a teploty v uzavřeném a zapakrovaném vrtu na PVP Bukov. |
| Rozpuštěný CO ₂ (TIC) | pCO ₂ = $10^{-3,02}$ (SGW2) a $10^{-4,36}$ (SGW3) |
| 4.6 Hodnota iontové síly (IS) Hodnota IS > 0,001 mol·l ⁻¹ | IS = 0,004 mol·l ⁻¹ (SGW2) i (SGW3) |
| Celkové rozpuštěné látky (TDS) | 288 mg·l ⁻¹ ± 18 (SGW2) a 319 ± 110 mg·l ⁻¹ (SGW3) |
| 4.8 Koncentrace Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S _{total} , (CO ₂ -HCO ₃ ⁻ -CO ₃ ²⁻) Nejsou relevantní data Saturační index I _s I _s ≥ 0 | I _s = 8,2-7,7 = 0,5 (SGW2) a 9,4-9,4 = 0,0 (SGW3) |
| Koncentrace K ⁺ a Fe _{total} Nejsou relevantní data | Hodnoty K ⁺ = $2,1 \pm 0,2$ mg·l ⁻¹ a Fe _{tot} = $1,2 \pm 1,9$ mg·l ⁻¹ (SGW2) a K ⁺ = $0,7 \pm 0,6$ mg·l ⁻¹ a Fe _{tot} = $0,2 \pm 0,7$ mg·l ⁻¹ (SGW3) |
| Koncentrace agresivního (volného) oxidu uhličitého v kombinaci s nízkým pH podzemní vody CO ₂ ≥ 15 mg·l ⁻¹ a pH ≤ 6,5 | Informace o speciaci karbonátů a koncentraci volného CO ₂ jsou omezené a agresivní CO ₂ nebyl stanoven |
| Suma molární koncentrace dvojmocných iontů | suma Ca ²⁺ a Mg ²⁺ = 1,2 mmol·l ⁻¹ (SGW2) suma Ca ²⁺ a Mg ²⁺ = 0,0 mmol·l ⁻¹ (SGW3) |
| Celková koncentrace rozpuštěného | Analýzy podzemních vod v PVP Bukov ukázaly nízké |

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

| Popis indikátoru | Hodnocení |
|---|---|
| organického uhlíku (DOC) DOC < 10 mg·l ⁻¹ | koncentrace celkového organického uhlíku (např. vrt S-1 cca 0.66 mg/l, Franěk et al. 2018b). Hodnoty DOC budou ještě nižší. |

B.5.5 Mikrobiologické vlastnosti

Přítomnost a především metabolická aktivita mikroorganismů může výrazně narušit funkčnost IB, v návaznosti na předešlé části byly uvažovány: vnější materiál UOS VJP, bentonitová bariéra, betonové konstrukční prvky a betonkontejnery sekce VAO. Nejrizikovější skupiny mikroorganismů představují síran-redukující bakterie (SRB) z důvodu mikrobiálně indukované koroze (MIC), železo-redukující bakterie (IRB) z důvodu MIC a destabilizace montmorillonitu a mangan-redukující bakterie z důvodu MIC. Acetogenní a metanogenní bakterie jsou dalšími potenciálně nebezpečnými skupinami, které produkují látky (konkrétně metan a acetát), které mohou sloužit jako donory elektronů pro SRB a IRB. Obecně pro mikroorganismy platí, že jejich metabolická aktivita vede k produkci plynů a následným změnám tlaků. Výčet konkrétních mikrobiologických parametrů včetně jejich možných dopadů na inženýrské bariéry je shrnut v následující tabulce.

Vzhledem k nedostatku či přímo absenci přímých informací o mikrobiální aktivitě je však třeba při posuzování ovlivnění inženýrských bariér HÚ uvažovat především ukazatele nepřímé. Tyto nepřímé indikátory vycházejí zejména z geochemických parametrů horninového prostředí a chemického složení podzemní vody, jakožto hlavních určujících faktorů podmiňujících případnou mikrobiální aktivitu. Nepřímé ukazatele lze považovat za vhodnější při posuzování slučitelnosti s inženýrskými bariérami i z důvodu vysoké dynamičnosti mikrobiálních společenstev, protože se při změně podmínek složení mikrobiální komunity mění v řádu dnů. Pro predikci dalšího vývoje HÚ jsou tedy směrodatnější v dlouhodobém časovém horizontu stabilnější (byť nepřímé) parametry okolního prostředí, tedy hornina a podzemní voda. V současné době není dostatek dat pro posouzení této vlastnosti. Podrobně je tato problematika diskutována ve zprávách SÚRAO (Černík et al. 2016, 2017).

B.5.6 Plynopropustnost

Hostitelské prostředí musí zajistit, aby nedocházelo k takové kumulaci plynu v úložných prostorech, které by mohlo představovat ohrožení pro správnou funkčnost úložného systému. Hostitelské prostředí proto musí zajistit odvod plynu prouděním (plynopropustnost) nebo odnosem či difúzí (rozpuštěného) plynu vodou obsaženou v hostitelském prostředí. Vzhledem k extrémně nízké propustnosti vlastní matrice horninového prostředí je celková plynopropustnost (a proudění vody) určena zejména přítomností puklinové sítě a jejími vlastnostmi. V případě transportu plynu pomocí vody jsou navíc důležité hydrogeologické poměry, zejména pak rychlost, tlak a množství proudící vody.

Pro zhodnocení vlivu plynu na funkčnost HÚ je nutno zhodnotit geologické a hydrogeologické poměry v širším okolí HÚ (např. možnost vzniku stratigrafického trapu – tj. geologické struktury, která může zadržovat plynné fáze díky změnám v jejím horninovém složení, struktuře nebo facii). V současné době není dostatek dat pro posouzení této vlastnosti. Podrobněji je tato problematika diskutována ve zprávách SÚRAO (Mendoza, 2017)

| | | |
|---|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kráví hora | Evidenční označení: |
| | | <i>TZ303/2018</i> |

B.5.7 Celkové expertní zhodnocení lokality Kraví hora z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami

Analýza zjištěných informací o lokalitě Kraví hora z hlediska slučitelnosti s vybranými kandidátními inženýrskými bariérami spíše vede k závěru, že kritéria relevantní pro slučitelnosti vlastností lokality s uvažovaným systémem inženýrských bariér budou splněna.

B.6 Faktory ovlivňující možnost narušení úložiště budoucími aktivitami člověka

Narušení úložiště budoucími aktivitami člověka může mít v podstatě tyto důvody:

- 1 narušení úložiště s cílem získat uložené VJP jako sekundární surovinu či k jiným účelům,
- 2 narušení úložiště s cílem využít dostupné zdroje v území po ztrátě informace o existenci úložiště.

U důvodu uvedeného v bodu 1) není možné narušení úložiště v budoucnosti zabránit, ani snížit její pravděpodobnost. Ten, kdo bude do úložiště pronikat, však bude vědět, co obsahuje, bude tyto materiály potřebovat (ať už k jakýmkoliv účelům) a bude disponovat potřebnými technickými prostředky a ekonomickými zdroji. V obou případech jde o úmyslné narušení, která se podle doporučení mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP) nevyhodnocuje z hlediska dopadu na člověka.

Důležité je však zabránit neúmyslnému narušení úložiště člověkem po ztrátě informací o existenci úložiště. Požadavky týkající se rizika narušení úložiště jsou formulovány v doporučení IAEA (IAEA 2011b, odst. I.36 až I.40) výhradně pro neúmyslné vniknutí člověka do úložiště.

V rámci hodnocení lokalit se budou hodnotit následující charakteristiky území, které mohou zvýšit pravděpodobnost narušení úložiště po ztrátě informací o úložišti:

- ložiskové poměry na lokalitě (dobývací prostory, CHLÚ, prognózy nerostných surovin),
- poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla na pozemku pro povrchová zařízení
- vrtná prozkoumanost,
- zdroje podzemních vod (viz § 8 vyhlášky SÚJB [8]),
- potenciál geotermální energie.

Tyto charakteristiky odpovídají požadavkům SÚJB uvedeným v § 18 vyhlášky SÚJB [8] odst. 2), písm. o), p) a odst. 4, písm. c).

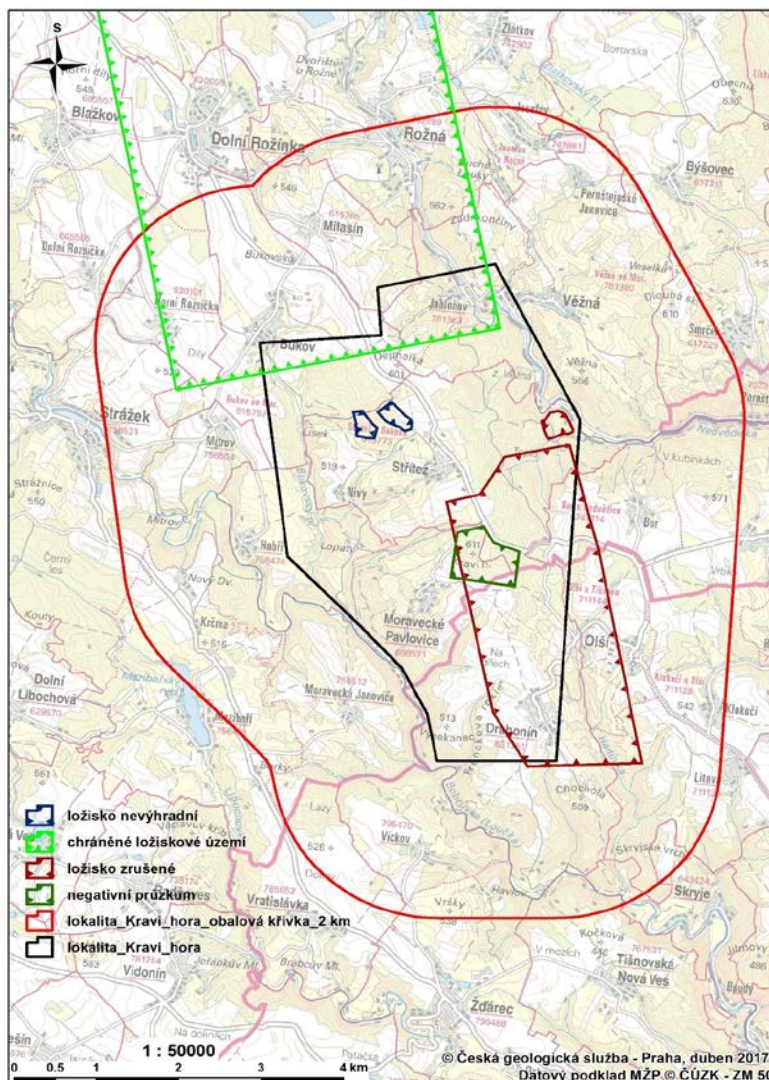
B.6.1 Ložiskové poměry na lokalitě

Geologickým a ložiskovým průzkumem docházelo v průběhu doby ke stanovení ložisek a prognózních zdrojů nerostných surovin. Některé byly později přehodnoceny, zrušeny nebo odepsány. V polygonu Kraví hora bylo vymezeno celkem 5 ložiskových a jedno průzkumné území. Ložiskově chráněno je CHLÚ pro podzemní zásobník plynu, dvě nevýhradní ložiska stavebního kamene a dvě zrušená ložiska na stavební kámen a radioaktivní suroviny

Ložiskové charakteristiky průzkumného území Kraví hora vyplývající z vymezení dvou nevýlučných povrchových ložisek stavebního kamene a dvou zrušených ložisek nepředstavují za současného stavu indikaci vylučujícího parametru „přítomnosti zásob nerostných surovin“.

Severní okraj průzkumného území Kraví hora se v úzkém pásmu mezi Bukovem a Jabloňovem překrývá s CHLÚ vytýčeným jako územní ochrana pro umístění podzemního zásobníku plynu. Tento střet záměrů může v hypotetickém případě realizace podzemního zásobníku plynu představovat pozitivní indikaci vylučujícího kritéria. Podrobnější vzájemné

vymezení priority, vztahů obou území i geotechnologických parametrů pro oba jednotlivé projekty zůstávají nejistotou zatěžující PÚZZZK Kraví hora.

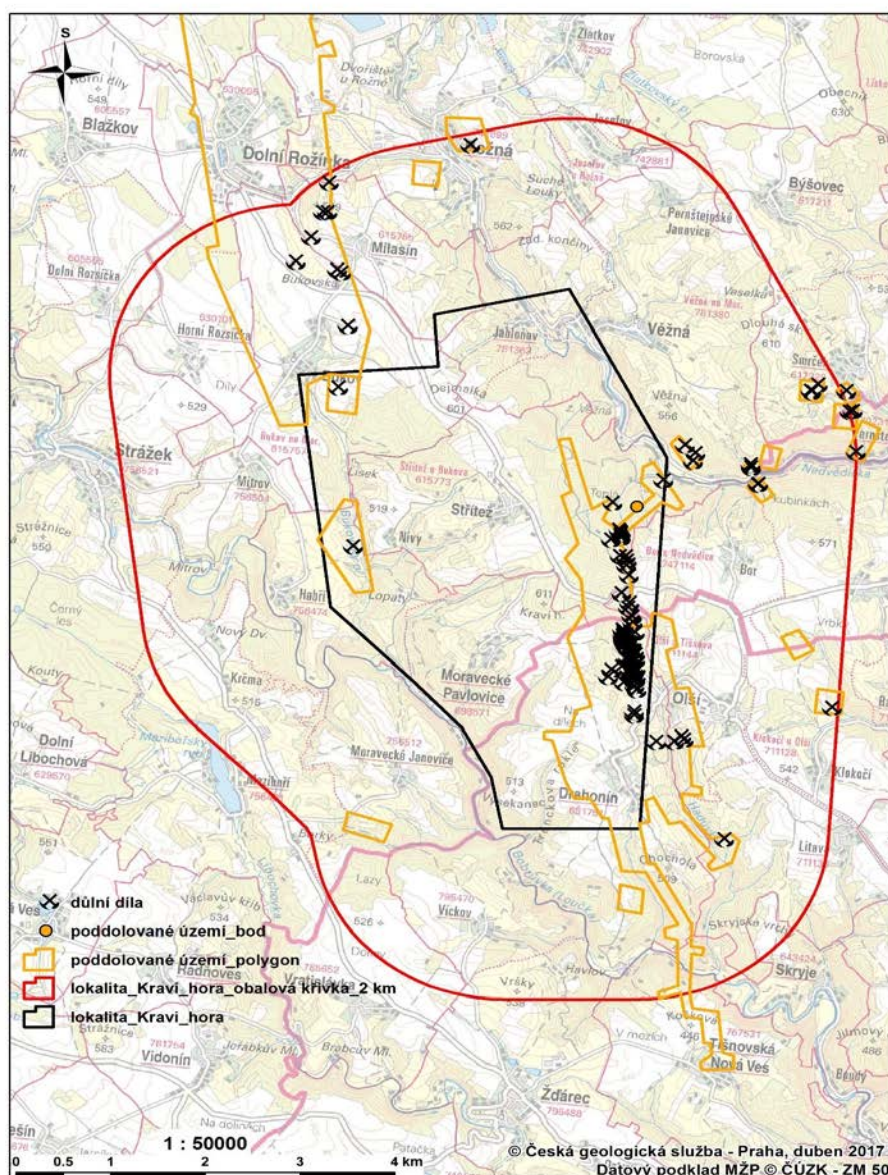


Obr. 22: Situace ložiskových objektů v průzkumném polygonu lokality Kraví hora a v jeho okolí

B.6.2 Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla

Ve vlastním polygonu Kraví hora je v databázi důlních děl, vedené Českou geologickou službou, evidováno 79 důlních děl, která lze rozdělit do dvou kategorií ve smyslu § 35 zákona č. 44/1988 Sb. (horní zákon). Jde o 78 opuštěných důlních děl po těžbě radioaktivních surovin a o 1 průzkumné důlní dílo na azbestovou horninu. Poloha důlních děl je patrná z mapového výřezu. Opuštěné průzkumné důlní dílo (šachtice Š3) na azbestovou horninu dosáhlo hloubky 21 m.

Těžba uranových rud na lokalitě Olší probíhala v letech 1959 až 1989. Dobývací prostor se rozkládal na ploše 6,29 km². Ložisko bylo dobýváno do hloubky 900 m pod povrchem. Délka horizontálních důlních děl činila 141,4 km. V databázi důlních děl je vedeno 78 opuštěných důlních děl. Ve všech případech jde o důlní díla ve správě DIAMO, s. p.



Obrázek 23: Přehled starých a opuštěných důlních děl v širším zájmovém území 2 km okolo lokality Kraví hora

B.6.3 Vrtná prozkoumanost

Zájmové území pro zobrazení vrtných prací bylo vymezeno určeným polygonem Kraví hora a obalovou křivkou ve vzdálenosti 2 km. V tomto území se nachází řada objektů provedených v rámci ložiskového průzkumu na radioaktivní suroviny, z nichž mnohé jsou hlubší než 300 m

Výčet všech vrtů podle hloubky z PÚZZZK Kraví hora je uveden v Tab. 15. V oblasti evidujeme 109 průzkumných sond, z toho 52 objektů je hlubších než 300 m. Nápadná aglomerace mělkých vrtů do 5 m je v okolí Stříteže u Bukova. Vrty přes 300 m jsou lokalizovány podél dvou hlavních linií SSZ-JJV směru mezi obcemi Habří a Bukov na západě a mezi Drahonínem, Olším a Jabloňovem na východě. V zájmovém území je evidováno také 16 ložiskových vrtů na radioaktivní suroviny hlubších než 300 m, u nichž jsou uloženy karotážní křivky.

Konkrétní prostorové vztahy a případné střety je třeba zvažovat s ohledem na pozici a technické parametry jednotlivých hlubokých vrtů.

Tab. 15: Přehled vrtů z polygonu rozdělených podle dosažené hloubky

| hloubka [m] | počet vrtů |
|-------------|------------|
| 0–5 | 41 |
| 5–10 | 4 |
| 10–15 | 2 |
| 15–25 | 1 |
| 25–50 | 2 |
| 50–100 | 4 |
| 100–300 | 33 |
| 300–500 | 33 |
| >500 | 19 |

B.6.4 Zdroje podzemních vod

Zvodnění hlavního kolektoru krystalinika není obecně dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují 1 l.s⁻¹. Lokální zdroje podzemních vod slouží k zásobování obecních vodovodů k zajištění dostatečného množství vody pro obyvatele větších obcí je třeba často většího počtu zdrojů.

Na území lokality Kraví hora se nevyskytují vodárensky významné zásoby podzemních vod, charakter horninového prostředí na lokalitě významnou akumulaci podzemních vod neumožňuje. Do území rovněž nezasahuje žádná z chráněných oblastí přirozené akumulace vod (CHOPAV) ani ochranné pásmo minerálních vod.

Převážná většina obcí na území lokality Kraví hora je napojena na skupinový vodovod Žďársko, zdroje pro tento komplexní vodárenský systém leží mimo zájmové území. Četnost lokálních vodních zdrojů pro zásobování obcí a jejich ochranných pásem je proto velmi nízká, nicméně je nutné je zohlednit při dalších pracích na lokalitě a zvážit konkrétní hydrogeologickou situaci každého většího zdroje podzemní vody a jeho ochranného pásma. Na území lokality Kraví hora se nacházejí také individuální vodní zdroje v místních částech a osadách bez napojení na veřejný vodovod.

B.6.5 Potenciál geotermální energie

S ohledem na současný stav poznání nebyla přítomnost průmyslově využitelného zdroje geotermální energie na lokalitě Kraví Hora prokázána a nebezpečí proniknutí člověka do úložiště nebo změny horninového masivu z důvodů využívání geotermálního potenciálu je velmi málo pravděpodobné.

B.6.6 Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů,

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat nebyla na základě dostupných dat zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ, ale parametry počtu a hloubky vrtných prací a poddolování mohou indikovat pozitivní charakteristiky ve vztahu k vylučujícím kritériím pro umístění HU. Je však nutno dodat, že poddolovaná území a vrtné práce se nacházejí v širším území, hodnoceném pro umístění

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | <i>TZ303/2018</i> |

HÚ, nikoli na pozemku potenciálního jaderného zařízení (HÚ). Z tohoto důvodu nemusí nutně představovat vylučující kritérium.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

B.7 Ostatní posuzované vlastnosti území jaderného zařízení umístěného na povrchu

Povrchová část areálu HÚ zahrnuje objekty, které jsou nutné pro příjem VJP a RAO:

- objekty zajišťující provoz objektů a staveb pro překládání a samotné ukládání VJP a RAO, vč. jejich technického zázemí, v podzemní části HÚ,
- objekty zajišťující běžný provoz areálu hlubinného úložiště a jeho správu, administrativní činnosti, informační služby a další služby, komunikace apod.

V etapě současného ukládání a rozšiřování podzemního areálu bude povrchový areál HÚ zajišťovat provoz jak objektů spojených s ukládáním, tak i provoz objektů nutných pro těžební činnost, vč. jejich technického zázemí.

Povrchový areál bude v jednotlivých obdobích provozu zajišťovat následující činnosti:

- servisní činnosti nutné pro výstavbu areálu HÚ, zejména podzemní části,
- servisní činnosti nutné k zajištění bezpečného ukládání VJP a RAO,
- servisní činnosti nutné pro zacházení s rubaninou,
- činnosti požadované orgány státní správy, legislativou (fyzická ochrana, radiační ochrana, ochrana ŽP v areálu i mimo něj, ochrana pracovníků v areálu HÚ).

Vzhledem k řešení povrchového areálu jsou stavební objekty povrchového areálu sloučeny do funkčních modulů. Filosofie vytvoření modulů respektovala mezi takto seskupenými stavebními objekty fungující logické, technologické, materiálové příp. transportní a jiné vazby. V této části jsou stručně zhodnoceny vlastnosti území pro umístění nadzemních prostor podle § 5 až 15 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b). Podrobně jsou všechny vlastnosti lokality související s provozní bezpečnostní hodnocením ve technické zprávě SÚRAO (Martinčík et. al. 2018).

B.7.1 Seismicita

Seismicita, která je posuzovanou vlastností lokality podle § 5 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b), byla posuzována v části pro podzemní část úložiště (B.4.1).

B.7.2 Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem

V okruhu 25 km nebyl nalezen žádný potenciálně aktivní zlom.

B.7.3 Povodně

Povrchový areál ani umístění podzemní část úložiště se nenachází ve stanoveném záplavovém území Q_{100} ani se zde nevyskytuje potenciální možnost havárie vodní nádrže v povodí nad tímto areálem.

B.7.4 Oběh podzemní vody

Oběh podzemní vody je podrobně popsán v kapitole B.2 a B.6.4. Na lokalitě nejsou významné útvary podzemních vod, u nichž by mohlo dojít k trvalému znečištění radioaktivní látkou.

B.7.5 Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových půd

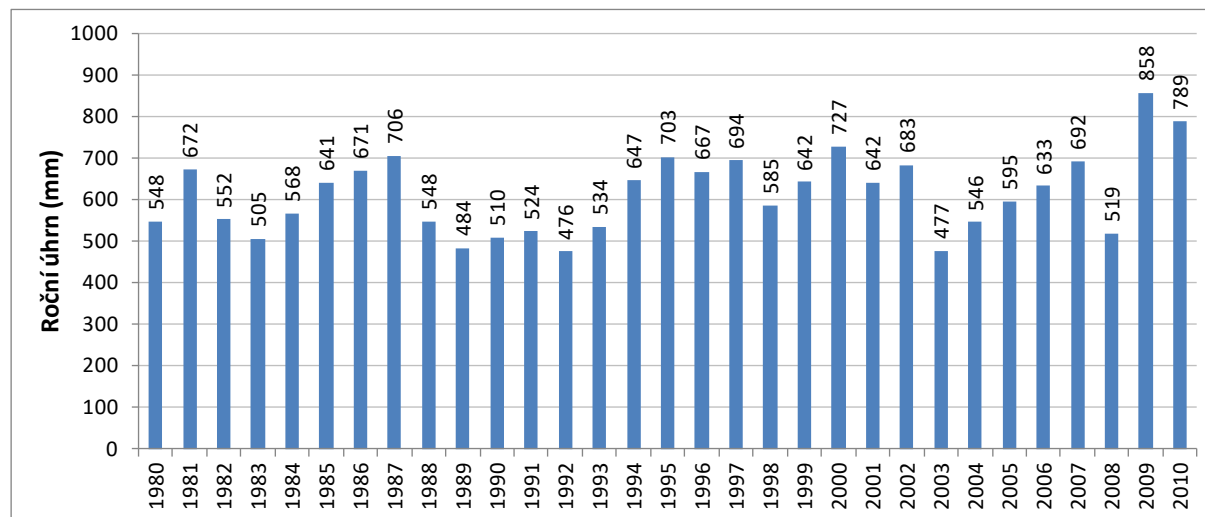
Z geodynamických jevů se na daném území projevují nejvýrazněji procesy zvětrávání hornin předkvartérního skalního podkladu. Svahové pohyby se v horninovém prostředí vysokometamorfovaných hornin a daném typu georeliéfu příliš neprojevují. Přírozené sesuvy mohou vzniknout jen ojediněle ve zvětralinách nebo deluviích; jejich příčinou je obvykle podemílání boční erozí vodních toků. V hlubokých mladých erozních údolích se strmými skalními stěnami může docházet k opádávání kamenů a ojediněle k řícení.

Podmínkami pro výstavbu povrchového areálu a hloubených objektů z pohledu inženýrsko-geologických poměrů v přípovrchové oblasti se zabývá technická zpráva SÚRAO (Špinka et al. 2018), které je shrnuta v části c) této studie. Případné zjištění nevhodných vlastností základových půd pod povrchovým areálem HÚ v další etapě prací neovlivní využitelnost lokality, neboť areál může být umístěn do jiného místa vzdáleného do cca 5 km od homogenních bloků.

B.7.6 Klimatické a meteorologické jevy

Území záměru přísluší dle E. Quitta et al., 2011 celé do mírně teplé klimatické oblasti MT 9 – dlouhé léto, teplé, suché až mírně suché, přechodné období krátké s mírným až mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, krátká zima, mírná, suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky.

Roční srážkové úhrny za kalendářní roky 1980–2010 jsou zobrazeny na Obr. 24. Roční srážkový normál daného období je 614 mm. V rozmezí říjen-duben se průměrný měsíční srážkový úhrn pohybuje okolo 40 mm. Měsíční úhrny v letním období lze charakterizovat hodnotou 70 mm. Charakteristika klima na lokalitě Kraví hora je uvedena v Tab. 16.



Obr. 24: Roční srážkové úhrny – stanice ČHMÚ Bystřice nad Pernštejnem (B2BYSP01, období 1980 - 2010)

Tab. 16: Charakteristika klimatické oblasti MT9

| Klimatická charakteristika | MT9 |
|--|----------|
| Počet dnů s teplotou nad 10 °C | 140-160 |
| Počet letních dnů | 40-50 |
| Počet mrazových dnů | 110-130 |
| Počet ledových dnů | 30-40 |
| Průměrná teplota v lednu v °C | -3 až -4 |
| Průměrná teplota v dubnu v °C | 6-7 |
| Průměrná teplota v červenci v °C | 17-18 |
| Průměrná teplota v říjnu v °C | 7-8 |
| Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více | 100-120 |
| Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm] | 400-450 |
| Srážkový úhrn v zimním období [mm] | 250-300 |
| Počet dnů se sněhovou pokrývkou | 60-80 |
| Počet dnů jasných | 40-50 |
| Počet dnů zamračených | 120-150 |

B.7.7 Biologické jevy

Území zájmové lokality je tvořeno zejména lesními porosty a obdělávanou zemědělskou půdou. Jeho ekologická stabilita je velmi dobrá. V části území se nachází regionální prvky ÚSES. V území jsou dochovány rozsáhlé lesní porosty. Podíl přírodních biotopů však není vysoký.

Zvláště chráněné území se nachází na jihu lokality mimo povrchový areál. Výskyt zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů se nachází zejména na severovýchodním svahu údolí nad říčkou Nedvědička.

Současná krajina širšího zájmového území je velmi rozmanitá. Typickým obrazem zemědělské až zemědělsko-lesní krajiny jsou zde pahorkatiny až zvlněné náhorní roviny s výrazným podílem zemědělské půdy se sídlem ve svém centru. Krajina byla dotčena zemědělskou velkovýrobou a těžební činností. Okolí lokality Kraví hora lze považovat za typicky zemědělskou krajinu.

V další fázi prací se předpokládá, že bude proveden biologický monitoring, především ve vymezených územích povrchového areálu. Na základě výsledků pak bude možné podrobněji vyhodnotit předpokládané vlivy na technologická zařízení, a nastavit soubor opatření tak, aby případné negativní důsledky byly eliminovány.

B.7.8 Přírodní požáry

Umístění povrchového areálu je vymezeno severně od obce Střítež v blízkosti kóty Dejmalka vlevo od silnice II/385 ve směru Dolní Rožínka – Střítež v prostoru terénní elevace, částečně ve svahu severovýchodní orientace. Pozemky jsou tvořeny zemědělskou půdou a částečně

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

přírodním biotopem sekundárních trávníků a křovin. Okraje navrhovaného areálu mohou mírně zasahovat do stávajících lesních porostů. Z důvodu minimalizace nebezpečí ohrožení PA požárem bude nezbytné odstranit do vzdálenosti nejméně cca 50 m od jeho hranice stávající porost a na SV a JZ straně areálu posílit kamerový systém s přímým přenosem informací do SO 41 PA (provozní budova aktivních provozů) a dle zpracovaného provozního řádu areálu provádět v pravidelných časových intervalech kontrolní prohlídky.

B.7.9 Pád letadla a jiných objektů

Posouzení území Kraví hory k umístění jaderného zařízení z hlediska pádu letadla (§ 13, vyhláška č. 378/2016 Sb.) je popsáno ve zprávě Martinčíka et al., 2018. Nad severním okrajem HÚ Kraví Hora vedou cvičné letové koridory LKTSa 20 a 21. V blízkosti HÚ Kraví hora se nacházejí dvě SLZ do vzdálenosti 10 km od HÚ (letišť Zvole Western LKMLYN a Bystřice nad Pernštejnem LKBYST), z toho letiště Zvole Western LKMLYN ve vzdálenosti do 7,5 km a SLZ Borovník, LKBORO, které je vzdáleno 10,45 km. Přestože počet pohybů letadel na zmíněných SLZ je velmi nízký, je z hlediska bezpečnosti HÚ doporučeno dojednat s Úřadem pro civilní letectví ustanovení přijatelné formy bezletového prostoru o průměru nejméně 5 km nad areálem HÚ, který pokryje bezpečnost veškerých technických prvků HÚ i po jeho uzavření.

Podle hodnocení Martinčíka et al, 2018 se dále předpokládá, že letový prostor a jeho řízení nad HÚ Kraví hora bude v době provozu úložiště odlišný a momentálně je nepředvídatelný v důsledku očekávaného pokroku leteckého průmyslu během příštích let. Z tohoto důvodu bude nutné výše uvedené skutečnosti pravidelně aktualizovat. Z hlediska dosažení co nejvyšší úrovně ochrany HÚ je doporučeno požádat o ustanovení „bezletového prostoru“ pro civilní a vojenská letadla a současně požádat Ministerstvo dopravy o vydání zákazu budování jakýchkoliv nových letišť nejméně do vzdálenosti 10 km od HÚ. V období před zahájením stavebních prací na lokalitě Kraví hora by bylo vhodné, aby vláda ČR prostřednictvím Úřadu pro civilní letectví vytvořila potřebné dočasné nebo permanentní bezletové prostory, včetně upravení pravidel pro schvalování přímých letů dopravních letadel tak, aby nikdy nemohlo dojít k narušení chráněné oblasti. Jako nutná se jeví koordinace s vojenským letectvem (Ministerstvem obrany) pro ustanovení dočasné bezletové zóny v současných koridorech (nebo odklonění koridorů) v době přepravy a překládání VJP až do chvíle, než bude palivo bezpečně uloženo v podzemí.

B.7.10 Výbuchy a požáry mající původ v činnosti člověka a jejich zplodiny

Jediným potenciálním zdrojem výbuchu v prostoru úložiště a ve vzdálenosti 5 km od něj jsou povrchový a podzemní sklad výbušnin (včetně dopravních tras), nezbytné pro realizaci vlastního úložiště (i v případě varianty TBM).

B.7.11 Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy

Podrobná analýza možných střetů zájmu je uvedena ve zprávě SÚRAO (Špinka et al. 2018) Zde jsou shrnuty pouze závěry této analýzy.

B.7.11.1 Silniční ochranná pásma

Zájmovým územím prochází přibližně severojižním směrem silnice II. třídy II/385, která je napojena na silnice I. třídy I/19 a I/43. Do jižní části zájmového území zasahuje silnice II.

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

třídy II/390. Nejbližší napojení na silnici I. třídy: silnice I/19 v obci Bystřice nad Pernštejnem ve vzdálenosti cca 10 km. Nejbližší napojení na dálniční síť: dálnice D1, exit 146 – Velké Meziříčí – východ a exit 153 – Lhotka ve vzdálenosti cca 30 km. Ochranné pásmo 50 m od osy vozovky pro silnice I. třídy, 15 m od osy vozovky pro silnice II. a III. třídy.

B.7.11.2 Ochranná pásma dráhy

Zájmovým územím prochází při jeho severovýchodní hranici železniční trať č. 251 spojující obce Žďár nad Sázavou, Nové Město na Moravě, Bystřici nad Pernštejnem a Tišnov. V zájmovém území vede trať v údolí podél řeky Nedvědičky a napojení úložiště železniční vlečkou je proto nutné uvažovat tunelem (přes plánovaný CMVJP Skalka).

B.7.11.3 Ochranná pásma plynovodu, ropovodu nebo jiného produktovodu

Vysokotlaký plynovod se v zájmovém území nenachází, možné napojení ve vzdálenosti cca 3 km od severního okraje zájmového území. Ochranné pásmo plynovodního potrubí s tlakem do 40 bar je dle průměru potrubí do 65 m od osy potrubí. Ochranné pásmo plynovodního potrubí s tlakem nad 40 bar (tranzitní plynovod) je 160 m od osy potrubí.

B.7.11.4 Ochranná pásma zařízení elektrizační soustavy

EL 110 kV, vedení přibližně severojižním směrem, napětí 110 kV. Ochranné pásmo nadzemního vedení do 35 kV je 7 m, od 35 kV do 110 kV včetně 12 m.

B.7.11.5 Ochranná pásma zařízení na výrobu či rozvod tepelné energie

Ve sledovaném území není situováno žádné zařízení na výrobu a rozvod tepelné energie.

B.7.11.6 Ochranná pásma nadzemních a podzemních telekomunikačních vedení

Zájmovým územím procházejí datové optické sítě společností Jihomoravská energetika, O2, Tiscali, ČD Metalika. Ochranné pásmo podzemního komunikačního vedení činí 1,5 m po stranách krajního vedení.

B.7.11.7 Ochranná pásma letišť a leteckých staveb

V blízkosti HÚ Kraví hora se nacházejí dvě SLZ do vzdálenosti 10 km od HÚ (letišť Zvole Western LKMLYN a Bystřice nad Pernštejnem LKBYST), z toho letiště Zvole Western LKMLYN ve vzdálenosti do 7,5 km a SLZ Borovník, LKBORO, které je vzdáleno 10,45 km.

B.7.11.8 Chráněné ložiskové území nebo dobývacího prostoru

Přehledy dobývacích prostorů, chráněných ložiskových území, ložisek nerostných surovin a zdrojů, poddolovaných území a průzkumných území jsou uvedeny v kapitole 6.

B.7.11.9 Ochranná pásma zvláště chráněného území

Do severní části lokality zasahuje přírodní park Jistebnická pahorkatina.

B.7.11.10 Ochranná pásma nemovité kulturní památky

V zájmovém území nelze většinou předpokládat významné negativní vlivy na památkovou hodnotu území chráněných dle zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči ve znění všech předpisů a dochované kulturní dědictví (architektonické a archeologické).

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

B.7.11.11 Ochranná pásma vodního zdroje

Umístění PA do ochranného pásma nezasahuje

B.7.11.12 Ochranná pásma zdrojů léčivých minerálních vod

Umístění PA do ochranného pásma nezasahuje.

B.7.11.13 Zóny havarijního plánování jiného jaderného zařízení nebo stanovené podle jiného právního předpisu

V lokalitě Kraví hora a jeho bezprostředním okolí se nenacházejí zóny havarijního plánování jaderného zařízení.

B.7.11.14 Ochranné pilíře jam, celíků a pásem povrchových a důlních objektů

Tato problematika je podrobněji řešena v kapitole B.6.2.

B.7.12 Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj

Celkově se lokalita nalézá na území 8 obcí (Bukov, Drahonín, Milasín, Moravecké Pavlovice, Olší, Sejřek, Střítež a Věžná), které se nacházejí na území dvou obcí s rozšířenou působností (Bystřice nad Pernštejnem a Tišnov) a dvou krajů (Vysočina a Jihomoravský kraj).

Následující obce se skládají z více částí:

Moravecké Pavlovice – Habří, Moravecké Pavlovice

Sejřek – Bor, Sejřek

Střítež – Nivy, Střítež

Věžná – Jabloňov, Pernštějnské Janovice, Věžná

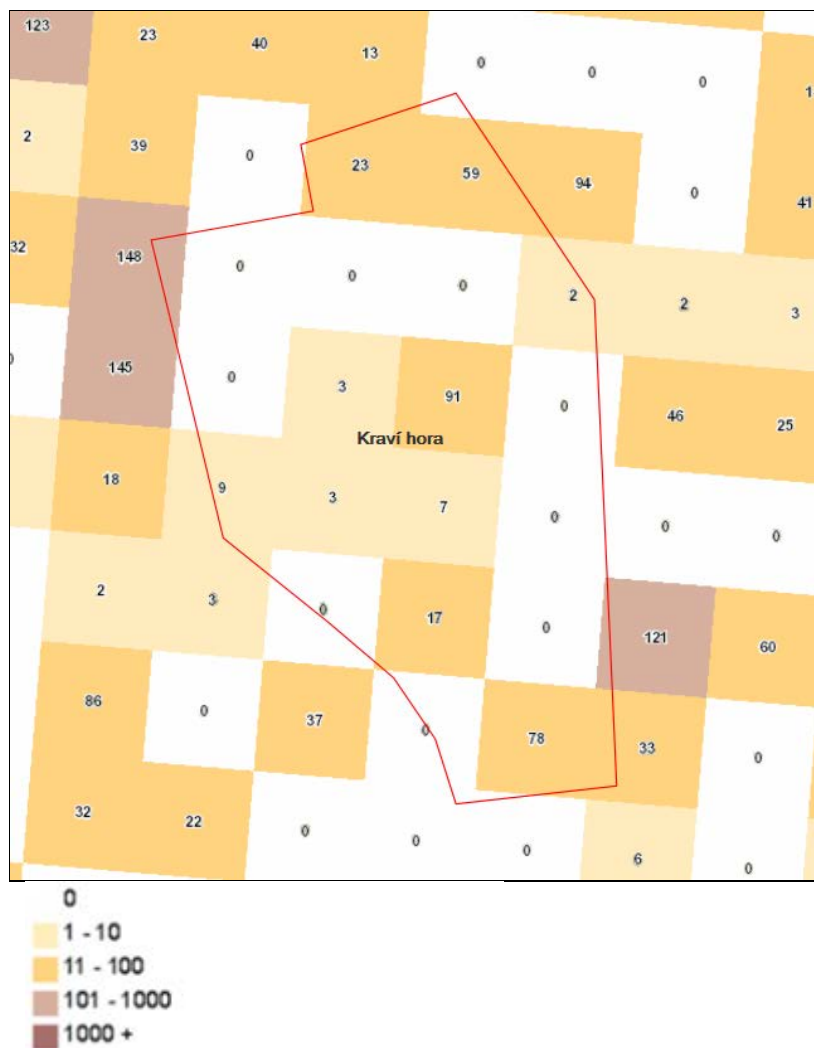
Olší – Klokočí, Litava, Olší, Rakové

Podle údajů PPM Factum zde žije 1197 obyvatel. Jedná se o lokalitu s nejnižším počtem žijících v dotčených obcích. Obecně je možno konstatovat, že lokalita je tvořena malými obcemi, z nichž žádná nemá více než 500 obyvatel:

Tab.17: Počet obyvatel v jednotlivých obcích

| Obec | Olší | Věžná | Bukov | Sejřek | Drahonín | Střítež | Moravecké Pavlovice | Milasín | Celkem |
|----------------|------|-------|-------|--------|----------|---------|---------------------|---------|--------|
| Počet obyvatel | 314 | 227 | 179 | 165 | 117 | 94 | 55 | 46 | 1197 |

Maximální hustota zalidnění oblasti uvnitř této lokality je 91 obyvatel na km² v obci Střítež. V jihovýchodním cípu lokality na území obce Drahonín dosahuje hustota obyvatel 78 osob na km². V zastavěném území menších obcí činí hustota obyvatel řádově nižší desítky osob na km² (např. Moravecké Pavlovice, Bukov). Naprostá většina území však není osídlena vůbec. Je to dáno zejména rozsáhlými lesními porosty a zemědělsky využívaným územím.



Obr. 25: Hustota obyvatelstva v síti 1x1km

B.7.13 Současné využití území

Většina Českomoravské vysočiny byla osídlována v rámci vnitřní kolonizace. Původně to byla pralesní oblast, kterou procházely jen stezky (základní kolonizace proběhla ve 12. a 13. století). Nebohatá ložiska železa, případně dalších surovin přinesla průmyslový rozvoj jen dočasně. Ani realizace železničních tratí nezpůsobila, aby tento kraj v době průmyslové revoluce byl rozvojem průmyslu výrazně zasažen a zůstal tak z tohoto pohledu na okraji zájmu. Značné oživení regionu přinesla výstavba Vírské přehrady a dlouhodobě pak, i když poněkud jednostranné, přinesla na konci 50. let tohoto století těžba uranu. Krajina byla dotčena zemědělskou velkovýrobou a těžební činností. Okolí lokality Kraví hora lze považovat za typicky zemědělskou krajinu, reliéf zde umožnil rozsáhlé zcelení a zornění půd.

B.7.14 Vliv jiného jaderného zařízení

V okruhu do 20 km od průzkumného území lokality Kraví hora se kromě rozestavěného CMVJP nenachází jiné JZ. Nejbližší JZ jsou JE Dukovany a sklady paliva nacházející se v jejím areálu a jsou vzdáleny cca 41 km.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | <i>TZ303/2018</i> |

B.7.15 Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu

Nebyly zjištěny žádné charakteristiky území, které by podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) bránily umístění jaderného zařízení v lokalitě Kraví hora. Určitou překážkou může být velká poddolovanost širšího území. Podél vyjádření expertů (Havlová et al. 2018b) se poddolovaná území a hlubší vrty nacházejí v širším území, hodnoceném pro umístění HÚ, nikoli na pozemku potenciálního jaderného zařízení (HÚ). Z tohoto důvodu nemusí představovat vylučující kritérium.

B.8 Vliv šíření radioaktivních látek z nadzemních prostor úložiště za provozu úložiště

Šíření radioaktivních látek za provozu úložiště do okolí je možné pouze v případě provozních nehod, které jsou podrobně popsány ve zprávě SÚRAO (Martinčík et al. 2018). Pravděpodobnost těchto nehod je však velmi malá. Za nejpravděpodobnější nehody se považuje:

- 1) nehoda během přepravy skladovacích a přepravních obalových souborů
- 2) nehoda při zavážce palivových souborů do UOS
- 3) nehoda při přepravě UOS do místa uložení.

V této části je popsáno šíření radioaktivních látek z horké komory pro případ mimořádné události vzniklé v důsledku roztěsnění palivových článků při přepravě či manipulaci se skladovacími a přepravními obalovými soubory CASTOR. Podrobněji jsou všechny možné stavy vedoucí k úniku radionuklidů v horké komoře zpracované ve zprávě SÚRAO (Martinčík et al. 2018). Manipulace v horké komoře jsou popsány v části c) této zprávy.

Za předpokladu porušení těsnosti pokrytí paliva se při překládce palivových souborů mohou uvolnit do prostor horké komory uvolnitelné frakce přítomných radionuklidů, tj. část aktivity z celkového množství radionuklidů. Tento dokument uvádí celkem tři základní kategorie uvolnitelnosti, a to plynné (velmi uvolnitelné), uvolnitelné, a prachové části (palivo a transurany). Z důvodu konzervativního přístupu byla mírně navýšena uvolnitelná frakce pro plyny z 0,3 na 0,4, což by mělo zvýšit robustnost následně odvozeného zdrojového členu. Přehled hodnot poskytuje Tab. 18.

Tab. 18: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku

| materiál | radionuklidy | uvolnitelná frakce |
|--------------------------------------|---|--------------------|
| velmi uvolnitelný | H-3, Kr-85, I-129 | 0,4 ^{a)} |
| uvolnitelný | Be-10, C-14, Cl-36, Ca-41, Co-60, Ni-59, Ni-63, Se-79, Sr-90, Y-90, Nb-94, Tc-99, Ag-108m, Sn-126, Cs-135, Cs-137, Sm-151, Ho-166m, Ra-226 | 2,00E-04 |
| prachové části (palivo a transurany) | Zr-93, Pb-210, Po-210, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-233, U-234, U-235, U-236, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246 | 3,00E-05 |

a) konzervativně navýšeno

Z celého inventáře byly vybrány jen takové radionuklidy, které jsou významné z hlediska vnitřního nebo zevního ozáření, přičemž nikdy nebyly opomenuty isotopy běžných biogenních prvků či jejich chemických analogů. Maximální uvolnitelná aktivita významných radionuklidů uvedených v následující tabulce představuje aktivitu, která by mohla uniknout za předpokladu poškození těsnosti všech palivových proutků bez uvažování jakýchkoli sekundárních bariér (filtrace, POS). Frakce zanedbaných RN představuje < 8,6E-04 celkové uvolnitelné aktivity respektive < 1,5E-02 z celkového potenciálního ozáření.

Filtrační stanice vzduchu z horké komory bude vícestupňové stavebnicové konstrukce, obdobné filtračním stanicím používaným na jaderných elektrárnách, a bude pro zachytávání aerosolů využívat vyměnitelné HEPA a ULPA filtry. Mezi filtračními stupni budou parciální tlaková čidla. Za posledním filtrem, před odtahem do komína, bude redundantní měřidlo objemové aktivity (či dávkového příkonu). Čidla (tlaková i radiační) budou napojena na pult

obsluhy a kontroly provozu horké komory. V případě mimořádné situace budou poskytovat vizuální i akustický alarm.

Filtrační stanice bude vybraným zařízením podle vyhlášky č. 358/2016 Sb. (SUJB 2016c) a bude navržena tak, aby měla při normálním provozu následující účinnosti:

H-3, Kr-85: 0%,

I-129: 99,99%,

ostatní uvolnitelné radionuklidy: 99,9999%.

Za podmínek při fungování všech filtrů se uvažuje zdrojový člen uvedený v následující Tab. 19.

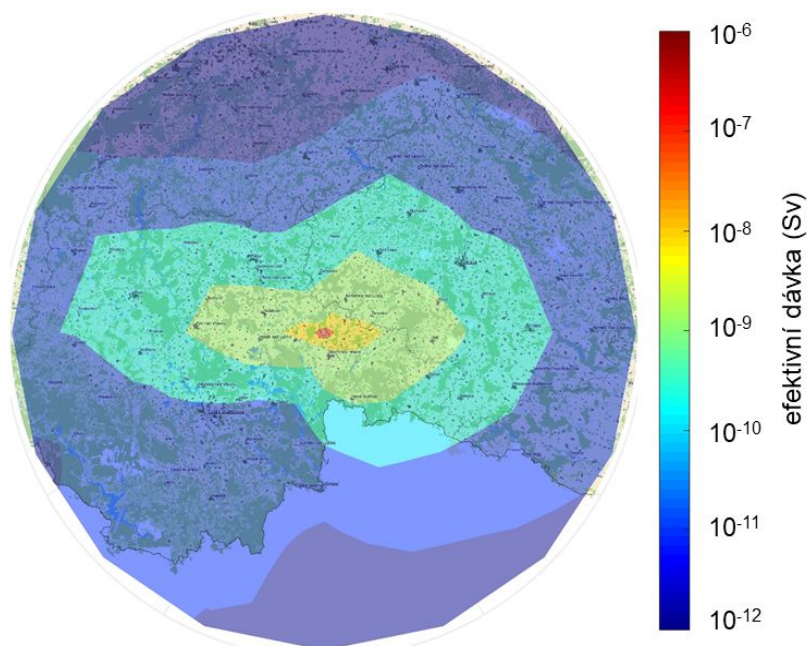
Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (99,9999 %)

| radionuklid | aktivita [Bq] | radionuklid | aktivita [Bq] |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| H-3 | 1,39E+11 | Cs-137 | 1,08E+05 |
| C-14 | 4,45E+00 | Pu-238 | 2,76E+02 |
| Kr-85 | 1,18E+12 | Pu-239 | 1,58E+01 |
| Sr-90 | 6,52E+04 | Pu-240 | 2,82E+01 |
| Y-90 | 6,52E+04 | Am241 | 2,45E+02 |
| I-129 | 2,78E+02 | Cm-244 | 7,21E+01 |

Pro simulování transportu radionuklidů vzduchem se započtením dávky z externího ozáření (imerze, povrchová depozice) i úvazků efektivních dávek z ingesce (potravní řetězce) a inhalace byl použit software HARP (HAZardous Radioactivity Propagation), konkrétně jeho deterministický modul HAVAR-DET.

Za normálních provozních podmínek je vzduch z horké komory filtrován kaskádou třech HEPA filtrů a unášen vzduchotechnikou do komína o průměru 4,2 m a výšce 15 m nad terénem. Minimální vertikální rychlost vzduchu v místě výduchu komína byla na základě vzduchotechnických výpočtů stanovena na 2,2 m/s. Účinnost kaskády HEPA 13 filtrů je min. 99,9999 % a v důsledku toho klesá hodnota aktivitního aerodynamického mediánu (AMAD) unikajícího aerosolu.

K uvolnění aktivity při překládce v horké komoře může dojít buď v důsledku otevření POS, jehož palivo ztratilo těsnost v důsledku manipulace při přepravě (včetně uvažování pádu POS výše) nebo v důsledku pádu palivové kazety/palivového souboru při překládce. V případě otevření POS s netěsným palivem se předpokládá, že netěsností trpí maximálně 3% palivových proutků. Výpočet expozice reprezentativní osoby při dlouhodobé vypouštění je uveden na Obr. 26.



Obr. 26: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince.

Součástí výpočtu bylo i stanovení geometricky omezené kolektivní efektivní dávky. Jejím cílem je zhodnotit dopad na nejbližší okolí a vyloučení malých příspěvků ve velmi vzdálených avšak hutě zalidněných oblastech. Geometrické omezení počítalo s plochou vymezenou kružnicí o poloměru 10, 25 a 30 km a středem v místě vypouštění. Poloměr 25 km byl zvolen s ohledem na vzdálenost k hranicím ČR od výpustě. Hodnoty takto omezené kolektivní efektivní dávky udává Tab. 20.

Tab. 20: Omezená kolektivní efektivní dávka

| poloměr [km] | počet obyvatel (2011) | kolektivní efektivní dávka [man Sv] |
|--------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 10 | 30290 | 5.49E-04 |
| 25 | 102564 | 7.97E-04 |
| 30 | 150533 | 8.33E-04 |

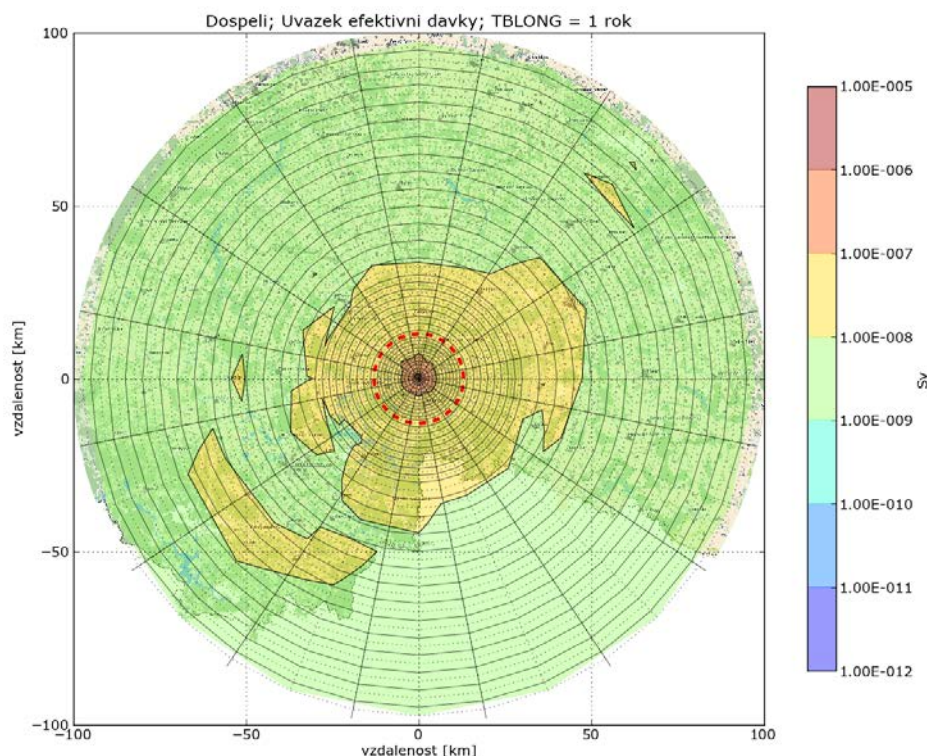
Z analýzy scénářů expozičních situací vyplývá, že radiačně nejvýznamnější situací je selhání dvou filtrů kaskády, neboť při této situaci vzroste uvolňovaná aktivita radionuklidů v prachové formě 500krát. Proto je zde uveden pouze tento scénář. Zdrojový člen tohoto scénáře je uveden v Tab. 21.

Tab. 21: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtení filtrace (účinnost 99,95 %)

| radionuklid | aktivita [Bq] | radionuklid | aktivita [Bq] |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| H-3 | 2,45E+11 | Cs-137 | 9,50E+07 |
| C-14 | 3,93E+03 | Pu-238 | 2,44E+05 |
| Kr-85 | 2,08E+12 | Pu-239 | 1,40E+04 |

| radionuklid | aktivita [Bq] | radionuklid | aktivita [Bq] |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| Sr-90 | 5,76E+07 | Pu-240 | 2,49E+04 |
| Y-90 | 5,76E+07 | Am241 | 2,17E+05 |
| I-129 | 2,46E+05 | Cm-244 | 6,36E+04 |

Výsledky výpočtu pro mimořádnou událost s velmi malou pravděpodobností výskytu jsou uvedeny na Obr. 27.



Obr. 27: Vypočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro 16 směrů větrné růžice a referenčního dospělého jedince. (reprezentativní jedinec)

Výsledky pro odhad dopadu provozu horké komory na obyvatelstvo za běžné ročního provozu a pro mimořádnou, jednorázovou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky jsou shrnuty v Tabulka 22 a Tabulka 23.

Tabulka 22: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu

| Směr větru (HARP) | Směr větru [°] ^{a)} | maximální ozáření ^{b)} | | KED ^{c)} [man Sv] | relativní zastoupení expozičních cest [%] | | | |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------|----------------------------|---|----------|----------|---------|
| | | dospělí [Sv] | Děti [Sv] | | externí | | interní | |
| | | | | | mrak | depozice | inhalace | ingesce |
| 1 | 180,0 | 1,40E-06 | 1,77E-06 | 1,75E-05 | 2,91 | 0,09 | 4,48 | 92,52 |
| 2 | 202,5 | 1,71E-06 | 2,15E-06 | 4,06E-05 | 1,37 | 0,10 | 4,42 | 94,12 |
| 3 | 225,0 | 1,64E-06 | 2,08E-06 | 5,20E-05 | 1,42 | 0,10 | 4,39 | 94,09 |
| 4 | 247,5 | 2,45E-06 | 3,07E-06 | 1,20E-04 | 1,33 | 0,10 | 4,37 | 94,20 |
| 5 | 270,0 | 6,17E-06 | 7,79E-06 | 1,39E-04 | 1,61 | 0,10 | 4,15 | 94,15 |

| Směr větru (HARP) | Směr větru [°] ^{a)} | maximální ozáření ^{b)} | | KED ^{c)} [man Sv] | relativní zastoupení expozičních cest [%] | | | |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|---|----------|----------|---------|
| | | dospělí [Sv] | Děti [Sv] | | externí | | interní | |
| | | | | | mrak | depozice | inhalace | ingesce |
| 6 | 292,5 | 3,34E-06 | 4,20E-06 | 7,00E-05 | 1,40 | 0,10 | 4,38 | 94,13 |
| 7 | 315,0 | 3,31E-06 | 4,18E-06 | 3,71E-05 | 0,37 | 0,10 | 3,98 | 95,55 |
| 8 | 337,5 | 2,04E-06 | 2,58E-06 | 1,20E-04 | 0,26 | 0,10 | 3,95 | 95,69 |
| 9 | 360,0 | 2,78E-06 | 3,52E-06 | 5,25E-05 | 0,45 | 0,10 | 3,62 | 95,84 |
| 10 | 22,5 | 4,41E-06 | 5,56E-06 | 3,41E-05 | 1,52 | 0,10 | 3,81 | 94,57 |
| 11 | 45,0 | 4,63E-06 | 5,84E-06 | 4,19E-05 | 6,69 | 0,09 | 4,17 | 89,05 |
| 12 | 67,5 | 2,24E-06 | 2,81E-06 | 5,09E-05 | 1,68 | 0,09 | 4,66 | 93,57 |
| 13 | 90,0 | 3,82E-06 | 4,79E-06 | 1,38E-04 | 1,04 | 0,09 | 4,95 | 93,91 |
| 14 | 112,5 | 2,29E-06 | 2,88E-06 | 9,00E-05 | 0,61 | 0,10 | 4,66 | 94,63 |
| 15 | 135,0 | 1,39E-06 | 1,75E-06 | 3,74E-05 | 1,51 | 0,10 | 4,14 | 94,25 |
| 16 | 157,5 | 1,04E-06 | 1,31E-06 | 1,30E-05 | 6,69 | 0,09 | 4,09 | 89,13 |

a) meteorologický směr větru

b) součet efektivní dávky z externího ozáření za jeden rok a úvazku efektivní dávky z příjmu během 1 roku od úniku na nejvíce exponovanou dlaždicí

c) kolektivní efektivní dávka pro obyvatelstvo zasažené únikem v daném směru

Tabulka 23: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatné rozptylové podmínky – 16 úniků do všech směrů větrné růžice

| Směr větru (HARP) | Směr větru [°] ^{a)} | maximální ozáření ^{b)} | | KED ^{c)} [man Sv] | relativní zastoupení expozičních cest [%] | | | |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|---|----------|----------|---------|
| | | dospělí [Sv] | děti [Sv] | | externí | | interní | |
| | | | | | mrak | depozice | inhalace | ingesce |
| 1 | 180,0 | 3,13E-06 | 3,33E-06 | 7,85E-04 | 1,33 | 8,48 | 62,98 | 27,21 |
| 2 | 202,5 | 1,83E-06 | 2,08E-06 | 7,98E-04 | 1,18 | 7,59 | 66,89 | 24,34 |
| 3 | 225,0 | 1,14E-06 | 1,30E-06 | 1,38E-03 | 0,94 | 9,52 | 59,03 | 30,51 |
| 4 | 247,5 | 6,28E-07 | 6,69E-07 | 1,91E-03 | 1,00 | 7,40 | 67,87 | 23,73 |
| 5 | 270,0 | 6,26E-07 | 6,67E-07 | 9,70E-04 | 1,07 | 7,65 | 66,74 | 24,54 |
| 6 | 292,5 | 6,28E-07 | 6,69E-07 | 7,88E-04 | 1,00 | 7,79 | 66,18 | 25,03 |
| 7 | 315,0 | 1,19E-06 | 1,35E-06 | 1,97E-04 | 0,66 | 11,48 | 50,75 | 37,11 |
| 8 | 337,5 | 1,23E-06 | 1,40E-06 | 6,78E-04 | 0,88 | 4,26 | 81,12 | 13,74 |
| 9 | 360,0 | 1,21E-06 | 1,37E-06 | 4,12E-04 | 0,73 | 9,46 | 59,41 | 30,41 |
| 10 | 22,5 | 6,36E-07 | 6,78E-07 | 3,71E-04 | 0,72 | 12,23 | 47,77 | 39,28 |
| 11 | 45,0 | 6,22E-07 | 6,63E-07 | 1,29E-03 | 0,93 | 10,18 | 56,30 | 32,59 |
| 12 | 67,5 | 7,93E-07 | 8,45E-07 | 9,65E-04 | 0,97 | 10,08 | 56,68 | 32,27 |
| 13 | 90,0 | 1,38E-06 | 1,47E-06 | 9,68E-04 | 1,04 | 7,88 | 65,81 | 25,27 |
| 14 | 112,5 | 3,12E-06 | 3,32E-06 | 7,68E-04 | 0,95 | 9,31 | 59,90 | 29,84 |
| 15 | 135,0 | 3,13E-06 | 3,33E-06 | 1,25E-03 | 1,01 | 9,32 | 59,83 | 29,85 |
| 16 | 157,5 | 3,13E-06 | 3,33E-06 | 2,08E-03 | 1,24 | 7,96 | 65,37 | 25,43 |

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 6,2 $\mu\text{Sv/rok}$ u dospělého jedince a 7,8 $\mu\text{Sv/rok}$ pro nejvíce exponovanou skupinu dětí. Obecně je hlavní cestou ozáření ingesce radionuklidů: H-3, Sr-90 a Cs-137.

Pro málo pravděpodobnou, jednorázovou radiačně nejvýznamnější, mimořádnou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky (hustý déšť) nepřekročí u dospělého jedince součet efektivní dávky z externího ozáření a úvazku efektivní dávky z interního ozáření 3,5 $\mu\text{Sv/rok}$ respektive 4,2 $\mu\text{Sv/rok}$ pro nejvíce exponovaného dětského referenčního jedince.

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 6,2 $\mu\text{Sv/rok}$ u dospělého jedince a 7,8 $\mu\text{Sv/rok}$ pro nejvíce exponovanou skupinu dětí. Obecně je hlavní cestou ozáření ingesce radionuklidů: H-3, Sr-90 a Cs-137.

Pro málo pravděpodobnou, jednorázovou radiačně nejvýznamnější, mimořádnou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky (hustý déšť) nepřekročí u dospělého jedince součet efektivní dávky z externího ozáření a úvazku efektivní dávky z interního ozáření 3,5 $\mu\text{Sv/rok}$ respektive 4,2 $\mu\text{Sv/rok}$ pro nejvíce exponovaného dětského referenčního jedince.

B.9 Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ

Hodnocení vlivu šíření radioaktivních látek z podzemních prostor vychází ze zpráv SÚRAO zpracovaných v ÚJV Řež a.s. a FJFI, ČVUT v Praze (Trpkošová et al. 2016, 2017a, 2017b, 2018, Vetešník et al. 2016, Husťáková 2018). Práce byla nejdříve rozdělena na samostatné řešení toku radionuklidů v poli blízkých interakcí (Vetešník et al. 2016), poli vzdálených interakcí (Trpkošová et al. 2017a,b) a v biosféře (Trpkošová et al. 2016, Husťáková 2018). Výsledné výpočty, prováděné pomocí výpočetního kódu GoldSim, zahrnující všechny oblasti, jsou shrnuty ve zprávě Trpkošová et al. 2018. Výsledky výpočtů je třeba posuzovat z hlediska velkých nejistot spojených zejména z neznalosti prostředí v hloubce úložiště a částečně i nejistot spojených se složitostí prediktivního modelování v horizontu statisíců let. Vzhledem k těmto nejistotám byl proveden i orientační výpočet s využitím výpočetního kódu PAGODA.

Účel a kontext hodnocení vlivu šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ shrnutý v této zprávě je uveden v následující Tab. 24.

Tab. 24: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti

| | |
|-----------------------------------|--|
| Účel hodnocení | Srovnání potenciálních lokalit ve fázi zúžení počtu lokalit |
| Výstup hodnocení | Hlavní - Individuální roční efektivní dávka na dospělého (reprezentativní osobu) Vedlejší - Koncentrace/distribuce radionuklidů v životním prostředí |
| Filozofie hodnocení | Konzervativní (parametry modelu transportu aktivity biosférou-normální/realistické předpoklady) Opatrná (definice reprezentativní osoby - parametry cest ozáření) - konzervativní předpoklady |
| Typ úložiště | HÚ pro vyhořelé jaderné palivo - dlouhodobé radionuklidy |
| Kontext lokality | Vnitrozemí Bez uvažování změn biosféry v čase |
| Rozhraní geosféra-biosféra | Studna zasahující do zvodně v dosažitelné hloubce s čerpáním vody rychlostí odpovídající její spotřebě v domácnostech a pro zemědělské účely Koncentrace radionuklidů ve vodě přicházející z geosféry poskytuje geosférický transportní model, nepředpokládá se ředění podzemní vody ve zvodni nekontaminovanou vodou z atmosférických srážek (konzervativní přístup) Je zajištěn soulad mezi modelem geosféry a biosféry, tj. mezi množstvím kontaminované vody přicházející do studny a předpokladem o celkové potřebě vody pro komunitu |
| Zdrojový člen | Velmi konzervativní s uvažováním okamžitého poškození všech UOS směřujících do jednoho drenážního místa |
| Časový rámec | Až za případný maximum vypočtené dávky |

Sociální předpoklady

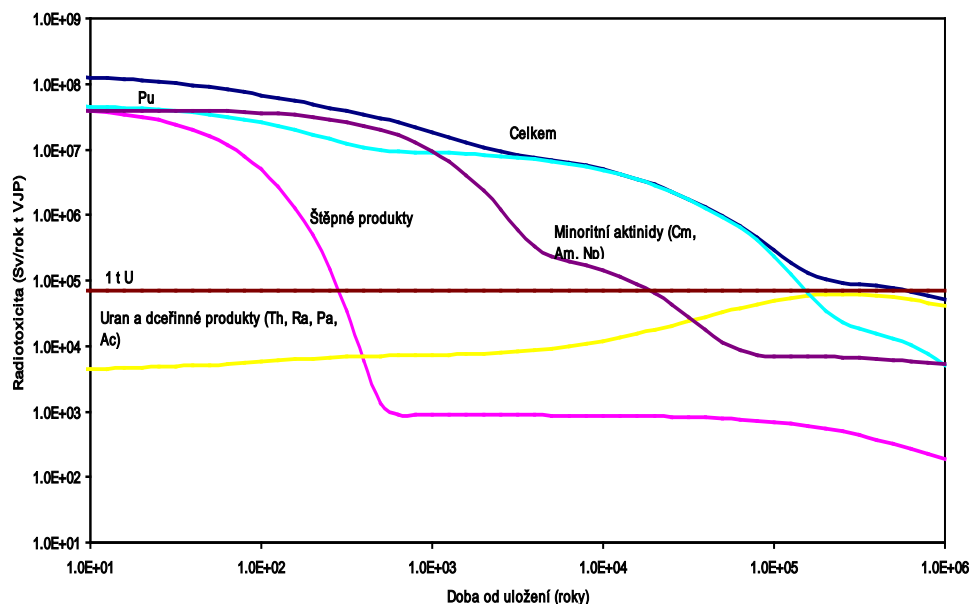
Zemědělská komunita

Moderní technologie a metody hospodaření v rostlinné i živočišné oblasti

Zdroje dostupné pro místní obyvatele jsou takové, že je schopno vyprodukovat lokálně velkou část celkově spotřebovávaných potravin

B.9.1 Časový rámec hodnocení

V § 9 odst. (2) vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) je vyžadováno navržení a zdůvodnění časového intervalu pro provedení bezpečnostního rozboru. I když celková aktivita vyhořelého jaderného paliva klesne na úroveň uranové rudy, ze které bylo palivo vyrobeno, za dobu zhruba 100 tisíc let (viz Obr. 28), pro bezpečnostní rozbor se zpravidla uvažuje doba 1 miliónu let, a to zejména z důvodu, že vyhořelé jaderné palivo obsahuje některé dlouhodobé, mobilní štěpné s velmi dlouhým poločasem přeměny (například ^{129}I s poločasem přeměny 1,5 miliónu let či ^{36}Cl s poločasem přeměny 300 tisíc let).



Obr. 28: Srovnání potencionální radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a jeho jednotlivých složek s potencionální radiotoxicitou 1 t uranové rudy.

V období **do 10 000 let** lze předpokládat, že biosféra zůstane porovnatelná se současnou. Pro toto období se doporučuje (ICRP 1999) používat kvantitativní odhady indikátorů - zejména radiologické, jako je dávková optimalizační mez. Pro následující období **do 1 mil. let** se předpokládá, že dojde ke změnám klimatu (střídání dob ledových a meziledových - včetně změn hladiny moře - pokles až o 140 m a v nižších zeměpisných šířkách může dojít ke střídání deštivých a suchých období). Zatímco geologické podmínky je možné obecně předpovídat, rozsah potenciálních biosférických podmínek a lidského chování je příliš široký na to, aby je bylo možné modelovat. Výpočty vztahující se k zóně blízké povrchu a lidskému chování lze zjednodušit použitím předpokladu zachování současné komunity a současných podmínek. Takové výpočty lze považovat jen za ilustrativní a vypočtené "dávky" za indikativní.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Pro další období už nelze předpovědět na vědecké bázi ani geologické podmínky, vzhledem k tomu, že může dojít k nepředpověditelným změnám ve velkém měřítku, např. horotvorným procesům, kontinentálnímu driftu, masivní erozi apod.

B.9.2 Transportní cesty a cesty ozáření

Po uzavření úložiště a degradaci ukladacích obalových souborů může dojít k migraci radionuklidů do dostupné biosféry, disperzi radionuklidů v biosféře a následné expozici obyvatel. Při odhadování dávek jednotlivcům z úložiště v budoucnosti se předpokládá, že lidé budou přítomni na lokalitě a že budou využívat místní zdroje, které mohou obsahovat radionuklidy pocházející z uloženého odpadu.

Dle doporučení IAEA (2011b) by měly být důležité transportní cesty radioaktivního materiálu uvolněného z úložiště do životního prostředí za normálních podmínek a poruchových (ne-normálních) podmínek vybrány z komplexního souboru potenciálních cest. Zkušenosti ukazují, že pro normální chování úložiště bude důležitých pouze několik cest. Patří sem transport:

- podzemní vodou,
- půdou,
- suchozemskými rostlinami a živočichy,
- povrchovými vodami a vodními živočichy,
- transport plyných látek atmosférou.

Uvažované cesty ozáření (expozice) jsou obvykle následující:

- příjem radionuklidů požitím (ingesce) - voda, potraviny (rostlinného i živočišného původu),
- příjem radionuklidů vdechnutím (inhalace) - prach (půda) ve vzduchu resp. plyné radionuklidy,
- zevní ozáření z povrchu - půda,
- někdy se uvažuje i zevní ozáření z ponoření se do vody.

Podle doporučení IAEA (2011a,b) byl výpočet proveden na základě referenční biosféry (zemědělská studna) a která nejlépe odpovídá normálnímu scénáři, tj. předpokladu, že místem vstupu aktivity z geosféry do biosféry je voda ze studny zasahující do zvodně v dostupné hloubce, do níž se dostává kontaminovaná podzemní voda z geosféry. Voda čerpaná ze studny je využívána jako výhradní zdroj vody pro lidskou komunitu, ze které pochází reprezentativní osoba. Použití referenční biosféry umožňuje jednak vyhodnotit radiační dávky z dlouhodobých úniků radionuklidů z hlubinného úložiště bez ohledu na to, že se biosféra i lidská komunita mohou ve vzdálené budoucnosti výrazně změnit, a také umožňuje vzájemnou porovnatelnost a kontrolu výsledků hodnocení.

B.9.3 Bezpečnostní funkce bariér úložiště

Z hlediska zabránění uniku radionuklidů z úložiště a jejich šíření do biosféry se vychází z principů ochrany do hloubky popsanych ve vyhlášce č. 329/2017 Sb. (SUJB 2017a) §6, odstavcích 1) a 3).

Strategie SÚRAO pro dosažení dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště po jeho uzavření vychází z doporučení IAEA, SSR 5, (IAEA 2011a), která dlouhodobou bezpečnost úložiště staví na následujících bezpečnostních funkcích:

- a) Zadržet radioaktivní odpady
- b) Izolovat odpad od přístupného životního prostředí a snížit pravděpodobnost kontaktu člověka s odpadem.
- c) Zpomalit a snížit migraci radionuklidů do životního prostředí tak, aby množství radionuklidů, které se dostane do životního prostředí, bylo v každé době před i po uzavření úložiště přijatelně malé.

Tyto bezpečnostní funkce plní především následující fyzické bezpečnostní bariéry:

- a) Ukládací obalové soubory s VJP (UOS)
- b) Tlumící bariéra obklopující UOS (T)
- c) Výplňové materiály úložných chodeb (V)
- d) Horninového prostředí (H)

Podrobněji jsou bezpečnostní funkce těchto komponent specifikovány v Tab. 25. Jde o předběžný seznam, který se bude dále rozšiřovat, modifikovat a upřesňovat na základě získávaných poznatků.

Tab. 25: Bezpečnostní funkce bariér hlubinného úložiště

| ID | Bariéra | Bezpečnostní funkce |
|------|--------------------------------------|--|
| UOS1 | Ukládací obalový soubor | Zadržet radioaktivní odpad v obalovém souboru do doby podstatného snížení nebezpečnosti odpadu v důsledku radioaktivní přeměny |
| UOS2 | Ukládací obalový soubor | Vyloučit vznik kritického stavu |
| UOS3 | Ukládací obalový soubor/forma odpadu | Zpomalit uvolňování radionuklidů z formy odpadu |
| UOS4 | Ukládací obalový soubor | Omezit vliv tepla a záření z přeměny radionuklidů na tlumící materiály (příklad podmínky přijatelnosti UOS s VJP do HÚ: tepelný výkon UOS s VJP nezpůsobí zvýšení teploty na rozhraní UOS/Tlumící materiál větší než 100 °C s uvážením tepelné vodivosti všech materiálů a designu úložiště, záření gama nebude větší než tbd) |
| UOS5 | Ukládací obalový soubor | Zabránit pohybu UOS v úložném vrtu – požadavek na maximální hmotnost UOS |
| UOS6 | Ukládací obalový soubor | Zabránit poškození tlumícího materiálu vlivem plynů vznikajícího při anaerobní korozi materiálu obalového souboru (požadavek na maximální rychlost koroze tbd) |
| T1 | Tlumící materiál | Omezit působení napětí na UOS specifikací maximálního bobtnacího tlaku (Příklad požadavku: bobtnací tlak musí být menší než 10 MPa po plné saturaci. Tlumící materiál musí bobtnat rovnoměrně, aby nedošlo k nerovnoměrnému působení napětí na UOS) |

| ID | Bariéra | Bezpečnostní funkce |
|-----|---------------------|---|
| T2 | Tlumící materiál | Omezit přístup vody k UOS pouze na difúzi (hydraulická vodivost tlumícího materiál musí být menší než 1×10^{-12} m/s) |
| T3 | Tlumící materiál | Omezit přístup korozi aktivních látek k UOS (Příklad požadavku: Koncentrace O_2 – neměřitelná (Eh menší než -100 mV v době několika let, omezená koncentrace sulfidů, nitrátů, uhličitánů, chloridů a dalších korozi aktivních látek v tlumícím materiál) |
| T4 | Tlumící materiál | Omezit mikrobiální korozi UOS (příklad požadavku: bobtnací tlak tlumícího materiálu musí být větší než 3MPa) |
| T5 | Tlumící materiál | Zabránit pohybu UOS v úložném vrtu (příklad požadavku: bobtnací tlak tlumícího materiálu bude vyšší 0,2 MPa) |
| T6 | Tlumící materiál | Bránit akumulaci plynů na rozhraní UOS/tlumící bariéra |
| T7 | Tlumící materiál | Omezit vliv působení korozi aktivních látek na UOS (Příklad limitu pro úložné místo $O_2 = 0$, $Cl < 2$ mol/l , $HS < 3$ mg/l, $NO_3 < 10^{-3}$ mol/l) |
| T8 | Tlumící materiál | Omezit vliv vody na UOS (příklad požadavku: úložné místo v horninovém prostředí bez zvodnělých puklin z transmitivitou vyšší než 1×10^{-9} m/s |
| T9 | Tlumící materiál | Omezit vliv mechanického napětí na UOS (příklad požadavku: Isostatický tlak na UOS nebude větší než 5 MPa za všech uvažovaných podmínek vývoje úložiště a UOS nebude ohroženo smykovým napětím v důsledky pohybu horninových bloků větších než x mm za všech uvažovaných podmínek vývoje úložiště |
| T10 | Tlumící materiál | Zpomalit a snížit migraci radionuklidů do životního prostředí pomalou migrací přes tlumící materiál |
| V1 | Výplňový materiál | Zpomalit a snížit migraci radionuklidů do životního prostředí pomalou migrací přes výplňový materiál |
| V2 | Výplňový materiál | Bránit úniku tlumícího materiálu z úložných vrtů |
| V3 | Výplňový materiál | Zabránit vzniku preferenčních cest pro migraci radionuklidů vyplnění všech prostor |
| H1 | Horninové prostředí | Omezit rychlost degradace inženýrských bariér |
| H2 | Horninové prostředí | Zpomalit a snížit migraci radionuklidů do životního prostředí pomalou migrací přes horninové prostředí |
| H3 | Horninové prostředí | Izolovat odpad od přístupného životního prostředí a snížit pravděpodobnost kontaktu člověka s odpadem |

Splnění bezpečnostních funkcí a požadavků na výše uvedené bariéry úložiště by mělo zabránit úniku radionuklidů do životního prostředí v míře, která by mohl vést k překročení optimalizačního limitu 0,25 mSv. V první fázi vývoje úložiště, kdy nejsou k dispozici data z hloubek úložiště, jsou však tyto požadavky pouze předběžné. Bezpečnostní systém hlubinného úložiště je založen na vzájemném propojení všech fyzických bariér. Horší funkce

jedné bariéry, například horninového prostředí, může být nahrazena lepší funkcí jiné komponenty, například obalového souboru.

Ostatní fyzické komponenty úložiště či organizační a administrativní procesy vedoucí k jejich výrobě musí být připraveny tak, aby nebyly narušeny bezpečnostní funkce primárních bariér.

Na rozdíl od inženýrských bariér není možné vyprojektovat horninové prostředí tak, aby mělo určité příznivé vlastnosti. Horninové prostředí je možno pouze charakterizovat, pochopit procesy a události, které v něm probíhají a vybrat vhodné homogenní bloky, které budou splňovat podmínky potřebné pro zajištění výše uvedených bezpečnostní funkcí.

B.9.4 Odvození normálního scénáře a alternativních scénářů vývoje úložiště

Vyhláška č. 377/2016 Sb. v § 9, odst. 6, písm. b) a c) vyžaduje popis normálního vývoje úložiště radioaktivního odpadu a identifikaci vlastností, událostí a procesů, které mohou narušit normální vývoj úložiště radioaktivního odpadu a mohou mít vliv na jeho bezpečnost.

Při odvození normálního scénáře vývoje úložiště a jeho komponent se konzervativně uvažují všechny nepříznivé procesy a události, jejichž pravděpodobnost není zanedbatelná. Konzervativně naopak nejsou uvažovány procesy, které vedou k příznivějšímu vývoji některé z komponent úložiště (například se konzervativně neuvažuje funkce pokrytí paliva pro zadržení radionuklidů z důvodu jeho malé tloušťky a nejistot spojených s manipulacemi s UOS).

Alternativní scénáře vycházejí z analýzy vlastností, událostí a procesů, které mohou narušit normální vývoj úložiště a vést selhání jedné nebo více bezpečnostních funkcí bariér vlivem málo pravděpodobných událostí. Postulované iniciační události (PIU) alternativního scénáře vycházejí z analýzy méně pravděpodobného selhání bezpečnostních funkcí bariér úložiště. Tyto PIU mohou vést k omezenému počtu scénářů (identifikace PIU vychází z analýzy VUP). V případě těchto alternativních scénářů jde zpravidla o následující iniciační události:

- 1) Defekt v předpokládaných, počátečních vlastnostech bariéry způsobeny například
 - a. chybným umístěním UOS do horninového prostředí s puklinami či nevhodným složením podzemní vody
 - b. skrytou transportní cestou v hornině
 - c. defektem ve sváru UOS
 - d. defektem bentonitových prefabrikátů
- 2) Neočekávaná přírodní událost, například zemětřesení, vedoucí k mechanickému poškození jedné nebo více bariér úložiště, tj. například k poškození určitého počtu obalových souborů v důsledku smykového napětí vyvolaného zemětřesením
- 3) Zvláštním typem scénářů jsou tzv. narušitelské typy scénářů, předpokládající narušení bariér v důsledku zásahu člověka či expozici člověka v důsledku budoucích aktivit člověka.

Všechny tyto scénáře mohou vést k předčasnému selhání funkce některé bariéry či určitého počtu bariér. V případě určení množství komponent s defektem počátečních vlastností se může vycházet z odhadu pravděpodobností defektů v obdobných produktech.

V případě bezpečnostního rozboru prováděného pro výběr vhodnějších lokalit pro umístění hlubinného úložiště však nebudou použity alternativní scénáře, protože data použitá pro normální scénář vývoje úložiště zahrnují všechny i velmi málo pravděpodobné, ale fyzikálně možné, procesy a události. Nejsou zde však zahrnuty procesy a události, které nejsou

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

relevantní pro navržený koncept či navržené lokality a které byly vyloučeny v rámci analýzy vlastností, událostí a procesů (Gondolli et al. 2018).

B.9.5 Databáze vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost úložiště

Hlubinné úložiště představuje velmi složitý systém zahrnující velké množství faktorů za velmi dlouhé období požadované pro prokázání bezpečnosti hlubinného úložiště. I když celková aktivita vyhořelého jaderného paliva klesne na úroveň uranové rudy, ze které bylo palivo vyrobeno za dobu zhruba 100 tisíc let (Obr. 28), pro bezpečnostní rozbor se zpravidla uvažuje doba 1 miliónu let. Požadavky na identifikaci procesů a událostí jsou však mnohem přísnější pro období do 100 tisíc let nežli pro vzdálenější období po této době, kdy nebezpečnost odpadů je již poměrně malá. Čím vzdálenější období od uzavření úložiště tím narůstají nejistoty s identifikací procesů a událostí, které mohou nastat. Rovněž doba 100 tisíc let je proto velmi dlouhá, a proto největší důraz je kladen na období zhruba do 10 000 let.

Při analýze vlastností, procesů a událostí probíhajících v úložišti jsou rozlišovány dva systémy:

- Interní (úložný) systém komponenty úložného systému a procesy a události probíhající v úložišti až do oblasti dosažitelné migrací radionuklidů.
- Externí systém zahrnující všechny systémy ovlivňující úložný systém, tj. všechny procesy a události, které ovlivňují či mohou ovlivnit úložný systém (externí faktory).

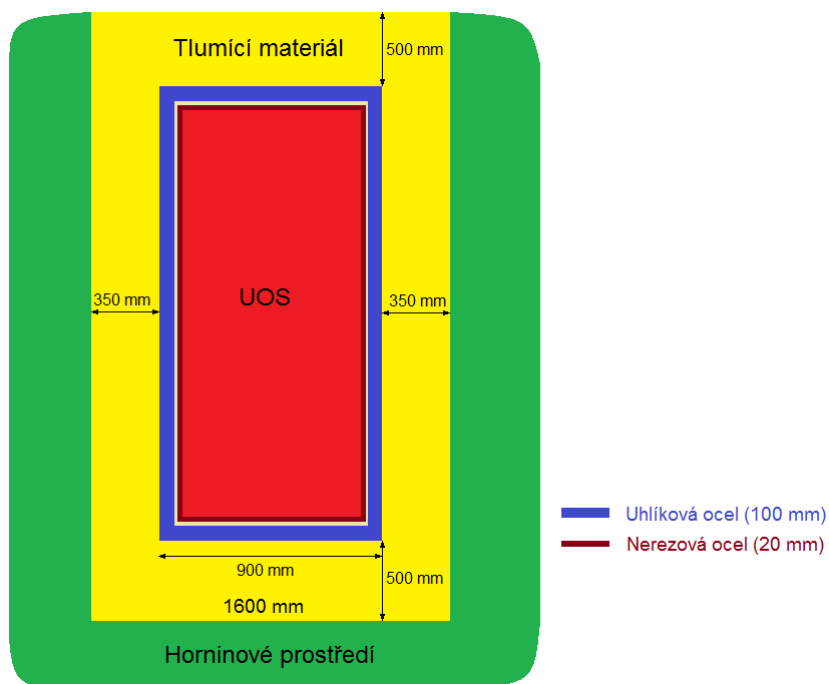
Identifikace všech VUP, které mohou ovlivnit bezpečnost úložiště je zcela zásadní pro provedení bezpečnostního rozboru hlubinného úložiště, neboť zanedbání nějakého procesu či události může výrazně ovlivnit výsledky bezpečnostního rozboru.

Seznam VUP, které mohou ovlivnit bezpečnost HÚ je uveden ve zprávě SÚRAO (Gondolli et al. 2018b). V dalším kroku každá vlastnost, proces či událost bude analyzována a provedeno rozhodnutí o způsobu jejím vypořádání. Vyloučení VUP z dalšího rozhodování bude provedena na základě jeho posouzení z hlediska:

- a) Pravděpodobnosti výskytu
- b) Fyzikální relevanci pro daný koncept či lokalitu
- c) Důsledků VUP pro výsledky bezpečnostního rozboru.

B.9.6 Koncepční modely normálního vývoje úložiště

Pro normální scénář vývoje úložiště se předpokládá, že prvních 10 000 let nemůže dojít k uvolnění radionuklidů z UOS. Konzervativně odhadnutá průměrná životnost navržených UOS je $180\,000 \pm 33\,100$ let.



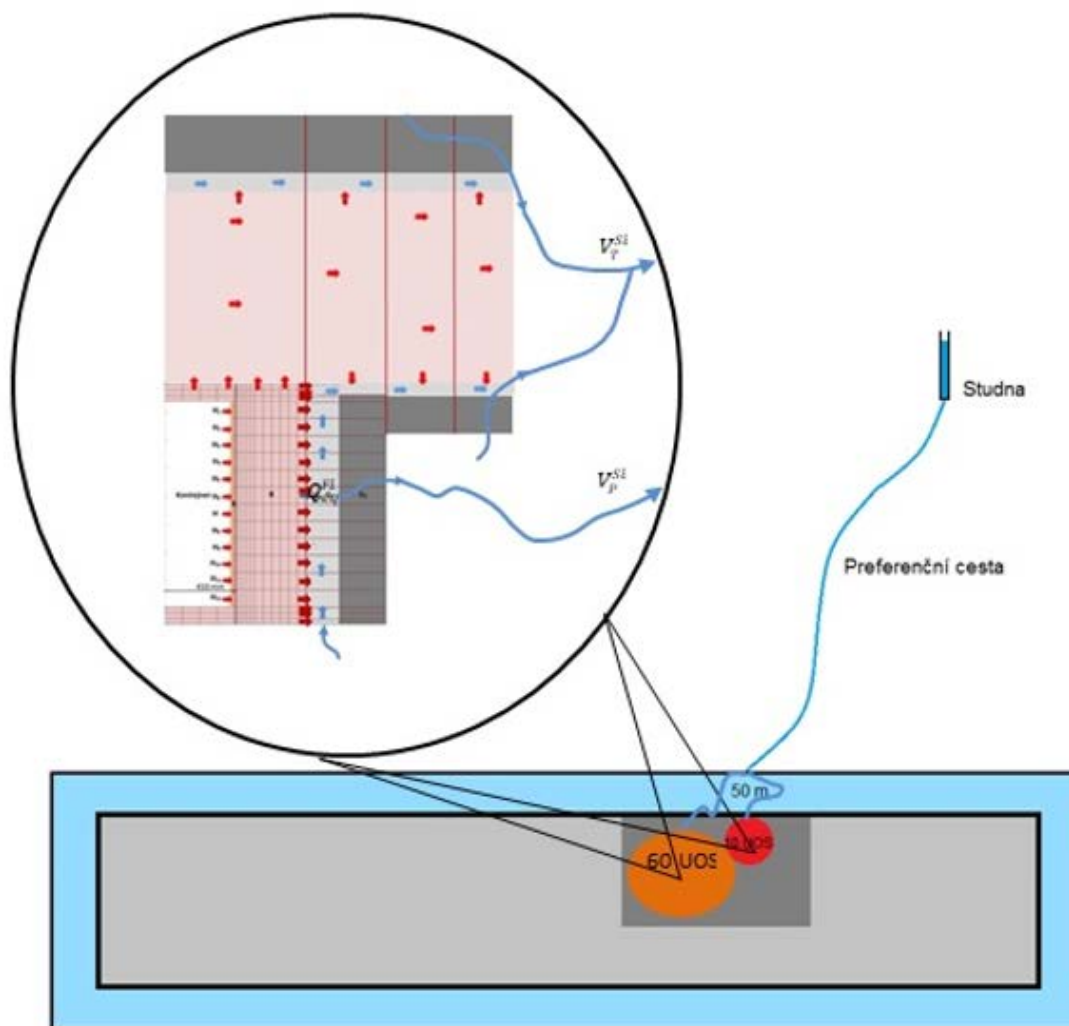
Obr. 29: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu

Předpokládáme, že rychlost selhávání jednotlivých UOS je postupná a může být popsána Weibullovým či Gaussovým rozdělením. Při průměrné životnosti 180 tisíc let a počtu UOS 7600 bude rychlost selhávání, tj. kontaktu VJP s vodou, jednotlivých UOS menší než 1 UOS za rok. Konzervativně však předpokládáme, že za jeden rok může být poškozeno 10 UOS. Okamžitě uvolnitelné radionuklidy budou okamžitě uvolněny z těchto 10 UOS do tlumícího materiálu. Ostatní radionuklidy, imobilizované v konstrukčních materiálech paliva a v matici paliva, se budou kongruentně uvolňovat podle jejich rychlosti degradace.

Jako referenční tlumící materiál je pro bezpečnostní výpočet navržen v tuzemsku dostupný bentonit odpovídající českým typům Ca, Mg typům bentonitu. Pro tlumící vrstvu obklopující UOS se předpokládá použití bentonitových prefabrikátů o objemové hmotnosti 1600 kg/m³.

Dále se uvažuje vertikální uložení jednotlivých UOS v úložišti, přičemž je požadováno, aby úložné prostory byly ve větší vzdálenosti než 100 m od zlomů 1. kategorie a 50 m od zlomů 2. kategorie a přes úložné vrtů nesmějí procházet zlomy 3. kategorie (délka 10 m až 1 km, kategorizace zlomu dle Andersona et al. 2000). Předpokládá se, že zlomy 3. budou v dostatečné vzdálenosti od úložných vrtů v závislosti na typu zlomu. Předpokládá se přítomnost menších puklin (délka menší než 10 m) v bezprostřední vzdálenosti uložených UOS. Radionuklidy po uvolnění z tlumícího materiálu přejdou do pukliny či puklin přecházejících přes úložný vrt a poté do puklinové sítě izolační části horninového prostředí a nakonec do zvodnělého zlomu 3. kategorie a dále do horninového prostředí s rychlým prouděním vody.

Pro bezpečnostní výpočty byla zvolena jedna transportní cesta pro 10 UOS s největším inventářem IRF ke zlomu ve vzdálenosti 50 m od úložných vrtů, přičemž přes zvolený zlom existuje nejkratší možná cesta ke studni (Obr. 30).



Obr. 30 Schéma transportní cesty od HÚ do životního prostředí

(včetně detailu řešení pole blízkých interakcí. Červená kruhová plocha v tmavě šedé oblasti reprezentuje skupinu 10 UOS u nichž dochází k okamžitému poškození pláště, a oranžová plocha druhou skupinu šedesáti UOS s postupným poškozováním pláště (1% z celkového počtu UOS))

Do této studně směřují radionuklidy z 10 poškozených UOS a poté úměrná část ostatních radionuklidů uvolňovaných kongruentně s degradací/rozpuštěním komponent palivových souborů (velikost této části musí odpovídat výsledkům hydraulického modelování v lokalitě). Kolem úložných vrtů se předpokládá výskyt EDZ.

Pro simulaci transportní cesty byly využity výsledky hydrogeologických modelů a 3D transportních modelů, konkrétně výsledky metod „particle tracking“. Při simulaci 50 m neporušené horninové matrice se bude předpokládat, že tato neporušená matrice je již zahrnuta ve výsledcích z 3D transportních modelů, tedy že sledované částice nebudou vypuštěny z menší vzdálenosti od vodonosných zlomů než 50 m.

Celkové hodnocení dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště prováděné v ÚJV Řež a.s. a ČVUT v Praze bylo vytvářeno v softwaru GoldSim vyvinutém firmou GoldSim Technology Group. Je to objektově-orientovaný počítačový program, s grafickým rozhraním, určený pro dynamické deterministické i pravděpodobnostní simulace. Program je vytvořen pro prostředí MS Windows. Tento SW umožňuje mj. modelování migrace kontaminantů (včetně radioaktivních). SW Goldsim obsahuje několik modulů, z nichž nejdůležitější je modul

„Radionuclide Transport“. Tento modul umožňuje modelování šíření kontaminantů, včetně radioaktivních v uživatelsky nadefinovaném prostředí, například horninovém nebo nějakém biotopu ap. Základní prvky, se kterými GoldSim pracuje, jsou objekty „Cell“, „Pipe“, „Source“ a „Network“. Dále je pak možné připojit uživatelsky vytvořenou komponentu, která je naprogramována v nějakém programovacím jazyku (např. C nebo Fortran) a je zkompileována do tvaru dll (dynamic link library) s přesně definovanými vstupy a výstupy volání funkcí. Tato možnost však v této práci nebyla nevyužita. Model je vytvářen pomocí komponent „Source“, „Cell“, „Pipe“ a „Network“. Tyto komponenty jsou na sebe modelově napojovány pomocí toků nosné kapaliny. V GoldSimu je předdefinována voda jako nosné médium, avšak je možné uživatelsky nadefinovat další tekutiny. Transport kontaminantů je modelován pomocí transportu nosné tekutiny advekcí nebo difúzí. Toky nosné tekutiny definuje uživatel při propojování jednotlivých komponent (vytváření modelu).

B.9.6.1.1 Model pole blízkých interakcí

Model blízkého pole reprezentuje vyhořelé palivo, uložené ve formě ukládacích obalových souborů (UOS), které jsou implementovány do úložných vrtů. Volné prostory mezi UOS a stěnou úložných vrtů budou vyplněny těsnícím (tlumícím) materiálem (bentonitem). Na úložné vrty v modelu navazují přístupové chodby, které budou vyplněné směsí bentonitu a horniny (výplňový materiál).

Model dále zahrnuje vrstvu horniny, která bezprostředně obklopuje vrty a chodby (na Obr. 30, v detailu zobrazující model pole blízkých interakcí, světle šedá vrstva s modrými šipkami reprezentujícími advektivní tok, v centrálním scénáři byla zvolena tloušťka této horniny rovna 20 cm); a izolační část horninového prostředí, která je reprezentována v modelu jako síť paralelních puklin (délky 10 m). Do modelu je zahrnutý předpoklad, že hornina, která obklopuje vrty a chodby, může být porušena během hloubení úložných prostor a prouděním zbytkového tepla vyhořelého paliva, čímž bude vytvořena preferenční cesta pro migraci radionuklidů do puklin v izolační vrstvě.

Mezi hlavní retenční a transportní procesy zohledněné v modelu blízkého pole patří:

- pomalá rychlost loužení matrice paliva;
- omezená rozpustnost ve volném objemu UOS a v pórové vodě bentonitu a horniny;
- difúze v bentonitu, která je u některých radionuklidů (zejména těch, u nichž převažuje kationická forma) zpomalena sorpcí;
- advekce v poškozené hornině a puklinách, která je zpomalena difúzí, provázenou sorpcí, do okolní horninové matrice.

Pro předložené výpočty byly na základě konzervativního přístupu uvažovány rozměry UOS a úložných vrtů pro palivo typu ETE a NJZ, které má vyšší aktivity radionuklidů. Geometrie průřezu přístupových chodeb byla zjednodušena. Je uvažován pravouhlý průřez, ačkoliv ve skutečnosti strop chodby bude mít zaoblený tvar. Advektivní tok vody je uvažován pouze v poškozené hornině v okolí vrtů a chodby a v puklinách, které mohou protínat vrt a přístupovou chodbu.

V centrálním scénáři je uvažováno, že úložný vrt bude v kontaktu s puklinou v polovině své výšky a chodba bude v kontaktu s puklinou ve vzdálenosti 3 m od úložného vrtu. Transportní cesta izolační částí horninového prostředí je v modelu reprezentována pomocí čtyř paralelních puklin bez výplňového materiálu. Pukliny jsou v modelu reprezentovány pomocí elementů Pipe, stejně jako v modelu geosféry v následující kapitole. Délky puklin byly v centrálním scénáři uvažovány 10 m. Ve výplňovém materiálu se neuvažuje advektivní tok,

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

pouze difúzní tok. Tyto podmínky definují v modelu blízkého pole preferenční cestu z UOS do geosfér (Tab. 26).

Tab. 26: Parametry puklin v izolační části horninového prostředí. Hodnoty se vztahují k jednomu UOS; plochy, smáčené obvody a toky se škálují během výpočtu podle aktuálního počtu poškozených UOS.

| První skupina UOS | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| Puklina protínající úložný vrt | | Puklina protínající EDZ | |
| Délka [m] | 10 | Délka [m] | 10 |
| Plocha [m ²] | $7,58 \cdot 10^{-5}$ | Plocha [m ²] | $7,58 \cdot 10^{-5}$ |
| Smáčený obvod [m] | 2 | Smáčený obvod [m] | 2 |
| Tok [m ³ /s] | $2,29 \cdot 10^{-8}$ | Tok [m ³ /s] | $2,29 \cdot 10^{-8}$ |
| Q_{eq}^{F1} [m ³ /s] | $2,52 \cdot 10^{-10}$ | | |
| Druhá skupina UOS | | | |
| Puklina protínající úložný vrt | | Puklina protínající EDZ | |
| Délka [m] | 10 | Délka [m] | 10 |
| Plocha [m ²] | $7,58 \cdot 10^{-5}$ | Plocha [m ²] | $7,58 \cdot 10^{-5}$ |
| Smáčený obvod [m] | 2 | Smáčený obvod [m] | 2 |
| Tok [m ³ /s] | $3,81 \cdot 10^{-9}$ | Tok [m ³ /s] | $3,81 \cdot 10^{-9}$ |
| Q_{eq}^{F1} [m ³ /s] | $1,03 \cdot 10^{-10}$ | | |

Poškození UOS povede k proniknutí vody do vnitřního objemu UOS. Model reprezentuje tento proces konzervativně jako okamžitý, ačkoliv ve skutečnosti tento proces bude probíhat postupně. V centrálním scénáři se dále předpokládá, že dojde k okamžitému selhání celého povrchu pláště UOS. Tento předpoklad je konzervativní, protože lze spíše předpokládat, že na počátku dojde k lokálnímu poškození pláště; malý otvor v plášti bude představovat daleko větší transportní rezistenci než celá plocha pláště (SKB 2010b, Vetešník et al. 2016). Po proniknutí vody dojde k pozvolnému loužení matrice paliva a tím ke kongruentnímu uvolňování radionuklidů, model předpokládá, že za jednotku času dojde k degradaci konstantní frakční rychlostí loužení matrice.

Protože by bylo velmi obtížné implementovat do GoldSim desítky samostatných podrobných modelů UOS, a navíc simulace transportu takovýmto modelem by byla výpočetně velmi náročná, model blízkého pole reprezentuje všechny UOS, jejichž preferenční cesta může vyústit do stejné transportní cesty do biosféry, pouze pomocí dvou elementů Source. To má za důsledek, že uvolňované množství radionuklidů z poškozeného UOS je rovnoměrně distribuováno v celém objemu elementu Source, který je škálován podle počtu poškozených UOS. Ve skutečnosti ovšem může být uvolněné množství radionuklidů koncentrováno ve zlomku tohoto objemu, kde by se mohl uplatnit jako retenční proces limit rozpustnosti k transportu dostupných radionuklidů ve volném objemu UOS. Tento přístup může tedy vést konzervativně k zanedbání retenční funkce omezené rozpustnosti. Na druhé straně může vést k podhodnocení rychlosti difúzního proudění, protože ta se řídí gradientem koncentrací.

První element Source popisuje skupinu deseti UOS, u kterých dojde k okamžitému poškození pláště za 10 000 roků. Druhý element Source modeluje postupné selhávání pouzder UOS, které je popsáno Gaussovým, a nebo Weibullovým pravděpodobnostním rozdělením. Tento počet byl stanoven jako 1% z 6 000 UOS směřujících do drenážní báze toku Bobrůvky. Současný koncept konstrukce ocelového UOS předpokládá, že jeden UOS

bude obsahovat sedm nerezových vnitřních pouzder. Protože model reprezentuje druhou skupinu UOS jako jeden element Source, tento fakt nebyl v modelu uvažován.

Tok z pole blízkých interakcí do geosféry (izolační část geosféry) je modelován pomocí čtyř diskretních puklin, každé skupině poškozených UOS náleží dvě pukliny. Jedna puklina reprezentuje puklinu protínající úložný vrt, druhá puklina protíná přístupovou chodbu. Objemový tok v těchto puklinách je vypočítán rozdělením celkového objemového toku z pole blízkých interakcí do geosféry, který byl získán na základě hydraulických a transportních modelů. Tok do pukliny protínající úložný vrt je určen pomocí ekvivalentní rychlosti průtoku, která charakterizuje stacionární difúzní tok z bentonitu do proudící vody v puklině s nulovou koncentrací radionuklidu, což je také konzervativní předpoklad. V případě pukliny protínající přístupovou chodbu je vstupní objemová rychlost stejná jako objemová rychlost toku v porušené hornině v okolí přístupové chodby.

V případě centrálního scénáře byl jako výchozí údaj pro výpočet toků v puklinách blízkého pole považován celkový objemový tok vody z pole blízkých interakcí do geosféry $V_{cel} [m^3/s] = 9,14 \cdot 10^{-7} [m^3/s]$. Tento tok odpovídá toku modelovým blokem na úrovni úložného prostoru o objemu $50 \times 50 \times 50 m^3$, který protíná puklina s rozměry $50 \times 50 m$ při rozevření $\delta = 7,58 \cdot 10^{-5} m$. Pro simulaci puklin v bezprostředním okolí jsme zvolili stejnou hodnotu rozevření; pro DFN model se δ vypočítá pomocí kubického zákona jako:

$$\delta = [K_{CPM} B_{CPM} \mu / (\rho g)]^{1/3},$$

kde K_{CPM} je hydraulická vodivost, B_{CPM} je mocnost modelové buňky (50 m), μ je dynamická viskozita vody ($\mu = 1 \cdot 10^{-3} [kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}]$), ρ je hustota vody ($\rho = 997 [kg \cdot m^{-3}]$) a g je gravitační zrychlení ($g = 9,81 [m \cdot s^{-2}]$).

Díky mocninné závislosti se mění δ v intervalu $2 \cdot 10^{-5} \div 8 \cdot 10^{-5} m$ pro K_{CPM} z intervalu $1 \cdot 10^{-10} \div 1 \cdot 10^{-8} m \cdot s^{-1}$. Zvolené δ odpovídá hydraulické vodivosti $\sim 1 \cdot 10^{-8} m \cdot s^{-1}$.

V_{cel} byl rozdělen na dvě části, $V^{G1,2}$, každá náležející jedné skupině poškozených UOS, tj. $V_{cel} = V^{G1} + V^{G2}$. V centrálním scénáři jsme uvažovali rozdělení toků na dvě stejné části, tj. $V^{G1} = V^{G2} = V_{cel}/2$, ikdyž každá ze skupin vzhledem k rozdílnému počtu UOS bude zabírat řádově rozdílný objem. Tato úvaha je konzervativní, protože lze předpokládat větší tok u druhé skupiny o větším počtu UOS.

V centrálním scénáři první skupina poškozených kontejnerů reprezentuje deset UOS, N_1 , které selžou okamžitě v čase $T_f = 1 \cdot 10^4 [a]$, druhá skupina šedesáti kontejnerů, N_2 , (1% z celkového počtu 6000 UOS směřujících do uvažované drenážní báze Bobruvky (do drenážní báze Bobruvky směřuje 80% z celkového počtu UOS 7600. Tato skupina bude selhávat postupně, podle zprava ohraničeného Gaussova rozdělení se střední hodnotou ($1,57 \cdot 10^5$ roků) a rozptylem ($1,65 \cdot 10^4$ roků). Celkový objemový tok v každé z těchto skupin se rozdělí podle počtu UOS na dílčí toky, $V^{S1,2}$, okolo jednotlivých UOS jako:

$$V^{S1,2} = V_{cel} / (2N_{1,2}).$$

$V^{S1,2}$ se dále, pro každý UOS, rozdělí na objemový tok puklinou obtékající úložný vrt, $V_P^{S1,2}$, a puklinou protínající alternovanou zónu horniny v okolí vrtů a přístupových chodeb, $V_T^{S1,2}$, tj.:

$$V^{S1,2} = V_P^{S1,2} + V_T^{S1,2}.$$

V centrálním případě jsme uvažovali stejné objemové rychlosti v obou puklinách, tj.:

$$V_P^{S1,2} = V_T^{S1,2} = \frac{V^{S1,2}}{2} = V_{cel} / (4N_{1,2}).$$

Ekvivalentní rychlost průtoku z bentonitové výplně do proudící vody v puklině protínající úložný vrt byla vypočítána jako:

$$Q_{eq}^{F1,2} = 4.51\delta\sqrt{D_w r_h u_{1,2}},$$

kde apertura pukliny, δ , byla uvažována rovna $7,58 \cdot 10^{-5}$ [m] a difúzní koeficient ve vodě jako $D_w = 2 \cdot 10^{-9}$ [m²/s], poloměr úložného vrtu $r_h = 0.9$ [m], a rychlost proudění vody:

$$u_{1,2} = \frac{V_P^{S1,2}}{\delta W} = \frac{V_{cel}}{4\delta W N_{1,2}},$$

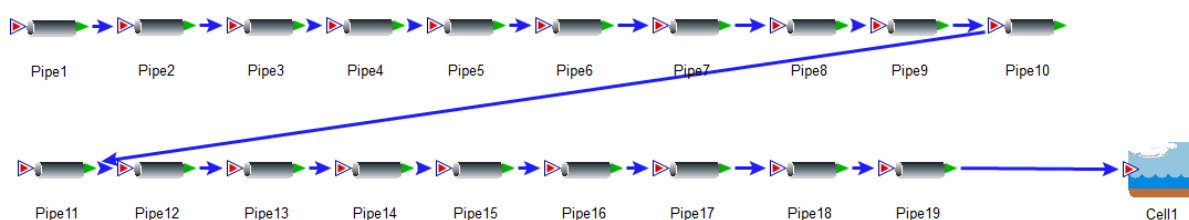
kde W je šířka pukliny rovna 1 [m].

Pro tyto hodnoty parametrů vychází $Q_{eq}^{F1} = 2,52 \cdot 10^{-10}$ [m³/s] a $Q_{eq}^{F2} = 1,03 \cdot 10^{-10}$ [m³/s]. Adektivní tok podél ukládací chodby byl konzervativně uvažován roven celkovému objemovému toku v puklině, pro první případ $V_T^{S1} = 2,29 \cdot 10^{-8}$ [m³/s] a v druhém případě $V_T^{S2} = 3,81 \cdot 10^{-9}$ [m³/s].

Škálování objemových rychlostí v puklinách podle počtu poškozených UOS vede k zmenšení toků v puklinách původního modelového bloku, pokud V_{cel} je vztažen k většímu objemu, než byl V_{cel} odvozen. V_{cel} by mohl reprezentovat proudění v puklinách pro větší objem, pokud by voda v puklinách obtékala postupně jednotlivé UOS. Při obtékání bude docházet k postupnému nárůstu koncentrace v proudící vodě v puklinách, což bude mít za následek pokles toku z bentonitové vrstvy do proudící vody. Proto se domníváme se, že pokud nepřeroste počet UOS uvažovaných v každém zdroji výrazně počet UOS, které lze umístit do objemu $50 \times 50 \times 50$ m³, námi zvolené škálování nevnáší do výpočtu zásadní chybu. V rámci citlivostní analýzy bude navržena a provedena studie pro ověření tohoto předpokladu.

B.9.6.1.2 Model pole vzdálených interakcí

Způsob výběru hlavní transportní cesty je podrobně popsán ve zprávě Trpkošové et al. (2016). Ve stručnosti je transportní cesta v 1D modelu rozdělena do 19 částí (mezi 20 modelovými pozorovacími body), které jsou v modelu vytvořeném v programovém prostředí GoldSim reprezentovány prvky typu „Pipe“ (viz Obr. 31).



Obr. 31 Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim

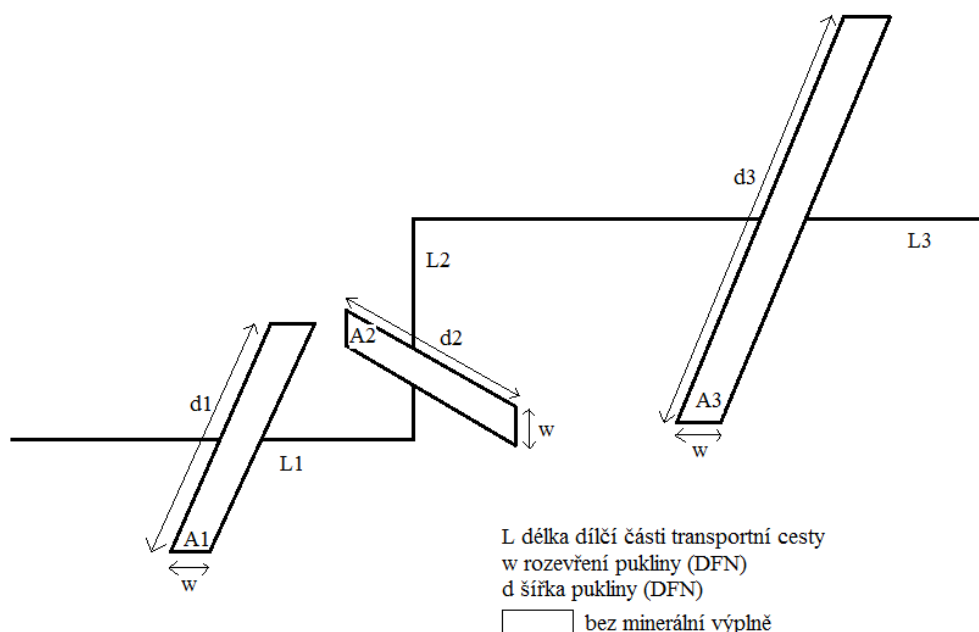
Každá část se liší transportními vlastnostmi a odpovídá vzdálenosti mezi pozorovacími body, ležících v jednotlivých modelových vrstvách v 3D transportním modelu či na jiném klíčovém rozhraní v 3D transportním modelu. Rozdělení do 19 částí bylo zvoleno z důvodu využitelnosti modelu vzdáleného pole na všech kandidátních lokalitách. Jednotlivé lokality nebo i transportní cesty charakterizující dílčí transportní směr na jedné lokalitě se mohou vzájemně lišit délkou transportní cesty, tudíž nemusí být využito všech 19 částí transportní cesty. Nadbytečným částem je předepisována minimální délka a transportní parametry

shodné s parametry předepsané poslední části, která byla určena 3D transportním modelem tak, aby nedocházelo k nadhodnocení významu transportní cesty.

Transportní cesta je v modelu GoldSim charakterizována následujícími veličinami (Obr. 32):

1. Délka dílčí části transportní cesty L – výsledek metody particle tracking
2. Průtok dílčí částí Q – výsledek kalibrace (viz. rovnice (B.1))
3. Průtočná plocha dílčí části A – výsledek výpočtu (rovnice (B.4) po kalibraci průtoku úložištěm
4. Smočený obvod P – vypočítáván z průtočné plochy a zvoleného tvaru průtočné oblasti, předpokládá se transport radionuklidů jednou puklinou o obdélníkovém průřezu, smočený obvod je počítán jako $2 \times d_i$ (šířka pukliny)
5. Výplňový materiál – předpokládá se transport volnou puklinou bez výplňového materiálu
6. Mocnost zóny pro difúzi do horninové matrice – předpokládá se neomezená mocnost této zóny

Transportní vlastnosti každé části transportní cesty jsou pak kalibrovány na základě vývoje koncentrací 3D transportního modelu v pozorovacích bodech (odpovídají uzlům s maximální koncentrací v dané modelové vrstvě). Pro kalibraci transportních parametrů byla použita data zahrnující transport advekce a disperzí, neboť v 3D transportních modelech je vliv difúze do horninové matrice minoritní a její vliv je překryt vlivem disperze. Zdroj kontaminantu byl v 3D transportním modelu kontinuální. Radioaktivní rozpad a limit rozpustnosti nebyly uvažovány. V komplexním deterministickém výpočtu v GoldSim jsou však tyto jevy již uvažovány.



Obr. 32 Schéma DFN konceptu

(Na obrázku jsou uvedeny 3 části transportní cesty spolu s jejich příslušnými charakteristikami; směr částí transportní cesty je schematizován, v 1D transportním modelu odpovídá směrům z 3D transportního modelu, jednotlivé části transportní cesty nemusí být na sebe kolmé. L_i – délka dílčí části transportní cesty); A_i – průtočná plocha dílčí části transportní cesty, w rozevření pukliny, d šířka pukliny.)

Pro kalibraci parametrů dílčích částí transportní cesty je nutné znát následující údaje:

1. Délka dílčí části transportní cesty
2. Maximální koncentrace v pozorovacích bodech příslušejících dílčí části transportní cesty
3. Průnikové křivky v pozorovacích bodech příslušejících dílčí části transportní cesty
4. Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou odpovídající jednotlivým pozorovacím bodům podél transportní cesty
5. Porozitu v daném pozorovacím bodě

Jako kalibrační kritérium byla zvolena shoda v hodnotě maximální koncentrace v jednotlivých pozorovacích bodech. Důraz na shodu v maximální koncentraci byl zvolen s ohledem na shodu ve výsledné aktivitě radionuklidů (a tedy vypočítané maximální roční efektivní dávce).

Výsledkem kalibrace 1D transportního modelu je pak průtok úložištěm, přičemž průtok jednotlivými částmi transportní cesty při simulaci transportu advekcí + disperzí (danou podstatou EPM přístupu) je dán vztahem:

$$Q_i = \frac{c_0 \cdot Q_0}{c_i}, \quad (\text{B.1})$$

kde Q_0 je průtok úložištěm [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], c_0 je koncentrace v prvním pozorovacím bodě [$\text{mol} \cdot \text{kg}^{-3}$] a c_i je koncentrace v i -tém pozorovacím bodě [$\text{mol} \cdot \text{kg}^{-3}$].

Ostatní transportní parametry jsou dopočítávány podle následujících vztahů. Vedle určení průtoků jednotlivými částmi transportní cesty je velmi důležité určení průtočné plochy každé dílčí části transportní cesty. Průtočná plocha má zásadní vliv na difúzi do horninové matrice a sorpci.

Dle manuálu GoldSimu (GoldSim 2014) je průtočná plocha dána vztahem:

$$A_i = \frac{t_{\Delta i} \cdot Q_i}{l_i \cdot n_i}, \quad (\text{B.2})$$

kde $t_{\Delta i}$ je délka časového i -tého intervalu [s], Q_i je průtok i -tou „trubicí“ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], l_i je délka i -té „trubice“ [m] a n_i je pórovitost i -té „trubice“ [-], přičemž platí, že:

$$t_{\Delta i} = t_i - t_{i-1}, \quad (\text{B.3})$$

kde t_i čas odpovídající inflexnímu bodu i -té průnikové křivky [s] a t_{i-1} je čas odpovídající inflexnímu bodu $i-1$ -té průnikové křivky [s].

Problémem použití tohoto vztahu (rovnice (B.2)) je neznalost porozity dílčích částí transportní cesty. Porozita použitá v EPM modelech je fiktivní pórovitost, která je odvozena tak, aby vypočtená advektivní rychlost proudění podzemní vody odpovídala zjištěným stářím vody na sledované lokalitě. Reálná pórovitost, která se snaží vystihnout poměr objemu puklin k objemu zkoumaného horninového masivu (označuje se jako kinematická pórovitost), je řádově nižší než porozita dodaná jako výstup EPM modelů a není výstupem 3D transportních modelů.

Jako druhý způsob výpočtu průtočné plochy byl po dohodě se zadavatelem zvolen výpočet založený na znalosti průtočné plochy první části transportní cesty, na výpočtu kalibrovaného průtoku první částí transportní cesty (odpovídá vlastnímu úložišti), odhadu kinematické porozity a na předpokladu, že průtočná plocha v dalších částech transportní plochy roste

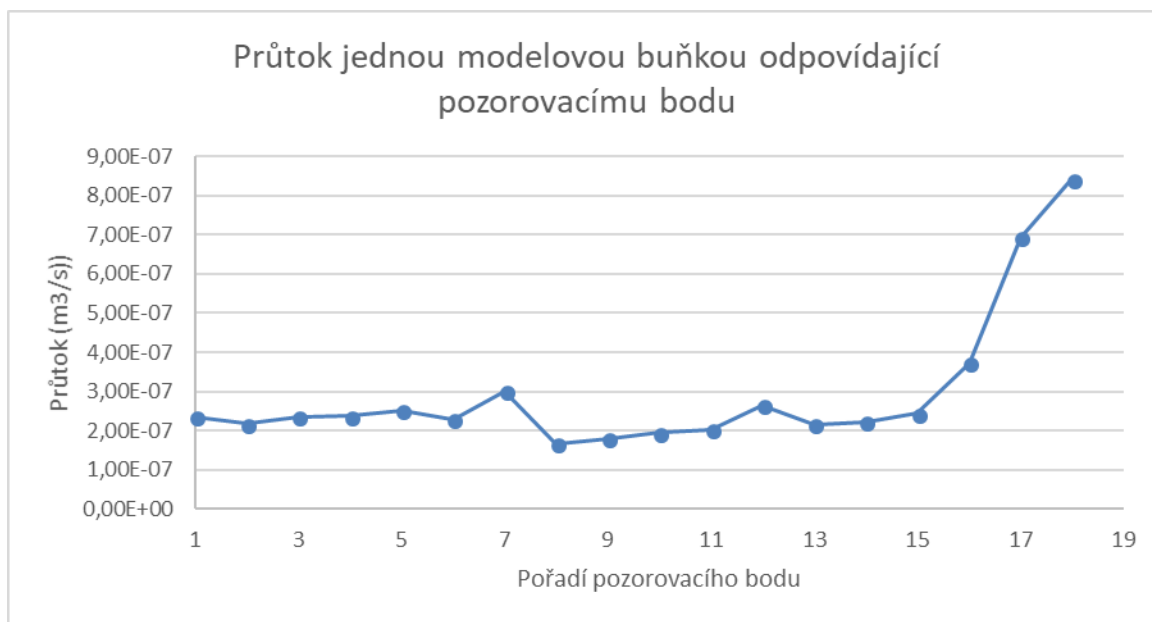
přímo úměrně s průtokem danou částí transportní cesty. Vedle zmíněných předpokladů se dále uvažuje, že průtok podél transportní cesty narůstá jednak díky disperzi danou strukturou horninového prostředí a jednak díky změně hydraulických vlastností horninového prostředí. Pro výpočet průtočné plochy byly převzaty literární hodnoty kinematické porozity, přičemž se uvažuje hodnota 1×10^{-5} v úrovni úložiště a její lineární nárůst na hodnotu 1×10^{-4} v úrovni rozhraní geosféra/biosféra (Hjerpe et al. 2010).

Průtočná plocha jednotlivých částí transportní cesty je dána vztahem:

$$A_i = \frac{A_0 \cdot Q_i}{Q_0} \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{q_0}{q_i}, \quad (\text{B.4})$$

kde A_0 je plocha čtyř modelových buněk představující průtočnou plochu úložiště, Q_0 je průtok úložištěm, Q_i je průtok i -tou částí transportní cesty, ε_i je kinematická porozita i -té části transportní cesty, q_0 je průtok jednou modelovou buňkou první části transportní cesty (vlastní úložiště) a q_i je průtok modelovou buňkou, které náleží i -tý pozorovací bod. Při uvažování konstantní plochy modelové buňky (25 m x 25 m) poměr q_0/q_i značí změnu rychlosti podél transportní cesty.

Z Obr. 33 je patrné, že veškerý nárůst celkového průtoku modelovou vrstvou nelze přiřadit vlivu disperze kontaminantu do plochy, ale že část nárůstu průtoku je dána také díky změně rychlosti proudění podél transportní cesty.



Obr. 33 Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V 1D transportním modelu jsou v následných výpočtech (deterministické a stochastické) uvažovány tyto procesy:

1. Advekce
2. Disperze
3. Sorpce
4. Difúze do horninové matrice
5. Radioaktivní rozpad včetně vzniku přeměnových produktů

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Při kalibraci parametrů 1D transportního modelu bylo snahou docílit maximální shody v maximální koncentraci dosažené v pozorovacím bodě odpovídajícím příslušné části transportní cesty. Z výše popsaného důvodu odklonění se od výpočtu průtočné lochy dle rovnice (B.2) nebyl kladen důraz na shodu v inflexním bodě, předpokládá se rychlejší proudění díky rozdílům mezi kinematickou porozitou a porozitou dodanou 3D transportním EPM modelem.

Při definování koncepčního modelu je brána v potaz řada zjednodušení, která jsou do koncepčního modelu vnášena. Například reálná puklinová síť je simulována jako jedna široká puklina (velká hodnota d) dle Obr. 32 s konstantním rozevřením. V reálných podmínkách se rozevření puklin plynule i skokově (v místech protnutí) mění; v rámci puklin se ve vazbě na rozevření a výplň vytváří průtočné kanály. I velmi konektivní pukliny mohou být s okolním hydraulicky aktivním systémem propojeny puklinami s velmi malou konektivitou. Teprve takováto komplexní stavba puklinové sítě DFN modelu umožňuje alespoň se přiblížit pozorovaným parametrům průtoku (viz přítoky do důlních děl a současně stáří podzemní vody, které dosahuje minimálně tisíce let). Z toho je patrné, proč popis celé transportní cesty jedinou puklinou vede k extrémnímu zkrácení doby průniku radionuklidů do biosféry. Současně je patrné, že tok radionuklidů bude podél hlavní transportní cesty reálně ředěn do dalších "odbočných" větví.

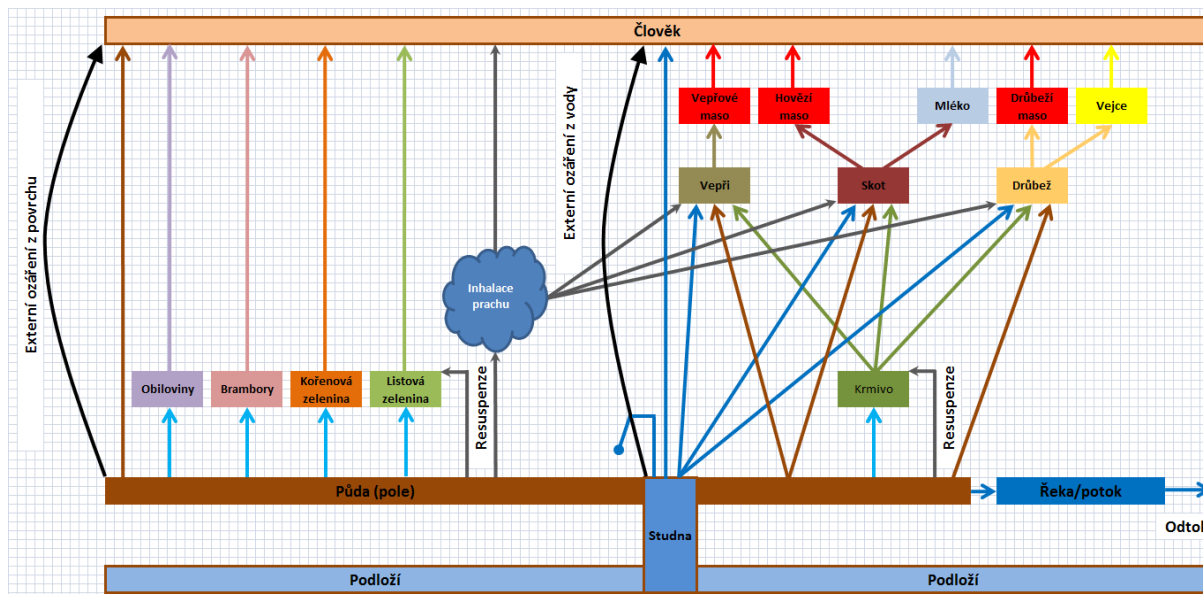
B.9.6.1.3 Model biosféry

Model biosféry pro lokalitu Kraví hora odpovídá modelu referenční biosféry typu zemědělská studna ERB2A dle projektu IAEA BIOMASS-6 (IAEA 2003a), což je v souladu se zvoleným centrálním scénářem vývoje hlubinného úložiště, tj. transportu uvolněných radionuklidů z úložiště preferenční cestou ke studni vybudované ve zvodni a využívané místní komunitou jako zdroj pro pokrytí veškerých potřeb včetně zavlažování zemědělské půdy a napájení hospodářských zvířat. Tato studna představuje rozhraní geosféra/biosféra ("the geosphere-biosphere interface"). Voda ve studni má stejnou koncentraci radionuklidů jako podzemní voda vycházející z geosféry, za předpokladu, že přítok kontaminované podzemní vody je vyšší než potřeba vody pro lidskou komunitu. Pokud je spotřeba vody komunitou pro pití, napájení hospodářských zvířat a zavlažování zemědělské půdy vyšší než přítok kontaminované vody, uvažuje se, že zbylé potřebné množství vody čerpané ze zvodně není kontaminováno.

Vývoj modelu byl prováděn podle Route map s využitím metodiky popsané v projektu IAEA BIOMASS-6 (IAEA 2003a). Biosférický model a postup jeho vývoje je popsán ve zprávě Husťáková (2018).

Vývoj modelu byl prováděn podle Route map s využitím metodiky popsané v projektu IAEA BIOMASS-6 (IAEA 2003a). Biosférický model a postup jeho vývoje je popsán ve zprávě Husťáková (2018).

Schematicky je koncepční model transportu radionuklidů v biosféře a cesty ozáření reprezentativní osoby znázorněn na Obr. 34.



Obr. 34: Koncepční model výpočtu dávek na reprezentativní osobu z uvažovaných cest ozáření

Hydraulická data vycházejí ze simulačních výpočtů provedených hydraulickými modely. Pro referenční výpočet se uvažuje vzdálenost 10 m mezi úložnými vrty a 30 m mezi úložnými chodbami. Dále se předpokládá, že přes 20 % úložných vrtů nebude procházet žádná puklina, tj. při výpočtu toku radionuklidů do drenážních míst SÚRAO navrhuje uvažovat pouze 6 080 UOS s VJP. Kolem úložných vrtů se předpokládá výskyt EDZ.

B.9.6.2 Hodnocení kritičnosti

Téma kontroly kritičnosti úložiště bylo řešeno v rámci projektu MPO TIP (Kyncl 2011, Marková 2011). Práce týkající se tohoto tématu se soustředily na:

- přímou souvislost s jadernou legislativou,
- na určité orientační výpočty (např. analýza podkritičnosti prvního návrhu českých úložných kontejnerů (Superkontejner ŠKODA) pro vyhořelé palivo z VVER-440 a orientačně i pro VVER-1000 (Kyncl, 2011, Marková 2011), týkající se typických úloh posouzení kritičnosti, které bude nutné dokumentovat při budoucím licencování úložiště.

Co se týče tematiky legislativy, hlavním poznatkem je dosavadní neexistence české specifické legislativy (ani návrhu anebo alespoň odborné – nejen úřednické – diskuse o jejím obsahu) pro oblast hlubinného ukládání vyhořelého paliva a vysoce aktivních zbytků se již stává překážkou prací jak na technickém návrhu úložného kontejneru, tak i pro stanovení základního přístupu k hodnocení a kontroly kritičnosti úložiště. Za této situace je sice prozatím možné držet se ve výzkumu a vývoji úložiště existující zahraniční legislativy (např. USA, nově i Německo), použití některých nových přístupů, které je již potřebné aplikovat dnes (např. pro vývoj designu úložných kontejnerů implementaci kreditu vyhoření paliva (BUC)) zůstává však stále dosud nedořešeným tématem rozpracování české legislativy.

Další řešenou otázkou bylo provedení řady orientačních výpočtů, které z hlediska kritičnosti studovaly vybrané možné stavy několika zjednodušených modelů úložiště v dlouhodobém časovém horizontu. Vyplývá z nich, že kritičnost v úložišti není pro některé modely zcela vyloučena. Pro posouzení takových výsledků je však zásadně nutné vědět, jak k hodnocení stavu kritičnosti v době po uzavření úložiště přistupovat (zde je souvislost s legislativou) a

současně umět odhadnout, jakou mají dané modelované stavy pravděpodobnost výskytu i zda, resp. do jaké míry, zvolené modely popisují z daného hlediska v dlouhodobém časovém intervalu realitu úložiště. Taková zjištění plynou ze znalostí scénářů mobility a akumulace jednotlivých izotopů, které je třeba do pro účely těchto studií do procesu hodnocení zapojit. Vývoj úložiště však probíhá tematicky paralelně a tyto souvislosti budou jistě řešeny v některém z dalších projektů.

B.9.7 Vstupní data do modelů

B.9.7.1 Inventář radionuklidů

Výpočty provedené v této zprávě byly zaměřeny pouze pro úložiště vyhořelého jaderného paliva, protože příspěvek pro hodnocení odpadů z vyřazování JE a institucionálních odpadů je ve srovnání z nebezpečností VJP velmi malý.

Inventář radionuklidů byl vypracován pro následující varianty PS, které podle současných informací představují PS s největším inventářem radionuklidů:

- VVER-440 Gd-2M+ s průměrným obohacením 4,38 % a vyhořením 60 MWd/kg_{HM}
- VVER-1000 TVSAT s průměrným obohacením 4,60 % a vyhořením 60 MWd/kg_{HM}
- NJZ s průměrným obohacením 4,50 % a vyhořením 70 MWd/kg_{HM}

a jejich umístění v UOS. Počet PS v UOS je dán jejich typem - 7 pro VVER-440, 3 pro VVER-1000, 3 pro NJZ. Použitá hmotnost pro jednotlivé PS je 136 kg_{HM} pro VVER-440, 464 kg_{HM} pro VVER-1000 a 490³ kg_{HM} pro NJZ. Aktivita vybraných radionuklidů uvažovaných ve výpočtech je uvedena v Tab. 27.

Tab. 27: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech

| Nuklid | Aktivita [Bq/PS] | | |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | NJZ | VVER-1000 | VVER-440 |
| ¹⁰ Be | 1,199.10 ⁺⁰⁵ | 6,692.10 ⁺⁰⁴ | 2,365.10 ⁺⁰⁴ |
| ¹⁴ C | 2,540.10 ⁺¹⁰ | 1,990.10 ⁺¹⁰ | 6,272.10 ⁺⁰⁹ |
| ³⁶ Cl | 4,435.10 ⁺⁰⁸ | 3,501.10 ⁺⁰⁸ | 1,040.10 ⁺⁰⁸ |
| ⁴¹ Ca | 1,034.10 ⁺⁰⁸ | 1,261.10 ⁺⁰⁸ | 3,857.10 ⁺⁰⁷ |
| ⁵⁹ Ni | 1,029.10 ⁺⁰⁹ | 1,128.10 ⁺⁰⁹ | 3,337.10 ⁺⁰⁸ |
| ⁶⁰ Co | 2,763.10 ⁺⁰⁷ | 2,259.10 ⁺⁰⁷ | 6,425.10 ⁺⁰⁶ |
| ⁶³ Ni | 1,156.10 ⁺¹¹ | 1,222.10 ⁺¹¹ | 3,675.10 ⁺¹⁰ |
| ⁷⁹ Se | 2,480.10 ⁺⁰⁹ | 2,092.10 ⁺⁰⁹ | 6,116.10 ⁺⁰⁸ |
| ⁹⁰ Sr | 5,100.10 ⁺¹⁴ | 4,416.10 ⁺¹⁴ | 1,248.10 ⁺¹⁴ |
| ⁹³ Zr | 6,891.10 ⁺¹⁰ | 5,986.10 ⁺¹⁰ | 1,751.10 ⁺¹⁰ |
| ⁹⁴ Nb | 2,295.10 ⁺¹¹ | 2,816.10 ⁺¹¹ | 1,100.10 ⁺¹¹ |
| ⁹⁹ Tc | 4,661.10 ⁺¹¹ | 3,937.10 ⁺¹¹ | 1,142.10 ⁺¹¹ |

³ Hodnota 490 kg_{HM} vychází z daných rozměrů a hustoty paliva. Oficiální informace o hmotnostech ukazují na hodnotu kolem 470 kg_{HM}.

| Nuklid | Aktivita [Bq/PS] | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | NJZ | VVER-1000 | VVER-440 |
| ¹⁰⁷ Pd | 5,232.10 ⁺⁰⁹ | 3,888.10 ⁺⁰⁹ | 1,179.10 ⁺⁰⁹ |
| ^{108m} Ag | 4,562.10 ⁺⁰⁸ | 2,750.10 ⁺⁰⁸ | 8,770.10 ⁺⁰⁷ |
| ¹²⁶ Sn | 1,072.10 ⁺¹⁰ | 8,272.10 ⁺⁰⁹ | 2,500.10 ⁺⁰⁹ |
| ¹²⁹ I | 1,081.10 ⁺⁰⁹ | 9,039.10 ⁺⁰⁸ | 2,719.10 ⁺⁰⁸ |
| ¹³⁵ Cs | 1,773.10 ⁺¹⁰ | 1,492.10 ⁺¹⁰ | 5,133.10 ⁺⁰⁹ |
| ¹³⁷ Cs | 8,776.10 ⁺¹⁴ | 7,176.10 ⁺¹⁴ | 2,078.10 ⁺¹⁴ |
| ¹⁵¹ Sm | 5,586.10 ⁺¹² | 4,860.10 ⁺¹² | 1,482.10 ⁺¹² |
| ^{166m} Ho | 1,992.10 ⁺⁰⁷ | 4,122.10 ⁺⁰⁷ | 1,543.10 ⁺⁰⁷ |
| ²¹⁰ Po | 1,098.10 ⁺⁰⁵ | 1,061.10 ⁺⁰⁵ | 3,113.10 ⁺⁰⁴ |
| ²¹⁰ Pb | 1,098.10 ⁺⁰⁵ | 1,061.10 ⁺⁰⁵ | 3,112.10 ⁺⁰⁴ |
| ²²⁶ Ra | 2,630.10 ⁺⁰⁵ | 2,488.10 ⁺⁰⁵ | 7,299.10 ⁺⁰⁴ |
| ²²⁹ Th | 4,600.10 ⁺⁰⁴ | 3,006.10 ⁺⁰⁴ | 1,210.10 ⁺⁰⁴ |
| ²³⁰ Th | 2,167.10 ⁺⁰⁷ | 1,953.10 ⁺⁰⁷ | 5,783.10 ⁺⁰⁶ |
| ²³¹ Pa | 1,006.10 ⁺⁰⁶ | 1,068.10 ⁺⁰⁶ | 3,625.10 ⁺⁰⁵ |
| ²³² Th | 3,984.10 ⁺⁰¹ | 3,731.10 ⁺⁰¹ | 1,065.10 ⁺⁰¹ |
| ²³³ U | 4,762.10 ⁺⁰⁶ | 4,033.10 ⁺⁰⁶ | 1,207.10 ⁺⁰⁶ |
| ²³⁴ U | 5,129.10 ⁺¹⁰ | 4,253.10 ⁺¹⁰ | 1,294.10 ⁺¹⁰ |
| ²³⁵ U | 1,764.10 ⁺⁰⁸ | 2,583.10 ⁺⁰⁸ | 7,156.10 ⁺⁰⁷ |
| ²³⁶ U | 7,667.10 ⁺⁰⁹ | 7,321.10 ⁺⁰⁹ | 2,076.10 ⁺⁰⁹ |
| ²³⁷ Np | 1,522.10 ⁺¹⁰ | 1,266.10 ⁺¹⁰ | 3,786.10 ⁺⁰⁹ |
| ²³⁸ Pu | 1,454.10 ⁺¹⁴ | 9,891.10 ⁺¹³ | 3,286.10 ⁺¹³ |
| ²³⁸ U | 5,497.10 ⁺⁰⁹ | 5,247.10 ⁺⁰⁹ | 1,545.10 ⁺⁰⁹ |
| ²³⁹ Pu | 7,829.10 ⁺¹² | 7,337.10 ⁺¹² | 2,340.10 ⁺¹² |
| ²⁴⁰ Pu | 1,540.10 ⁺¹³ | 1,295.10 ⁺¹³ | 3,974.10 ⁺¹² |
| ²⁴¹ Am | 1,339.10 ⁺¹⁴ | 1,172.10 ⁺¹⁴ | 3,598.10 ⁺¹³ |
| ²⁴¹ Pu | 1,887.10 ⁺¹⁴ | 1,650.10 ⁺¹⁴ | 5,017.10 ⁺¹³ |
| ²⁴² Pu | 1,128.10 ⁺¹¹ | 8,135.10 ⁺¹⁰ | 2,372.10 ⁺¹⁰ |
| ^{242m} Am | 2,076.10 ⁺¹¹ | 1,788.10 ⁺¹¹ | 7,232.10 ⁺¹⁰ |
| ²⁴³ Am | 1,623.10 ⁺¹² | 1,045.10 ⁺¹² | 3,192.10 ⁺¹¹ |
| ²⁴⁴ Cm | 3,932.10 ⁺¹³ | 2,033.10 ⁺¹³ | 6,778.10 ⁺¹² |
| ²⁴⁵ Cm | 1,004.10 ⁺¹¹ | 4,547.10 ⁺¹⁰ | 1,676.10 ⁺¹⁰ |
| ²⁴⁶ Cm | 2,983.10 ⁺¹⁰ | 1,039.10 ⁺¹⁰ | 4,036.10 ⁺⁰⁹ |

B.9.7.2 Integrita obalových souborů

Současné technické řešení ukládacího obalového souboru je založené na ocelovém vnějším obalu a vnitřních pouzdrech z korozivzdorné oceli. Pro palivové kazety z EDU obsahuje UOS sedm vnitřních pouzder z korozivzdorné oceli a pro palivové kazety z ETE tři vnitřní pouzdra. Odhad životnosti ukládacího obalového souboru vychází jednak z experimentálních dat, která byla doposud změřena v rámci výzkumu materiálů UOS a dále také z odborných publikací. To se týká hlavně korozní rychlosti korozivzdorné oceli, která byla zatím v rámci českého výzkumu pod mezí stanovitelnosti použitými metodami v podmínkách simulujících předpokládané podmínky v hlubinném úložišti.

Jakékoliv odhady životnosti budou zatíženy nejistotou, vyplývající z nepoměrně menšího času experimentů vůči požadovaným životnostem. Při správném způsobu extrapolace dat, který bude založen na trendu vývoje korozní rychlosti v čase lze důvodně předpokládat, že odhady životnosti budou spíše konzervativní vůči reálnému stavu a skutečné životnosti UOS budou větší.

S tím souvisí i požadavek na minimální životnost UOS, podle něhož bude prováděno dimenzování UOS. Výsledná tloušťka materiálů bude pak brána pro výpočet odhadu životnosti UOS. Požadavek minimální životnosti UOS by měl vycházet z bezpečnostních rozborů, aby zbytečně nedocházelo k předdimenzování UOS bez vlivu na celkovou bezpečnost HÚ.

Odhadovaná životnost ukládacího obalového souboru navrženého v rámci projektu *Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru do stádia realizace vzorku* při vnějším zatížení 20 MPa je 180 000 let (Kotnour et al. 2017). Tento odhad vychází jednak z experimentálních dat, která byla získána ve zmíněném projektu, ale i v dalších projektech zabývajících se výzkumem materiálů UOS např. Černík et al. (2017), Dobrev et al. (2017a, b). Dále pak ze zahraničních prací týkajících se koroze korozivzdorné oceli v podmínkách HÚ (např. Kursten et al. 2004, King 2009).

Odhad životnosti vnějšího obalu vychází z experimentálních dat stanovených v rámci českého výzkumu. Tento odhad je v závislosti na změřeném vývoji korozní rychlosti v čase (exponenciální pokles) počítán přes parabolickou závislost korozní rychlosti na čase (Kotnour et al. 2017). Odhadovaná životnost vnějšího obalu UOS je $23\,000 \pm 2\,660$ let.

Odhad životnosti vnitřních pouzder z korozivzdorné oceli byl brán konzervativněji pomocí lineární extrapolace. Konzervativnější přístup byl zvolen z důvodu nedostatku experimentálních dat. Pro výpočet byla použita korozní rychlost $0,1 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$ a rozptyl životnosti byl odhadnut pro chybu stanovení korozní rychlosti $\pm 0,01 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$. Je nutné zdůraznit, že tento odhad není podložen experimentálními daty, nicméně stanovené hodnoty korozních rychlostí v podmínkách HÚ v zahraniční literatuře (např. Kursten et al., 2004) jsou v řádu navržené chyby. Je tedy zřejmé, že i použitá korozní rychlost pro výpočet je dostatečně konzervativní. Životnost vnitřních pouzder z korozivzdorné oceli byla odhadnuta na $157\,000 \pm 33\,000$ let.

V další fázi procesu výběru finální lokality budou zpřesňovány odhady životnosti UOS. Experimentálními výsledky musí být prokázáno, že vnitřní pouzdro z korozivzdorné oceli není napadeno lokalizovanou korozi v anaerobním prostředí při teplotách pod $40\text{ }^\circ\text{C}$ a korozivzdorná ocel koroduje za těchto podmínek zanedbatelnou korozní rychlostí.

Odhad celkové životnosti ukládacích obalových souborů na základě doposud známých dat je, jak již bylo uvedeno výše, $180\,000 \pm 33\,100$ let.

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

B.9.7.3 Rychlost uvolňování radionuklidů z UOS po jejich poškození

Při určování množství radionuklidů, které se uvolní z jaderného paliva, je nutné vzít v úvahu, že obvykle není uvolněna jejich celá část. Studie vypracované na tuto problematiku definují tzv. IRF (z anglického instant-release fraction), která vyjadřuje míru možného uvolnění daného nuklidu resp. skupiny nuklidů z palivové matrice. Vzhledem k výrazným změnám struktury paliva během vyhořívání jsou tyto hodnoty závislé právě na hodnotě vyhoření.

Z řady prací, shrnutých v práci Trpkošová et al. (2018), byla vybrána práce Johnsona et al. (2004) vzhledem k častému využívání při analýze této problematiky výzkumnými týmy po celém světě (Tab. 28).

Tab. 28: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu

| Nuklid | IRF |
|-------------------|------|
| ¹⁴ C | 0,10 |
| ³⁶ Cl | 0,16 |
| ⁷⁹ Se | 0,07 |
| ⁹⁰ Sr | 0,07 |
| ⁹⁹ Tc | 0,07 |
| ¹⁰⁷ Pd | 0,07 |
| ¹²⁶ Sn | 0,07 |
| ¹²⁹ I | 0,10 |
| ¹³⁵ Cs | 0,10 |
| ¹³⁷ Cs | 0,10 |

B.9.7.4 Transportní vlastnosti tlumícího materiálu

Shrnutí datových souborů charakterizujících pole blízkých interakcí v oblasti transportních vlastností tlumícího materiálu vychází hlavně z první a druhé průběžné zprávy dílčího projektu (Trpkošová et al. 2017a, Trpkošová et al. 2017b). Data, která jsou shrnuta v Tab. 29 a v Tab. 30 byla při kompletaci dále upravena tak, aby byla v souladu s datovými soubory, které bude načítat při modelování komplexní model úložiště, připravený v prostředí GoldSim. To mj. znamená, že nejsou uváděny hodnoty efektivního (D_e) ani zdánlivého difúzního (D_a) koeficientu, ale hodnoty geometrického faktoru G a efektivní porozity (zde ϵ), se kterými pracuje model úložiště při popisu bentonitové tlumící vrstvy; při tom se vychází z předpokládané hodnoty objemové hmotnosti bentonitu ($\rho_d = 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). V údajích o geometrickém faktoru G pro Po uvedeném ve zprávě (Trpkošová et al. 2017b) byla opravena zřejmá chyba – zde i ve vstupním souboru modelu je třeba uvažovat hodnotu 0,31, která platí i pro Ra.

Tab. 29: Hodnoty referenčních difuzivit D_w ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) a meze rozpustnosti pro blízké pole SL_{bent}

(pro všechny prvky, migrace jejichž radioaktivních izotopů bude v modelu sledována. Data jsou v souladu s formátem, který se načítá při použití komplexního modelu úložiště.)

| prvek | D_w [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | SL_{bent} [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$] | prvek | D_w [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] | SL_{bent} [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$] |
|-------|---|---|-------|---|---|
| Be | $6,0\cdot 10^{-10}$ | -1 | I | $2,0\cdot 10^{-9}$ | -1 |

| prvek | D_w [m ² ·s ⁻¹] | SL_{bent} [mol·dm ⁻³] | prvek | D_w [m ² ·s ⁻¹] | SL_{bent} [mol·dm ⁻³] |
|-------|---|--|-------|---|--|
| C | 1,2·10 ⁻⁹ | -1 | Cs | 2,1·10 ⁻⁹ | -1 |
| Cl | 2,0·10 ⁻⁹ | -1 | Sm | 1,0·10 ⁻¹⁰ | 9,0·10 ⁻⁷ |
| Ca | 7,9·10 ⁻¹⁰ | 1,0·10 ⁻² | Ho | 1,0·10 ⁻¹⁰ | 9,0·10 ⁻⁷ |
| Ni | 6,8·10 ⁻¹⁰ | 8,0·10 ⁻⁵ | Po | 5,0·10 ⁻¹⁰ | -1 |
| Co | 5,1·10 ⁻¹⁰ | 8,0·10 ⁻⁵ | Pb | 9,3·10 ⁻¹⁰ | 8,0·10 ⁻⁵ |
| Se | 1,3·10 ⁻¹⁰ | 1,0·10 ⁻⁵ | Ra | 8,9·10 ⁻¹⁰ | 5,0·10 ⁻⁸ |
| Sr | 7,9·10 ⁻¹⁰ | 1,0·10 ⁻⁴ | Ac | 8,9·10 ⁻¹⁰ | 1,0·10 ⁻⁶ |
| Zr | 1,0·10 ⁻⁹ | 2,0·10 ⁻⁹ | Pa | 1,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁵ |
| Mo | 1,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁵ | Th | 5,0·10 ⁻¹⁰ | 3,0·10 ⁻⁶ |
| Nb | 1,0·10 ⁻⁹ | 8,0·10 ⁻⁵ | Np | 1,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁸ |
| Tc | 2,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁸ | U | 1,0·10 ⁻⁹ | 5,0·10 ⁻⁷ |
| Pd | 1,0·10 ⁻⁹ | 2,0·10 ⁻⁷ | Pu | 1,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁶ |
| Ag | 1,70·10 ⁻⁹ | 3,0·10 ⁻⁶ | Am | 1,0·10 ⁻⁹ | 3,0·10 ⁻⁵ |
| Sn | 1,0·10 ⁻⁹ | 1,0·10 ⁻⁷ | Cm | 1,0·10 ⁻⁹ | 3,0·10 ⁻⁵ |

Pozn.: $SL_{bent} = -1$ znamená neomezenou rozpustnost.

Tab. 30: Parametry bentonitové tlumící vrstvy, které shrnují současné poznatky o těchto materiálech

(Jsou uvedeny ve formátu, jenž se načítá při modelování komplexní model úložiště připravený v prostředí GoldSim (Trpková et al. 2017b).)

| | kompaktovaný bentonit (Backfill 1) | | | | kompaktovaný bentonit (Backfill 1) | | |
|----|--|-------------------|------------|----|--|-------------------|------------|
| | K_d [m ³ ·kg ⁻¹] | ϵ [-] | G [-] | | K_d [m ³ ·kg ⁻¹] | ϵ [-] | G [-] |
| Be | 0,2 | 0,43 | 0,78 | I | 0 | 0,05 | 0,40 |
| C | 0 | 0,05 | 0,40 | Cs | 0,03 | 0,43 | 0,33 |
| Cl | 0 | 0,05 | 0,40 | Sm | 5 | 0,43 | 0,46 |
| Ca | 0,003 | 0,43 | 0,59 | Ho | 5 | 0,43 | 0,47 |
| Co | 0,07 | 0,43 | 0,42 | Po | 3 | 0,43 | 0,31 |
| Ni | 0,07 | 0,43 | 0,42 | Pb | 0,55 | 0,43 | 0,50 |
| Se | 0 | 0,05 | 0,40 | Ra | 0,001 | 0,43 | 0,31 |
| Sr | 0,001 | 0,43 | 0,35 | Ac | 8 | 0,43 | 0,31 |
| Zr | 5 | 0,43 | 0,56 | Th | 40 | 0,43 | 0,56 |
| Mo | 0 | 0,05 | 0,40 | Pa | 3 | 0,43 | 0,56 |
| Nb | 3 | 0,43 | 0,56 | Np | 40 | 0,43 | 0,56 |
| Tc | 40 | 0,43 | 0,19 | U | 10 | 0,43 | 0,47 |

| | kompaktovaný bentonit (Backfill 1) | | | | kompaktovaný bentonit (Backfill 1) | | |
|----|--|-------------------|------------|----|--|-------------------|------------|
| | K_d [m ³ ·kg ⁻¹] | ϵ [-] | G [-] | | K_d [m ³ ·kg ⁻¹] | ϵ [-] | G [-] |
| Pd | 5 | 0,43 | 0,39 | Pu | 40 | 0,43 | 0,49 |
| Ag | 0 | 0,05 | 0,40 | Am | 24 | 0,43 | 0,47 |
| Sn | 40 | 0,43 | 0,56 | Cm | 24 | 0,43 | 0,47 |

Stanovení neurčitostí parametrů charakterizujících transportní vlastnosti jednotlivých prvků v kompaktovaném bentonitu je obtížné, protože rozsahy možných podmínek v dané lokalitě nejsou dobře známy, a většinou nebyla data v rámci českého projektu ukládání stanovována.

B.9.7.5 Transportní vlastnosti horninového prostředí

Zpracování problematiky transportních parametrů radionuklidů je v současné době ve fázi předběžných výpočetních studií (např. Klajmon et al. 2016; Kolomá a Klajmon 2018). V rámci těchto studií zatím nebyly určovány *interval* hodnot, ve kterých se rozpustnosti uvažovaných radionuklidů mohou nejpravděpodobněji pohybovat. Rovněž v související zahraniční literatuře není těmto intervalům věnováno příliš pozornosti.

Pravděpodobné intervaly rozpustností pro potřeby této práce tedy nemohly být v této fázi řešení určeny jiným způsobem než jejich převzetím z literárních zdrojů (Klajmon et al. 2016). V této souvislosti je zapotřebí zmínit, že data intervalů převzatá z uvedené literatury nemusí vždy korespondovat s podmínkami podzemních granitických vod Českého masivu (Tab. 31).

Tab. 31: Doporučené hodnoty rozpustností pro uvažované prvky a jejich horní a spodní limity

(Doporučené hodnoty byly výpočetně určeny v práci Klajmon et al. (2016), zatímco limity byly převzaty na základě expertního odhadů z dalších literárních zdrojů.)

| Prvek | Rozpustnost [mol dm ⁻³] | | |
|-------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| | Doporučená hodnota | Horní limit | Spodní limit |
| Ac | 1,06.10 ⁻⁰⁶ | 1,2.10 ⁻⁰³ | 2,4.10 ⁻⁰⁸ |
| Ag | 2,62.10 ⁻⁰⁶ | 5,6.10 ⁻⁰⁴ | 3,7.10 ⁻¹³ |
| Am | 1,06.10 ⁻⁰⁶ | 1,2.10 ⁻⁰³ | 2,4.10 ⁻⁰⁸ |
| Be | 4,00.10 ⁻¹⁵ | 4,0.10 ⁻¹³ | 4,0.10 ⁻¹⁷ |
| C | 8,96.10 ⁻⁰⁴ | 7,0.10 ⁻⁰³ | 1,0.10 ⁻⁰⁴ |
| Ca | Nelimitováno rozpustností | | |
| Cl | Nelimitováno rozpustností | - | - |
| Cm | 1,08.10 ⁻⁰⁶ | 1,2.10 ⁻⁰³ | 2,4.10 ⁻⁰⁸ |
| Cs | Nelimitováno rozpustností | - | - |
| Ho | 4,13.10 ⁻⁰⁴ | 4,13.10 ⁻⁰⁴ | 9,9.10 ⁻⁰⁷ |
| I | Nelimitováno rozpustností | - | - |

| Prvek | Rozpustnost [mol dm^{-3}] | | |
|-------|--|-----------------------|----------------------|
| | Doporučená hodnota | Horní limit | Spodní limit |
| Mo | $2,35 \cdot 10^{-05}$ | $2,35 \cdot 10^{-05}$ | $2,0 \cdot 10^{-13}$ |
| Nb | $1,40 \cdot 10^{-06}$ | $1,0 \cdot 10^{-03}$ | $1,0 \cdot 10^{-08}$ |
| Ni | $3,07 \cdot 10^{-05}$ | $3,4 \cdot 10^{-03}$ | $9,5 \cdot 10^{-09}$ |
| Np | $1,15 \cdot 10^{-09}$ | $1,7 \cdot 10^{-05}$ | $1,8 \cdot 10^{-18}$ |
| Pa | $1,00 \cdot 10^{-09}$ | $1,0 \cdot 10^{-05}$ | $1,0 \cdot 10^{-11}$ |
| Pb | $8,00 \cdot 10^{-05}$ | | |
| Pd | $3,98 \cdot 10^{-06}$ | $4,0 \cdot 10^{-05}$ | $2,7 \cdot 10^{-06}$ |
| Po | Nelimitováno rozpustností ^{h,i} | | |
| Pu | $2,00 \cdot 10^{-11}$ | $2,2 \cdot 10^{-04}$ | $2,6 \cdot 10^{-14}$ |
| Ra | $1,20 \cdot 10^{-04}$ | $1,2 \cdot 10^{-04}$ | $4,0 \cdot 10^{-08}$ |
| Se | $1,63 \cdot 10^{-12}$ | $2,4 \cdot 10^{-06}$ | $6,6 \cdot 10^{-14}$ |
| Sm | $2,41 \cdot 10^{-08}$ | $3,7 \cdot 10^{-04}$ | $2,2 \cdot 10^{-09}$ |
| Sn | $1,43 \cdot 10^{-07}$ | $3,3 \cdot 10^{-06}$ | $1,1 \cdot 10^{-08}$ |
| Sr | $4,53 \cdot 10^{-05}$ | $6,7 \cdot 10^{-04}$ | $4,7 \cdot 10^{-06}$ |
| Tc | $4,17 \cdot 10^{-09}$ | $4,6 \cdot 10^{-07}$ | $4,5 \cdot 10^{-13}$ |
| Th | $4,56 \cdot 10^{-07}$ | $6,1 \cdot 10^{-05}$ | $4,7 \cdot 10^{-13}$ |
| U | $5,14 \cdot 10^{-08}$ | $1,6 \cdot 10^{-03}$ | $4,5 \cdot 10^{-13}$ |
| Zr | $1,82 \cdot 10^{-08}$ | $1,1 \cdot 10^{-04}$ | $3,5 \cdot 10^{-10}$ |

V práci Havlové et al. (2017) byl na základě zprávy Havlová et al. (2015), experimentálních dat a dostupných dat z literatury navržen soubor hodnot K_d a D_e (včetně uvedení hodnoty D_w) pro bezpečnostní výpočty. Tento soubor byl založen jednak na expertním odhadu hodnot pro ty radionuklidy, pro které nejsou dostupné hodnoty z experimentálního programu, a dále bylo přihlédnuto k výsledkům experimentálního programu s granitickými vzorky z potenciálních lokalit. Na základě vyhodnocení zahraničních podkladů a dostupných experimentálních dat byly následně zvoleny rozsahy dat pro jednotlivé radionuklidy (Tab. 32).

Tab. 32: Sorpční parametry granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu (Havlová et al. 2018)

| Prvek | K_d dolní mez [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] | K_d [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] | K_d horní mez [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] |
|-------|---|---|---|
| Be | 0,01 | 0,1 | 1 |
| C | 0,00005 | 0,0005 | 0,005 |
| Cl | 0 | 0 | 0 |
| Ca | 0,00001 | 0,0001 | 0,001 |
| Mn | 0 | 0 | 0 |

| Prvek | K_d dolní mez [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] | K_d [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] | K_d horní mez [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] |
|-------|---|---|---|
| Co | 0 | 0 | 0 |
| Ni | 0,01 | 0,1 | 1 |
| Se | 0 | 0,03 | 0,3 |
| Sr | 0,0035 | 0,008 | 0,03 |
| Zr | 0,3 | 1 | 3 |
| Nb | 0,32 | 1 | 1,9 |
| Mo | 0,00017 | 0,0005 | 0,0016 |
| Tc | 0 | 0,0035 | 0,3 |
| Pd | 0,01 | 0,1 | 1 |
| Ag | 0,00014 | 0,1 | 1 |
| Sn | 0,3 | 5 | 160 |
| I | 0 | 0 | 0 |
| Cs | 0,041 | 0,1 | 0,355 |
| Sm | 0,1 | 1 | 5 |
| Eu | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| Ho | 0,1 | 1 | 5 |
| Pb | 0,027 | 0,27 | 2,7 |
| Po | 0,015 | 0,15 | 1,5 |
| Ra | 0,001 | 0,01 | 0,1 |
| Th | 0,3 | 3 | 8 |
| Pa | 0,4 | 1 | 2 |
| U | 0,0001 | 0,001 | 0,01 |
| Np | 0,001 Np(V) | 3 Np(IV) | 6 Np(IV) |
| Pu | 0,1 | 3 | 100 |
| Am | 0,1 | 3 | 100 |
| Cm | 0,1 | 3 | 100 |

Míra difúze radionuklidů v horninovém prostředí je vyjadřována pomocí efektivního difúzního koeficientu $D_e(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ či $D_w(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ (Tab. 33).

Tab. 33: Difúzní koeficienty D_e granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu.

| Prvek | D_e [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] dolní mez | D_e [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] | D_e [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] horní mez | D_w [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] |
|-------|--|--|--|--|
| Be | $1,20 \cdot 10^{-14}$ | $2,40 \cdot 10^{-14}$ | $2,40 \cdot 10^{-13}$ | $5,99 \cdot 10^{-10}$ |
| C | $8,0 \cdot 10^{-16}$ | $1,6 \cdot 10^{-15}$ | $1,6 \cdot 10^{-14}$ | $1,23 \cdot 10^{-09}$ |

| Prvek | D_e [$m^2 \cdot s^{-1}$] dolní mez | D_e [$m^2 \cdot s^{-1}$] | D_e [$m^2 \cdot s^{-1}$] horní mez | D_w [$m^2 \cdot s^{-1}$] |
|-------|--|------------------------------|--|------------------------------|
| Cl | $1,3 \cdot 10^{-15}$ | $2,6 \cdot 10^{-15}$ | $2,6 \cdot 10^{-14}$ | $2,03 \cdot 10^{-09}$ |
| Ca | $2,50 \cdot 10^{-14}$ | $5,00 \cdot 10^{-14}$ | $5,00 \cdot 10^{-13}$ | $7,92 \cdot 10^{-10}$ |
| Mn | $1,25 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-12}$ | $5,11 \cdot 10^{-10}$ |
| Co | $2,51 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-12}$ | $5,11 \cdot 10^{-10}$ |
| Ni | $4,40 \cdot 10^{-15}$ | $8,8 \cdot 10^{-15}$ | $8,8 \cdot 10^{-14}$ | $6,81 \cdot 10^{-10}$ |
| Se | $8,30 \cdot 10^{-15}$ | $1,64 \cdot 10^{-14}$ | $1,64 \cdot 10^{-13}$ | $1,27 \cdot 10^{-09}$ |
| Sr | $5,010 \cdot 10^{-14}$ | $1,02 \cdot 10^{-13}$ | $1,02 \cdot 10^{-12}$ | $7,91 \cdot 10^{-10}$ |
| Zr | $6,40 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Nb | $6,40 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Mo | $6,40 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Tc | $9,50 \cdot 10^{-16}$ | $1,9 \cdot 10^{-15}$ | $1,9 \cdot 10^{-14}$ | $2,01 \cdot 10^{-09}$ |
| Pd | $6,450 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Ag | $1,10 \cdot 10^{-14}$ | $2,2 \cdot 10^{-14}$ | $2,2 \cdot 10^{-13}$ | $1,70 \cdot 10^{-09}$ |
| Sn | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| I | $1,30 \cdot 10^{-15}$ | $2,6 \cdot 10^{-15}$ | $2,6 \cdot 10^{-14}$ | $2,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Cs | $1,06 \cdot 10^{-13}$ | $2,13 \cdot 10^{-13}$ | $2,13 \cdot 10^{-14}$ | $2,10 \cdot 10^{-09}$ |
| Sm | $6,40 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Eu | $2,55 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-13}$ | $5,11 \cdot 10^{-12}$ | $5,11 \cdot 10^{-10}$ |
| Ho | $6,40 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Pb | $2,00 \cdot 10^{-14}$ | $4,00 \cdot 10^{-14}$ | $4,00 \cdot 10^{-13}$ | $9,30 \cdot 10^{-10}$ |
| Po | $2,00 \cdot 10^{-14}$ | $4,00 \cdot 10^{-14}$ | $4,00 \cdot 10^{-13}$ | $5,00 \cdot 10^{-10}$ |
| Ra | $1,85 \cdot 10^{-14}$ | $3,70 \cdot 10^{-14}$ | $3,70 \cdot 10^{-13}$ | $8,89 \cdot 10^{-10}$ |
| Th | $9,50 \cdot 10^{-16}$ | $1,90 \cdot 10^{-15}$ | $1,9 \cdot 10^{-14}$ | $1,50 \cdot 10^{-10}$ |
| Pa | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| U | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Np | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Pu | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Am | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Am | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |
| Cm | $6,45 \cdot 10^{-15}$ | $1,29 \cdot 10^{-14}$ | $1,29 \cdot 10^{-13}$ | $1,00 \cdot 10^{-09}$ |

B.9.7.6 Vstupní data pro výpočet přenosu radionuklidů v biosféře

Model biosféry byl v souladu se zvoleným normálním scénářem vývoje hlubinného úložiště vytvořen na základě referenční biosféry typu zemědělská studna ERB2A dle projektu IAEA

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

BIOMASS-6 (Hustáková 2018). Koncepční model popisuje transport radionuklidů v životním prostředí a cesty ozáření, které odpovídají životním zvyklostem komunity žijící v oblasti, která bude podle předpokladů kontaminována radionuklidy uniklými z hlubinného úložiště. Pro matematický model biosféry (založený na vztazích uvažovaných pro referenční biosféru ERB2A) byla vyhledána odpovídající vstupní data a nastaveny odpovídající parametry počítačového modelu vytvořeného v programovém prostředí GoldSim (GOLDSIM 2014, 2017).

Pro specifické transportní parametry jako např. distribuční koeficienty pro půdu, přenosové faktory pro rostlinné a živočišné produkty, parametry intercepce pro rostlinné produkty a dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody byly použity hodnoty vyhledané v literatuře (Hustáková 2018). Parametry, které stanoví česká legislativa, jako konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím nebo roční příjem vody a rychlost dýchání pro reprezentativní osobu byly převzaty z vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h). Spotřební koš byl určen na základě dat Českého statistického úřadu o roční spotřebě potravin v roce 2015 a vývoji spotřeby potravin v období 1989-2015.

Parametry charakterizující aktivity reprezentativní osoby, jako pobytové časy v kontaminovaných prostředích, byly nastaveny s ohledem na uvažovaný charakter místní komunity - zemědělská komunita, která používá moderní způsoby hospodaření v rostlinné i živočišné oblasti a je schopná vyprodukovat lokálně velkou část celkově spotřebovávaných potravin.

Původ vstupních dat a parametrů biosférického modelu je uveden v následujícím textu u všech použitých údajů. Podrobnější informace včetně odůvodnění volby některých dat je popsáno ve zprávě Hustáková (2018).

Koncentrace vody ve studni

Časový průběh koncentrace radionuklidů na výstupu z geosféry je výstupem z modelu vzdáleného pole, který je součástí komplexního modelu. Pokud je celková roční spotřeba vody lidskou komunitou (k pití, napájení hospodářských zvířat a zavlažování zemědělské půdy pro pěstování zemědělských plodin) vyšší než přítok kontaminované podzemní vody, pak se uvažuje, že ve studni dojde k naředění vstupující podzemní vody nekontaminovanou vodou až do potřebného množství vody pro komunitu. Vzhledem k výsledkům provedené Socioekonomické analýzy (Hámpel, Hůle 2018), podle které se v okolí lokality nachází obce s méně než 500 obyvateli, byla zvolena velikost komunity 100 osob (spotřeba komunity je pokryta kontaminovanou vodou z 51%).

Zavlažování zemědělské půdy a infiltrace

Pro výpočty je použita hodnota rychlosti zavlažování **0,2 m/rok** (tj. m³/rok vody na 1 m² zemědělské půdy) převzatá z modelu ERB2A pro zemědělskou studnu v projektu IAEA BIOMASS-6 (IAEA 2003a). Jedná se o konzervativně pojatou hodnotu, protože nadhodnocuje požadavky na zavlažování v uvažovaném mírném typu klimatu.

Rychlost infiltrace vody s radionuklidy do hlubší vrstvy půdy (mimo kořenovou vrstvu a tedy mimo vymezenou biosféru) je uvažována **0,1 m/rok** v souladu s referenční biosférou ERB2A (IAEA 2003a).

Atmosférické srážky

Na základě údajů ČHMI (zdroj http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/zprava_bilance_16.pdf) za období 2007-2016 bylo vypočteno, že **6,3%** srážkové vody infiltruje do hlubší vrstvy půdy,

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

10,3% odteče přímým odtokem (kombinace povrchového a hypodermického odtoku) do povrchových vodních toků a zbytek **83,4%** se odpaří.

Eroze

Rychlost eroze se podle IAEA (2003a) pro referenční biosféru ERB2A a pro uvažovaný rovinný terén a půdu typu černozem pohybují v rozmezí $1,7 \cdot 10^{-4}$ až 10^{-3} m/rok. Rychlost eroze není konzervativně uvažována při výpočtu.

Parametry zemědělské půdy

Je uvažována tloušťka vrchní (kořenové) vrstvy půdy **0,3 m** dle referenční biosféry ERB2A (viz IAEA 2003a).

Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu

Distribuční (sorpční) koeficienty pro jednotlivé prvky inventáře a pro zemědělskou půdu převzaté z IAEA (2010) jsou uvedeny v Tab. 34.

Tab. 34: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu

| Prvek | K_d [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$] |
|-------|---|
| Be | 0,99 |
| C | 0,003 |
| Cl | 0,0003 |
| Ca | 0,008 |
| Co | 0,48 |
| Ni | 0,28 |
| Se | 0,2 |
| Sr | 0,052 |
| Zr | 0,41 |
| Nb | 1,5 |
| Mo | 0,04 |
| Tc | 0,00023 |
| Pd | 0,18 |
| Ag | 0,38 |
| Sn | 1,6 |
| I | 0,0069 |
| Cs | 1,2 |
| Sm | 0,93 |
| Ho | 0,93 |
| Po | 0,21 |
| Pb | 2 |
| Ra | 2,5 |
| Th | 1,9 |
| Pa | 2 |
| U | 0,2 |
| Np | 0,035 |
| Pu | 0,74 |
| Am | 2,6 |
| Cm | 9,3 |

Přenosové faktory půda - rostliny (zemědělské plodiny)

Přenosové faktory půda - rostlina v (Bq/kg čerstvé hmotnosti rostliny) na (Bq/kg suché hmotnosti půdy) pro zemědělské plodiny resp. potraviny rostlinného původu a krmivo pro hospodářská zvířata (vztažené na sušinu) jsou uvedeny v Tab. 35 (podrobnosti viz Husťáková 2018)

Tab. 35: Přenosové faktory půda - rostlina

| Prvek | Obiloviny | Listová zelenina | Kořenová zelenina | Brambory | Krmivo | Krmivo založeno na |
|-------|-----------|-------------------|-------------------|----------|----------|--------------------|
| | (Cereals) | (Leafy vegetable) | (Root crops) | (Tubers) | (Fodder) | |
| Be | 0,0020 | 0,010 | 0,0015 | 0,0015 | 0,010 | Listová z. |
| C | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | Vše |
| Cl | 47 | 25 | 11 | 11 | 25 | Listová z. |
| Ca | 0,35 | 3,5 | 0,35 | 0,35 | 3,5 | Listová z. |
| Co | 0,0049 | 0,15 | 0,065 | 0,021 | 0,029 | Tráva |
| Ni | 0,0076 | 0,28 | 0,060 | 0,060 | 0,11 | Tráva |
| Se | 0,25 | 0,25 | 0,050 | 0,050 | 0,25 | Listová z. |
| Sr | 0,11 | 1,2 | 0,61 | 0,13 | 1,1 | Pastva |
| Zr | 0,0010 | 0,0040 | 0,0040 | 0,002 | 0,010 | Pastva |
| Nb | 0,014 | 0,017 | 0,017 | 0,0040 | 0,020 | Pastva |
| Mo | 0,80 | 0,51 | 0,32 | 0,32 | 0,80 | Obiloviny |
| Tc | 2 | 250 | 46 | 0,094 | 76 | Pastva |
| Pd | 0,040 | 0,15 | 0,040 | 0,040 | 0,15 | Listová z. |
| Ag | 0,25 | 0,00020 | 0,0010 | 0,0010 | 0,2 | Pastva |
| Sn | 0,0060 | 0,030 | 0,0060 | 0,0060 | 0,030 | Listová z. |
| I | 0,00036 | 0,0041 | 0,0047 | 0,0047 | 0,0037 | Pastva |
| Cs | 0,020 | 0,074 | 0,030 | 0,035 | 0,19 | Pastva |
| Sm | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | Listová z. |
| Ho | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | Vše |
| Po | 0,00024 | 0,0074 | 0,0058 | 0,0027 | 0,12 | Pastva |
| Pb | 0,011 | 0,080 | 0,0023 | 0,00052 | 0,092 | Pastva |
| Ra | 0,029 | 0,12 | 0,091 | 0,012 | 0,26 | Tráva |
| Th | 0,0027 | 0,00086 | 0,0011 | 0,00025 | 0,099 | Pastva |
| Pa | 0,000022 | 0,00047 | 0,00035 | 0,00035 | 0,00047 | Listová z. |
| U | 0,0077 | 0,043 | 0,025 | 0,028 | 0,072 | Pastva |
| Np | 0,0029 | 0,027 | 0,022 | 0,0057 | 0,034 | Pastva |
| Pu | 4,9E-06 | 8,3E-05 | 3,9E-04 | 1,5E-04 | 0,00030 | Pastva |
| Am | 0,000022 | 0,00027 | 0,00067 | 0,00015 | 0,0015 | Pastva |
| Cm | 0,000023 | 0,0014 | 0,00085 | 0,00015 | 0,00083 | Pastva |

Výnosy zemědělských plodin

Výnosy zemědělských plodin (obilovin, listové zeleniny, kořenové zeleniny, brambor a krmiv-pícnin) byly převzaty z údajů dostupných na stránkách Českého statistického úřadu (viz Tab. 36).

Tab. 36: Výnosy zemědělských plodin

| Rostlina (zemědělská plodina) | Crop | Výnos |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | [kg/m ² za rok] |
| Obiloviny | Cereals | 0,6 |
| Listová zelenina | Leafy vegetable | 3 |
| Kořenová zelenina | Root crops | 3 |
| Brambory | Tubers | 3,5 |
| Krmivo | Fodder | 7,5 |

Usazování půdy (ve formě prachu) na povrchu zemědělských plodin

Pro kontaminaci rostliny půdou usazenou na povrchu je použita hodnota **0,0002** kg suché hmotnosti půdy na kg čerstvé hmotnosti rostliny dle IAEA (2003a). Vzhledem k tomu, že se neuvažuje pastva skotu, ale jejich výkrm krmivly vypěstovanými na zavlažované zemědělské půdě, tak není pro krmivo použita vyšší hodnota kontaminace uváděná pro pastvu.

Parametry intercepce (příjem aktivity listy rostlin) a smývání (odstraňování aktivity z povrchu rostlin)

Pro výpočet příjmu aktivity ze zavlažovací vody listy rostlin, aktivity odstraněné z povrchu rostlin povětrnostními vlivy, smýváním a opadem listů a aktivity přijaté kořenovým příjmem jsou potřeba následující parametry a data:

- frakce radionuklidu obsaženého v zavlažovací vodě, která se usadí na povrchu rostliny - tato hodnota je závislá na prvku, ale nikoli na typu rostliny,
- frakce radionuklidu původně usazeného na povrchu rostliny, která je absorbována z povrchu do rostlinných tkání - její hodnota je **0,5** a je stejná pro všechny prvky i rostliny,
- frakce vnější kontaminace rostliny, která zůstane i po zpracování rostliny v jedlé části rostliny - její hodnota je **0,1** a je stejná pro všechny prvky i rostliny,
- frakce vnitřní kontaminace rostliny, která zůstane i po zpracování rostliny v jedlé části rostliny - její hodnota je konzervativně nastavena na **1** a je stejná pro všechny prvky i rostliny,
- frakce vnější kontaminace rostliny ze zavlažování, která zůstane i po zpracování rostliny v jedlé části rostliny
- frakce absorbované aktivity, která je translokována do jedlé části rostliny v době sklizně - tato hodnota je závislá jak na prvku, tak na typu rostliny
- rychlost odstraňování aktivity usazené původně na povrchu rostliny (weathering rate) (do výsledné hodnoty jsou zahrnuty také: mechanický vliv počasí, smývání (wash-off)

a opad listů) - její hodnota je **18 rok⁻¹** a je obvykle uvažována jako stejná pro všechny prvky i rostliny,

- časový interval mezi (koncem) zavlažováním a sklizní v rocích - dle IAEA (2003a) se pro obiloviny uvažuje **0,075 roku** (27,4 dne), pro listovou zeleninu **0,02 roku** (7,3 dne) a pro kořenovou zeleninu **0,04 roku** (14,6 dne) - stejná hodnota **0,04 roku** (14,6 dne) je použita i pro brambory; pro krmiva je použita stejná hodnota jako pro listovou zeleninu tedy **0,02 roku** (7,3 dne).

Přenosové faktory pro přestup aktivity do živočišných produktů

Hodnoty přenosových faktorů pro přestup přijaté aktivity z vody, krmiva a půdy do živočišného produktu (hovězí maso, mléko, vepřové maso, drůbeží maso, vejce a sladkovodní ryby) v jednotkách (den/kg) resp. (den/l) jsou uvedeny v Tab. 37.

Tab. 37: Přenosové faktory pro přestup přijaté aktivity do živočišného produktu

| Prvek | Kravné mléko | Hovězí maso | Vepřové maso | Drůbeží maso | Vejce |
|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|---------|
| | (Cow's milk) | (Beef) | (Pork) | (Poultry) | (Eggs) |
| Be | 8,3E-07 | 0,0010 | 0,0010 | 0,40 | 0,020 |
| C | 0,009 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 8 |
| Cl | 0,017 | 0,017 | 0,24 | 0,030 | 2,7 |
| Ca | 0,010 | 0,013 | 0,0020 | 0,044 | 0,44 |
| Co | 0,00011 | 0,00043 | 0,31 | 0,97 | 0,033 |
| Ni | 0,0010 | 0,0050 | 0,080 | 0,0010 | 0,10 |
| Se | 0,0040 | 0,015 | 0,32 | 9,7 | 0,16 |
| Sr | 0,0013 | 0,0013 | 0,0025 | 0,020 | 0,35 |
| Zr | 3,6E-06 | 1,2E-06 | 1,2E-06 | 6,0E-05 | 0,00020 |
| Nb | 4,1E-07 | 2,6E-07 | 6,5E-06 | 0,00030 | 0,0010 |
| Mo | 0,0011 | 0,0010 | 0,096 | 0,18 | 0,64 |
| Tc | 0,00014 | 0,00010 | 0,00010 | 0,030 | 3,0 |
| Pd | 0,010 | 0,0040 | 0,0040 | 0,00030 | 0,0040 |
| Ag | 5,0E-05 | 0,0030 | 0,00043 | 2,0 | 0,50 |
| Sn | 0,0010 | 0,080 | 0,080 | 0,80 | 1,0 |
| I | 0,0054 | 0,0067 | 0,041 | 0,0087 | 2,4 |
| Cs | 0,0046 | 0,022 | 0,20 | 2,7 | 0,40 |
| Sm | 3,0E-05 | 2,0E-05 | 2,0E-05 | 0,0020 | 4,0E-05 |
| Ho | 3,0E-05 | 2,0E-05 | 2,0E-05 | 0,0020 | 4,0E-05 |
| Po | 0,00021 | 0,0050 | 0,0050 | 2,4 | 3,1 |
| Pb | 0,00019 | 0,00070 | 0,66 | 0,80 | 1,0 |
| Ra | 0,00038 | 0,0017 | 0,18 | 0,03 | 0,31 |
| Th | 5,0E-06 | 0,00023 | 0,0062 | 0,0060 | 0,0040 |
| Pa | 5,0E-06 | 4,0E-05 | 4,0E-05 | 0,0060 | 0,0040 |
| U | 0,0018 | 0,00039 | 0,044 | 0,75 | 1,1 |
| Np | 5,0E-06 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0060 | 0,0040 |
| Pu | 1,0E-05 | 1,1E-06 | 3,9E-05 | 0,0030 | 0,0012 |

| Prvek | Kravské mléko | Hovězí maso | Vepřové maso | Drůbeží maso | Vejce |
|-------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------|
| | (Cow's milk) | (Beef) | (Pork) | (Poultry) | (Eggs) |
| Am | 4,2E-07 | 0,00050 | 0,00011 | 0,0060 | 0,0030 |
| Cm | 2,0E-05 | 4,0E-05 | 4,0E-05 | 0,0060 | 0,0040 |

Příjem krmiva, vody a půdy pro hospodářská zvířata

Pro výpočet je nutné zadat denní příjem krmiva (kg čerstvé hmotnosti/den), vody (l/den) a půdy (kg suché hmotnosti/den) společně s krmivem pro hospodářská zvířata (skot, prasata, drůbež) a také rychlost jejich dýchání. Tyto parametry jsou uvedeny v Tab. 38.

Tab. 38: Parametry použité pro hospodářská zvířata

| Hospodářské zvíře | Denní spotřeba | | | Rychlost dýchání [m ³ /hod] |
|-------------------|----------------------------|---------|---------------|---|
| | Krmivo | Voda | Půda | |
| | [kg čer./den] [l/den] | [l/den] | [kg suš./den] | |
| Skot | (pícniny) 70 | 70 | 0,6 | 5,4 |
| Prasata | (obiloviny) 2, (mléko) 2,5 | 10 | 0,5 | 1,25 |
| Drůbež | (obiloviny) 0,11 | 0,5 | 0,02 | 0,01 |

Pobytové časy pro hospodářská zvířata

U hospodářských zvířat se konzervativně uvažuje celodenní pobyt (**24 h/den**) venku v prostředí s nejvyšší prašností uvažovanou pro zemědělské činnosti **5,0.10⁻⁶ Bq/m³**.

Spotřební koš

V §67 odst. (3) vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h) je pro případ, kdy nejsou známa data lépe odpovídající situaci, při které dochází k ozáření, uvedeno doporučené množství požití vody v jednom roce pro reprezentativní osobu starší 15 let - **730 l/rok**. Tato hodnota je převzata pro roční spotřebu vody reprezentativní osobou. Při výpočtu je uvažována hodnota příjmu půdy reprezentativní osobou **0,0083 kg/rok**. V Tab. 39 jsou uvedeny hodnoty spotřebního koše uvažované pro reprezentativní osobu a centrální scénář. Spotřeby jsou založeny na datech Českého statistického úřadu o roční spotřebě obyvatel v roce 2015 v ČR a jejím vývoji za období 1989-2015 (Husťáková 2018).

Tab. 39: Spotřební koš (reprezentativní osoba, dospělý, centrální scénář)

| Spotřební koš | Použito v modelu |
|--------------------------------|------------------|
| | [kg/rok] [l/rok] |
| Voda | 730 |
| Rostliny (zemědělské produkty) | |
| Obiloviny | 143,5 |
| Listová zelenina | 40,4 |
| Kořenová zelenina | 44,4 |
| Brambory | 70 |
| Živočišné produkty | |

| Spotřební koš | Použito v modelu |
|---------------|---------------------|
| | [kg/rok] [l/rok] |
| Mléko | 240,9 |
| Hovězí maso | 8,2 |
| Vepřové maso | 42,9 |
| Drůbeží maso | 26,0 |
| Vejce | 14,2 |
| Další | |
| Půda | 0,0083 |

Aktivity reprezentativní osoby

Pro reprezentativní osobu jsou v modelu uvažovány následující činnosti, které se odehrávají v různém prostředí a s různou intenzitou dýchání:

- spánek uvnitř,
- práce uvnitř,
- práce venku (= na zemědělské půdě),
- těžká práce venku (např. orání a další prašné činnosti),
- rekreační aktivity venku,
- koupání/sprchování a další aktivity spojené se zevním ozářením z vody (dále uváděno jako "vodní aktivity"),
- dýchání aerosolu ze zavlažovací vody při pobytu na zemědělské půdě.

Pobytové časy reprezentativní osoby pro různé aktivity

Pro výpočet se předpokládá, že reprezentativní osoba stráví výše zmíněnými aktivitami následující pobytové časy:

- spánek uvnitř - **8 hod/den**,
- práce uvnitř - **1,25 hod/den**,
- práce venku - **8 hod/den**,
- těžká práce venku - **4 hod/den**,
- rekreační aktivity - **2 hod/den**,
- vodní aktivity - **15 min/den**,
- aerosol venku - **30 min/den**.

Při pobytu venku je reprezentativní osoba zevně ozařována ze zemědělské půdy. Při pobytu uvnitř není reprezentativní osoba zevně ozařována z půdy. Během koupání/sprchování (vodní aktivity) se uvažuje zevní ozářením z vody. Při pobytu na zemědělské půdě během zavlažování vdechuje reprezentativní osoba aerosol ze vzduchu.

Prašnost vzduchu nad zemědělskou půdou

Koncentrace prachu pocházející z půdy ve vzduchu nad zemědělskou půdou v Bq/m^3 je uvažována pro práci venku a rekreační aktivity rovna $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$, pro těžkou práci venku (orání a jiné prašné činnosti) $5,0 \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ a pro pobyt uvnitř budovy (spánek, práce, koupání/sprchování) $3,0 \cdot 10^{-8} \text{ Bq/m}^3$ (Hustáková 2018)

Rychlost dýchání reprezentativní osoby

Pro různé aktivity reprezentativní osoby jsou uvažovány čtyři různé rychlosti dýchání:

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- **0,385 m³/hod** - pro spánek,
- **1,07 m³/hod** - pro lehké pracovní aktivity uvnitř,
- **1,105 m³/hod** - pro lehké pracovní aktivity venku (včetně rekreačních),
- **1,69 m³/hod** - pro těžkou práci venku.

V §67 odst. (2) vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h) je pro případ, že nejsou známa data lépe odpovídající situaci, při které dochází k ozáření, uvedeno doporučené množství vdechovaného vzduchu v jednom roce pro reprezentativní osobu starší 15let - **8 500 m³/rok**. Pokud sečteme množství nadýchaného vzduchu při různých aktivitách reprezentativní osobou, je celkové množství nadýchaného vzduchu **8 418 m³/rok**, což zhruba odpovídá doporučení výše zmíněné vyhlášky.

Pro větší přehlednost jsou v Tab. 40 pro každou aktivitu reprezentativní osoby uvedeny příslušné pobytové časy, prašnosti vzduchu, rychlosti dýchání a způsob výpočtu zevního ozáření.

Tab. 40: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby

| Aktivita reprezentativní osoby | Pobytové časy | Prašnost vzduchu | Rychlost dýchání | Typ zevního ozáření |
|--------------------------------|---------------|---|-----------------------|---------------------|
| | [hod/den] | [kg/m ³], [m ³ /m ³] | [m ³ /hod] | |
| Spánek uvnitř | 8 | 3,0.10 ⁻⁸ | 0,385 | - |
| Práce uvnitř | 1,25 | 3,0.10 ⁻⁸ | 1,07 | - |
| Práce venku | 8 | 1,0.10 ⁻⁷ | 1,105 | půda |
| Těžká práce venku | 4 | 5,0.10 ⁻⁶ | 1,69 | půda |
| Rekreační aktivity | 2 | 1,0.10 ⁻⁷ | 1,105 | půda |
| Vodní aktivity | 0,25 | 3,0.10 ⁻⁸ | 1,07 | voda |
| Aerosol venku | 0,5 | 1,0.10 ⁻¹¹ aerosol | 1,105 | půda |

Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím

Vyhláška 422/2016 Sb. (SUJB 2016h) stanoví pro výpočet úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření v Příloze č. 3:

- konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím jednotlivcem z obyvatelstva (dospělý),
- konverzní faktory příjmu radionuklidu vdechnutím radioaktivních aerosolů jednotlivcem z obyvatelstva (dospělý) - konzervativně nejvyšší hodnota vzhledem k typu absorpce v plicích (viz §67 odst. (1)).

Tyto konverzní faktory (viz Tab. 41) budou použity při výpočtu celkové roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu, konkrétně příspěvků z příjmu radionuklidů požitím (ingesce) a příjmu radionuklidů vdechnutím (inhalace).

Tab. 41: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím

| Radionuklid | Požití (ingesce) | Vdechnutí (inhalace) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| | DCing [Sv/Bq] | DCinh [Sv/Bq] |
| Be-10 | 1,1.10 ⁻⁰⁹ | 3,5.10 ⁻⁰⁸ |
| C-14 | 5,8.10 ⁻¹⁰ | 5,8.10 ⁻⁰⁹ |
| Cl-36 | 9,3.10 ⁻¹⁰ | 7,3.10 ⁻⁰⁹ |

| Radionuklid | Požítí (ingesce) | Vdechnutí (inhalace) |
|-------------|----------------------|----------------------|
| | DCing [Sv/Bq] | DCinh [Sv/Bq] |
| Ca-41 | $1,9 \cdot 10^{-10}$ | $1,8 \cdot 10^{-10}$ |
| Ni-59 | $6,3 \cdot 10^{-11}$ | $4,4 \cdot 10^{-10}$ |
| Co-60 | $3,4 \cdot 10^{-09}$ | $3,1 \cdot 10^{-08}$ |
| Ni-63 | $1,5 \cdot 10^{-10}$ | $1,3 \cdot 10^{-09}$ |
| Se-79 | $2,9 \cdot 10^{-09}$ | $6,8 \cdot 10^{-09}$ |
| Sr-90 | $2,8 \cdot 10^{-08}$ | $1,6 \cdot 10^{-07}$ |
| Nb-93m | $1,2 \cdot 10^{-10}$ | $1,8 \cdot 10^{-09}$ |
| Zr-93 | $1,1 \cdot 10^{-09}$ | $2,5 \cdot 10^{-08}$ |
| Mo-93 | $3,1 \cdot 10^{-09}$ | $2,3 \cdot 10^{-09}$ |
| Nb-94 | $1,7 \cdot 10^{-09}$ | $4,9 \cdot 10^{-08}$ |
| Tc-99 | $6,4 \cdot 10^{-10}$ | $1,3 \cdot 10^{-08}$ |
| Pd-107 | $3,7 \cdot 10^{-11}$ | $5,9 \cdot 10^{-10}$ |
| Ag-108m | $2,3 \cdot 10^{-09}$ | $3,7 \cdot 10^{-08}$ |
| Sn-126 | $4,7 \cdot 10^{-09}$ | $2,8 \cdot 10^{-08}$ |
| I-129 | $1,1 \cdot 10^{-07}$ | $3,6 \cdot 10^{-08}$ |
| Cs-135 | $2,0 \cdot 10^{-09}$ | $8,6 \cdot 10^{-09}$ |
| Cs-137 | $1,3 \cdot 10^{-08}$ | $3,9 \cdot 10^{-08}$ |
| Sm-151 | $9,8 \cdot 10^{-11}$ | $4,0 \cdot 10^{-09}$ |
| Ho-166m | $2,0 \cdot 10^{-09}$ | $1,2 \cdot 10^{-07}$ |
| Po-210 | $1,2 \cdot 10^{-06}$ | $4,3 \cdot 10^{-06}$ |
| Pb-210 | $6,9 \cdot 10^{-07}$ | $5,6 \cdot 10^{-06}$ |
| Ra-226 | $2,8 \cdot 10^{-07}$ | $9,5 \cdot 10^{-06}$ |
| Ac-227 | $1,1 \cdot 10^{-06}$ | $5,5 \cdot 10^{-04}$ |
| Th-228 | $7,2 \cdot 10^{-08}$ | $4,0 \cdot 10^{-05}$ |
| Ra-228 | $6,9 \cdot 10^{-07}$ | $1,6 \cdot 10^{-05}$ |
| Th-229 | $4,9 \cdot 10^{-07}$ | $2,4 \cdot 10^{-04}$ |
| Th-230 | $2,1 \cdot 10^{-07}$ | $1,0 \cdot 10^{-04}$ |
| Pa-231 | $7,1 \cdot 10^{-07}$ | $1,4 \cdot 10^{-04}$ |
| Th-232 | $2,3 \cdot 10^{-07}$ | $1,1 \cdot 10^{-04}$ |
| U-233 | $5,1 \cdot 10^{-08}$ | $9,6 \cdot 10^{-06}$ |
| U-234 | $4,9 \cdot 10^{-08}$ | $9,4 \cdot 10^{-06}$ |
| U-235 | $4,7 \cdot 10^{-08}$ | $8,5 \cdot 10^{-06}$ |
| U-236 | $4,7 \cdot 10^{-08}$ | $8,7 \cdot 10^{-06}$ |
| Np-237 | $1,1 \cdot 10^{-07}$ | $5,0 \cdot 10^{-05}$ |
| Pu-238 | $2,3 \cdot 10^{-07}$ | $1,1 \cdot 10^{-04}$ |
| U-238 | $4,5 \cdot 10^{-08}$ | $8,0 \cdot 10^{-06}$ |
| Pu-239 | $2,5 \cdot 10^{-07}$ | $1,2 \cdot 10^{-04}$ |
| Pu-240 | $2,5 \cdot 10^{-07}$ | $1,2 \cdot 10^{-04}$ |
| Am-241 | $2,0 \cdot 10^{-07}$ | $9,6 \cdot 10^{-05}$ |
| Pu-241 | $4,8 \cdot 10^{-09}$ | $2,3 \cdot 10^{-06}$ |

| Radionuklid | Požítí (ingesce) | Vdechnutí (inhalace) |
|-------------|----------------------|----------------------|
| | DCing [Sv/Bq] | DCinh [Sv/Bq] |
| Pu-242 | $2,4 \cdot 10^{-07}$ | $1,1 \cdot 10^{-04}$ |
| Am-242m | $1,9 \cdot 10^{-07}$ | $9,2 \cdot 10^{-05}$ |
| Am-243 | $2,0 \cdot 10^{-07}$ | $9,6 \cdot 10^{-05}$ |
| Cm-244 | $1,2 \cdot 10^{-07}$ | $5,7 \cdot 10^{-05}$ |
| Cm-245 | $2,1 \cdot 10^{-07}$ | $9,9 \cdot 10^{-05}$ |
| Cm-246 | $2,1 \cdot 10^{-07}$ | $9,8 \cdot 10^{-05}$ |

Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody

Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření použité k výpočtu dávky na reprezentativní osobu ze zevního ozáření jsou uvedeny v Tab. 42. Pro výpočet ozáření z povrchu kontaminované půdy jsou konzervativně použity hodnoty faktorů pro nekonečnou hloubku půdy.

Tab. 42: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody

| Radionuklid | Zevní ozáření z půdy | Zevní ozáření ze vzduchu | Zevní ozáření z vody |
|-------------|--|--|--|
| | DCext _s [[Sv/s]/[Bq/m ³]] | DCext _a [[Sv/s]/[Bq/m ³]] | DCext _w [[Sv/s]/[Bq/m ³]] |
| Be-10 | $5,76 \cdot 10^{-21}$ | $1,12 \cdot 10^{-17}$ | $2,17 \cdot 10^{-20}$ |
| C-14 | $7,20 \cdot 10^{-23}$ | $2,24 \cdot 10^{-19}$ | $4,39 \cdot 10^{-22}$ |
| Cl-36 | $1,28 \cdot 10^{-20}$ | $2,23 \cdot 10^{-17}$ | $4,48 \cdot 10^{-20}$ |
| Ca-41 | 0 | 0 | 0 |
| Ni-59 | 0 | 0 | 0 |
| Co-60 | $8,68 \cdot 10^{-17}$ | $1,26 \cdot 10^{-13}$ | $2,74 \cdot 10^{-16}$ |
| Ni-63 | 0 | 0 | 0 |
| Se-79 | $9,96 \cdot 10^{-23}$ | $3,03 \cdot 10^{-19}$ | $5,93 \cdot 10^{-22}$ |
| Sr-90 | $3,77 \cdot 10^{-21}$ | $7,53 \cdot 10^{-18}$ | $1,46 \cdot 10^{-20}$ |
| Nb-93m | $5,57 \cdot 10^{-22}$ | $4,44 \cdot 10^{-18}$ | $1,04 \cdot 10^{-20}$ |
| Zr-93 | 0 | 0 | 0 |
| Mo-93 | $3,16 \cdot 10^{-21}$ | $2,52 \cdot 10^{-17}$ | $5,92 \cdot 10^{-20}$ |
| Nb-94 | $5,18 \cdot 10^{-17}$ | $7,70 \cdot 10^{-14}$ | $1,67 \cdot 10^{-16}$ |
| Tc-99 | $6,72 \cdot 10^{-22}$ | $1,62 \cdot 10^{-18}$ | $3,14 \cdot 10^{-21}$ |
| Pd-107 | 0 | 0 | 0 |
| Ag-108m | $5,16 \cdot 10^{-17}$ | $7,80 \cdot 10^{-14}$ | $1,69 \cdot 10^{-16}$ |
| Sn-126 | $7,89 \cdot 10^{-19}$ | $2,11 \cdot 10^{-15}$ | $4,76 \cdot 10^{-18}$ |
| I-129 | $6,93 \cdot 10^{-20}$ | $3,80 \cdot 10^{-16}$ | $8,91 \cdot 10^{-19}$ |
| Cs-135 | $2,05 \cdot 10^{-22}$ | $5,65 \cdot 10^{-19}$ | $1,10 \cdot 10^{-21}$ |
| Cs-137 | $4,02 \cdot 10^{-21}$ | $7,74 \cdot 10^{-18}$ | $1,49 \cdot 10^{-20}$ |
| Sm-151 | $5,27 \cdot 10^{-24}$ | $3,61 \cdot 10^{-20}$ | $8,50 \cdot 10^{-23}$ |
| Ho-166m | $5,51 \cdot 10^{-17}$ | $8,45 \cdot 10^{-14}$ | $1,84 \cdot 10^{-16}$ |

| Radionuklid | Zevní ozáření z půdy | Zevní ozáření ze vzduchu | Zevní ozáření z vody |
|-------------|---|---|---|
| | DCext _s [[Sv/s]/[Bq/m ³]] | DCext _a [[Sv/s]/[Bq/m ³]] | DCext _w [[Sv/s]/[Bq/m ³]] |
| Po-210 | 2,80.10 ⁻²² | 4,16.10 ⁻¹⁹ | 9,03.10 ⁻²² |
| Pb-210 | 1,31.10 ⁻²⁰ | 5,64.10 ⁻¹⁷ | 1,31.10 ⁻¹⁹ |
| Ra-226 | 1,70.10 ⁻¹⁹ | 3,15.10 ⁻¹⁶ | 6,95.10 ⁻¹⁹ |
| Ac-227 | 2,65.10 ⁻²¹ | 5,82.10 ⁻¹⁸ | 1,30.10 ⁻²⁰ |
| Th-228 | 4,25.10 ⁻²⁰ | 9,20.10 ⁻¹⁷ | 2,05.10 ⁻¹⁹ |
| Ra-228 | 0 | 0 | 0 |
| Th-229 | 1,72.10 ⁻¹⁸ | 3,83.10 ⁻¹⁵ | 8,56.10 ⁻¹⁸ |
| Th-230 | 6,47.10 ⁻²¹ | 1,74.10 ⁻¹⁷ | 3,94.10 ⁻²⁰ |
| Pa-231 | 1,02.10 ⁻¹⁸ | 1,72.10 ⁻¹⁵ | 3,78.10 ⁻¹⁸ |
| Th-232 | 2,79.10 ⁻²¹ | 8,72.10 ⁻¹⁸ | 1,99.10 ⁻²⁰ |
| U-233 | 7,48.10 ⁻²¹ | 1,63.10 ⁻¹⁷ | 3,64.10 ⁻²⁰ |
| U-234 | 2,15.10 ⁻²¹ | 7,63.10 ⁻¹⁸ | 1,75.10 ⁻²⁰ |
| U-235 | 3,86.10 ⁻¹⁸ | 7,20.10 ⁻¹⁵ | 1,59.10 ⁻¹⁷ |
| U-236 | 1,15.10 ⁻²¹ | 5,01.10 ⁻¹⁸ | 1,16.10 ⁻²⁰ |
| Np-237 | 4,17.10 ⁻¹⁹ | 1,03.10 ⁻¹⁵ | 2,32.10 ⁻¹⁸ |
| Pu-238 | 8,10.10 ⁻²² | 4,88.10 ⁻¹⁸ | 1,14.10 ⁻²⁰ |
| U-238 | 5,52.10 ⁻²² | 3,41.10 ⁻¹⁸ | 7,95.10 ⁻²¹ |
| Pu-239 | 1,58.10 ⁻²¹ | 4,24.10 ⁻¹⁸ | 9,60.10 ⁻²¹ |
| Pu-240 | 7,85.10 ⁻²² | 4,75.10 ⁻¹⁸ | 1,11.10 ⁻²⁰ |
| Am-241 | 2,34.10 ⁻¹⁹ | 8,18.10 ⁻¹⁶ | 1,88.10 ⁻¹⁸ |
| Pu-241 | 3,16.10 ⁻²³ | 7,25.10 ⁻²⁰ | 1,62.10 ⁻²² |
| Pu-242 | 6,85.10 ⁻²² | 4,01.10 ⁻¹⁸ | 9,35.10 ⁻²¹ |
| Am-242m | 9,04.10 ⁻²¹ | 3,17.10 ⁻¹⁷ | 7,28.10 ⁻²⁰ |
| Am-243 | 7,60.10 ⁻¹⁹ | 2,18.10 ⁻¹⁵ | 4,94.10 ⁻¹⁸ |
| Cm-244 | 6,74.10 ⁻²² | 4,91.10 ⁻¹⁸ | 1,15.10 ⁻²⁰ |
| Cm-245 | 1,82.10 ⁻¹⁸ | 3,96.10 ⁻¹⁵ | 8,84.10 ⁻¹⁸ |
| Cm-246 | 6,22.10 ⁻²² | 4,46.10 ⁻¹⁸ | 1,05.10 ⁻²⁰ |

Parametry modelu transportu ¹⁴C

Koncentrace stabilního C v atmosféře je **1,7.10⁻⁴ kgC/m³**.

Efektivní frakce úniku je **0,5**.

Směšovací výška je **10 m**.

Průměrná rychlost větru **2,54 m/s**.

Uvažovaná plocha zavlažované oblasti je vypočítávána vzhledem k uvažovanému počtu osob v lidské komunitě. Při výpočtu se uvažuje spotřeba rostlinných a živočišných produktů komunitou a potřebná plocha zemědělské půdy pro jejich produkci. Pro komunitu o 100 jedincích vychází potřebná plocha zemědělské půdy cca 21 ha.

Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin), jako je hrubá primární produkce C v ekosystému, drsnost specifická pro vegetaci (konzervativně jsou použity hodnoty drsnosti vypočtené jako 2/3 výšky vegetace a výška vegetace, jsou uvedena v Tab. 43.

Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech jsou uvedeny v Tab. 44.

Tab. 43: Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin)

| Veličina (jednotka) - označení | Obiloviny | Listová zelenina | Kořenová zelenina | Brambory | Krmivo |
|--|-----------|-------------------|-------------------|----------|----------|
| | (Cereals) | (Leafy vegetable) | (Root crops) | (Tubers) | (Fodder) |
| Hrubá primární produkce C v ekosystému (kgC/m ² /rok) | 0,75 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,3 |
| Drsnost specifická pro vegetaci (m) | 0,667 | 0,267 | 0,267 | 0,267 | 0,267 |
| Výška vegetace (m) | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

Tab. 44: Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech

| Rostlina, živočišný produkt | | Koncentrace stabilního C [kgC/kg čerstvé hmotnosti] |
|-----------------------------|-----------------|---|
| Obiloviny | Grain | 0,39 |
| Listová zelenina | Leafy vegetable | 0,030 |
| Kořenová zelenina | Root crops | 0,046 |
| Brambory | Tubers | 0,13 |
| Krmivo | Fodder | 0,10 |
| Kravské mléko | Cow's milk | 0,065 |
| Hovězí maso | Beef | 0,20 |
| Vepřové maso | Pork | 0,30 |
| Drůbeží maso | Poultry | 0,24 |
| Vejce | Eggs | 0,16 |

B.9.8 Výsledky výpočtů

Pro deterministický výpočet v komplexním modelu v programovém prostředí GoldSim byly zvoleny dva různě dlouhé časové intervaly hodnocení. První interval trvá od uzavření úložiště do doby 10 250 let (s krokem 1 rok) a druhý interval byl zvolen až do doby 1 mil. let po uzavření úložiště (s krokem 100 let) a umožňuje vyhodnotit dopad postupného selhávání UOS s bezpečnou rezervou (tj. až za dobu dosažení maxima vypočtené roční efektivní dávky na reprezentativní osobu). Konzervativně se uvažuje, že všechny radionuklidy, tzv. okamžitě uvolnitelné frakce (IRF) uvolněné z 10 UOS budou migrovat do jedné drenáže a kontaminovat studní využívanou k pití, napájení hospodářských zvířat a zavlažování zemědělské půdy pro pěstování zemědělských plodin. Do stejné studně budou drénovat radionuklidy, které se uvolňují postupně z matrice paliva a konstrukční částí paliva, z 1 % všech UOS, které směřují do stejné drenáže (pro výpočet byla zvolena hodnota 60 UOS, z nichž radionuklidy migrují do využívané studně.

Výsledky deterministického výpočtu (pro oba časové intervaly) zahrnují:

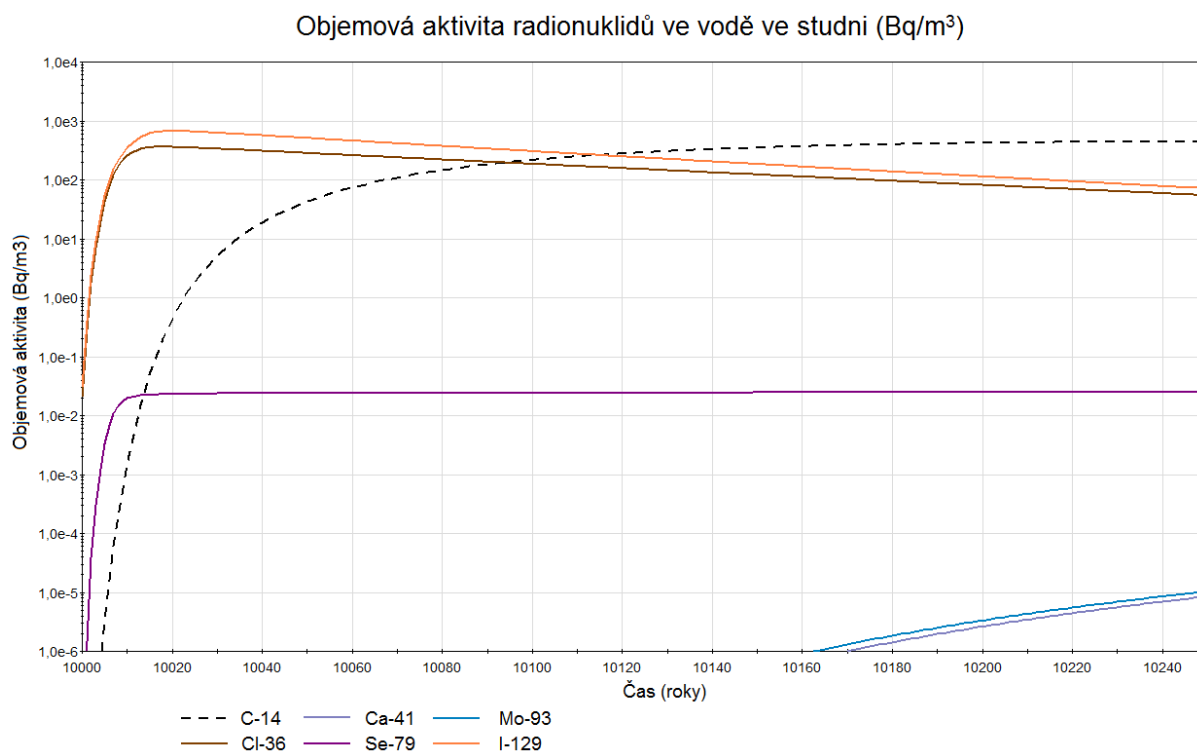
- roční efektivní dávku na reprezentativní osobu (pocházející z lidské komunity, žijící v místě, kde radionuklidy uvolněné z HÚ vstupují do biosféry; tato komunita je nejvíce zasažena),
- příspěvky jednotlivých radionuklidů k této dávce,
- příspěvky jednotlivých cest ozáření k této dávce (uvažovány jsou příjem radionuklidu požitím - ingesce, příjem radionuklidu vdechnutím - inhalace a zevní ozáření - z půdy, vody a vzduchu),
- příspěvky jednotlivých potravin k této dávce (vzhledem k tomu, že cesta příjmu radionuklidů požitím - ingesce je dominantní cestou ozáření; uvažovány jsou potraviny rostlinného i živočišného původu).

Dalšími výstupy hodnocení jsou koncentrace/měrné aktivity radionuklidů podél transportní cesty a v životním prostředí:

- objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole,
- objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféry/biosféra,
- objemová aktivita radionuklidů ve vodě ve studni, kterou využívá místní lidská komunita,
- hmotnostní aktivita v zemědělské půdě zavlažované vodou z této studny.

B.9.8.1 Časový interval hodnocení 0 - 10 250 let

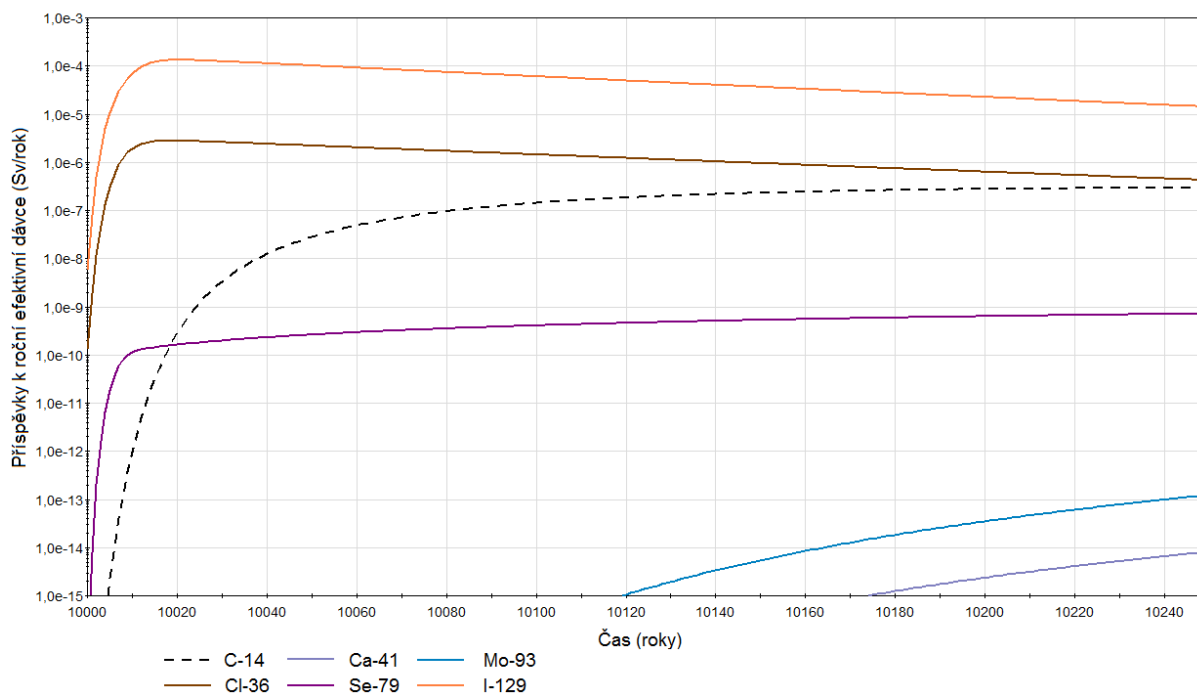
Grafy objemové na rozhraní horninové prostředí/biosféra při předpokladů poškození 10 UOS v době 10 000 let jsou uvedeny na Obr. 35.



Obr. 35: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféry/biosféra (Bq/m³) - (0-10250 let)

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce jsou uvedeny v grafu na Obr. 36 a celkové výsledky shrnuty v Tab. 45.

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)



Obr. 36: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Tab. 45: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let

| Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 10 250 let | Maximální hodnota [mSv/rok] | Doba dosažení maximální hodnoty |
|---|--|---------------------------------|
| Roční efektivní dávka na reprezentativní osobu (54,4% dávkové optimalizační meze) | 0,136 | 10 020 |
| Příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce | | |
| C-14 | 0,000294 | stále stoupá |
| Cl-36 | 0,00280 | 10 018 |
| Ca-41 | $8,10 \cdot 10^{-12}$ | stále stoupá |
| Se-79 | $7,19 \cdot 10^{-7}$ | stále stoupá |
| Nb-93m | $3,31 \cdot 10^{-14}$ | stále stoupá |
| Mo-93 | $1,22 \cdot 10^{-10}$ | stále stoupá |
| I-129 | 0,133 | 10 020 |
| Příspěvek jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce | | |
| Příjem radionuklidů požitím (ingesce) | 0,136 | 10 020 |
| Příjem radionuklidů vdechnutím (inhalace) | $1,23 \cdot 10^{-9}$ | 10 037 |
| Zevní ozáření (z půdy, vody, vzduchu) | $5,41 \cdot 10^{-9}$ | 10 037 |
| Příspěvek příjmu jednotlivých potravin k roční efektivní dávce | | |
| Voda | $5,41 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Obiloviny | $6,66 \cdot 10^{-4}$ | 10 019 |
| Listová zelenina | $3,22 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Kořenová zelenina | $3,38 \cdot 10^{-3}$ | 10 020 |
| Brambory | $4,59 \cdot 10^{-3}$ | 10 021 |

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

| Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 10 250 let | Maximální hodnota [mSv/rok] | Doba dosažení maximální hodnoty |
|--|--|---------------------------------|
| Hovězí maso | $1,55 \cdot 10^{-3}$ | 10 020 |
| Mléko | $3,69 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Vepřové maso | $2,40 \cdot 10^{-3}$ | 10 022 |
| Drůbeží maso | $9,91 \cdot 10^{-6}$ | 10 022 |
| Vejce | $9,91 \cdot 10^{-6}$ | 10 022 |
| Půda (spolu s ostatními potravinami) | $2,47 \cdot 10^{-6}$ | 10 037 |

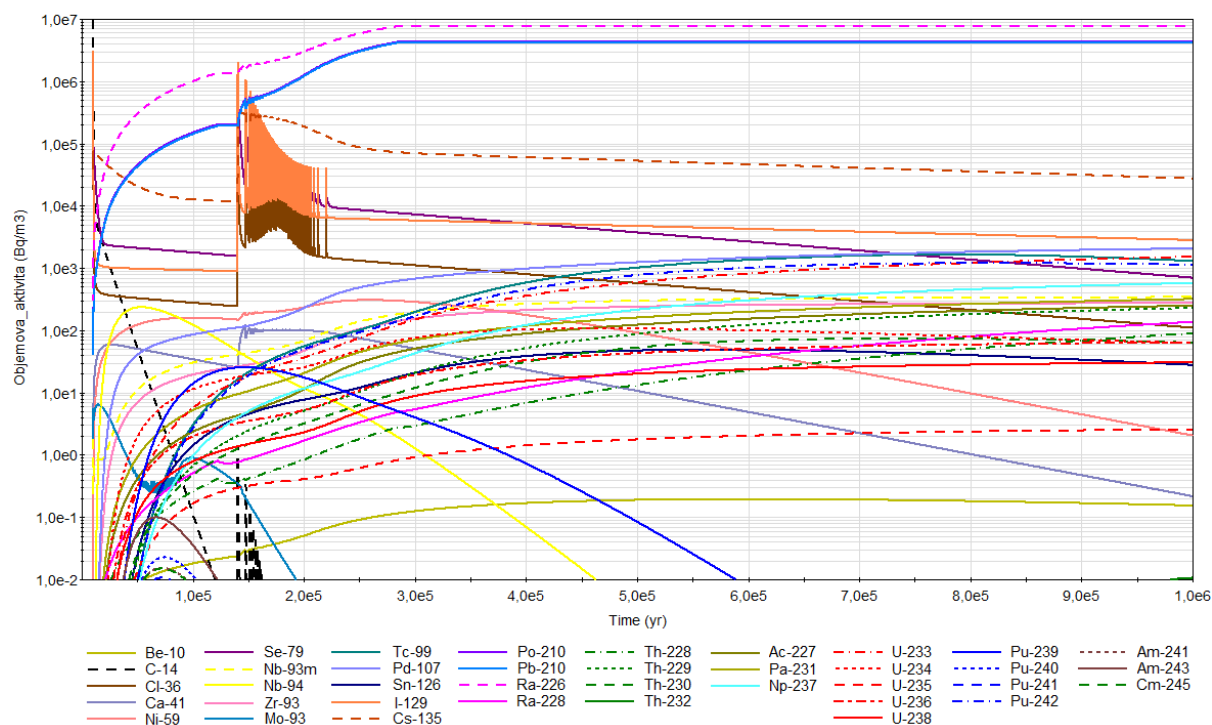
V časovém intervalu hodnocení 0 - 10 250 let maximum vypočtené roční efektivní dávky na reprezentativní osobu dosahuje hodnoty **0,136 mSv/rok** (54,4% dávkové optimalizační meze) v roce 10 020 (20 let po náhlém poškození 10 UOS současně v jednom roce). K výsledné hodnotě dávky nejvíce přispívají radionuklidy s vysokými hodnotami IRF (okamžitě uvolnitelné frakce) - ^{129}I , ^{36}Cl a ^{14}C . Dominantním radionuklidem je ^{129}I , který k dávce přispívá téměř 98%. K výpočtu byla použita hodnota IRF pro ^{129}I 0,1 (tj. 10%), která je velmi konzervativní. Lze říci, že pokud dojde k porušení jednoho UOS v době 10 000 let, přispějí radionuklidy s vysokými IRF z něj uvolněné k výsledné roční efektivní dávce hodnotou cca **0,0136 mSv/rok**.

Dominantní cestou ozáření reprezentativní osoby je **příjem radionuklidů požitím (ingesce)**, který přispívá k celkové hodnotě roční efektivní dávky téměř 100%. Příspěvky příjmu radionuklidů vdechnutím (inhalace) a zevního ozáření (z půdy, vody a vzduchu) jsou o 7-8 řádů nižší. Z potravin k dávce nejvíce přispívá spotřeba kontaminované pitné vody, mléka a listové zeleniny.

B.9.8.2 Časový interval hodnocení 0 - 1 000 000 let

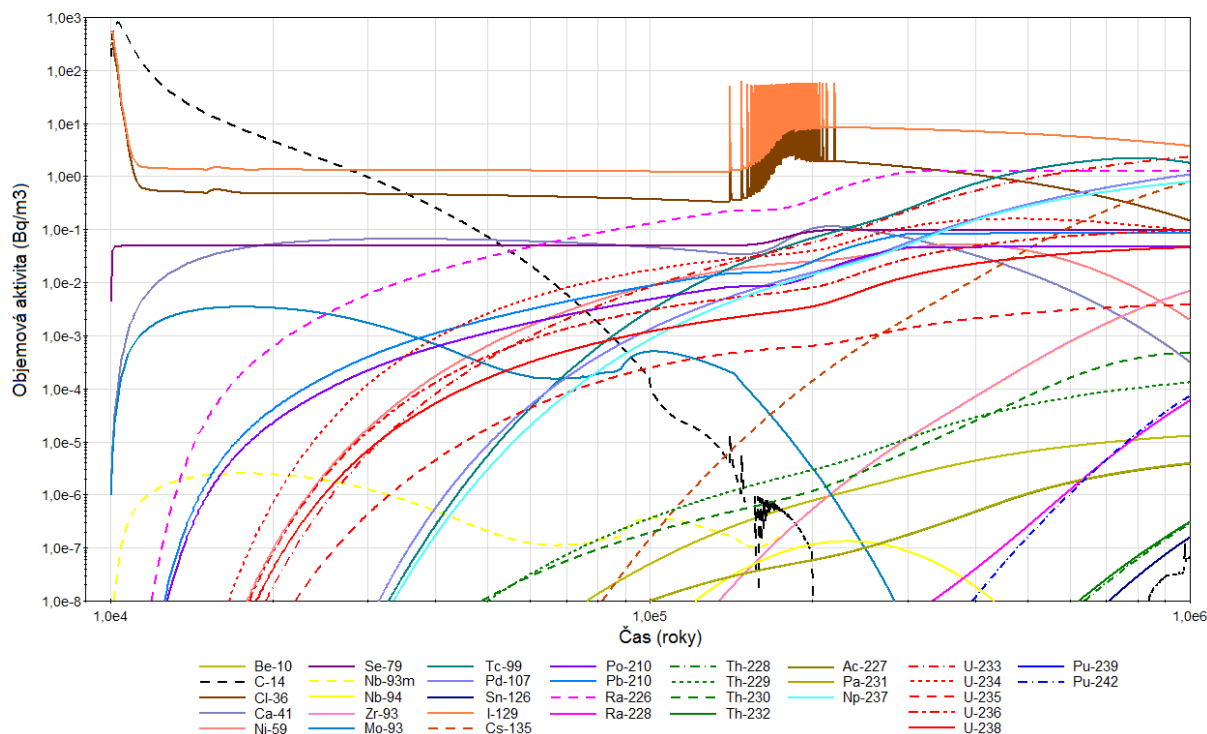
Grafy objemové aktivity uvolněné z pole blízkých interakcí a na rozhraní horninové prostředí/biosféra při předpokladů po poškození 10 UOS v době 10 000 let jsou uvedeny na Obr. 37 a Obr. 38.

Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m³)



Obr. 37: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m³)

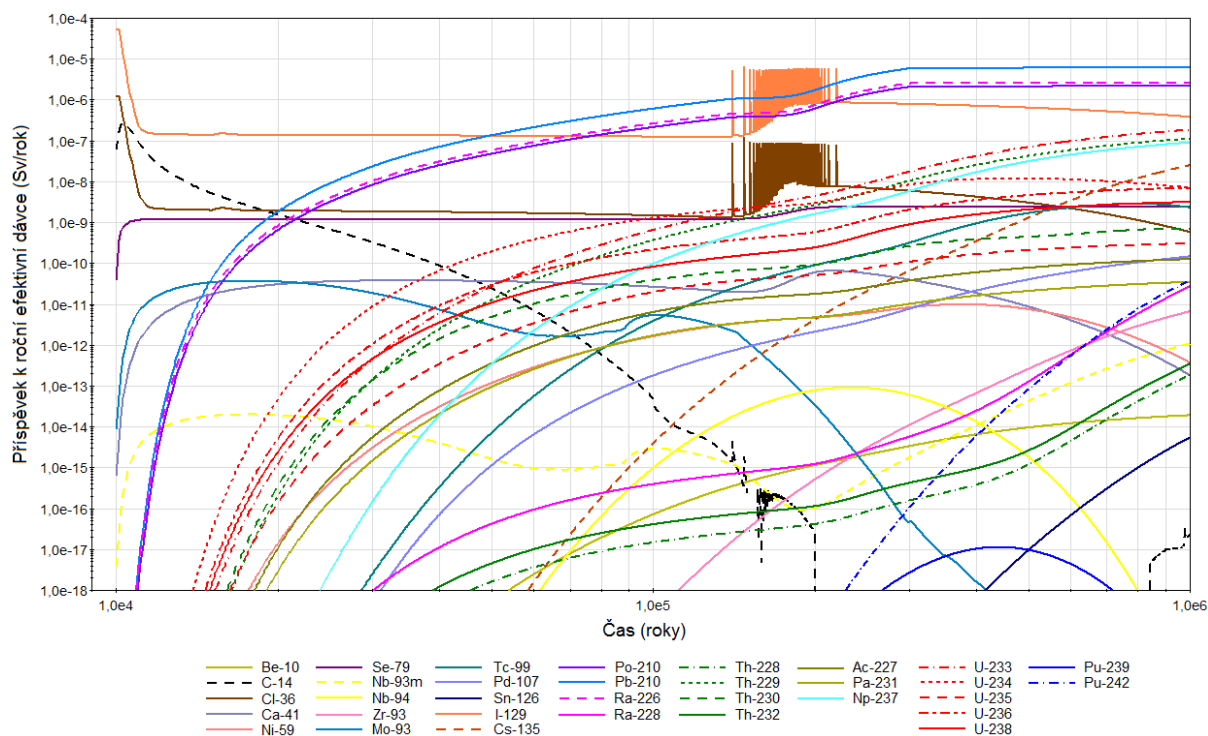
Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m³)



Obr. 38: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m³) - (0-1000000 let)

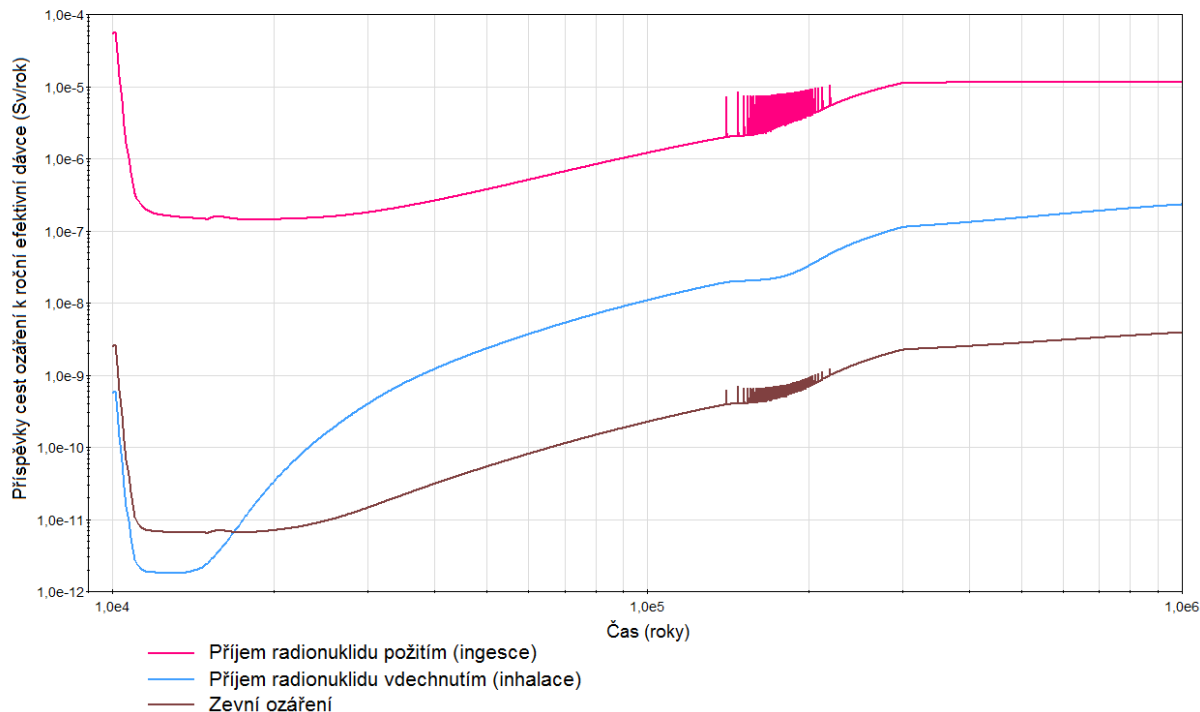
Na Obr. 39 jsou uvedeny příspěvky jednotlivých radionuklidů k čoční efektivní dávce, na Obr. 40 příspěvky jednotlivých expozičních cest na Obr. 41 maximální příspěvky radionuklidů k efektivní dávce.

Příspěvy jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)



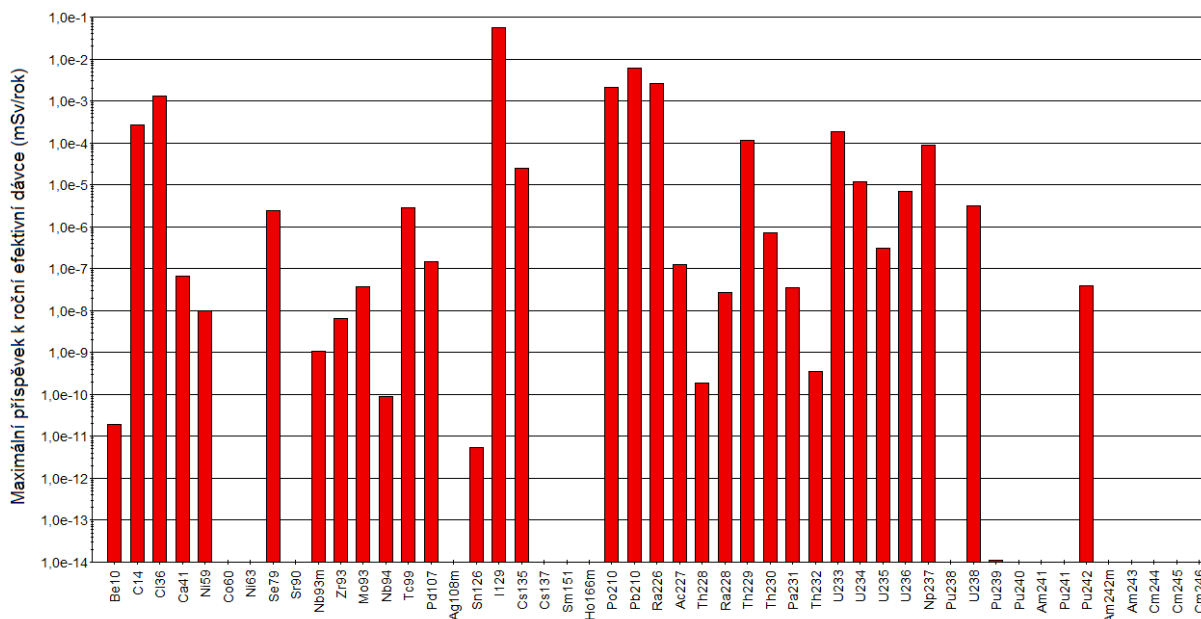
Obr. 39: Příspěvy jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Příspěvy jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok)



Obr. 40: Příspěvy jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok) - (0-1 milion let) (0 - 1000000 let)

Maximální příspěvky radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok)



Obr. 41: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok)

Celkové výsledky jsou shrnuty v Tab. 46.

Tab. 46: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let)

| Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 1 milion let | Maximální hodnota [mSv/rok] | Doba dosažení maximální hodnoty |
|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Roční efektivní dávka na reprezentativní osobu (54,4% dávkové optimalizační meze) | 0,136 | 10 020 |
| Druhé maximum (selhávání 60 UOS) | 0,0117 | od 774 600 do 937 000 |
| Příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce | | |
| Be-10 | 1,91 · 10 ⁻¹¹ | stále stoupá |
| C-14 | 0,000271 | 10 300 |
| Cl-36 | 0,00280 | 10 018 |
| Ca-41 | 6,54 · 10 ⁻⁸ | 216 400 |
| Ni-59 | 9,82 · 10 ⁻⁹ | 377 700 |
| Co-60 | 0 | - |
| Ni-63 | 0 | - |
| Se-79 | 2,37 · 10 ⁻⁶ | stále stoupá |
| Sr-90 | 0 | - |
| Nb-93m | 1,07 · 10 ⁻⁹ | stále stoupá |
| Zr-93 | 6,60 · 10 ⁻⁹ | stále stoupá |
| Mo-93 | 3,70 · 10 ⁻⁸ | 17 500 |
| Nb-94 | 9,06 · 10 ⁻¹¹ | 234 400 |
| Tc-99 | 2,86 · 10 ⁻⁶ | 791 900 |
| Pd-107 | 1,46 · 10 ⁻⁷ | stále stoupá |

| Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 1 milion let | Maximální hodnota [mSv/rok] | Doba dosažení maximální hodnoty |
|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Ag-108m | 0 | - |
| Sn-126 | $5,45 \cdot 10^{-12}$ | stále stoupá |
| I-129 | 0,133 | 10 020 |
| Cs-135 | $2,49 \cdot 10^{-5}$ | stále stoupá |
| Cs-137 | 0 | - |
| Sm-151 | 0 | - |
| Ho-166m | 0 | - |
| Po-210 | 0,00216 | 845 300 |
| Pb-210 | 0,00611 | 845 300 |
| Ra-226 | 0,00264 | 845 100 |
| Ac-227 | $1,26 \cdot 10^{-7}$ | stále stoupá |
| Th-228 | $1,86 \cdot 10^{-10}$ | stále stoupá |
| Ra-228 | $2,72 \cdot 10^{-8}$ | stále stoupá |
| Th-229 | 0,000112 | stále stoupá |
| Th-230 | $7,02 \cdot 10^{-7}$ | 963 000 |
| Pa-231 | $3,46 \cdot 10^{-8}$ | stále stoupá |
| Th-232 | $3,45 \cdot 10^{-10}$ | stále stoupá |
| U-233 | 0,000184 | stále stoupá |
| U-234 | $1,20 \cdot 10^{-5}$ | 475 200 |
| U-235 | $3,04 \cdot 10^{-7}$ | stále stoupá |
| U-236 | $6,95 \cdot 10^{-6}$ | stále stoupá |
| Np-237 | $8,98 \cdot 10^{-5}$ | stále stoupá |
| Pu-238 | 0 | - |
| U-238 | $3,15 \cdot 10^{-6}$ | stále stoupá |
| Pu-239 | $1,13 \cdot 10^{-14}$ | 441 300 |
| Pu-240 | $1,11 \cdot 10^{-23}$ | 196 900 |
| Am-241 | $5,71 \cdot 10^{-22}$ | 223 400 |
| Pu-241 | $1,43 \cdot 10^{-23}$ | 223 400 |
| Pu-242 | $3,83 \cdot 10^{-8}$ | stále stoupá |
| Am-242m | 0 | - |
| Am-243 | $3,44 \cdot 10^{-22}$ | 201 400 |
| Cm-244 | 0 | - |
| Cm-245 | $6,52 \cdot 10^{-22}$ | 223 500 |
| Cm-246 | $1,38 \cdot 10^{-27}$ | 155 800 |
| Příspěvek jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce | | |
| Příjem radionuklidů požitím (ingesce) | 0,136 | 10 020 |
| Příjem radionuklidů vdechnutím (inhalace) | $2,31 \cdot 10^{-7}$ | stále stoupá |
| Zevní ozáření (z půdy, vody, vzduchu) | $5,41 \cdot 10^{-9}$ | 10 037 |
| Příspěvek příjmu jednotlivých potravin k roční efektivní dávce | | |
| Voda | $5,41 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Obiloviny | $9,76 \cdot 10^{-4}$ | cca 950 000 |

| Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 1 milion let | Maximální hodnota [mSv/rok] | Doba dosažení maximální hodnoty |
|--|--------------------------------|---------------------------------|
| Listová zelenina | $3,22 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Kořenová zelenina | $3,38 \cdot 10^{-3}$ | 10 020 |
| Brambory | $4,59 \cdot 10^{-3}$ | 10 021 |
| Hovězí maso | $1,55 \cdot 10^{-3}$ | 10 020 |
| Mléko | $3,69 \cdot 10^{-2}$ | 10 020 |
| Vepřové maso | $4,88 \cdot 10^{-3}$ | cca 860 000 |
| Drůbeží maso | $7,55 \cdot 10^{-4}$ | cca 890 000 |
| Vejce | $7,55 \cdot 10^{-4}$ | cca 890 000 |
| Půda (spolu s ostatními potravinami) | $7,68 \cdot 10^{-6}$ | stále stoupá |

V časovém intervalu hodnocení 0 - 1 milion let maximum vypočtené roční efektivní dávky na reprezentativní osobu dosahuje hodnoty **0,136 mSv/rok** (54,4% dávkové optimalizační meze) v roce 10 020 (20 let po náhlém poškození 10 UOS současně v jednom roce). Tato dávka je jasně dominována ^{129}I (0,133 mSv/rok) a to již zhruba 20 let po poškození obalových souborů. V pozdějším období dominuje příspěvek ^{226}Ra a jeho dceřiných produktů ^{210}Pb a ^{210}Po . Příspěvek ostatních radionuklidů je řádově menší.

Postupná degradace 60 UOS po skončení jejich minimální životnosti v období od cca 140 000 až 220 000 má za následek zvýšení roční efektivní dávky z hodnoty 0,0020 mSv/rok v roce 140 000 na hodnotu **0,0117 mSv/rok** (8,6% dávkové optimalizační meze) v období od roku cca 774 600 do 937 000. Po tomto období začíná dávka povolna klesat. Není tedy překročeno maximum z roku 10 020 zapříčiněné současným rozpadem 10 UOS v době 10 000 let.

Zde je třeba zdůraznit, že výpočet pomocí výpočetního kódu GoldSim je velmi konzervativní vzhledem k následujícím předpokladům:

1) Tok kontaminantů z 10 UOS je v konceptu modelu GoldSim simulován jako jedna široká puklina s konstantním rozevřením. V reálných podmínkách se však rozevření puklin plynule i skokově (v místech protnutí) mění; v rámci puklin se ve vazbě na rozevření a výplň vytváří průtočné kanály. I velmi konektivní pukliny mohou být s okolním hydraulicky aktivním systémem propojeny puklinami s velmi malou konektivitou. Teprve takováto komplexní stavba puklinové sítě DFN modelu umožňuje alespoň se přiblížit pozorovaným parametrům průtoku. Z toho je patrné, proč popis celé transportní cesty jedinou puklinou vede k extrémnímu zkrácení doby průniku radionuklidů do biosféry. Proto maximální tok ^{129}I spočítaný pomocí GoldSimu vychází na několik desítek let po poškození UOS, zatímco při výpočtu s využitím průměrných hodnot jde o tisíce let. Tento velmi konzervativní předpoklad je však velmi obtížné vyvrátit vzhledem ke stochastickému charakteru puklinové sítě, která umožňuje, sice s velmi malou pravděpodobností, najít i cesty s velmi rychlým průnikem do biosféry. Tento předpoklad je možno vyvrátit pouze po důkladném poznání a porozumění charakteru puklinové sítě lokalit v hloubce úložiště.

2) V koncepčním modelu je také jedním z hlavních zdrojů nejistot rozhraní geosféra/biosféra, kde hraje významnou roli uvažování vztahu měrné aktivity radionuklidů v podzemní vodě a měrné aktivity radionuklidů ve vodě ve studni. To závisí jednak na hydrologii přípoверхové vrstvy obsahující vodonosnou vrstvu a jednak na uvažované spotřebě vody komunitou (např.

vliv čerpání vody ze studny). Pozornost je třeba věnovat zejména ředění podzemní vody před jejím využitím pro potřeby místní komunity. Koncepční nejistoty v této oblasti mohou představovat řádové rozdíly v hodnotách vypočtené efektivní dávky.

Po bližším poznání puklinové sítě lokality a poznání proudění vody v životním prostředí vedoucímu ke zředění koncentrace radionuklidů ve studni je velmi pravděpodobné snížení efektivní dávky o několik řádů.

B.9.8.3 Zjednodušený výpočet efektivní dávky

Vzhledem k výše uvedeným velmi konzervativním předpokladům využitých při sestavování modelu ve výpočetním kódu GoldSim, byl proveden orientační výpočet pro ¹²⁹I s využitím komerčního výpočetního kódu PAGODA vyvinutého ve společnosti Quantisci (QuantiSci 1990). Tento výpočet je založen na průměrných hodnotách pro krystalinické prostředí. Všechny ostatní parametry byly převzaty z předchozí části výpočtu uvedeného ve zprávě (Trpková et al. 2018).

Zdrojový člen, respektive koncentrace radionuklidů v UOS, je charakterizován následujícím vztahem:

$$C_n^C = \frac{M_n}{\alpha_l^C V^C} \quad (1)$$

,kde V^C je volný objem UOS, M_n je celkové množství radionuklidu v oblasti UOS a α_l^C je tzv. kapacitní faktor.

Při řešení toku radionuklidů do bentonitu se předpokládá, že koncentrace v bodě r_0 (poloměr obalového souboru) je stejná v obalovém souboru i v bentonitu. Matematicky se tok radionuklidů z obalového souboru do bentonitu při uvažování difúzi plochou pláště válce o výšce L vyjadřuje rovnicí:

$$F_j(t) = -2\pi r_0 D L \varepsilon \left. \frac{\partial C_j}{\partial r} \right|_{r=r_0} \quad (2)$$

,kde C_j je koncentrace radionuklidu j úložném vrtu, r_1 je poloměr vrtu, a , b jsou konstanty, které závisí na typu okrajových podmínek. V případě omezeného toku vody v hornině a přítomnosti bentonitu v ukládacím místě konstanta a představuje rychlost toku v hornině (Q) a konstanta $b = A\varepsilon D$, kde A je plocha vrtu, ε a D jsou porozita a difúzní koeficient bentonitu.

Dále se vychází u předpokladu, že na rozhraní úložný vrt – hostitelské prostředí či výplně tunelu musí být splněna podmínka kontinuity:

$$aC_j(r_1, t) + b \left. \frac{\partial C_j}{\partial r} \right|_{r=r_1} = 0 \quad (3)$$

Při výpočtu toku radionuklidů přes puklinové krystalinické prostředí se využívá následující advektivně-disperzní rovnice, která zahrnuje difúzi radionuklidů do neproudící vody v matici horniny:

$$\frac{\partial C_n^G}{\partial t} = -v^G \frac{\partial C_n^G}{\partial t} + D^G \frac{\partial^2 C_n^G}{\partial x^2} - \lambda_n C_n^G + \lambda_{n-1} C_{n-1}^G + \frac{\Omega^M \varepsilon^M D^M}{\varepsilon^G} \frac{\partial C_n^M}{\partial w} \quad (4)$$

,kde v^G je rychlost vody v pórech (m/rok), D^G je disperzní koeficient v horninovém prostředí (m^2/rok), ε^G je kinematická porozita, ε^M je porozita v matici horiny, Ω^M je smáčený povrch pukliny (m^2/m^3) a w je vzdálenost do horninové matrice. Uvnitř matrice se migrace radionuklidů řídí běžnou difúzní rovnicí zahrnující sorpci radionuklidů.

Výpočet dávky v biosféře byl zjednodušen na scénář studně o kapacitě 10 000 m³/rok, protože v lokalitě se vyskytují jen lokální zdroje podzemních vod. Konzervativně se předpokládá, že v době 100000 let se poškodí všechny obalové soubory a uvolněné radionuklidy směřují do dominantní drenáže. Pouze 1 % radionuklidů ze všech obalových souborů se dostane do studně určené k pití vody, tj. v případě lokality Kraví hora jde o radionuklidy ze 73 obalových souborů (Podobná hodnota je uvedena i v bezpečnostních zprávách Posiva (Hjerpe et al. 2010).

Pro ředění toku radionuklidů z horninového prostředí do studně se využívá hodnota kapacity využívané studně. V tomto zjednodušeném scénáři předpokládáme, že studna využívaná pouze k celoročnímu pití vody má kapacitu 10000 m³/rok, Pro 6232 obalových souborů směřujících do dominantní drenáže řeky Bobrůvka byla spočítán tok $3,71 \times 10^8$ Bq/rok zhruba za 5000 let po okamžitém poškození obalových souborů, což při výše uvedených předpokladech odpovídá hodnotě efektivní dávky $3,0 \times 10^{-2}$ mSv/rok.

B.10 Shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení

Klíčovou charakteristikou území k umístění hlubinného úložiště, při jejímž dosažení je umístění hlubinného úložiště zakázáno podle § 18, odst. 4, písm. a) vyhlášky č. 378/2016 Sb., je: horninové prostředí, které umožňuje migraci radioaktivních, chemických a toxických látek, které se mohou uvolnit z uloženého radioaktivního odpadu tak, že při očekávaném vývoji hlubinného úložiště dojde k většímu ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí. Dávková optimalizační mez 0,25 mSv za rok je stanovená v zákoně 263/2016 Sb., §82, odst. (1)) pro reprezentativní osobu (definice - jednotlivec z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány - zákon 263/2016 Sb., §2, odst. (3), bod j)). Prokázání dlouhodobé bezpečnosti podle bodu a) požadavku SÚJB je spojeno s výpočtem efektivní dávky pro reprezentativní osobu.

Tento požadavek je obtížné splnit při nedostatku informací z hloubek úložiště v raných fázích přípravy hlubinného úložiště, protože výpočet efektivní dávky je závislý zejména na parametrech prostředí v hloubce úložiště. Pro odhad efektivní dávky, který byl proveden v kapitole B.9, bylo třeba přijmout řadu velmi konzervativních předpokladů, které je třeba v následných fázích nahradit reálnými daty z hloubek úložiště. Podle (IAEA 2011b) IAEA SSR-5 hodnoty efektivní dávky pod hodnotou optimalizační meze spočítané v první fázi výběru lokalit na základě hrubých předpokladů nemusí nutně znamenat, že lokalita je vhodná pro umístění úložiště a naopak překročení této dávky nemusí znamenat, že tato lokalita je nevhodná. Proto podle názoru SÚRAO je v této době mnohem objektivnější posuzovat lokality podle indikátorů odvozených v dokumentu MP.22 a shrnutých v části B) této zprávy nežli podle efektivní dávky.

V této práci byly shrnuty všechny dostupné geologické charakteristiky relevantní pro hodnocení bezpečnosti (kapitola B.1). Byly připraveny a popsány hydrogeologické modely včetně posouzení obtížnosti jejich přípravy a predikovatelnosti (kapitola B.2). Byly shrnuty dostupné geomechanické a geochemické vlastnosti lokality (kapitoly B.3.a B.5). Je možno konstatovat, že na základě expertního hodnocení nebyly v lokalitě Kraví hora zjištěny charakteristiky, která by vylučovaly umístění hlubinného úložiště.

V rámci kapitoly B.7 byly rovněž zhodnoceny vlastnosti území z hlediska požadavků na umístění jaderných zařízení umístěvaná na povrchu či blízko povrchu. Ani zde nebyla zjištěna charakteristika, při jejichž dosažení by umístění povrchového jaderného zařízení bylo zakázáno.

B.11 Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení

Projekt hlubinného úložiště a zvolené inženýrské bariéry mohou výrazně ovlivnit bezpečnost hlubinného úložiště, zejména v koncepci úložiště umístěného v puklinovém, krystalickém prostředí. Bezpečnost hlubinného úložiště může být rovněž výrazně ovlivněna dobou skladování vyhořelého jaderného paliva. Čím delší skladování, tím menší jsou nároky na potřebný podzemní prostor a tím snadněji bude možno vybrat vhodné prostředí bez výrazných puklin, který by mohly přivést vodu k obalovým souborům s VJP a odvádět radionuklidy do životního prostředí. Bez znalosti prostředí v hloubce úložiště je však obtížné navrhnout lepší materiály pro obalové soubory, lepší těsnicí systémy či ekonomicky optimální řešení designu úložiště. Tato kapitola bude více relevantní v dalších stádiích vývoje hlubinného úložiště.

B.12 Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu

V této kapitole jsou uvedeny informace o předpokládaném množství odpadů, které mají být uloženy do hlubinného úložiště, včetně jejich fyzikálních, chemických a radiologických vlastností. Radioaktivní odpady jsou na základě způsobu, jak s nimi bude nakládáno, rozděleny do tří skupin:

- vyhořelé jaderné palivo (včetně plánovaných nových jaderných zdrojů),
- odpady z vyřazování jaderných zařízení (včetně plánovaných nových jaderných zdrojů),
- ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť.

Hodnoty aktivit klíčových radionuklidů a informace o základních parametrech VJP byly převzaty ze závěrečné zprávy (Rataj et al. 2015) dílčího úkolu Databáze VJP projektu Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Databáze VJP se pravidelně aktualizuje podle skutečného provozu jaderných elektráren a budou se tak aktualizovat i tabulky s inventářem VJP uvedené v této kapitole.

Množství a charakterizace odpadů z vyřazování jaderných zařízení a institucionálního odpadu byly převzaty z technické zprávy (Touš et al. 2018) dílčího úkolu Chování VJP a forem RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. Množství odpadů se bude zpřesňovat na základě údajů získaných ze skutečného provozu jaderných zařízení a zpřesňováním údajů při přípravě vyřazování jaderných elektráren.

B.12.1 Vyhořelé jaderné palivo

Do HÚ bude ukládáno nepřeprocessované VJP z provozovaných jaderných elektráren EDU1-4, ETE1-2, dále z plánovaných 3 nových bloků EDU a ETE a nepřeprocessované nízko-obohacené palivo z výzkumných reaktorů.

B.12.1.1 Základní parametry VJP

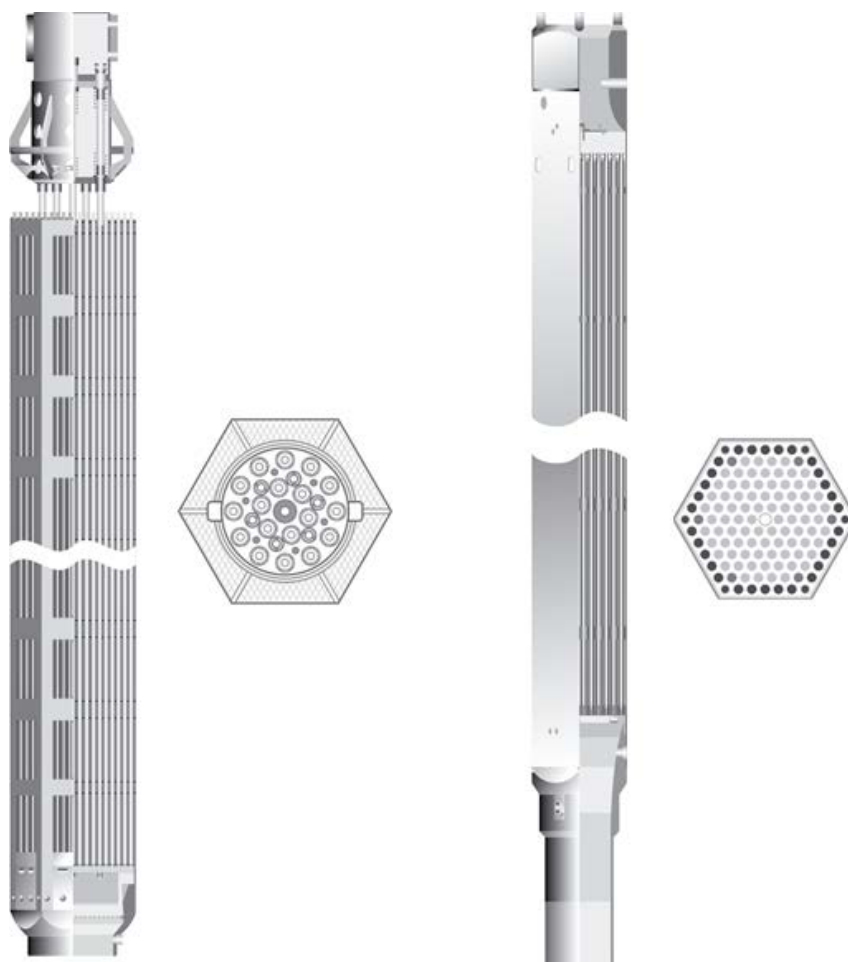
Přehled základních parametrů uvažovaného VJP je uveden v Tab. 47. U všech elektráren (i NJZ) se předpokládá doba provozu 60 let a doba mezi vyjmutím paliva z reaktoru a uložením do HÚ 65 let. Stávající jaderné bloky mají maximální vyhoření 60 MWd/kg. Pro NJZ se předpokládá vyšší maximální vyhoření a to 70 MWd/kg. Za uvedených předpokladů vychází celkový počet **UOS 7 600 ks**.

Tab. 47: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ

| | jednotky | EDU | ETE | EDU, ETE |
|---------------------------|----------------------|----------|-----------|----------|
| typ reaktoru | | VVER-440 | VVER-1000 | NJZ |
| max. vyhoření | MWd.kg ⁻¹ | 60 | 60 | 70 |
| max. doba provozu | roky | 60 | 60 | 60 |
| min. doba chlazení | roky | 65 | 65 | 65 |
| počet PS | ks | 21 700 | 5 400 | 8 100 |
| počet PS v UOS | ks | 7 | 3 | 3 |
| počet UOS | ks | 3 100 | 1 800 | 2 700 |

B.12.1.2 Popis palivového souboru

Jaderné palivo provozované v jaderných elektrárnách představuje komplexní systém palivových proutků, konstrukčních materiálů a regulačních orgánů. Celkový pohled na palivo je možné zjistit z Obr. 42.



Obr. 42: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm)

Palivový proutek (Obr. 43) je nejdůležitější součástí jaderného paliva a také základní stavební jednotkou výpočetního modelu vyhoření paliva.



Obr. 43: Schéma palivového proutku

Pokrytí (povlak) ze zirkoniové slitiny s nízkou absorpcí neutronů a vysokou materiálovou odolností uzavírá palivový proutek z materiálu UO_2 . Vedle samotné matrice paliva se jedná o jednu z nejdůležitějších bariér chránících před únikem radioaktivních látek z paliva.

Pro správné výpočty vyhoření paliva je nutné zadat podrobné materiálové složení na počátku vyhořívání, které se následně mění v důsledku interakcí s neutrony. Na konci vyhořívání

paliva obsahuje palivový proutek celou řadu štěpných produktů a aktinidů, které určují charakteristiky VJP. Jedná se zejména o jeho aktivitu a zbytkový tepelný výkon.

B.12.1.3 Inventář VJP

Databáze s napočítanými aktivitami klíčových radionuklidů a vypočítanými hmotnostmi odpovídajících stabilních izotopů je výstupem dílčího projektu Databáze VJP pro bezpečnostní rozbor. Podrobný popis modelů a předpoklady pro výpočty jsou popsány ve zprávě Rataj et al. (2015). Klíčové radionuklidy, které byly zařazeny do databáze, byly vybrány jak z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, tak s ohledem na provozní bezpečnost. Z celého inventáře byly vybrány radionuklidy, které jsou obsaženy v množství vyšším než 1 % celkové aktivity. Tento seznam byl doplněn radionuklidy, které jsou významné z hlediska interního nebo externího ozáření a hrají důležitou roli při provozní bezpečnosti. Seznam klíčových radionuklidů, pro které byla databáze navržena, je uveden v Tab.48. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů přepočítané na jeden UOS a na celkovou aktivitu všech palivových souborů z EDU, ETE a NJZ jsou uvedeny v Tab. 49.

Tab.48: Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP

| Aktivační produkty | Aktinidy | | | | | Štěpné produkty |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------------|
| ³ H | | | | | | ⁷⁹ Se |
| ¹⁰ Be | ²²⁹ Th | ²³⁰ Th | ²³² Th | | | ⁸⁵ Kr |
| ¹⁴ C | ²³¹ Pa | | | | | ⁹⁰ Sr |
| ³⁶ Cl | ²³³ U | ²³⁴ U | ²³⁵ U | ²³⁶ U | ²³⁸ U | ⁹³ Zr |
| ⁴¹ Ca | ²³⁷ Np | | | | | ⁹⁹ Tc |
| ⁵⁹ Ni | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu | ²⁴⁰ Pu | ²⁴² Pu | | ¹⁰⁷ Pd |
| ⁶³ Ni | ²⁴¹ Am | ²⁴² Am | ²⁴³ Am | | | ¹²⁶ Sn |
| ⁹³ Zr | ²⁴⁴ Cm | ²⁴⁵ Cm | ²⁴⁶ Cm | | | ¹²⁹ I |
| ⁹³ Mo | | | | | | ¹³⁵ Cs |
| ⁹⁴ Nb | | | | | | ¹³⁷ Cs |
| ^{108m} Ag | | | | | ²²⁶ Ra* | ¹⁵¹ Sm |
| ^{166m} Ho | | | | | | |

*Ra nepatří mezi aktinidy, nepatří ani mezi štěpné produkty a aktivační produkty. ²²⁶Ra vzniká jako dceřiný produkt při rozpadu aktinidů.

Tab. 49: Celková aktivita klíčových radionuklidů pro EDU, ETE i NJZ a aktivita přepočítaná na jeden UOS

| Radionuklid | EDU | | ETE | | NJZ | |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A [Bq] | | | | | |
| | UOS | celkem | UOS | celkem | UOS | celkem |
| C-14 | 1,02E+10 | 3,15E+13 | 1,50E+10 | 2,71E+13 | 1,61E+10 | 4,36E+13 |
| Cl-36 | 6,90E+08 | 2,14E+12 | 1,03E+09 | 1,85E+12 | 1,33E+09 | 3,59E+12 |
| Ni-59 | 7,10E+08 | 2,20E+12 | 8,77E+08 | 1,58E+12 | 3,09E+09 | 8,33E+12 |
| Ni-63 | 6,60E+10 | 2,04E+14 | 7,84E+10 | 1,41E+14 | 3,47E+11 | 9,36E+14 |
| Se-79 | 3,94E+09 | 1,22E+13 | 6,18E+09 | 1,11E+13 | 7,44E+09 | 2,01E+13 |
| Sr-90 | 8,09E+14 | 2,51E+18 | 1,27E+15 | 2,29E+18 | 1,53E+15 | 4,13E+18 |
| Nb-94 | 4,55E+11 | 1,41E+15 | 2,88E+11 | 5,18E+14 | 6,88E+11 | 1,86E+15 |
| Tc-99 | 7,32E+11 | 2,27E+15 | 1,14E+12 | 2,05E+15 | 1,40E+12 | 3,78E+15 |
| I-129 | 1,70E+09 | 5,28E+12 | 2,66E+09 | 4,79E+12 | 3,24E+09 | 8,75E+12 |
| Cs-135 | 3,38E+10 | 1,05E+14 | 5,31E+10 | 9,56E+13 | 5,32E+10 | 1,44E+14 |
| Cs-137 | 1,34E+15 | 4,14E+18 | 2,09E+15 | 3,76E+18 | 2,63E+15 | 7,11E+18 |
| U-234 | 7,75E+10 | 2,40E+14 | 1,27E+11 | 2,29E+14 | 1,54E+11 | 4,15E+14 |
| U-235 | 4,45E+08 | 1,38E+12 | 8,91E+08 | 1,60E+12 | 5,29E+08 | 1,43E+12 |
| Np-237 | 2,43E+10 | 7,53E+13 | 4,08E+10 | 7,35E+13 | 4,56E+10 | 1,23E+14 |
| U-238 | 1,00E+10 | 3,11E+13 | 1,55E+10 | 2,80E+13 | 1,65E+10 | 4,45E+13 |
| Pu-238 | 1,83E+14 | 5,69E+17 | 3,02E+14 | 5,43E+17 | 4,36E+14 | 1,18E+18 |
| Pu-239 | 1,50E+13 | 4,64E+16 | 2,68E+13 | 4,82E+16 | 2,35E+13 | 6,34E+16 |
| Pu-240 | 2,63E+13 | 8,15E+16 | 4,20E+13 | 7,56E+16 | 4,62E+13 | 1,25E+17 |
| Am-241 | 2,29E+14 | 7,09E+17 | 4,04E+14 | 7,26E+17 | 4,02E+14 | 1,08E+18 |
| Pu-242 | 1,48E+11 | 4,60E+14 | 2,17E+11 | 3,91E+14 | 3,39E+11 | 9,14E+14 |
| Am-242m | 5,10E+11 | 1,58E+15 | 8,51E+11 | 1,53E+15 | 6,23E+11 | 1,68E+15 |
| Am-243 | 2,32E+12 | 7,20E+15 | 3,51E+12 | 6,32E+15 | 4,87E+12 | 1,31E+16 |
| Cm-244 | 4,24E+13 | 1,31E+17 | 6,40E+13 | 1,15E+17 | 1,18E+14 | 3,18E+17 |
| Cm-245 | 9,82E+10 | 3,04E+14 | 1,69E+11 | 3,03E+14 | 3,01E+11 | 8,13E+14 |
| Cm-246 | 2,57E+10 | 7,98E+13 | 3,45E+10 | 6,22E+13 | 8,95E+10 | 2,42E+14 |
| suma | 2,64E+15 | 8,20E+18 | 4,21E+15 | 7,57E+18 | 5,20E+15 | 1,40E+19 |

B.12.1.4 Tepelný výkon UOS

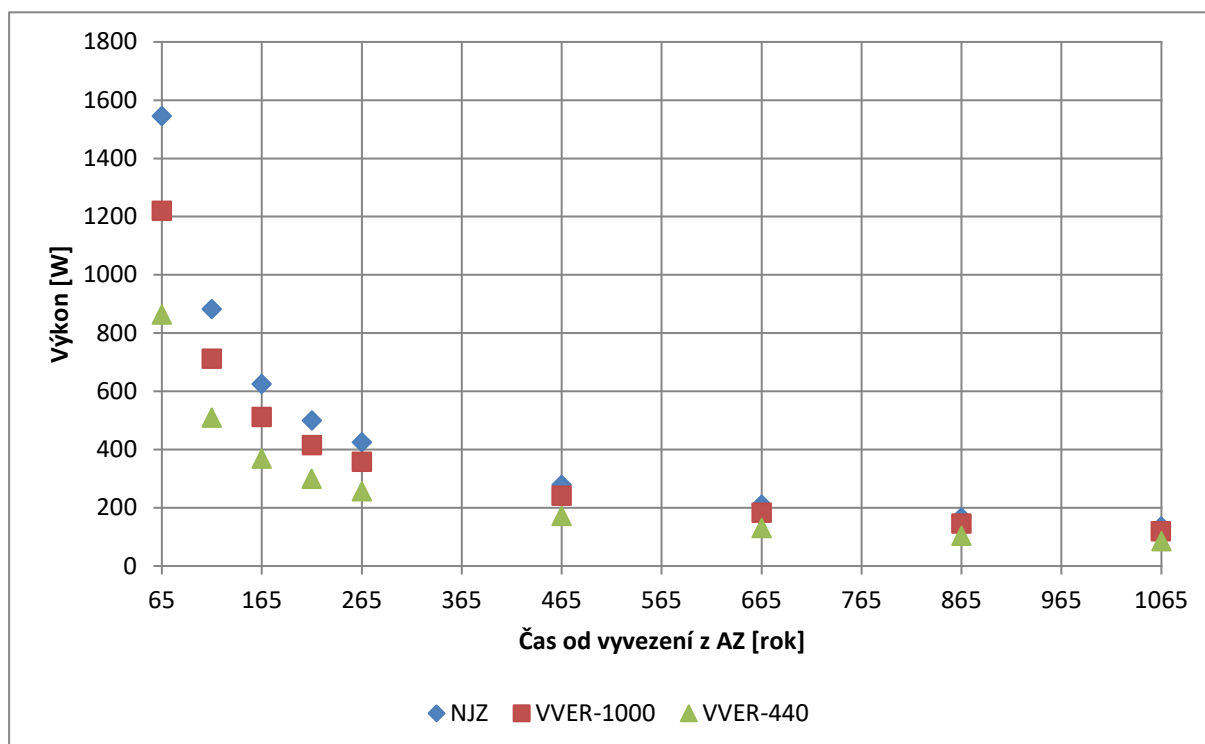
Zbytkový výkon pro jeden UOS s VJP byl spočítán pro následující varianty PS:

- VVER-440 Gd-2M+ s průměrným obohacením 4,38 % a vyhořením 60 MWd/kg_{HM}
- VVER-1000 TVSAT s průměrným obohacením 4,60 % a vyhořením 60 MWd/kg_{HM}
- NJZ s průměrným obohacením 4,50 % a vyhořením 70 MWd/kg_{HM}

Vypočtené hodnoty výkonů jsou uvedeny v Tab. 50. Grafické znázornění zbytkového výkonu pro jeden UOS je na Obr. 44

Tab. 50: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro všechny typy JE

| Čas od vyvezení (rok) | VVER-440 | VVER-1000 | NJZ |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Výkon [W/UOS] | | |
| 65 | $8,65 \cdot 10^2$ | $1,22 \cdot 10^3$ | $1,55 \cdot 10^3$ |
| 115 | $5,10 \cdot 10^2$ | $7,12 \cdot 10^2$ | $8,83 \cdot 10^2$ |
| 165 | $3,70 \cdot 10^2$ | $5,13 \cdot 10^2$ | $6,26 \cdot 10^2$ |
| 215 | $3,00 \cdot 10^2$ | $4,16 \cdot 10^2$ | $5,00 \cdot 10^2$ |
| 265 | $2,58 \cdot 10^2$ | $3,58 \cdot 10^2$ | $4,25 \cdot 10^2$ |
| 465 | $1,73 \cdot 10^2$ | $2,42 \cdot 10^2$ | $2,79 \cdot 10^2$ |
| 665 | $1,31 \cdot 10^2$ | $1,84 \cdot 10^2$ | $2,10 \cdot 10^2$ |
| 865 | $1,04 \cdot 10^2$ | $1,46 \cdot 10^2$ | $1,67 \cdot 10^2$ |
| 1065 | $8,53 \cdot 10^1$ | $1,19 \cdot 10^2$ | $1,37 \cdot 10^2$ |



Obr. 44: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ:

B.12.1.5 Příkon ekvivalentní dávky UOS

V programu MCNP5 (X-5 Monte Carlo team, 2010) byl vytvořen zjednodušený dvourozměrný model jednotlivých typů UOS. Toto přiblížení je konzervativním odhadem skutečné geometrie UOS. Provedené výpočty zohledňují aktualizované rozměry UOS. Rozměry pro UOS paliva VVER-440 byly převzaty z řízené dokumentace Škoda JS (Ae 17004) – varianta 2. Rozměry UOS pro VVER-1000 a paliva NJZ byly odhadnuty na základě této aktualizace při zachování mezery mezi palivovými soubory a vnitřním pouzdrem UOS. Zachována byla také tloušťka jednotlivých částí UOS. Rozměry konstrukcí obalových souborů použitých ve výpočetních modelech jsou uvedeny v Tab. 51.

Tab. 51: Rozměry UOS použité ve výpočetních modelech pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ

| Typ paliva | Rozměr | [cm] |
|------------------|----------------------------------|-------|
| VVER-440 | Vnitřní pouzdro, vnitřní poloměr | 26 |
| | Vnitřní pouzdro, vnější poloměr | 32,9 |
| | Vnější plášť, vnitřní poloměr | 33,25 |
| | Vnější plášť, vnější poloměr | 39,75 |
| VVER-1000 NJZ | Vnitřní pouzdro, vnitřní poloměr | 31,11 |
| | Vnitřní pouzdro, vnější poloměr | 38 |
| | Vnější plášť, vnitřní poloměr | 38,35 |
| | Vnější plášť, vnější poloměr | 44,85 |

Tok neutronů a fotonů byl počítán vždy pro nejhorší případy zdrojových členů vypočítaných v databázi VJP. Hustoty toků částic byly přepočteny na příkony ekvivalentních dávek s použitím konstant vycházejících z doporučení ICRP 119 Eckerman et al. (2012). Vypočtené dávkové příkony jsou uvedeny v Tab. 52.

Tab. 52: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS

| Typ paliva | Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS [mSv.h ⁻¹] | | |
|-----------------|---|--------|--------|
| | neutrony | fotony | celkem |
| VVER-440 Gd-2M | 2,34 | 11,41 | 13,75 |
| VVER-440 Gd-2M+ | 2,4 | 11,54 | 13,94 |
| VVER-1000 | 2,25 | 11,61 | 13,86 |
| NJZ | 3,69 | 13,44 | 17,14 |
| Typ paliva | Příkon ekvivalentní dávky ve vzdálenosti 1 m od UOS [mSv.h ⁻¹] | | |
| | neutrony | fotony | celkem |
| VVER-440 Gd-2M | 0,53 | 2,83 | 3,36 |
| VVER-440 Gd-2M+ | 0,54 | 2,86 | 3,41 |
| VVER-1000 | 0,55 | 3,13 | 3,68 |
| NJZ | 0,9 | 3,62 | 4,53 |

B.12.2 Odpady z vyřazování jaderných zařízení

Mezi odpady z vyřazování jaderných zařízení jsou zahrnuty radioaktivní odpady z vyřazování JE (EDU, ETE, NJZ) a výzkumného reaktoru. Uvažovaný inventář je založen na konstrukční dokumentaci jednotlivých zařízení a na výpočtech aktivace doplněné kvalifikovanými odhady. Bilanční přehledy jsou zpracovány pro variantu tzv. postupného vyřazování z provozu, kdy demontážní činnosti jsou posunuty o 40 let. Nižší aktivita odpadů umožňuje optimalizovat uložení do menšího počtu betonových kontejnerů. Při postupném vyřazování se počet kontejnerů sníží až o 30 %.

Uvažovaný radioaktivní odpad je tvořen:

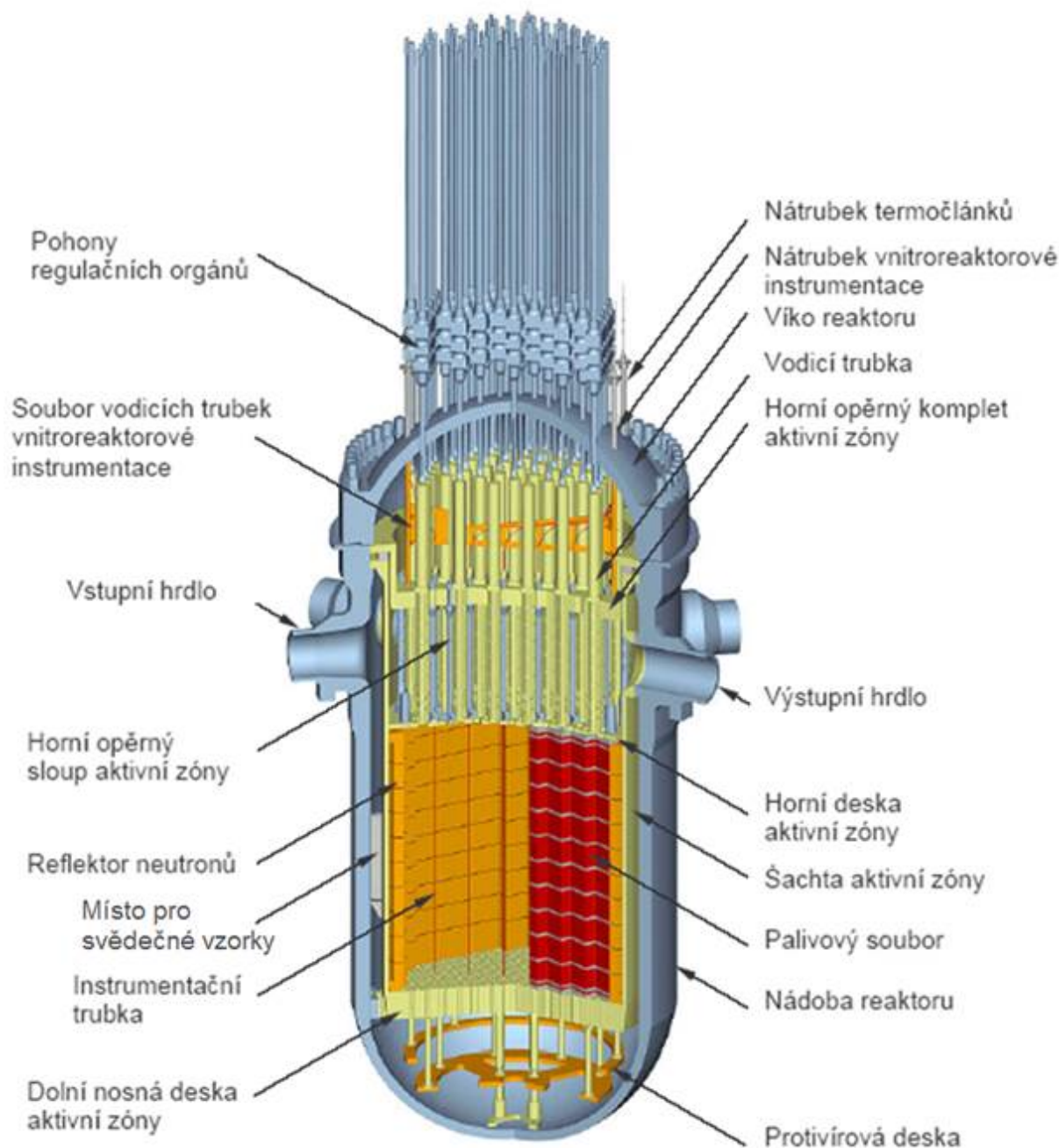
- aktivovanými částmi konstrukčních dílů (válcová část tlakové nádoby, koš aktivní zóny, šachta reaktoru, tepelné stínění)
- aktivovanými betony a zásypy (biologické stínění)
- provozními aktivními předměty (aktivovaná čidla, termočlánky, vložené tyče, kazety svědečných vzorků, absorbátory)

B.12.2.1 JE Temelín

V Tab. 53 jsou shrnuty hmotnostní bilance technologických částí reaktoru včetně počtu betonových kontejnerů, objemu RAO a celkové hmotnosti betonových kontejnerů pro postupné vyřazování z provozu. Technologické části jsou zobrazeny ve vertikálním řezu reaktoru VVER-1000, Obr. 45.

Tab. 53 : Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí reaktoru pro postupné vyřazování z provozu doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Temelín

| Komponenty reaktoru | HÚ [kg] | betonové kontejnery [ks] | objem [m ³] | hmotnost [t] |
|--------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| tlaková nádoba | 226 680 | 35 | 152 | 607 |
| šachta reaktoru | 48 150 | 11 | 48 | 168 |
| koš AZ | 35 015 | 31 | 134 | 372 |
| podpěry palivových souborů | 10 230 | 9 | 39 | 108 |
| blok ochranných trub | 17 130 | 10 | 43 | 126 |
| tepelná izolace tlakové nádoby | 17 775 | 22 | 95 | 288 |
| serpentinový beton | 54 615 | 10 | 43 | 133 |
| kanály IK a manipulační kanály | 5 250 | 4 | 17 | 49 |
| stavební beton | 1 360 | 1 | 4 | 12 |
| suma - 1 reaktor | 416 205 | 133 | 577 | 1 862 |
| suma - 2 reaktory | 832 410 | 266 | 1 153 | 3 723 |



Obr. 45: Vertikální řez reaktoru VVER-1000

V Tab. 54 jsou uvedeny měrné aktivity klíčových radionuklidů technologických částí reaktoru po ukončení provozu reaktoru: koš AZ, šachta reaktoru, TNR, návar TNR. Celková aktivita po 40 letech od konce provozu se snížila a to přibližně o dva řády v závislosti na tom, který radionuklid převažuje v dané části reaktoru.

Tab. 54: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (koš AZ, šachta reaktoru, návar TNR a TNR) pro postupné vyřazování z provozu pro JE Temelín

| Radionuklid | koš AZ | šachta reaktoru | návar TNR | TNR |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | [Bq/kg] | [Bq/kg] | [Bq/kg] | [Bq/kg] |
| C-14 | 8,69E+08 | 6,52E+08 | 2,89E+02 | 4,02E+01 |
| Co-60 | 1,16E+10 | 7,98E+09 | 1,34E+08 | 1,56E+06 |
| Mo-93 | 1,02E+08 | 4,36E+07 | 2,04E+05 | 1,03E+05 |
| Ni-59 | 3,62E+09 | 3,38E+09 | 8,50E+07 | 1,73E+05 |
| Ni-63 | 4,23E+11 | 3,53E+11 | 7,22E+09 | 1,42E+07 |
| Nb-94 | 1,07E+07 | 1,93E+06 | 7,03E+09 | 3,62E+03 |
| Tc-99 | 2,21E+11 | 1,03E+11 | 4,50E+08 | 1,68E+08 |
| suma | 6,60E+11 | 4,68E+11 | 1,49E+10 | 1,84E+08 |

Množství oceli, betonu a dalších aktivních předmětů z jednoho reaktoru VVER-1000 v době ukládání shrnuje Tab. 55. V tabulce jsou současně uvedeny měrné aktivity těchto materiálů na konci provozu a v době ukládání.

Tab. 55: Měrné aktivity a hmotnosti různých materiálů na konci ozařování a pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín

| ETE materiál | měrná aktivita [Bq/kg] | | hmotnost [kg] |
|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| | konec ozařování | postupné vyřazování | postupné vyřazování |
| ocel | 6,55E+13 | 1,13E+12 | 765 570 |
| ostatní materiály | 1E+13 – 1E+16 | 1E+12 – 1E+15 | 28 000 |
| beton | 3,48E+09 | 3,73E+06 | 64 120 |

Údaje v Tab. 56 představují celkovou aktivitu sledovaných radionuklidů (pro oba bloky JE Temelín) v konstrukční oceli, nerezové oceli a betonu v době plánovaného ukládání do HÚ.

Tab. 56: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín

| Materiál | aktivita [Bq] | | | |
|--------------|---------------|----------|----------|----------|
| | C-14 | Ca-41 | Ni-59 | Ni-63 |
| konstr. ocel | 1,75E+06 | / | 5,40E+10 | 4,48E+12 |
| nerez. ocel | 1,24E+14 | / | 5,82E+14 | 6,40E+16 |
| serp. beton | 4,72E+09 | 5,80E+10 | / | / |

B.12.2.2 JE Dukovany

Hmotnostní bilance technologických částí, počet a hmotnost betonových kontejnerů pro jeden reaktor VVER-440 je uvedena v Tab. 57. Celková hmotnost a počet betonových kontejnerů je spočítán pro všechny 4 reaktory JE Dukovany.

Tab. 57: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany

| Komponenty reaktoru | HÚ [kg] | betonové kontejnery [ks] | objem [m ³] | hmotnost [t] |
|--------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| tlaková nádoba | 101 000 | 101 | 438 | 1 199 |
| šachta reaktoru | 53 000 | 53 | 230 | 629 |
| koš AZ včetně dna | 22 000 | 22 | 95 | 261 |
| blok ochranných trub | 18 000 | 18 | 78 | 214 |
| tepelná izolace tlakové nádoby | 14 000 | 14 | 61 | 166 |
| vnitřní opláštění serp. betonu | 4 000 | 4 | 17 | 47 |
| potrubí do 1m od TN | 8 000 | 8 | 35 | 95 |
| serpentinový beton | 77 000 | 77 | 334 | 914 |
| konstrukční beton aktivovaný | 200 000 | 200 | 868 | 2 374 |
| suma - 1 reaktor | 497 000 | 497 | 2 157 | 5 899 |
| suma - 4 reaktory | 1 988 000 | 1988 | 8 628 | 23 598 |

V Tab. 58 a Tab. 59 jsou vypočítané měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru a to pro šachtu reaktoru, koš AZ, TNR, tepelnou izolaci a serpentinový beton.

Tab. 58: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (šachta reaktoru, koš AZ, návar TNR a TNR) pro JE Dukovany

| Radionuklid | šachta reaktoru | koš AZ | návar TNR | TNR v max. výkonu |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] |
| C-14 | 3,46E+08 | 9,02E+08 | 1,37E+03 | 2,02E+02 |
| Co-60 | 3,47E+09 | 1,05E+10 | 2,89E+08 | 5,64E+06 |
| Nb-94 | / | / | 5,14E+10 | 2,23E+04 |
| Ni-59 | 3,55E+09 | 6,97E+09 | 4,85E+08 | 4,37E+04 |
| Ni-63 | 3,71E+11 | 1,04E+12 | 4,21E+10 | 3,82E+06 |
| Tc-99 | / | / | / | 9,80E+08 |
| suma | 3,78E+11 | 1,06E+12 | 9,43E+10 | 9,90E+08 |

Tab. 59: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru (tepelná izolace, dno koše AZ a serpentinitový beton) pro JE Dukovany

| Radionuklid | tepelná izolace | dno koše AZ | serp. beton v max. výkonu AZ | serp. beton horní okraj AZ |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] | [Bq.kg ⁻¹] |
| C-14 | 7,59E+01 | 1,76E+08 | 3,62E+05 | 2,15E+05 |
| Ca-41 | / | / | 4,24E+06 | 2,65E+06 |
| Co-60 | 1,46E+05 | 1,04E+09 | 9,18E+02 | 2,85E+01 |
| Ni-59 | 6,65E+06 | 1,97E+09 | / | / |
| Ni-63 | 5,17E+08 | 1,82E+11 | / | / |
| suma | 5,24E+08 | 1,85E+11 | 4,60E+06 | 2,87E+06 |

Celkové aktivity vybraných klíčových radionuklidů v konstrukční a nerezové oceli a v serpentinitovém betonu pro všechny 4 bloky JE Dukovany jsou uvedeny v Tab. 60.

Tab. 60: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany

| Materiál | aktivita [Bq] | | | |
|--------------|---------------|----------|----------|----------|
| | C-14 | Ca-41 | Ni-59 | Ni-63 |
| konstr. ocel | 7,80E+07 | / | 3,88E+11 | 3,04E+13 |
| nerez. ocel | 1,15E+14 | / | 1,12E+15 | 1,26E+17 |
| serp. beton | 8,92E+10 | 1,06E+12 | / | / |

B.12.2.3 Vyřazování NJZ

V dlouhodobých plánech provozovatele jaderných elektráren se počítá s výstavbou, provozováním a následně i s vyřazováním z provozu tří nových bloků. V JE Temelín se uvažuje o reaktoru s výkonem 2 000 MW, dobou provozu 60 let. Pro JE Dukovany se uvažuje blok o výkonu max. 1 700 MW, s dobou provozu 60 let. Odhadované hodnoty hmotnostní bilance a měrné aktivity pro NJZ pro okamžité vyřazování z provozu jsou uvedeny v Tab. 61.

Tab. 61: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro všechny plánované bloky a pro okamžité vyřazování z provozu NJZ

| Materiál | měrná aktivita [Bq.kg ⁻¹] okamžité vyřazování | hmotnost [kg] |
|-------------------|--|---------------|
| ocel | 1,21E+7 - 1,28 E+12 | 1 775 320 |
| ostatní materiály | 1E+12 - 1E+15 | 40 000 |
| beton | 3,03E+7 - 5,79E+7 | 372 000 |

B.12.2.4 Vyřazování výzkumného reaktoru LVR-15

Návrh způsobu vyřazování výzkumného jaderného reaktoru LVR-15 (Centrum výzkumu Řež s.r.o.) z provozu předpokládá, že reaktor bude v provozu 35 let a aktivní biologické stínění (beton) nebude ukládáno v HÚ. Seznam materiálů určených do HÚ zahrnuje:

- nádobu reaktoru, ocel 08Ch18N10T, uvažovaná hmotnost 7 900 kg
- koš AZ, horizontální kanály a tepelná kolona, hliník AlMg5, hmotnost 275 kg
- absorpční tyče, B₄C + Al, hmotnost 10 kg
- beryliové standardní reflektory, 27 ks
- atypické beryliové bloky, 6 ks

Celková aktivita materiálů v době ukončení provozu reaktoru je o řád vyšší než po 40 letech. Postupné vyřazování vede ke snížení počtu betonových kontejnerů. Počet kusů, objem a hmotnost kontejnerů jsou uvedeny v Tab. 62.

Tab. 62: Odhad počtu betonových kontejnerů pro konstrukční a technologické části výzkumného reaktoru LVR-15 pro postupné vyřazování

| Komponenty reaktoru LVR-15 | kontejner | objem | hmotnost |
|--|-----------|-------------------|----------|
| | [ks] | [m ³] | [t] |
| reaktorová nádoba | 10 | 43 | 119 |
| aktivní části smyček, sondy, IK, regulační tyče, Be bloky | 11 | 48 | 131 |

B.12.3 Ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť

Ostatní radioaktivní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť zahrnují všechny odpady v režimu skladování v ÚRAO Richard a ZIZ provozované v institucionální sféře překračující limity a podmínky pro uložení v provozovaných přípovrchových ÚRAO, přepracované vysoce obohacené VJP z výzkumných reaktorů. Do těchto odpadů patří i měřicí čidla, termočlánky, vložné tyče, kazety svědečných vzorků apod. Tyto materiály se průběžně skladují na JE po celou dobu jejího provozu a jejich likvidace bude probíhat až při vyřazování JE.

B.12.3.1 Vyrořené jaderné palivo z výzkumného reaktoru LVR-15

Palivo IRT-4M s obohacením pod 20%

V současné době používané palivo IRT-4M s obohacením pod 20 % (19,7 %) je po vytažení z reaktoru skladováno u původce (Centrum výzkumu Řež s.r.o., resp. ÚJV Řež, a. s.) a neuvažuje se o jeho přepracování v Ruské federaci. Provozem reaktoru LVR-15 vznikne odhadem 320 ks VJP IRT-4M. Palivové soubory budou skladovány tzv. suchým způsobem v transportních OS (Škoda VPVR/M) následně budou přeloženy do speciálně vyvinutých OS pro uložení do HÚ. Požadovaný počet OS Škoda VPVR/M pro vzniklé množství palivových souborů je 9 ks a jejich skladování je uvažováno ve Skladu VAO v ÚJV Řež, a. s.

Vysoce obohacené palivo

V minulosti používané vysoce obohacené palivo bylo na základě mezinárodních úmluv předáno k přepracování do Ruské federace. Po roce 2024 bude přepracované palivo v podobě vitrifikátu přivezeno na dvakrát zpět do České republiky a později uloženo v HÚ. Vitrifikát bude před uložením do HÚ skladován v ÚJV Řež, a. s. Hmotnosti vitrifikátu

s celkovou aktivitou a celkovým objemem pro obě přepravy jsou uvedeny v Tab.63. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů jsou shrnuty v Tab. 64.

Tab.63: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy

| Vitrifikát | celková aktivita [Bq] | množství [m ³] | hmotnost [kg] | Počet barelů [ks] |
|------------|-----------------------|----------------------------|---------------|-------------------|
| | r. 2028 / 2033 | | | |
| 1. odvoz | 3,67E+15 | 0,297 | 740 | 2 |
| 2. odvoz | 2,59E+15 | 0,289 | 720 | 2 |

Tab. 64: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů z 1. a 2. přepravy vitrifikovaného VJP z výzkumného reaktoru LVR-15

| Radionuklid | 1. přeprava (aktivity k r. 2028) [Bq] | 2. přeprava (aktivity k r. 2033) [Bq] |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| C-14 | 1,11E+10 | 1,08E+10 |
| Cl-36 | 3,33E+08 | 3,24E+08 |
| Ni-59 | 3,70E+07 | 3,60E+07 |
| Ni-63 | 3,63E+10 | 3,53E+10 |
| Se-79 | 8,14E+10 | 7,92E+10 |
| Sr-90 | 1,30E+15 | 6,46E+14 |
| Nb-94 | 5,48E+06 | 5,33E+06 |
| Tc-99 | 2,74E+12 | 2,66E+12 |
| I-129 | 3,63E+09 | 4,54E+09 |
| Cs-135 | 4,66E+10 | 4,54E+10 |
| Cs-137 | 4,93E+14 | 6,57E+14 |
| Pu-238 | 7,03E+12 | 4,07E+10 |
| Pu-239 | N* | 1,52E+09 |
| Am-241 | 3,77E+13 | 7,33E+11 |
| Cm-244 | 2,49E+13 | 1,04E+11 |

N* není uvedeno v dokumentaci přepracovaného paliva pro 1. odvoz. Pu-239 je zařazeno do skupiny několika radionuklidů, pro které je uvedena souhrnná aktivita.

B.12.3.2 RAO v režimu skladování v ÚRAO

Další skupinou RAO uvažovanou pro uložení do HÚ jsou radioaktivní odpady v současné době skladované v přípovrchovém úložišti ÚRAO Richard. Jedná se o RAO, které svým charakterem nespĺňuje platné limity a podmínky přijatelnosti do přípovrchového úložiště, a proto se do doby zprovoznění HÚ skladuje v ÚRAO Richard. V Tab. 65 jsou uvedeny aktivity alfa, beta a gama zářičů a celkové hmotnosti RAO předaného do režimu skladování. Referenční datum, ke kterému je stanovena celková aktivita, je 31. 10. 2016. Podrobný přehled položek RAO předaných do režimu skladování v přípovrchovém úložišti ÚRAO Richard je uveden ve zprávě (Touš et al. 2018).

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Tab. 65: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard

| RAO | celková hmotnost [kg] | aktivita alfa [Bq] | aktivita beta+gama [Bq] |
|------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| režim skladování | 47 716 | 1,72E+13 | 4,38E+14 |

B.12.3.3 Zdroje ionizujícího záření

Další skupinou RAO jsou zdroje ionizujícího záření provozované na území ČR. Údaje uvedené v následujících tabulkách jsou získány z celostátní evidence ZIZ vedené SÚJB. Tab. 66 představuje přehled ZIZ podle radionuklidů s jejich celkovou aktivitou k datu 10. 12. 2015. V Tab.67 je uveden přehled ZIZ podle jejich klasifikace. Ne všechny ZIZ jsou určeny k uložení do HÚ. Na základě poločasů rozpadu radionuklidů a jejich aktivit bude do HÚ uloženo asi 900 ks ZIZ a zbylé ZIZ (asi 4 070 ks) s radionuklidy s kratším poločasem rozpadu, bude moci být (po určité době) uloženo do ÚRAO Richard.

Tab. 66: Přehled ZIZ používaných na území ČR podle obsažených radionuklidů a jejich sumární aktivity k referenčnímu datu 10. 12. 2015

| Radionuklid | celková aktivita ZIZ k ref. datu 10. 12. 2015 [Bq] | poločas rozpadu |
|-------------|---|-----------------|
| | | [rok] |
| Am-241 | 3,05E+12 | 432,5 |
| Am-241/Be | 7,33E+12 | 432,5 |
| Am-241/F | 3,44E+10 | 432,5 |
| Cf-252 | 4,54E+09 | 2,645 |
| Co-60 | 1,83E+16 | 5,2749 |
| Cs-137 | 1,46E+15 | 30,08 |
| Eu-152 | 3,36E+07 | 13,537 |
| Ir-192 | 8,54E+13 | 73,828 |
| Pu-239 | 1,29E+12 | 24110 |
| Pu-239/Be | 4,25E+12 | 24110 |
| Ra-226 | 8,92E+10 | 1600 |
| Sr-90 | 6,80E+10 | 28,9 |
| suma | 1,99E+16 | |

Tab.67: Přehled ZIZ užívaných na území ČR podle jejich klasifikace (Databáze ZIZ, SÚJB)

| Klasifikace zdroje | počet zdrojů |
|---------------------------|---------------------|
| drobný | 293 |
| jednoduchý | 2 677 |
| nevýznamný | 84 |
| významný | 1 908 |
| nespecifikovaný | 6 |
| celkový součet | 4 968 |

Inventarizace odpadů z vyřazování jaderných zařízení a institucionálních odpadů nepřijatelných do přípovrchových úložišť je shrnuta do databázového souboru, který vytvořili v ÚJV Řež, a. s. Databáze umožňuje spočítat aktivity položek k různým referenčním datům, získat informace o hmotnosti jednotlivých položek, o obalovém souboru/stínění, původ vzniku odpadu apod.

C POPIS PROJEKTU

Tato část studie ZBZ podává předběžnou informaci o předpokládaném rozsahu činností, které budou probíhat na úložišti. V této fázi, kdy ještě není zpracován projekt úložiště, jsou předloženy základní údaje o provozu včetně základních technických parametrů, navrhovaných technologií a zařízení tak, aby bylo možné identifikovat nebezpečné situace vyplývající ze základních provozních činností, vyhodnotit dopady běžných provozních situací nebo havárií a posoudit vhodnost nápravných opatření a způsobů zmírnění následků těchto situací.

C.1 Bezpečnostní cíle projektu HÚ

Hlavním bezpečnostním cílem projektu HÚ je zajistit, aby vyhořelé jaderné palivo bylo uloženo bezpečným způsobem, aniž by došlo k nepřijatelnému radiačnímu ozáření nadcházejících generací. Bezpečnost je založena na dlouhodobé životnosti systému inženýrských bariér a na příznivých charakteristikách hostitelských hornin.

Další bezpečnostní cíle, které byly vzaty v úvahu při návrhu technického řešení HÚ:

- a) předcházení havarijním podmínkám, které mohou vzniknout za provozu HÚ,
- b) zmírnění důsledků havarijních podmínek, pokud k nim za provozu dojde,
- c) zajištění, že prakticky vyloučenou skutečností jsou:
 1. radiační havárie, při které není dostatečný čas pro zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo („časná radiační havárie“), a
 2. radiační havárie, která vyžaduje neodkladná ochranná opatření pro obyvatelstvo, která nelze omezit místně nebo časově („velká radiační havárie“),
- d) vytvoření podmínek pro to, aby při projektování HÚ bylo realizovatelné zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události (pokud by vznikla i přes zajištění podle písmene c) výše) a zabezpečení při nakládání s radioaktivním odpadem a při vyřazování z provozu HÚ a
- e) zohlednění
 1. mezinárodních zkušeností z umístování HÚ,
 2. mezinárodních zkušeností z vývoje technického řešení HÚ a
 3. stavu vědy a techniky.

C.2 Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie

Princip ochrany do hloubky bude z hlediska dlouhodobé bezpečnosti VJP zajištěn ukládacími obalovými soubory, viz kapitola C.3.1, tlumící bariérou viz kapitola C.3.2, výplní chodeb viz kapitola C.3.3, těsněním a injektáží hornin viz kapitola C.3.4 a vlastnostmi horninového prostředí.

Fyzikální znemožnění vzniku kritického a nadkritického stavu VJP bude podrobně řešeno při projektování horké komory a při dalším vývoji UOS.

Odvod zbytkového tepla z VJP bude pasivní pomocí vedení a přestupů tepla z VJP přes UOS a tlumící bariéru do horninového prostředí. Z výpočtů vycházející rozteče mezi UOS budou upřesněny při projektování HÚ.

Zajištění stínění a bránění úniku radioaktivní látky a šíření ionizujícího záření do životního prostředí při překládání VJP z POS do UOS bude podrobně řešeno při projektování horké komory a navazujících systémů vzduchotechniky včetně filtrace vzdušín. Stínění při přepravě UOS k ukládacímu místu bude řešeno návrhem přepravních a manipulačních prostředků.

C.3 Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy

Tato kapitola popisuje referenční komponenty úložiště důležité pro hodnocení bezpečnosti. Jsou uvedeny předběžné referenční komponenty a jejich možné alternativy. Rovněž je uveden rozsah vlastností referenčních komponent relevantních pro hodnocení bezpečnosti.

C.3.1 Ukládací obalový soubor

Ve smyslu vyhl. 329/2017 Sb. (SUJB 2017a) § 6 odst. (3) UOS plní funkci fyzické bezpečnostní bariéry. Ukládací obalové soubory pro VJP musí tedy splnit náročné požadavky zejména po uzavření úložiště.

Požadavky na UOS je možno specifikovat následovně:

- zajištění jaderné bezpečnosti
 - podkritičnost (během všech manipulací s VJP po dobu uložení, a to jak během normálního provozu, tak při projektových haváriích)
 - odvod zbytkového tepelného výkonu (z důvodu zachování vlastností tlumící bariéry nesmí teplota vnějšího povrchu UOS překročit 95°C)
- zajištění radiační ochrany
 - zamezení úniku radioaktivních látek (těsnost UOS nejen v provozní fázi, ale i v dlouhodobém časovém horizontu)
 - radiační ochranu personálu (v případě UOS pro HÚ není stínění hlavním faktorem ovlivňujícím jeho řešení, požadavky na radiační ochranu personálu mohou být zajištěny přídatnými konstrukčními prvky)
- zajištění provozní bezpečnosti (možnost provádění bezpečných manipulací s UOS při nakládání s VJP).

Další požadavky pro splnění životnosti dílů UOS (minimálně 10 000 let – životnost vnějšího obalu, 100 000 let – celistvost) jsou především:

- těsnost,
- korozní odolnost (v prostředí s nízkým oxidačně redukčním potenciálem, vysoká teplota, vysoká radiace, spolupůsobení bentonitových substrátů a granitické vody za přítomnosti plynných složek horninového masivu, přechod z aerobního do anaerobního prostředí, atd.),
- kompatibilita s uvažovanými inženýrskými bariérami, případně dalšími materiály uvažovanými v hlubinném úložišti včetně betonu,
- mechanická odolnost vůči zatížením
 - tlakového působení
 - seismických událostí
 - vyvolaných tlaky a také možnými střížnými posuny na puklinách v horninovém masivu,

- o faktorů vyvolanými výraznou změnou klimatu a postvulkanickými událostmi,
- o vlivu prostředí uvnitř ukládacího obalového souboru (tlaková, tepelná, radiální zátěž)

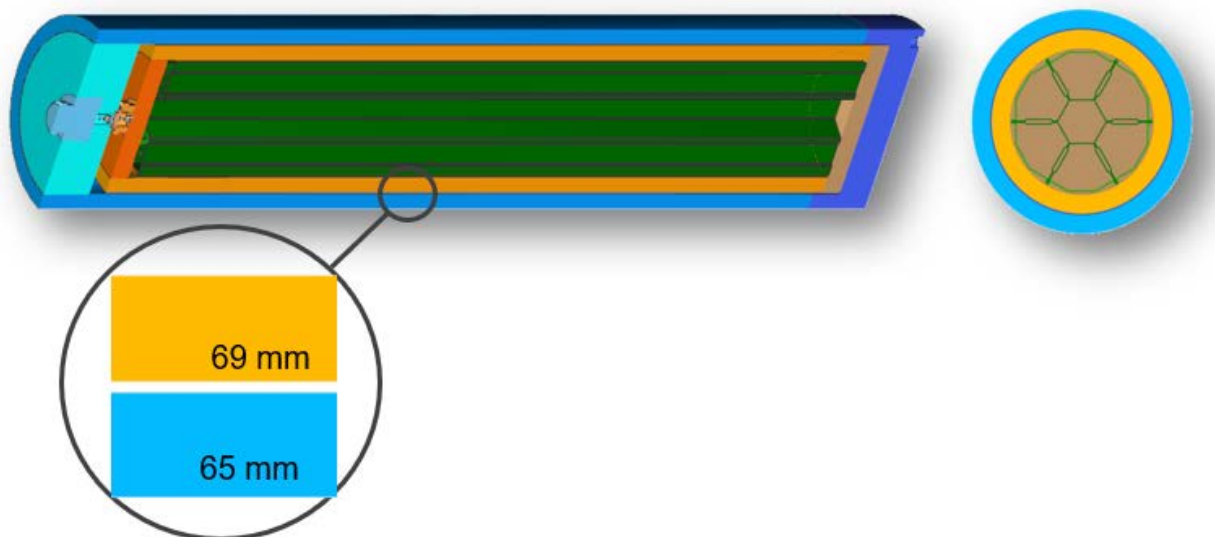
UOS pro VJP musí splnit rovněž požadavky uvedené ve vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SUJB 2016g), neboť jde o obalový soubor typu D, který podléhá typovému schvalování.

Dále uvedené referenční UOS vycházejí z dosavadních výsledků projektu „Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku“, který probíhá od roku 2013 a jeho ukončení je plánováno na rok 2021.

Z 13 zvažovaných variant UOS různé konstrukce a různých materiálů se v současné době předpokládá dále rozpracovat následující 2 varianty.

Varianta UOS č. 2

Tento UOS mající vnější obal průměr/tloušťka 795/65 mm – z materiálu X65MS (1.8767), vnitřní pouzdro – průměr/tloušťka 658/67 mm z materiálu 1.4404) je uveden na následujícím obrázku.

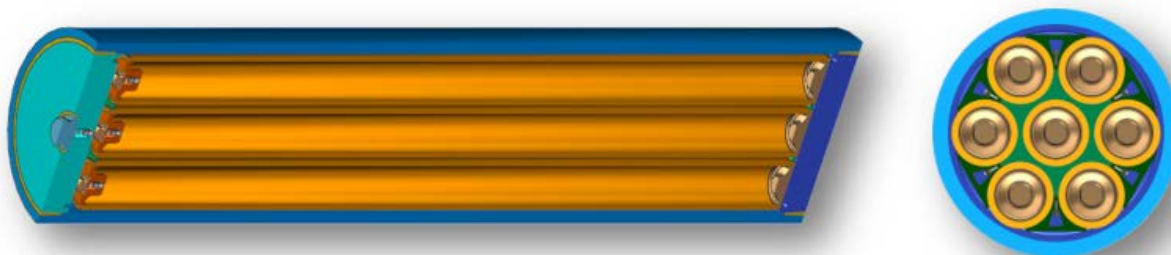


Obr. 46: Varianta UOS č. 2 (pro 7 PK VVER 440, s vnějším obalem z uhlíkové oceli, vnitřní pouzdro z nerezové oceli a vnitřní vestavby z nerezové oceli)

Varianta č. 2 UOS je použita pro konzervativní výpočty šíření radionuklidů z úložiště, neboť při porušení celistvosti UOS dochází k úniku radionuklidů ze všech palivových kazet.

Varianta UOS č. 12

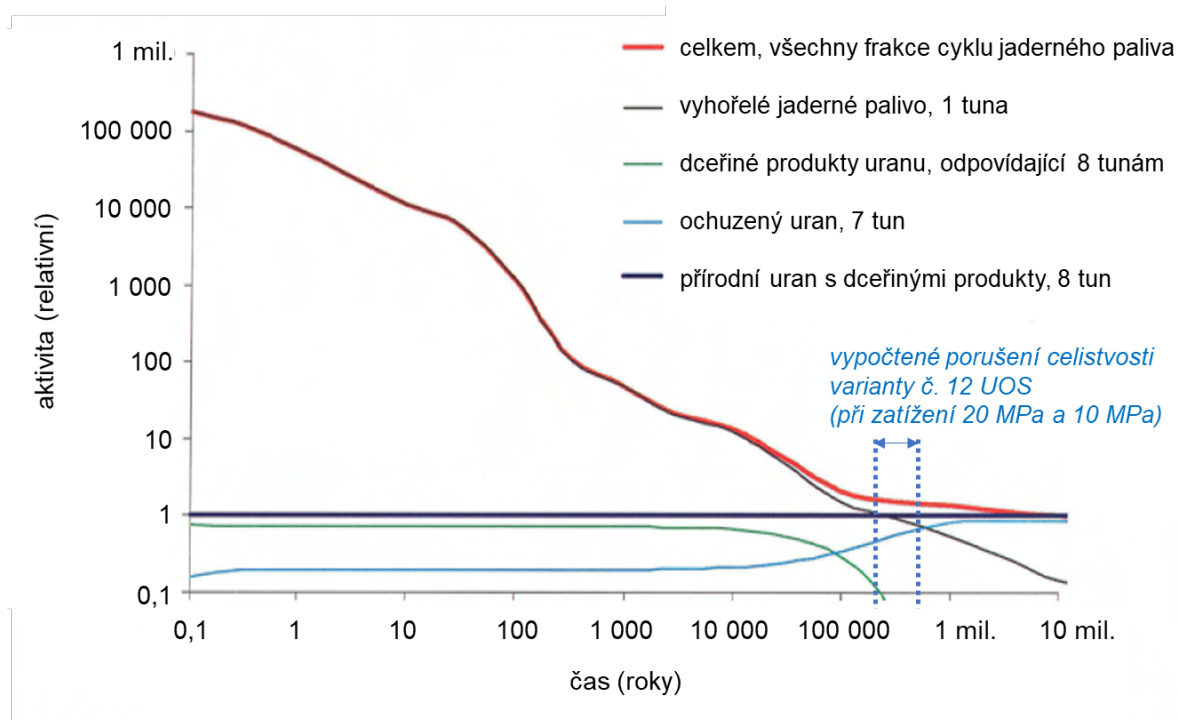
V současné době nejvíce perspektivní se jeví varianta UOS, která uvažuje se samostatnými pouzdry pro každou palivovou kazetu (u paliva pro VVER 440) viz následující obrázek, respektive pro každý palivový soubor (u paliva pro VVER 1000).



Obr. 47: Varianta UOS č. 12 (pro 7 PK VVER 440, vnější obal z uhlíkové oceli, sedm nerezových vnitřních pouzder a vestavba zajišťující vzájemnou polohu vnitřních pouzder)

Výše uvedený UOS má tu hlavní výhodu, že každé ze sedmi nerezových pouzder je samostatně zavařeno a je tak zmenšena pravděpodobnost (při vadě svaru/svářů) současného úniku RA látek ze všech PK.

Na následujícím obrázku je do grafu SKB (obdoba Obr. 28) s porovnáním průběhu aktivity 1 tuny vyhořelého jaderného paliva s průběhem aktivity 8 tun přírodního uranu (z 8 tun přírodního uranu vznikne cca 1 tuna obohaceného uranu použitého k výrobě paliva a cca 7 tun ochuzeného uranu) orientačně zakresleno „vypočtené porušení celistvosti varianty UOS č. 12“. Z obrázku je zřejmé, že životnost UOS, i při nejvyšším výpočtovém zatížení, výrazně přesahuje dobu 10 tisíc let, kdy je aktivita VJP jen řádově vyšší než aktivita přírodního uranu s dceřinými produkty, z kterého VJP vzniklo.



Obr. 48: Relativní aktivita přírodního uranu a všech frakcí, které vznikají při použití stejného množství přírodního uranu v jaderném palivovém cyklu

(Různými frakcemi jsou vyhořelé palivo, ochuzený uran a dceřiné produkty uranu, které jsou odděleny při zpracování rudy a výrobě paliva (zdroj zpráva SKB 1997). Do grafu SKB je doplněna oblast aktuálních výpočtů porušení celistvosti v ČR vyvíjeného UOS – varianta č. 12 při zatížení 20 MPa = cca 200 tis. let a 10 MPa = cca 500 tis. let)

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

V prvním přiblížení lze podle výše uvedeného obrázku říci, že samotný UOS zabrání po dostatečnou dobu nepřijatelnému úniku radioaktivních látek z VJP. To platí, i když projektovaná životnost UOS ve smyslu přílohy č. 2 k vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SUJB 2016g) bude kratší (bude odpovídat době porušení celistvosti vnějšího přebalu).

Kromě výše uvedených variant UOS č. 2 a 12 bude jako záložní varianta sledováno řešení UOS s vnějším obalem z mědi obdobným UOS, které předpokládají použít ve Finsku a Švédsku.

Podrobnější informace jsou uvedeny v technické zprávě za 3. etapu (Kotnour et al. 2017).

Korozními zkouškami s materiály navrženými pro konstrukci ukládacích obalových souborů včetně interakcí těchto materiálů s bentonity se zabývají zprávy (Gondolli et al. 2018) a (Dobrev et al. 2017b).

Potenciální mikrobiální korozi UOS se zabývá zpráva (Černík et al., 2017).

C.3.2 Tlumicí bariéra

Tlumicí bariéra vyplňuje prostor mezi UOS a horninou. Předpokládaným materiálem je bobtnavá zemina – bentonit, který díky svým vlastnostem vyplní i případné technologické spáry a celé místo dostatečně utěsní. Pro správnou funkci této bariéry je nutné určité zhutnění bentonitu.

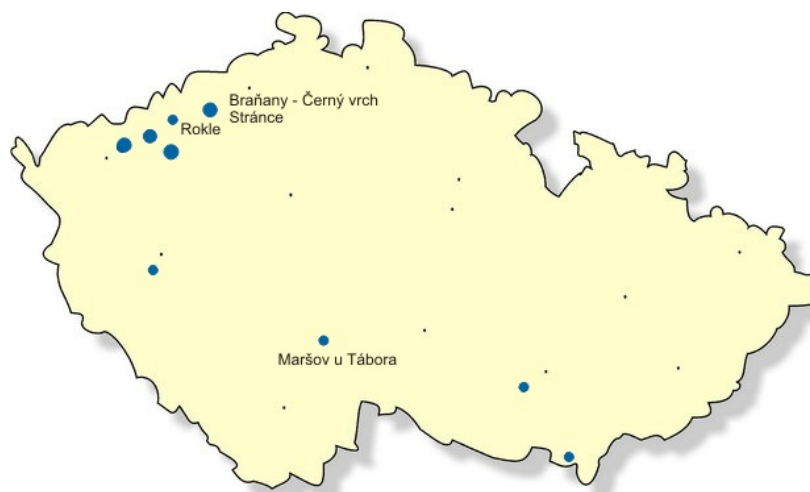
Referenčním materiálem jsou prefabrikované tvárnice z bentonitu zhutněné na objemovou hmotnost 1550 – 1750 kg/m³. Zároveň se řeší alternativa v podobě bentonitových pelet, jejichž výhodou je snadná výroba a manipulace.

Předpokládá se použití českého bentonitu, který je vápenato-hořečnatý (Ca-Mg). Výzkum je cílen k výběru konkrétního bentonitu a specifikaci parametrů, které zajistí správnou funkci této bariéry.

C.3.2.1 Český bentonit

Podle publikace „Surovinové zdroje České republiky“ (MŽP 2016) bylo v České republice v roce 2015 evidováno 37 ložisek bentonitu. Z tohoto počtu bylo 7 ložisek těžných. V témže roce bentonit těžily tři organizace: Sedlecký kaolin a. s., Božíčany, KERAMOST a. s., Most a KSB s.r.o. Božíčany.

Naprostá většina ložisek bentonitu (a všechna významnější) jsou vázána na širší okolí Doupovských hor a Českého středohoří (viz následující obrázek). Mimo tyto oblasti se nacházejí vesměs malá ložiska převážně montmorillonických jíílů (s rozdílnou genezí) na Plzeňsku (Dnešice), na Táborsku (Maršov u Tábora, Rybova Lhota – jediné těžné) a v karpatském neogénu na jižní Moravě (Ivančice – Réna, Poštorná). (Woller 2017)



Obr. 49: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online)

V současnosti probíhají charakterizační práce, jejichž cílem je výběr vhodného ložiska bentonitu, které bude svým objemem a kvalitou vyhovovat požadavkům HÚ .

Charakteristika bentonitu využívaného pro výzkum (B75)

Bentonit, který je v současné době využíván pro výzkum, je typickým zástupcem českých Ca-Mg bentonitů pocházejících z oblasti Doupovských hor a Českého středohoří. Tento bentonit je z ložiska Černý vrch, je průmyslově zpracovaný a dodáván na trh pod názvem B75. Pro experimenty (laboratorní i in-situ) byl vybrán z důvodu vysokého stupně homogenity, kterou lze dosáhnout jen u průmyslově upraveného produktu. V rámci zpracování byl bentonit sušen, mechanicky rozrušen a proset.

Bentonit B75 byl testován v řadě projektů, např. Mock-Up Josef (Šťástka et al. 2016), EPSP–DOPAS (Vašíček et al. 2016) a CEBAMA (Večerník et al. 2016). Silikátová analýza bentonitu B75 je uvedena v následující tabulce.

Tab. 68: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al. 2016) a MX-80 (Karnland 2010)

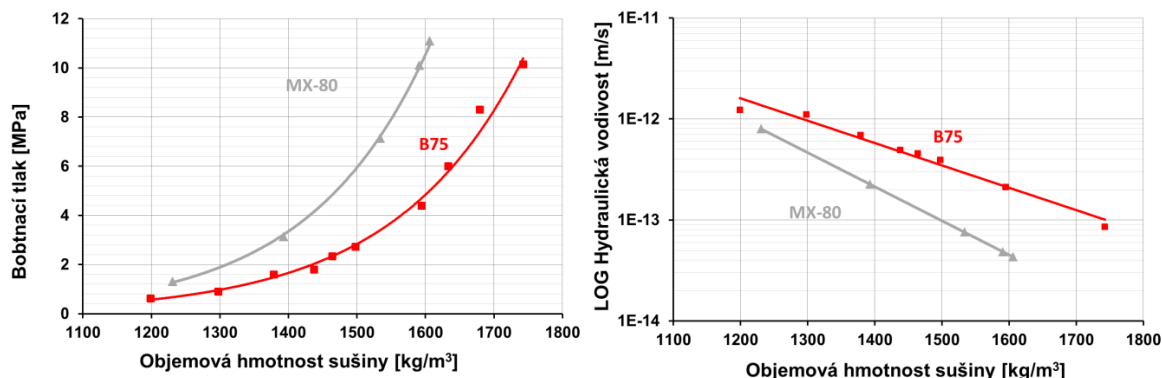
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | CO ₂ |
|--------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| B75 [hm%] | 49,83 | 15,35 | 2,82 | 10,9 | 3,74 | 0,09 | 2,88 | 2,01 | 0,67 | 1,05 | 0,63 | 3,66 |
| MX-80 [hm%] | 65,9 | 21,5 | 0,24 | 4,46 | - | - | 2,82 | 1,63 | 2,69 | 0,56 | 0,06 | - |

Hydrofyzikální vlastnosti bentonitu B75

Hydrofyzikální vlastnosti bentonitu jsou úzce spjaté s jeho těsnicí schopností, která je zásadní pro správnou funkci tlumící bariéry. Mezi základní vlastnosti lze řadit bobtnací tlak a hydraulickou vodivost. Dostatečně vysoký bobtnací tlak zajistí utěsnění bariéry a nízká hydraulická vodivost zpomalí přísun vody k UOS a migraci radionuklidů od UOS.

Bobtnací tlak a hydraulická vodivost jsou závislé na mineralogickém a chemickém složení a také na zhutnění materiálu (objemové hmotnosti sušiny). České bentonity se v těchto parametrech příliš neliší, výraznější rozdíl je v porovnání se sodným bentonitem MX-80 (viz Obr. 50), který vykazuje lepší těsnicí vlastnosti. Lepších těsnících vlastností lze také dosáhnout větším zhutněním vzorku – navýšením objemové hmotnosti sušiny (viz Obr. 50).

Z chování těchto dvou parametrů lze vyvodit, že zvýšením objemové hmotnosti u českého Ca-Mg bentonitu lze docílit stejných vlastností, jako dosahuje Na-bentonit. Navýšení objemové hmotnosti není výrazný technický problém, proto lze požadovaných hodnot těchto parametrů docílit i s českým bentonitem.



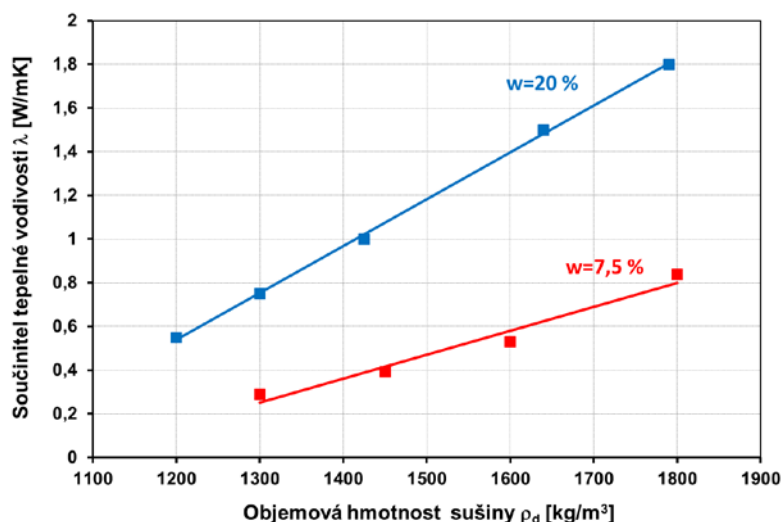
Obr. 50: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).

(Hodnoty obou materiálů byly převzaty: B75 (Vašíček et al. 2016) a MX 80 (Akesson et al. 2010))

Tepelné vlastnosti bentonitu

Tepelné vlastnosti popisují, jak rychle je materiál schopen odvést teplo od tepelného zdroje. Schopnost materiálu vést teplo může být popsáno pomocí součinitele tepelné vodivosti. Tento parametr je zásadní pro vypočítání minimální vzdálenosti mezi UOS v HÚ.

Součinitel tepelné vodivosti je primárně závislý na zhutnění vzorku a jeho vlhkosti. Mineralogické složení může hrát určitou roli, např. větší množství křemene může zvýšit tepelnou vodivost, jelikož má křemen až 3x vyšší tepelnou vodivost než ostatní minerály (Johansen, 1975). Porovnání více bentonitů z literatury je obtížné, jelikož mají rozdílnou vlhkost a proto jsou neporovnatelné. Pro názornost jsou na následujícím obrázku uvedeny hodnoty tepelné vodivosti v závislosti na zhutnění a zároveň je porovnán stejný materiál o rozdílné vlhkosti.



Obr. 51: Součinitel tepelné vodivosti pro bentonit B75 v závislosti na zhutnění. Modře jsou vyznačeny hodnoty pro uměle vlhčený materiál (w=20 %) a červeně pro přirozeně vlhký materiál (w=7,5 %)

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

C.3.3 Výplň

Výplňový materiál nebude v přímém kontaktu s UOS, a tak na něj nebudou kladeny tak přísné požadavky jako na tlumící bariéru.

Referenční materiál je směs bentonitu a drcené horniny. Zatím nebyly specifikovány konkrétní směsi a nebyl proveden dostatečný výzkum, který by podpořil tento návrh. Pro soubor vstupních parametrů pro výpočty jsou využita data ze zahraničních programů.

Základní bezpečnostní funkce výplňové bariéry jsou:

- 1) zajistit tlumící bariéru, aby nedocházelo k jejím objemovým změnám
- 2) omezit transport radionuklidů po jejich uvolnění z UOS a tlumícího materiálu

Materiál výplňové bariéry nesmí negativně působit na funkční vlastnosti ostatních inženýrských bariér a horninového prostředí.

Materiál výplně nesmí negativně působit na funkční vlastnosti ostatních inženýrských bariér a horninového prostředí

C.3.4 Těsnící zátky

Zátky v hlubinném úložišti nejsou z hlediska dlouhodobé bezpečnosti inženýrskou bariérou, ale budou dočasně sloužit především k oddělení uzavřených prostor již zaplněných výplňovou bariérou od těch, které jsou stále ještě v provozu. Jsou projektovány v místech ukončení jednotlivých ukládacích vrtů, na koncích zavážecích chodeb, pro uzavření celé sekce a při uzavírání úložiště také v jámách. Minimální životnost těchto konstrukcí je projektována na 150 let (doba provozu HÚ). Zátky musí odolat vysokým tlakům až 7 MPa a to především ty, které jsou umístěné na ukládacím horizontu.

Zátky mají tyto základní funkce:

- 1) odolat tlaku bobtnajícího výplňového materiálu, aby nedošlo k jeho vybobtnání směrem ven a tím i změně jeho vlastností
- 2) vodotěsnost pro zabránění vyplavování bentonitových částic tlumícího a výplňového materiálu, což by mělo za následek snížení bezpečnostní funkce inženýrských bariér
- 3) oddělit a staticky zajistit uzavřené části úložiště od těch, které jsou stále v provozu

Bezpečnostní funkce zátky bude důležitá zejména v době provozu úložiště, ve chvíli, kdy dojde k uzavření HÚ, bude funkce zátek zanedbatelná.

Stejně jako u všech ostatních materiálů, i u zátky je nutné, aby materiály použité pro její konstrukci neohrožily funkci dalších bariér.

Požadavky na betonovou konstrukci zátky: odolnost na tlak 15 MPa.

Vlastností těsnících zátek nevstupují přímo do výpočtů základních scénářů, ale jejich selhání může iniciovat alternativní scénáře.

Vlastnostmi cementových materiálů se podrobněji zabývá zpráva (Večerník et al. 2017).

C.3.5 Těsnění a injektáže

Těsnění, resp. těsnící materiál se předpokládá aplikovat jako výplňový materiál technologických spár, které jsou dány konstrukcí tlumící bariéry (bufferu) z lisovaných bloků. Tyto spáry jsou dvojího druhu, a to spára mezi UOS a bentonitovými bloky a spára mezi bentonitovými bloky a horninou. Technologické spáry budou o tloušťkách až desítek milimetrů. Podle zprávy (Pacovský et al. 2017) se výzkumnými pracemi v zahraničí prokázalo, že je účelné tyto technologické spáry vyplnit těsnícím materiálem, a to z důvodů zlepšení tepelných, mechanických a chemických vlastností celého systému jako celku. Při ponechání volných spár hrozí eroze bentonitových bloků při přítoku vody z horniny do nezaplňené spáry a v důsledku toho nežádoucí snížení objemové hmotnosti tlumící bariéry okolo UOS. Hydraulická vodivost a bobtnací tlak bentonitu exponenciálně závisí na zhuštění bentonitu. Pokud by zaplnění spáry zvýšilo průměrnou objemovou hmotnost sušiny bentonitu v místě uložení UOS např. o 5 %, tak by se vlastnosti (hydraulická vodivost a bobtnací tlak) mohly zlepšit např. o 15 %, přičemž vždy záleží na hodnotě objemové hmotnosti sušiny, viz zpráva (Pacovský et al. 2017).

Injektáž bude použita pro utěsnění a zpevnění horninového prostředí na požadované parametry například při výstavbě těsnících zátek. Jako injektážní hmotu se budou využívat jednosložkové nebo dvousložkové injektážní pryskyřice (např. Purlnjekt, CarboPur atp.) s dobrými hydroizolačními a průsaky těsnícími vlastnostmi. Jakmile se tato hmota dostane do kontaktu s vodou, zvětší svůj objem a rychle se (v závislosti na teplotě a množství použitého katalyzátoru) vytvrdí se do tuhé, pevné pěny s uzavřenými buňkami, které obecně nejsou ovlivňovány okolním korozivním prostředím.

Problematikou těsnění bentonitových bloků se v ČR zabývalo ČVUT FS, a to v rámci mezinárodního projektu DOPAS v experimentu EPSP (Experimental Pressure and Sealing Plug) při realizaci a odzkoušení těsnící zátky. V rámci zakázky „Výzkumné podpory pro projektové řešení HÚ“ je realizován vývoj výroby těsnícího materiálu s využitím českého bentonitu (pelet, drtě a směsi) pro potřeby HÚ, který by měl být ukončen v 12/2018.

Ve finském výzkumu podle zprávy (Pacovský et al. 2017) byly zkoušené různé způsoby zaplnění spáry (písek, bentonitová pasta - tekutá směs bentonitu s vodou, různé druhy bentonitových pelet). Nejlepší výsledky, dle finského referenčního návrhu HÚ, byly prokázány pro bentonitové pelety. Bentonitové pelety byly více efektivní při generování a udržení bobtnacího tlaku, zvláště při velikosti spáry 50 mm.

Podle zprávy (Pacovský et al. 2017) by pelety neměly být delší než 1/3 spáry, do které jsou aplikovány. Při tloušťce spáry 50 mm musí být pelety menší než 17 mm. Tato velikost pelet byla stanovena z důvodu „klenbování“ (bridging) pelet na sebe v úzké spáře. Dále je žádoucí dosáhnout při výrobě pelet lisováním objemové hmotnosti okolo 2,2 g/cm³ tak, aby po tzv. volném sypání bylo dosaženo v mezerách objemové hmotnosti alespoň 1,5 g/cm³.

C.3.6 Úložné prostory

Úložné prostory jsou dále popsány pro vertikální ukládání UOS.

Z hlediska způsobu rozpojování hornin se rozlišují tyto dva preferované typy ražeb:

- mechanizovaný způsob ražby za pomoci plnoprofilových razicích strojů – především hard rock TBM

- konvenční způsob ražby – cyklická ražba, při které jsou pro rozpojování hornin využity hlavně trhací práce (metoda NRTM, případně „Drill & Blast“)

Projektové řešení počítá s dvěma preferovanými způsoby rozpojování hornin a jim odpovídající varianty dispozičního řešení podzemního areálu HÚ, které jsou dále označovány zkratkami D1 a D2.

Technologie ražby bude vždy kombinací obou výše popsanych způsobů. Zásadní premisou jejich využití je to, aby co největší podíl prostor, kde budou uloženy UOS, byl proveden dostatečně šetrně a narušení okolního horninového masivu (EDZ) bylo minimální. V zásadě to znamená, že všechny ukládací vrty budou prováděny mechanizovanou ražbou.

Ostatní prostory, hlavně ty, které budou raženy klasickými metodami, by měly být prostorově a délkově omezené, aby případné proudění podzemní vody ve vzniklém prostředí EDZ bylo odděleno od celkového režimu proudění podzemní vody v horninovém masivu. Znamená to provedení opatření, která by měla vhodně přerušovat průběh EDZ podél dlouhých důlních děl např. zátkami nebo těsníci injektovanými vějíři. Tyto práce a materiály budou součástí navazujících prací na výzkumy prvků v kap. C3.4 a C3.5. Jejich aplikace v HÚ je závislá na konkrétní podrobné geologické a tektonické stavbě, kterou je nutné nejprve podrobněji definovat na základě průzkumných prací.

Tab. 69: Dispoziční varianty řešení podzemního areálu HÚ pro vertikální ukládání

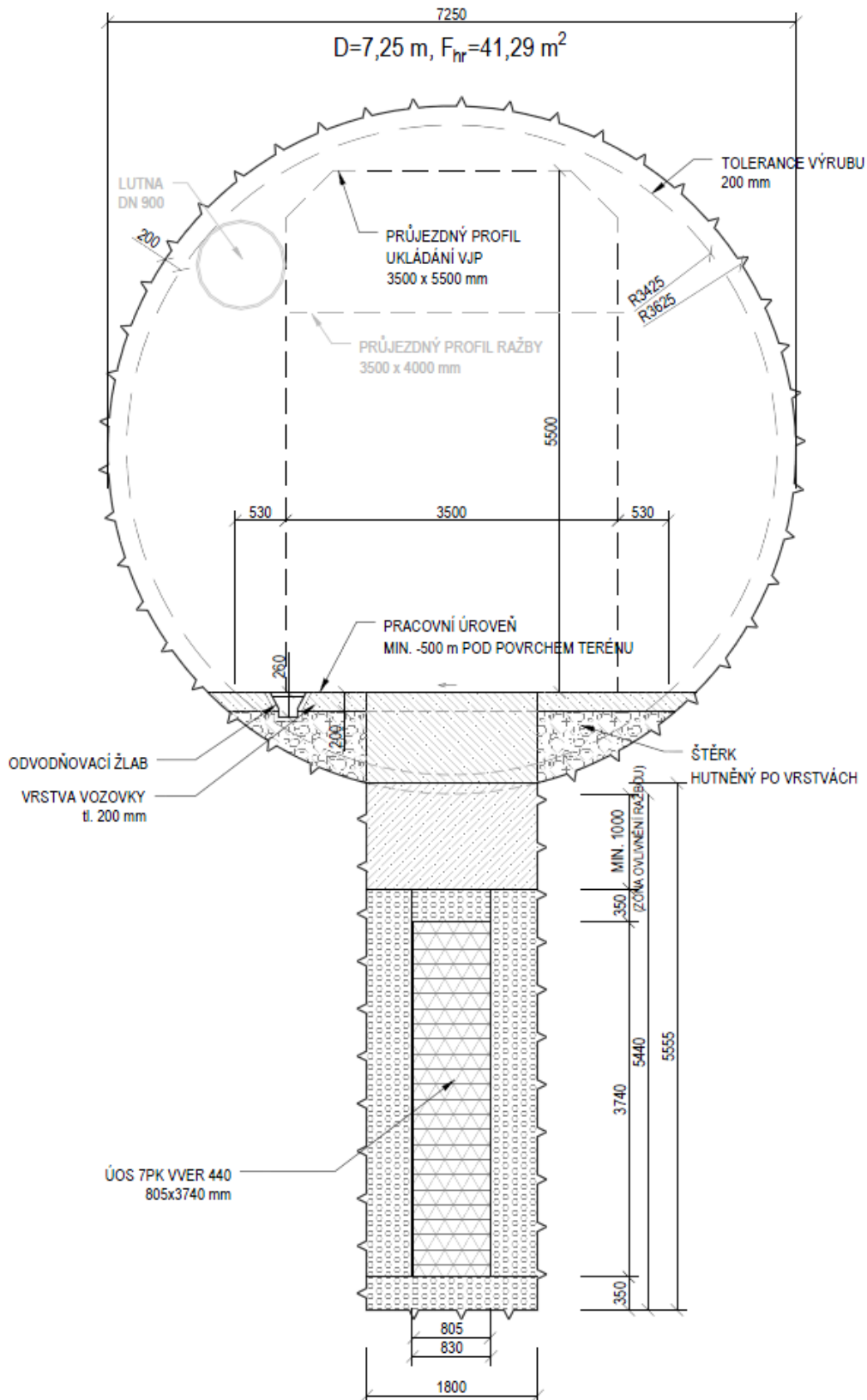
| Dispoziční řešení | D1 | | D2 | |
|-----------------------------|------------|---|------------|---|
| | vertikální | | vertikální | |
| způsob ukládání VJP | vertikální | | vertikální | |
| preferovaný typ ražby | K | M | K | M |
| zavážecí a odtěžovací tunel | | x | x | |
| páteřní chodby | | x | x | |
| spojovací chodby | x | | x | |
| ukládací chodby | | x | x | |
| ukládací vrty | | x | | x |

VU – vertikální ukládání, K – konvenční metoda ražby, M – mechanizovaný způsob ražby za pomoci plnoprofilových razicích strojů; Pozn.: Křížek značí preferovanou volbu technologie ražby pro danou variantu.

Při projektování obou variant se přihlíželo k vzniku a vývoji zóny EDZ (Excavation Damaged Zone - zóny poškození ražbou), v které je riziko výskytu otevřených diskontinuit pro případnou migraci radionuklidů a proudění vody v částečně rozpučeném masívu kolem výrubu.

V případě obou variant jsou ukládací vrty realizované ze zavážecí chodby. Předpokládá se ražba vrtů výlučně za pomoci plnoprofilových vrtných strojních sestav. Ukládací vertikální vrty průměru 1,8 m budou raženy svisle z horizontální pracovní roviny ze zavážecí chodby.

Na následující obrázku je uvedeno uložení UOS VVER 440 v preferované variantě D1. Řešení uložení UOS ve variantě D2 je uvedeno ve zprávě (Špinka et al. 2018).



Obr. 52: Vertikální uložení UOS (VVER 440) z ukládací chodby ražené TBM - D1

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

C.4 Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu

C.4.1 Umístění povrchového areálu

Umístění povrchového areálu je vymezeno severně od obce Střítež, cca 150 m severovýchodně od silnice II/385 v prostoru Střítežského hřbetu a na středně sklonitém svahu severovýchodní orientace, viz výkres „Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4)“ (Příloha D.2 této studie). S ohledem na možnost napojení povrchového areálu na CMVJP Skalka bylo vybráno alternativní umístění povrchového areálu. Situace řešení povrchového areálu je zřetelná z výkresu „Povrchový areál - objektová skladba“ (Příloha 0 této studie). Z tohoto výkresu je jasné rozdělení stavebních objektů povrchového areálu do jednotlivých funkčních celků – modulů. Dále je z výkresu patrné dopravní řešení uvnitř areálu a jeho napojení na dopravní infrastrukturu, s výjimkou železničního napojení, umístění střeženého prostoru a jeho návaznost na podzemní část HÚ. Areál zaujímá plochu 76 320 m² a je celý oplocen.

Hlavní přístupy do povrchového areálu pro pěší a automobilovou dopravu se nacházejí na jihozápadní straně PA. Příjezd je opatřen vrátnicí. Uvnitř areálu při vjezdu do střeženého prostoru je umístěna vrátnice pro pěší a automobilovou dopravu (SO 45). Střežený prostor samotný je ohraničen dvojitým oplocením, uvnitř se nachází objekty určené k činnostem spojeným s příjmem RAO a VJP a jejich přepravou do podzemí. Střežený prostor zaujímá celkovou plochu 32 830 m². Střežený prostor musí plnit požadavky vyhlášky č. 361/2016 Sb. (SUJB 2016e).

V severovýchodní části je orientovaná sestava objektů související s těžbou horniny v podzemí. Je zde umístěn objekt vtažné jámy, těžní věž se strojovnou a se skipovým zásobníkem. Z tohoto místa je také veden dopravníkový most pro odvádění rubaniny na meziskládku mimo povrchový areál.

Vstup pro zaměstnance je situován skrze vrátnici v objektu SO 13/50. Tímto způsobem je umožněn vstup i veřejnosti, která má však přístup pouze do prostor infocentra, které je součástí objektu SO13/50.

Mimo povrchový areál se nacházejí odběrný objekt technologické vody s čerpací stanicí a výpustný objekt vyčištěných odpadních vod. Tyto samostatné objekty mimo povrchový areál budou oploceny, bude k nim zřízena zpevněná příjezdová komunikace a každý jednotlivý objekt bude napojen na bezpečnostní a centrální monitorovací systém úložiště. Mimo oplocený areál, avšak v jeho těsné blízkosti se budou nacházet objekty vnějšího parkoviště, meziskládky rubaniny na 5 dní, meziskládky odvalu. V místě meziskládek bude zřízen samostatný výjezd z areálu pro odvoz rubaniny. Dle zvoleného způsobu nakládání s rubaninou bude poblíž PA zřízena rovněž deponie rubaniny spojená s PA účelovou komunikací.

C.4.2 Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů

C.4.2.1 Rozdělení do funkčních celků

Povrchový areál je rozdělen do následujících funkčních celků – modulů:

Modul M1 – těžební modul

Zajistí vlastní těžbu a zabezpečení těžebních prací dle těžařských potřeb a báňské legislativy. Cílem jeho výstavby je příprava podzemních prostor pro ukládání RAO a VJP.

Modul M2 – manipulace a ukládání RAO a VJP, tzv. aktivní provozy

M2 je rozdělen na povrchovou část M2a a podzemní část M2b. Součástí modulu M2 bude pracoviště IV. kategorie ve smyslu AZ (SUJB 2016a).

M2a – Zajišťuje pro modul M2b veškeré administrativní a správní činnosti spojené s příjmem, evidencí a manipulací s POS, kontrolou prázdných UOS, jejich příjmem, skladováním a plněním, a jejich přípravou k definitivnímu uložení v podzemí. Též vytváří zázemí pracovníků pracujících v modulu M2b vč. nezbytných činností k zajištění ochrany jejich zdraví při práci, zajištění pracovních pomůcek a oděvů apod.

Objekty tohoto modulu jsou umístěny ve střeženém prostoru, který je oplocen a vstup je umožněn vrátnicí aktivních provozů pouze tam příslušajícím pracovníkům.

Modul M3 – personálně správní

Je součástí hlavního oploceného prostoru s kontrolovaným vstupem přes vrátnici. Modul poskytuje servisní služby provozu HÚ v oblasti ekonomických, personálních, správních agend, služeb zaměstnancům areálu HÚ a dalších administrativně-správních agend. Součástí tohoto modulu je objekt infocentra, který bude přístupný veřejnosti a bude sloužit k informování veřejnosti o problematice ukládání RAO a VJP. Běžný přístup veřejnosti bude omezen pouze na prostory infocentra. Bez povolení nebude mít veřejnost přístup do zbylých prostor povrchového areálu.

Modul M4 – dopravně obslužný modul

Zajišťuje dopravní obsluhu (silniční, železniční, pěší) uvnitř PA. Součástí je propojení komunikacemi (silniční, pěší) mezi jednotlivými objekty uvnitř PA, železniční seřadiště umožňující manipulaci s POS uvnitř PA. Součástí navržených komunikací jsou také chodníky pro pěší pohyb pracovníků, vnější parkoviště a vnější oplocení celého PA.

Modul M5 – příprava bentonitu

Provozní soubory tohoto modulu zajistí plynulou výrobu bentonitových výrobků pro plynulé ukládání obalových souborů s RAO a VJP. Součástí modulu M5 jsou prostory pro skladování surovin a výrobu i skladování hotových bentonitových výrobků.

Modul M6 – dílny a sklady

Prostory pro údržbu, opravy a skladování materiálů pro dobu výstavby HÚ a pro vlastní provoz HÚ.

Modul M7 – média

Zajišťuje provozní média pro jednotlivé činnosti v HÚ (elektrickou energii, tlakový vzduch, zemní plyn, teplo, pitnou vodu, technologickou vodu). Součástí jsou objekty pro zásobování a skladování těchto médií, objekty rozvodů infrastruktury po PA, ČOV a terénní úpravy.

Modul M8 – zacházení s rubaninou

Obsahuje stavební objekty, které slouží k manipulaci s rubaninou, jejímu nutnému transportu mimo oplocenou část PA, její úpravě a skladování.

Dle zvoleného způsobu zacházení s rubaninou bude modul zajišťovat rovněž transport rubaniny na deponii v blízkosti PA pro dočasné (zpětné použití při uzavírání HÚ) resp. trvalé uložení rubaniny, případně transport rubaniny na jiné místo k dalšímu využití či uložení.

Modul M9 – požární ochrana

Zajišťuje zázemí pro pracovníky požární ochrany a báňské záchranné služby.

Zajišťuje prostory pro prostředky požární ochrany povrchového i podzemního areálu HÚ.

Modul M18 – napojení na dopravní a technickou infrastrukturu

Zajišťuje vnější napojení areálu HÚ na veřejnou dopravní a technickou infrastrukturu.

C.4.2.2 Stavební objekty

Stavební část fyzické ochrany není samostatným SO, je součástí SO 13/50, 41, 45, 47, 48. Fyzická ochrana v projektu HÚ bude odpovídat požadavkům k eliminaci projektové hrozby stanovené SÚJB. V přílohách této studie je uveden střežený prostor, chráněný prostor není v současné době stanoven.

Stavební objekty na povrchu mají značení SO. Jejich přehled je v následující tabulce.

Tab. 70: Seznam SO

| SO | Název |
|-----------|--|
| SO 01 | šachetní budova se skipozásobníkem |
| SO 02 | těžní věž |
| SO 03 | strojovna těžního stroje |
| SO 05 | Centrální trafostanice a rozvodna, náhradní zdroj |
| SO 06 | Kompresorovna |
| SO 07 | Výroba a akumulace chladicí vody |
| SO 08 | Sklad výbušnin |
| SO 09 | Sklad olejů |
| SO 10 | Sklad plynů |
| SO 11 | Centrální dílny |
| SO 12 | Skladová hala |
| SO 13/50 | Informační centrum, vrátnice, ošetřovna, ostraha |
| SO 14 | Šatny, lampovna, mytí bot |
| SO 15 | Provozní budova výstavby a rozšiřování HÚ |
| SO 16 | Centrální zdroj tepla |
| SO 17 | Vodojem 2 x 150 m ³ |
| SO 18 | Odkalovací jímka důlních vod |
| SO 19 | Úpravna vypouštěné vody |
| SO 20 | Stanice báňské záchranné služby, požární zbrojnice |

| SO | Název |
|-----------|---|
| SO 22 | Podzemní odběrový zásobník |
| SO 23 | Meziskládka |
| SO 24 | Podzemní dopravníková chodba |
| SO 25 | Sušící zařízení bentonit. polotovarů |
| SO 26 | Výroba a sklad bentonitových polotovarů |
| SO 27 | Míchárna bentonitové směsi |
| SO 28 | Zásobníky pojiva a vody |
| SO 29 | Krytý sklad |
| SO 30 | Výroba betonových prefabrikátů |
| SO 31 | Zpevněná skládka |
| SO 32 | Mostní váha |
| SO 33 | Třídírna a zásobníky odběru kameniva |
| SO 34 | Dopravníkový most |
| SO 35 | Přesýpací uzel |
| SO 36 | Výsypný most |
| SO 37 | Drtírna |
| SO 39 | Meziskládka odvalu |
| SO 40 | Meziskládky rubaniny na 5 dnů |
| SO 41 | Provozní budova aktivních provozů |
| SO 42 | Centrální čistírna odpadních vod |
| SO 44 | Vnitřní komunikace |
| SO 45 | Vrátnice aktivních provozů |
| SO 48 | Oplocení střeženého prostoru |
| SO 51 | Centrální administrativní objekt |
| SO 52 | Centrální kuchyně, jídelna a bufet |
| SO 53 | Požární nádrž |
| SO 54 | Heliport |
| SO 55 | Oplocení areálu HÚ |
| SO 56 | Vnější parkoviště |
| SO 57 | Objekt výdušné jámy |
| SO 59 | Portál tunelu |
| SO 60 | Objekt měření odpadních vod |
| SO 61 | Přívodní komora VZT |
| SO 70 | Venkovní osvětlení |

| SO | Název |
|-------|--|
| SO 71 | Rýhy a kanály rozvodů silnoproudu |
| SO 72 | Rýhy a kanály rozvodů slaboproudu |
| SO 73 | Kanalizace dešť., slašk., průmysl. |
| SO 74 | Rozvody pitné a požární vody |
| SO 75 | Potrubi kanály |
| SO 76 | Terénní úpravy |
| SO 78 | Vyústění VZT z HK |
| SO 79 | Objekt vtažné jámy |
| SO 81 | Portálový jeřáb |
| SO 83 | Přípojka elektro |
| SO 84 | Čerpací stanice technologické vody |
| SO 85 | Trubní vedení technologické vody |
| SO 86 | Vodovodní přípojka pitné vody |
| SO 87 | Kanalizační výpust' |
| SO 88 | Plynovodní přípojka |
| SO 89 | Silniční komunikace obslužné |
| SO 90 | Silniční komunikace (komunikace k deponii) |
| SO 91 | Deponie rubaniny (mimo areál) |
| SO 92 | Nádrž technologické vody |
| SO 93 | Silniční komunikace (napojení areálu) |

Zařazení SO do modulů a jejich umístění viz výkres „Povrchový areál - objektová skladba“ uvedený v Příloze D.4 této studie. Podrobnější popis modulů a SO a jejich vybavení jsou uvedeny ve zprávě (Špinka et al. 2018).

C.4.2.3 Napojení na infrastrukturu

Místo a délka silničního napojení

Místo napojení bylo vytipováno s ohledem na směrové vedení trasy stávající silnice II/385 a reliéf terénu. Napojení lze vhodně situovat severozápadně od obce Střítež, v ose silnice II/385 přibližně 800 m od svislé dopravní značky „Konec obce“.

Délka napojení je 0,26 km.

Maximální sklon terénu v ose komunikace dosahuje 8 %.

Napojení vlečky na železniční trať

Přímé napojení povrchového areálu na železniční síť není plánováno. V současné fázi přípravy se předpokládá s výstavbou CMVJP v blízké lokalitě Skalka a podzemní propojení

obou areálů pro přepravu přepravního OS mezi CMVJP Skalka a DuSO04. Napojení CMVJP Skalka na železniční síť je řešeno v rámci projektových příprav CMVJP Skalka.

Přímé napojení PA vlečkou na železniční síť se vzhledem k morfologii jeví jako inženýrsky, ekonomicky a environmentálně náročné a nevhodné řešení. Proto i v případě nevybudování CMVJP Skalka bude napojení DuSO04 na železniční síť řešeno obdobně přímým podzemním propojením.

Zásobování elektrickou energií

Vzhledem k náročným požadavkům na odběr elektrické energie bude připojení PA na elektrickou síť provedeno z distribuční sítě o napětí 110 kV. Nejbližší vedení EL tohoto napětí se nachází jihozápadním směrem v těsné blízkosti povrchového areálu. Délka přípojky areálu na VVN 110 kV bude cca 0,5 km a bude vedena nadzemním vedením.

Nadzemní vedení přejde před oplocením areálu HÚ na kabelová vedení, která v areálu HÚ povedou v kabelovém kanále do objektu „SO 05 - Centrální trafostanice a rozvodna, náhradní zdroj“ a budou připojeny na dva transformátory 110/6,3 kV.

Po transformaci ze 110 kV na 6 kV bude elektrická energie přivedena na rozváděče 6 kV, ze kterých bude kabelovými vedeními rozvedena do příslušných objektů a zařízení.

V samotném areálu je navržen jako náhradní zdroj elektrické energie dieselaagregát (objekt centrální trafostanice, rozvodna a náhradní zdroj) a dvě kogenerační jednotky v objektu centrálního vytápění, které budou zásobovat elektrickou energií vybrané provozny HÚ v případě výpadku dodávek elektrické energie ze sítě. Dieselaagregát bude lokálně doplněn bateriovými záložními zdroji UPS.

Odhadovaná maximální roční spotřeba elektrické energie HÚ při současném provozu a budování je 100 GWh.

Technologická voda - přípojka

Technologická voda bude odebírána z vodního toku Nedvědička (ID 10100174) ve správě Povodí Moravy, s.p. Předpokládaný maximální odběr technologické vody bude 2,5 l/s. Na vodním toku bude zřízen odběrný objekt včetně předčištění a čerpací stanice, která bude přečerpávat technologické vody do povrchového areálu HÚ. Je předběžně navrženo plastové potrubí PE 100 d.110. Délka tohoto výtlačného řadu se pohybuje okolo 1,2 km. V místě křížení s komunikací bude vodovodní potrubí uloženo v chrániči. Převýšení mezi odběrným místem a areálem je až okolo 160 m. Vodovodní řad bude ukončen v nádrži technologické vody (SO 92), ze které poté budou vedeny další rozvody. Nádrž bude navržena o objemu 1 000 m³ a bude osazena automatickou tlakovou stanicí, která zajistí požadované množství a tlak. Vlastní nádrž a automatická tlaková stanice již není součástí přípojky, ale vlastních rozvodů v rámci areálu. Součástí tohoto objektu je také elektrická přípojka NN pro čerpací stanici. Předpokládá se zřízení elektrické přípojky NN z lokality areálu, která bude vedena v souběhu s vodovodní přípojkou technologické vody v celkové délce cca 1,2 km.

Pitná voda - přípojka

Přívod pitné vody do povrchového areálu HÚ bude zajištěn ze stávajícího vodojemu Střítež o objemu 100 m³ (595/592 m.n.m.). Zde bude nutno vzhledem k malému převýšení zřídit čerpací stanici. Na vodovodním řadu bude zřízena vodoměrná šachta. Poté je trasa potrubí vedena v souběhu s místní komunikací Střítež – Dolní Rožínka až do vlastního areálu. Vodovodní řad je předběžně navržen z PE 100 d.90 a jeho celková délka je cca 2 km. Vodovodní řad bude zásobovat nádrž na pitnou (150 m³) a požární vodu (150 m³), kde bude ukončen. Tyto nádrže jsou součástí objektu SO 17 – vodojem 2x150 m³. Vlastní rozvody do jednotlivých objektů v rámci areálu budou řešeny samostatnými odbočkami. Rozvody požární a pitné vody budou součástí samostatných stavebních objektů. Předpokládaná průměrná potřeba pitné vody je do 1 l/s.

Kanalizace dešťová

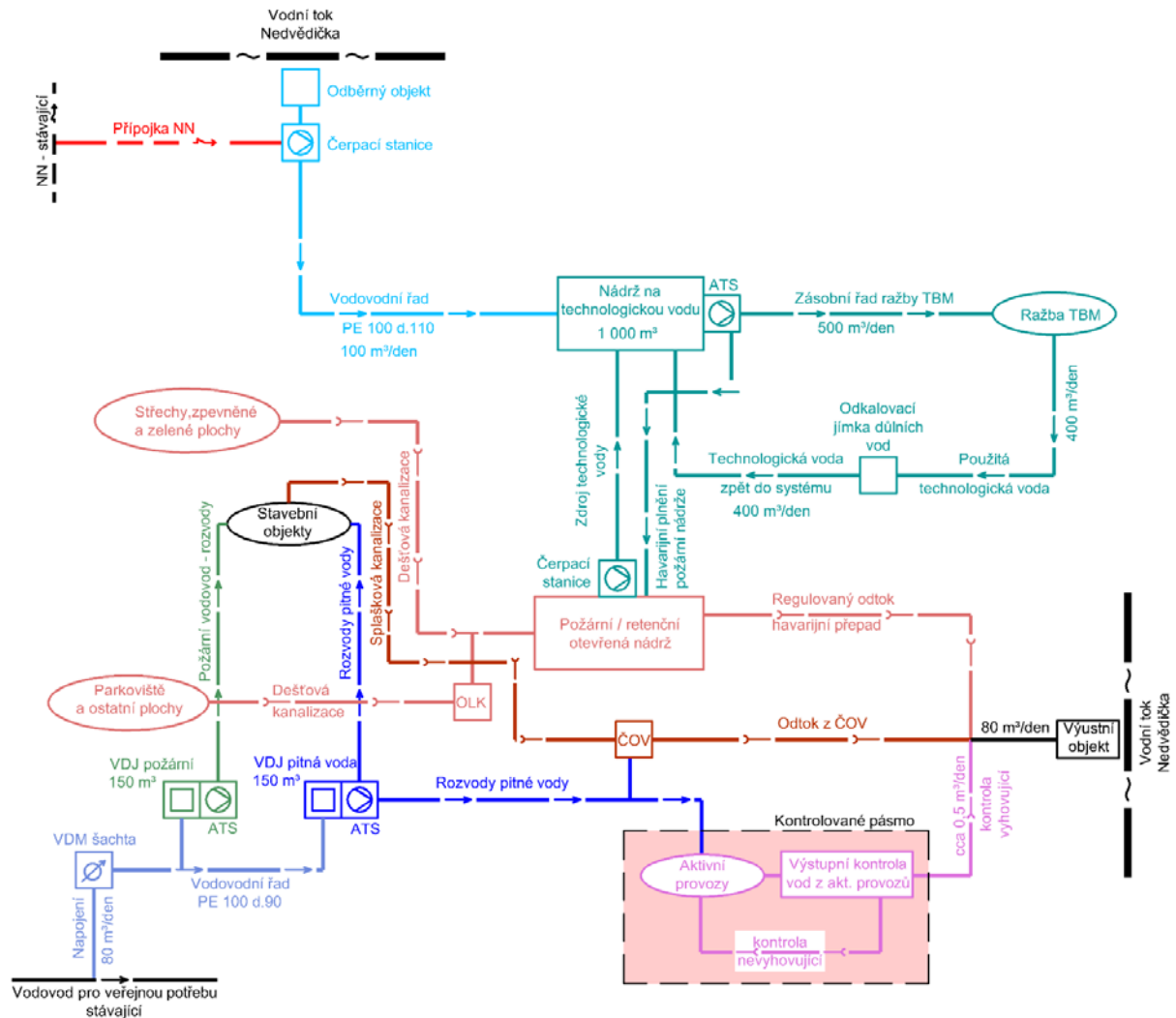
Dešťové vody v rámci povrchového areálu HÚ budou svedeny vnitroareálovou dešťovou kanalizací do otevřené požární / retenční nádrže. Vody nad kapacitu požadovaného požárního objemu pak budou přečerpávány do nádrže technologické vody o objemu 1 000 m³ a budou primárně odebírány oproti zdroji z vodního toku Nedvědička. Havarijní přepad z požární / retenční nádrže bude regulovaně odpouštěn do blízkého vodního toku – Nedvědička (ID 10100174) ve správě Povodí Moravy, s.p..

Kanalizace splašková

V rámci stavby povrchového areálu HÚ bude vybudována oddílná splašková kanalizace. Nejbližší čistírna odpadních vod se nachází v obci Rožná. Vzhledem ke vzdálenosti cca 3 km se předpokládá, že pro likvidaci splaškových vod bude vybudována v rámci areálu malá čistírna odpadních vod. Vody budou vypouštěny do blízkého vodního toku – Nedvědička (ID 10100174) ve správě Povodí Moravy, s.p. Předpokládá se průměrný odtok z ČOV do 1 l/s. Odtok bude veden gravitačně z potrubí DN 300 v souběhu s vodovodní přípojkou technologické vody v celkové délce cca 1,1 km.

Kanalizace aktivních provozů

Aktivní provozy představují pracovní procesy odehrávající se v objektu DuSO 04. V rámci těchto procesů bude použita voda pro různé technologické operace. Nadbilanční vody, které prošly aktivními procesy, budou vyčištěny a vypouštěny do kanalizace. Na výstupu z kontrolovaného pásma bude instalovaná jímka pro výstupní kontrolu těchto vod. Vyhovující vyčištěné odpadní vody budou odvedeny mimo kontrolované pásmo do vypustného objektu kanalizačních vod. Nevyhovující odpadní vody z aktivních provozů budou ještě v rámci kontrolovaného pásma odvedeny zpět do úpravny (odparka, cementace koncentráту z odparky, uložení RAO v HÚ).



Obr. 53: Schéma vodního hospodářství HÚ

Zemní plyn

Severně od obce Rožná a Dolní Rožínka probíhá VTL plynovod, ze kterého je vybudována odbočka VTL (do 40 bar), která zásobuje obec Dolní Rožínka. Z této odbočky bude provedeno napojení PA hlubinného úložiště. Přípojka plynu bude napojena v blízkosti obce Dolní Rožínka a dále bude vedena přibližně podél silnice II/385 do místa PA. Délka plynové přípojky bude cca 5,0 km. Na připojení bude vybudovaná regulační stanice plynu.

Dodávka tepla a teplé vody bude zajištěna vlastním centrálním zdrojem. Zemní plyn je uvažován jako primární energetické médium pro HÚ. Z kogeneračního zdroje bude zjištěna dodávka topné horké vody do výměňkové stanice, z které bude zajištěn vlastní otopný systém povrchových objektů a ohřev teplé vody.

Napojení na telekomunikační síť

Povrchový areál bude připojen na telekomunikační síť optickými kabely uloženými v zemi. Předpokládá se využití telefonního a datového připojení. Přípojka bude vedena severním směrem k obci Střítež, délka přípojky je cca 1,4 km. Lze uvažovat i o bezdrátovém vedení telekomunikačních služeb, v tomto případě bude v areálu vybudován systém přijímových antén. V případě poruchy bude systém zálohován rádiovou sítí.

C.4.2.4 Provozní soubory

Provozní soubory PA mají značení „číslo označení stavebního objektu, tečku, PS, pořadové číslo provozního souboru“. Jejich přehled je uveden v následující tabulce.

Tab. 71: Seznam provozních souborů

| PS | Název |
|----------|---|
| 05.PS 01 | Zařízení trafostanice |
| 05.PS 02 | Rozvodna |
| 05.PS 03 | Náhradní zdroj |
| 05.PS 04 | Elektrozařízení |
| 05.PS 05 | SKŘ |
| 06.PS 01 | Kompresorovna |
| 06.PS 02 | Elektročást |
| 06.PS 03 | SKŘ Kompresory |
| 06.PS 04 | Rozvody tlakového vzduchu a příslušenství |
| 07.PS 01 | Výroba a akumulace chladicí vody |
| 09.PS 01 | Zařízení skladu olejů |
| 10.PS 01 | Zařízení skladu plynů |
| 11.PS 02 | Centrální dílny |
| 12.PS 01 | Skladové hospodářství |
| 13.PS 01 | Informační centrum - zařízení a vybavení |
| 16.PS 01 | Centrální zdroj tepla – plynová kotelna 9 MW |
| 16.PS 02 | Vodní hospodářství a úprava vody |
| 16.PS 03 | Potrubní rozvody a příslušenství tep. sítě |
| 16.PS 04 | Kogenerační jednotka 3 MW |
| 16.PS 05 | Vzduchotechnika kotelny |
| 17.PS 01 | Zařízení vodojemů 2 x 150 m ³ |
| 18.PS 01 | Zařízení odkalovací jímky |
| 19.PS 01 | Zařízení čistírny důlních vod |
| 20.PS 01 | Zařízení požární zbrojnice |
| 24.PS 01 | Zařízení podzemní dopravníkové chodby |
| 25.PS 01 | Sušící zařízení (bentonit) |
| 26.PS 01 | Technologie pro výrobu bentonitových polotovarů |
| 27.PS 01 | Zařízení mícháreny bentonitové směsi |
| 28.PS 01 | Skladové hospodářství pojiva a vody |
| 29.PS 01 | Zařízení transportní |

| PS | Název |
|-----------|--|
| 30.PS 01 | Zařízení betonárky (výroba bentonitových prefabrikátů) |
| 32.PS 01 | Zařízení mostní váhy |
| 33.PS 01 | Zařízení třídírny kameniva |
| 34.PS 01 | Dopravní zařízení (most) |
| 35.PS 01 | Přesýpací zařízení (uzel) |
| 36.PS 01 | Zařízení výsypného mostu |
| 37.PS 01 | Technologie drtírny |
| 38.PS 01 | Technologie podzemní násypky |
| 41.PS 01 | Příjem a ukládání VJP |
| 41.PS 02 | Příjem a ukládání RAO |
| 41.PS 03 | Sběr a zpracování vlastních RAO |
| 41.PS 04 | Zařízení pro cementaci vlastních RAO |
| 41.PS 05 | Dopravní, zvedací a manipulační zařízení |
| 41.PS 06 | ASŘTP hlavní technologie ukládání |
| 41.PS 07 | Stabilní hasicí zařízení |
| 41.PS 08 | Laboratoře |
| 41.PS 09 | Dekontaminace |
| 41.PS 10 | Aktivní dílny |
| 41.PS 11 | Potrubní rozvody |
| 41.PS 12 | Radiační kontrola |
| 41.PS 13 | Speciální kanalizace |
| 41.PS 14 | Vzduchotechnické zařízení |
| 41.PS 15 | Zdroj chladu |
| 41.PS 16 | Výměňiková stanice |
| 41.PS 17 | Kompresorovna |
| 41.PS 18 | Náhradní zdroj elektrické energie |
| 41.PS 19 | Měření a regulace pomocných technologií |
| 41.PS 20 | Průmyslová televize |
| 41.PS 21 | Elektročást |
| 42.PS 01 | Technologie čistírny odpadních vod |
| 52.PS 01 | Gastro provoz |

Podrobnější informace o PS jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2010a).

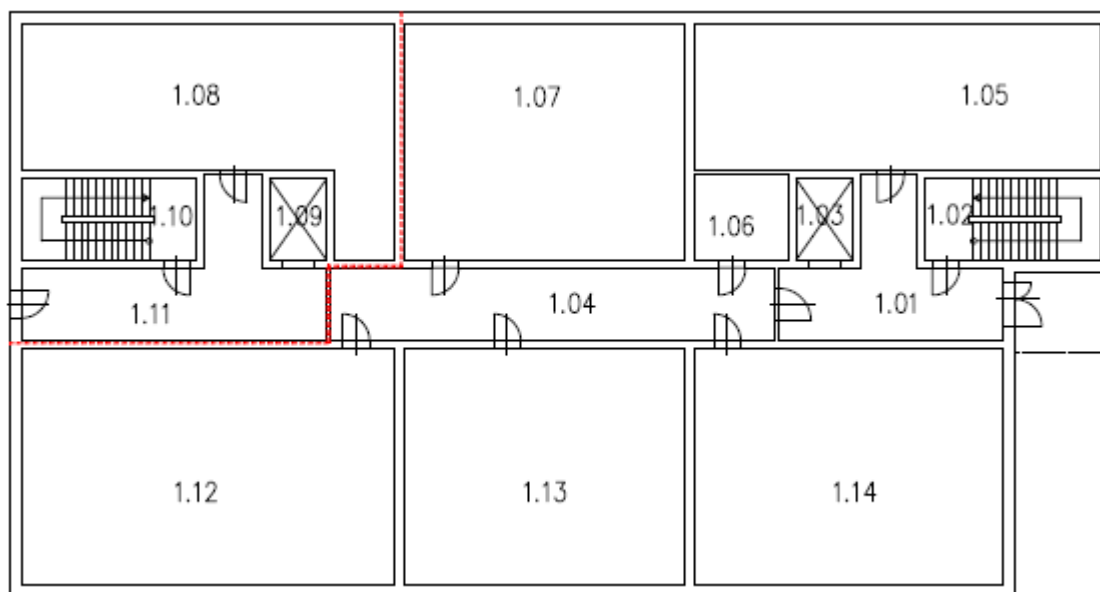
C.4.2.5 Dispoziční uspořádání a technologické vybavení provozní budovy aktivních provozů

C.4.2.5.1 Dispoziční uspořádání provozní budovy aktivních provozů (SO 41)

Podle zprávy (Fiedler et al. 2010b) bude SO 41 proveden se třemi nadzemními podlažími. Z hlediska radiační ochrany bude rozdělen na dvě části. První část bude zahrnovat místnosti v čisté zóně a druhá část bude zahrnovat místnosti uvnitř kontrolovaného pásma (KP).

V 1. NP budou umístěny hlavně místnosti technického zázemí. V části MKP budou umístěny hlavní vstup do objektu, komunikační prostory, výměňiková stanice, kompresorovna, trafostanice, hlavní rozvodna, rozvodna a náhradní zdroj. V části KP potom další schodiště a výtah do dalších podlaží, rezervní místnost, kde bude umístěná sběrná nádrž speciální kanalizace, která bude sloužit ke sběru, kontrole a odvodu odpadních vod z technologie a prostor KP.

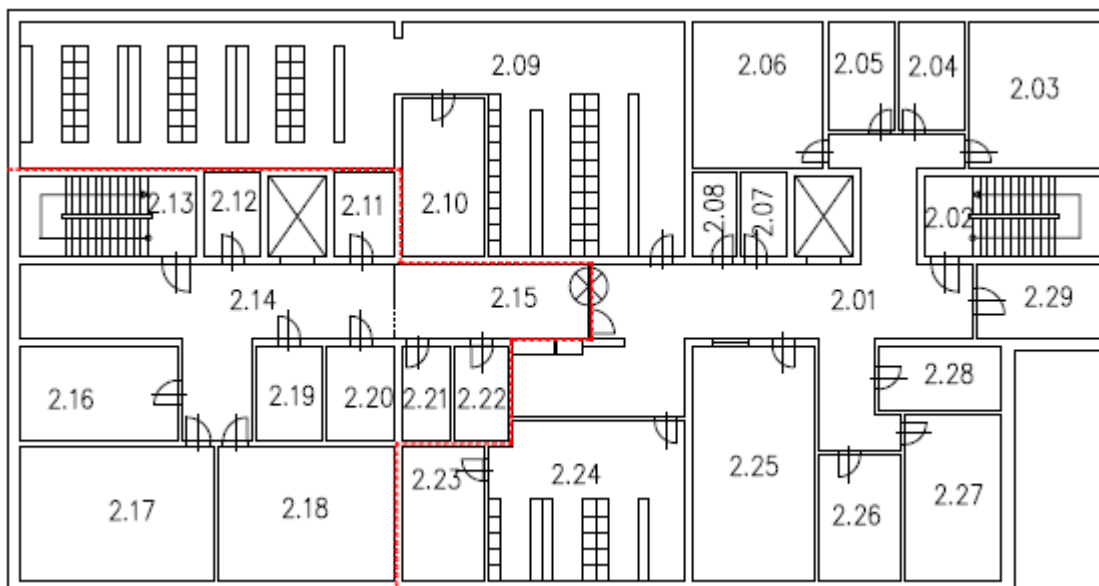
V 1. nadzemním podlaží jsou následující místnosti: 1.01 Vstupní hala, 1.02 Schodiště, 1.03 Výtah, 1.04 chodba, 1.05 Výměňiková stanice, 1.06 Kompresorovna, 1.07 El. rozvodna, 1.08 Místnost sběrné nádrže odpadních vod (KP), 1.09 Výtah (KP), 1.10 Schodiště (KP), 1.11 Chodba (KP), 1.12 Náhradní zdroj, 1.13 Hlavní rozvodna, 1.14 Trafostanice. Červenou čarou je označena hranice kontrolovaného pásma.



Obr. 54: 1. nadzemní podlaží SO 41

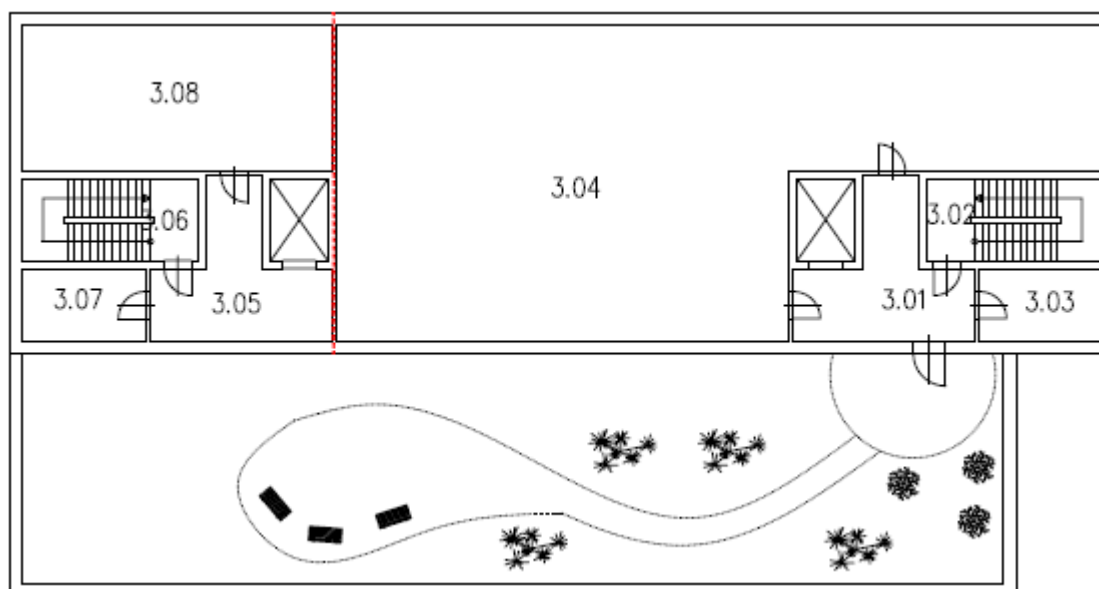
V 2. NP bude umístěno především sociální zázemí pro pracovníky zajišťující přípravu a ukládání RAO a VJP a dále několik laboratoří a kanceláří. Na tomto podlaží bude dále umístěn přechod mezi MKP (mimo kontrolované pásmo) a KP. V části MKP budou umístěny komunikační prostory chodba (místnost 2.01), výtah, schodiště (místnost 2.02), šatny – muži (místnost 2.09), umývárna muži (místnost 2.10), šatna ženy (místnost 2.24), umývárna ženy (místnost 2.23), WC – muži (místnost 2.05), WC – ženy (místnost 2.04), úklid (místnost 2.04), sklady čistého a špinavého prádla (místnosti 2.07, 2.08), centrální dozorná VZT, chlazení, RK (místnost 2.25), dvě kanceláře (místnosti 2.03, 2.06), laboratoř měření vzorku ŽP (místnost 2.27) se zázemím - přípravy vzorku (místnost 2.26), skladem vzorku (místnost 2.28) a denní místnost (místnost 2.29). V části KP budou umístěny rovněž komunikační prostory – chodba (místnost 2.14), výtah, schodiště (místnost 2.13), prostor vstupu do KP

(místnost 2.15), havarijní sprcha (místnost 2.22), WC – muži (místnost 2.20), WC – ženy, úklid (místnost 2.19), sklad kontaminovaných oděvu a pomůcek (místnost 2.21), sklad (místnost 2.11) a dvě laboratoře (místnosti 2.17, 2.18) se zázemím - přípravou vzorků, skladem vzorků (místnost 2.12). Červenou čarou je označena hranice kontrolovaného pásma.



Obr. 55: 2. nadzemní podlaží SO 41

3. NP se nepředpokládá na celém půdorysu a budou v něm umístěny opět místnosti technického zázemí. V části MKP budou umístěny komunikační prostory – chodba (místnost 3.01), schodiště (místnost 3.02) a výtah, sklad (místnost 3.03) a přívodní strojovna VZT a chlazení (místnost 3.04). V části KP potom další chodba (místnost 3.05), schodiště (místnost 3.06) a výtah, sklad (místnost 3.07) a odvodní strojovna VZT (místnost 3.08). Na zbylé části půdorysu může být provedena zelená střecha s využitím pro odpočinek pracovníků. Červenou čarou je označena hranice kontrolovaného pásma.



Obr. 56: 3. nadzemní podlaží SO 41

C.4.2.6 Technologické vybavení provozní budovy aktivních provozů

C.4.2.6.1 41.PS 03 - Sběr a zpracování vlastních RAO

V místnosti 1.08 SO 41 je umístěna sběrná nádrž odpadních vod. V případě překročení přípustných hodnot aktivity budou vody přečerpány do DuSO 41 na odparku, kde budou dále zpracovány. Pokud nebudou povolené limity aktivity překročeny, budou vody vypuštěny do areálové ČOV (SO 42).

Podrobnější informace o 41.PS 03 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2010a).

C.4.2.6.2 41.PS 08 – Laboratoře

V kontrolovaném pásmu SO 41 se nachází dvě laboratoře:

Laboratoř I. kategorie – místnost č. 2.17, kde budou probíhat následující činnosti:

- úprava a měření aktivity odebraných vzorku (aerosolové filtry, otěry, odpadní vody apod.),
- stanovení obsahu jednotlivých radionuklidu ve vzorcích,
- analýza fyzikálně-chemických vlastností neaktivních vzorků.

Laboratoř II. kategorie – místnost č. 2.18, kde budou probíhat následující činnosti:

- úprava vzorku odebraných z různých medií a materiálů v provozních prostorech HÚ (práce s otevřenými zářiči),
- analýza fyzikálně – chemických vlastností aktivních vzorků,
- testování fyzikálně-chemických vlastností cementového produktu.

Další laboratoř se nachází mimo kontrolované pásmo a bude sloužit k měření vzorků ŽP.

Laboratoř – měření vzorku ŽP - místnost č. 2.27, kde budou probíhat následující činnosti:

- úprava vzorku odebraných ŽP z areálu HÚ a jeho okolí,
- testování odebraných vzorku ŽP z areálu HÚ a jeho okolí.

C.4.2.6.3 41.PS 14 - Vzduchotechnické zařízení

Hlavní strojovna VZT společně se strojovnou chlazení je umístěna v nejvyšším nadzemním podlaží objektu SO 41. Zde budou osazeny VZT jednotky pro větrání KP a prostor MKP části objektu SO 41 a VZT jednotky pro přívod čerstvého vzduchu do komplexu DuSO 41. VZT jednotky pro větrání SO 41 budou obsahovat přívodní filtry, přívodní a odvodní ventilátory, ohříváče a chladiče. VZT jednotky pro větrání KP v SO 41 a DuSO 04 budou na odvodu obsahovat speciální filtrační stanice pro zachytávání radioaktivních látek ve vzdušíně. Předpokládaná účinnost filtrační stanice je uvedena v kapitole B.8.

Podrobnější informace o 41.PS 14 jsou uvedeny v referencích (Špínka et al. 2018, Grünwald et al. 2017 a Fiedler et al. 2010a).

C.4.2.6.4 41.PS 15 - Zdroj chladu

V objektu SO 41 bude umístěn zdroj chladu určený pro vzduchotechniku a technologii přípravy a úpravy VJP a RAO. Zdrojem chladu budou vodou chlazené kompresorové chladiče umístěné ve strojovně chlazení dispozičně řešené společně se strojovnou VZT v nejvyšším nadzemním podlaží SO 41. Kompresorové chladiče budou chlazené vodou z chladících věží umístěných na zemi u objektu SO 41.

| | | |
|---|---|---------------------|
|  | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Podrobnější informace o 41.PS 15 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2010a).

C.4.2.6.5 41.PS 16 - Výměňíková stanice

Výměňíková stanice (VS), umístěná v přízemí SO 41, slouží k přípravě topné vody pro vytápění, ohřev vzduchu a přípravu teplé vody pro hygienická zařízení v SO 41. Primárním médiem bude horká voda z centrální areálové kotelny SO 16.

Podrobnější informace o 41.PS 16 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2010a).

C.4.2.6.6 41.PS 21 - Napájecí rozvody NN

Trafostanice (nadzemní část – 1. NP) bude vybavena dvěma suchými transformátory 6 / 0,4 kV jejichž výstupy budou připojeny na dělené přípojnice hlavního rozváděče 0,4 kV. Z hlavního rozváděče budou napájeny el. rozváděče jednak z nadzemních objektů střeženého prostoru, venkovního osvětlení nadzemní a podzemní části.

Dieselagregát bude sloužit k zajištěnému napájení u vybraných el. spotřebičů i v okolních objektech nadzemní části a v podzemní části.

Podrobnější informace o 41.PS 21 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2010a).

C.5 Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu

C.5.1 Umístění podzemního areálu

Z důvodu minimalizace možných úniků radioaktivních látek do životního prostředí v případě RMU, lepší ochrany před potenciálním teroristickým útokem, ochrany aktivních provozů před případným pádem letadla jsou veškerá pracoviště IV. kategorie umístěna do podzemí.

Podzemní areál je koncipován jako podzemní dílo, které je budováno v několika podzemních patrech, „horizontech“. Toto rozdělení je dáno především funkcí těchto horizontů, ale pro svou členitost a výškové uspořádání nelze hovořit o konkrétní výškové úrovni, kterou horizont představuje.

1) „Povrch terénu“

Tento horizont navazuje na povrchový areál v části provozní budovy aktivních provozů. V daném horizontu, v zahloubeném DuSO 04, probíhá příprava RAO a VJP pro uložení (Modul M2b). V tomto objektu se nacházejí překládací uzel, horká komora a související provoz.

Na povrchu je vymezena relativní výšková úroveň $\pm 0,000$, která odpovídá nadmořské výšce 390 m n. m. a udává také nejnižší místo na povrchu terénu poblíž potenciálně využitelných horninových bloků. Tato vztažná rovina je směrodatná pro určení minimální výšky nadloží 500 m nad ukládacím horizontem VJP a používá se mj. pro relativní vymezení výškové úrovně jednotlivých horizontů.

Vztažný bod:

- Nadmořská výška: 390 m n.m. (B. p. v.)
- Souřadnice: X = 1 132 780,851; Y = 621 831,831 (S-JTSK)

Umístění vztažného bodu je patrné na situačním výkrese pro variantu D1 uvedeném v Příloze D.5 této studie.

2) „Ukládací horizont RAO“

Ukládací horizont RAO se nachází ve variantě D1 v rozmezí hloubek od 294 m do 300 m pod povrchem (daným vztahným bodem). V tomto horizontu se počítá s umístěním komor pro uskladnění RAO (DuSO 11). Je uvažováno, že prostory jedné z těchto komor se dočasně využijí k umístěním konfirmační laboratoře (DuSO 12). Oba objekty se nacházejí v místě potenciálně využitelných horninových bloků.

3) „Ukládací horizont VJP“

V tomto horizontu jsou umístěny sekce pro ukládání VJP, technické zázemí úseku ražby a úseku přípravy a ukládání VJP a konfirmační laboratoř (DuSO 12). Sekce pro ukládání VJP jsou projektovány v potenciálně využitelných horninových blocích, zatímco technické zázemí HÚ je umístěno mimo tyto bloky. Hodnota 500 m pod povrchem (daným vztahným bodem) představuje nejvyšší polohu ukládacího místa pro VJP. Vlivem zajištění min. podélného sklonu pro gravitační odvodnění celého ukládacího horizontu se technické zázemí, kde jsou umístěny jímací objekt a čerpací stanice, se technické zázemí nachází o několik desítek metrů níže než ukládací sekce VJP. Dispoziční řešení jednotlivých projektovaných variant je odlišné, a tím se mění i výškové uspořádání podzemního areálu. Ukládací horizont VJP se nachází ve variantě D1 v hloubce 500 m až 529 m pod povrchem (daným vztahným bodem).

Všechny uvedené horizonty jsou vzájemně propojeny v lokalitě Kraví hora závazecím tunelem, těžní a vtažnou jámou.

Přesné výškové vymezení ukládacích horizontů RAO a VJP je patrné na situačním výkrese varianty D1 v Příloze D.5 této studie.

C.5.2 Uspořádání a technologické vybavení objektů

Podzemní areál je rozdělen na dvě základní části:

- úsek ražeb a výstavby,
- úsek přípravy a ukládání.

Podzemní areál je dále rozdělen na jednotlivé moduly lišící se svou funkcí, kterou plní v rámci hlubinného úložiště. Dále je popsáno řešení pro variantu D1, odchylky ostatních variant jsou uvedeny ve zprávách (Špinka et al. 2018, Grünwald et al. 2017).

C.5.2.1 Rozdělení do funkčních celků

Modul M2b – Modul přípravy RAO a VJP pro uložení

Modul přípravy RAO a VJP slouží k zajištění příjmu a skladování POS s VJP v meziskladu. Dále se zabývá příjmem, přípravou a kontrolou prázdných UOS, jejich skladováním, plněním a přípravou ke konečnému uložení v podzemním areálu hlubinného úložiště. Modul rovněž zahrnuje přípravu a uložení RAO včetně RAO vzniklých při provozu horké komory.

Činnosti související s vazbou Modulů M2a a M2b jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště.

Modul M10 – Modul dopravní

Dopravní modul zahrnuje veškerou přepravu UOS, mechanismů, osob, materiálu a energie mezi jednotlivými důlními stavebními objekty. Přeprava probíhá za pomoci různých typů dopravních prostředků u osob, materiálu a UOS nebo kabelovou a trubní sítí v případě

energií a jiných médií. Základními dopravními cestami HÚ na lokalitě Kraví hora je zavážecí tunel, těžní jáma, subhorizontální chodby v ukládacím horizontu (páteřní chodby, spojovací chodby, zavážecí chodby) a vtažná jáma.

Modul M11 – Modul ukládání VJP

Modul ukládání VJP sdružuje objekty a procesy spojené s vlastním uložením UOS v ukládacím vrtu. Mezi procesy, které se řadí do tohoto modulu, patří také zaplňování zavážecí chodby vhodným materiálem.

Modul zahrnuje rovněž technické zázemí úseku přípravy a ukládání, mezi které patří rozvodna elektrické energie, dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů, požární sklad, sklad mazadel, úsek mytí a údržby. Shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna jsou společné s úsekem ražeb a výstavby.

Modul M12 – Modul ukládání RAO

Modul ukládání RAO sdružuje objekty a procesy spojené s uložením betonkontejnerů v ukládacích komorách. Proces následného zaplňování a uzavírání obsazených ukládacích komor patří rovněž pod tento modul. Samotné uložení RAO probíhá na ukládacím horizontu RAO.

Modul M13 – Modul konfirmační laboratoře

Modul konfirmační laboratoře slouží k ověření a potvrzení předpokladů o vlastnostech horninového prostředí horninového bloku v ukládacím horizontu včetně vzájemných vazeb s inženýrskými bariérami.

Modul M14 – Modul výstavby

Modul výstavby zajišťuje technické zázemí pro úsek ražeb a výstavby. Modul zahrnuje rovněž veškeré stavební činnosti, které nejsou v ostatních modulech a jsou nezbytné k zajištění stavební připravenosti pro uvedení HÚ do provozu.

Modul M15 – Modul ražby a transportu rubaniny na povrch

Modul ražby a transportu rubaniny na povrch zahrnuje objekty a práce výlučně spojené s ražbou, manipulací a transportem rubaniny. Modul zahrnuje rovněž provádění předstihových opatření, zlepšování horninového prostředí pro ražbu, dokumentaci čelby a geotechnický monitoring.

Modul M16 – Modul větrání

Modul větrání sdružuje objekty a procesy spojené se zajištěním přívodu a úpravy čerstvých větrů do podzemí HÚ, jejich distribuci v rámci jednotlivých horizontů a odvedení a úpravy mdlých větrů zpět na povrch. Cesty, kterými budou vedeny důlní větry, víceméně kopírují cesty dopravní. Jsou jimi tedy především subhorizontální chodby v ukládacím horizontu, zavážecí tunel, těžní jáma a vtažná jáma.

Bližší informace viz kapitola C.5.3.1 Větrání.

Modul M17 – Modul čerpání důlních vod

Modul čerpání důlních vod koncepčně řeší kumulaci a transport důlních vod (průsakových a technologických) na povrch. Akumulace probíhá v jímacích objektech, přičemž před jejich čerpáním výtlačným potrubím na povrch je prováděno jejich čištění v sedimentačních nádržích.

Bližší informace viz kapitola C.5.3.2 Odvodnění.

C.5.2.2 Důlní stavební objekty

Stavební objekty podzemí mají značení DuSO. Jejich přehled je v následující tabulce.

Tab. 72: Seznam důlních stavebních objektů

| DuSO | Název |
|---------|--|
| DuSO 01 | Těžní jáma |
| DuSO 02 | Zavážecí tunel |
| DuSO 03 | Vtažná jáma |
| DuSO 04 | Příprava RAO a VJP |
| DuSO 05 | Pátevní chodby |
| DuSO 06 | Spojovací chodby úseku ražby |
| DuSO 07 | Spojovací chodby úseku ukládání |
| DuSO 08 | Zavážecí chodby |
| DuSO 09 | Ukládací vrty |
| DuSO 10 | Úsek kontroly /úsek překládky UOS s VJP |
| DuSO 11 | Ukládací komory RAO |
| DuSO 12 | Konfirmační laboratoř |
| DuSO 13 | Čerpací stanice s jímkou |
| DuSO 14 | Rozvodna – úsek ražby |
| DuSO 15 | Rozvodna – úsek ukládání |
| DuSO 16 | Shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna |
| DuSO 17 | Dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů |
| DuSO 18 | Sklad náhradních dílů |
| DuSO 19 | Sklad mazadel, úsek mytí a údržby |
| DuSO 20 | Sedimentační nádrž |
| DuSO 21 | Sklad výbušnin |
| DuSO 22 | Požární sklad |

C.5.2.3 Důlní provozní celky

Důlní provozní celky mají značení DuPC. Jejich přehled je uveden v následující tabulce.

Tab. 73: Seznam důlních provozních celků

| DuPC | Název | Zařízení |
|---------|---------------------------------------|---|
| DuPC 01 | Těžební zařízení | Těžební zařízení, náraziště, skipostanice |
| DuPC 02 | Opravy a provoz důlních mechanismů | Vlastní mechanismy, opravy, remízy |
| DuPC 03 | Opravy a provoz ukládacích mechanismů | Vlastní mechanismy, opravy, remízy |

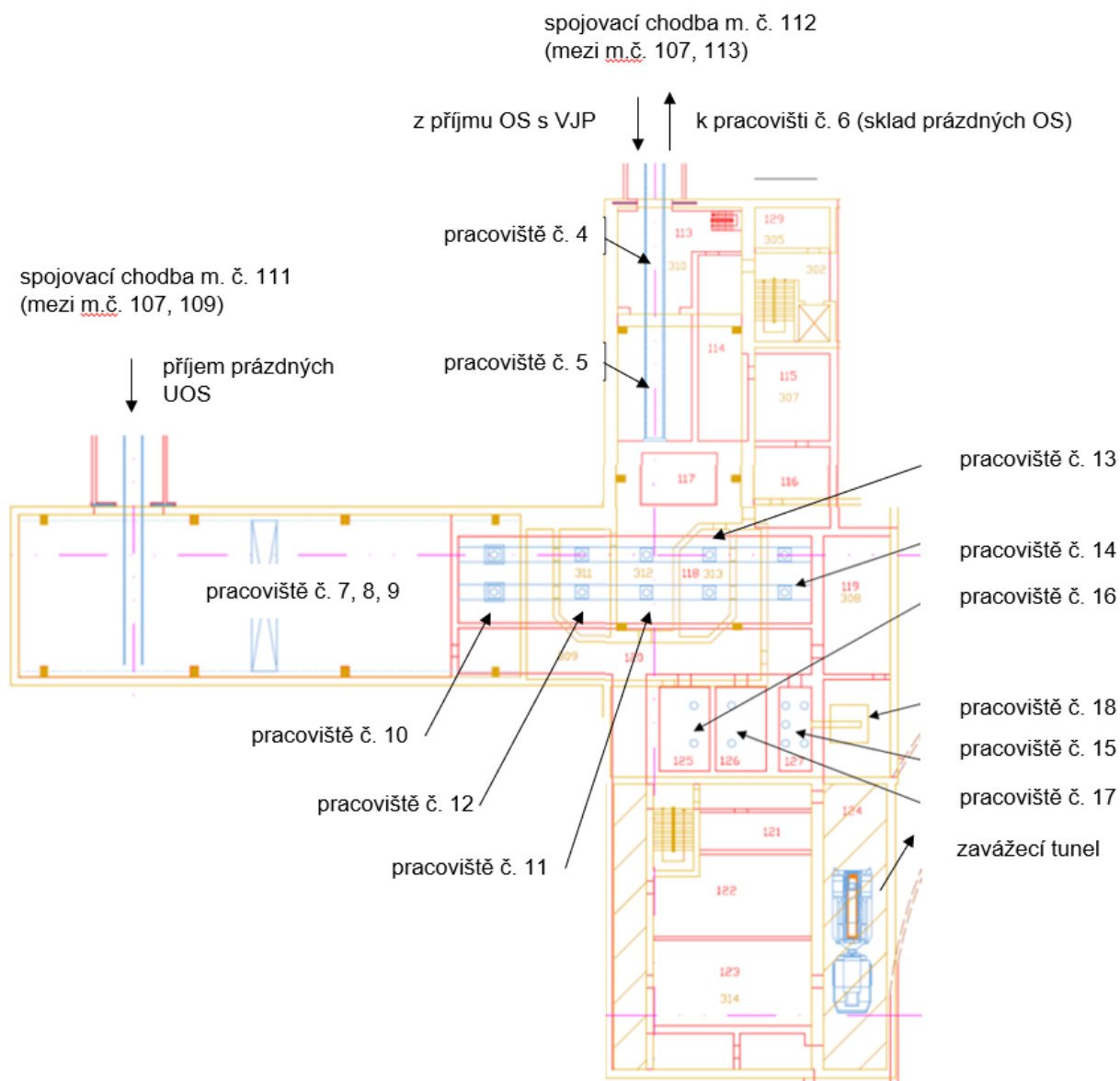
| DuPC | Název | Zařízení |
|---------|-----------------------------|---|
| DuPC 04 | Vzduchotechnika | VZT, zdroj chladu, výměňkové stanice |
| DuPC 05 | Čerpání vod | Čerpací a přečerpávací stanice, trubní vedení |
| DuPC 06 | Silnoproudá zařízení | Rozvody VN, trafostanice, rozvodna |
| DuPC 07 | Slaboproudá zařízení | Rozvodny NN, rozvody NN, osvětlení, elektrozařízení |
| DuPC 08 | Trubní rozvody požární vody | Trubní rozvody požární vody, hasicí zařízení |
| DuPC 09 | Rozvody stlačeného vzduchu | Kompresorovna, trubní rozvody stlačeného vzduchu |
| DuPC 10 | Laboratoře | Konfirmační laboratoř, zkušebny |
| DuPC 11 | Zařízení úpravy vod | Odkalovací jímka, čištění vod |
| DuPC 12 | Dekontaminace | Dekontaminační zařízení |
| DuPC 13 | Systém kontroly řízení | Systém kontroly řízení |
| DuPC 14 | Radiační kontrola | Radiační kontrola |
| DuPC 15 | Aktivní dílny | Aktivní dílny |
| DuPC 16 | Příjem a ukládání VJP, RAO | Zařízení příjmu, ukládky VJP a RAO, zařízení pro cementaci, sběr a zpracování RAO |

C.5.2.4 Umístění horké komory

Horká komora je zařízení překládacího uzlu, hermeticky oddělené od ostatního prostoru, ve kterém bude prováděno přeložení VJP z POS do UOS. Horká komora je součástí objektu aktivních provozů (Modul M2b, DuSO 04). Tento objekt je navržen v hloubené jámě o hloubce 30 m, na povrchu je objekt přesypán 5 m bezpečnostním přesypem. Půdorysně je tento objekt spolu se souvisejícími povrchovými objekty a vyústěním závážecího tunelu na povrch uvnitř střeženého prostoru.

Přístup k horké komoře je ze střeženého prostoru PA zajištěn závážecím tunelem a šachtou (svislý koridor) z SO 41.

Svislý koridor je zaústěn do DuSO 04 v hale příjmu m.č. 107. Do haly příjmu vede i spojovací tunel z CMVJP, který slouží pro převozy POS mezi CMVJP a HÚ. Hala příjmu je jednou chodbou (m.č. 112) spojena s pracovištěm č. 4 (manipulace s POS) a druhou chodbou (m.č. 111) s pracovišti č. 7, 8, 9 (manipulace s prázdnými UOS). Schéma pracovišť souvisejících s POS a UOS je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 57: Schéma pracovišť č. 4 až 18

Vertikální řezy a popis manipulací s POS a UOS na jednotlivých pracovištích jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště, podrobnější informace ve zprávě (Grünwald et al. 2017).

C.5.2.5 Technologické vybavení horké komory

Technologie související s činnostmi přeložení VJP z POS do UOS a jejich základní charakteristiky podle zprávy (Fiedler et al. 2010a):

Manipulátor v horké komoře

Stroj slouží k manipulaci s VJP a víky UOS a POS uvnitř horké komory:

- obdoba zavázečního stroje na JE
- rozchod kolejové dráhy mostu: 8,5 m
- zdvih prac. tyče: 6,5 m
- nosnost záchyty: 1t /1,5t /8t
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 30 kW

Stend s řezací aparaturou

Stroj - slouží k odřezávání zavařených vík POS:

- rozměry řezu: \varnothing 1800 - 2050 mm
- tloušťka: 30 mm
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 1 kW

Stend s utahovákem šroubu

Stroj - slouží k demontáži vík u POS s přišroubovaným víkem:

- roztečná kružnice šroubů: \varnothing 1954 mm
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 1 kW

Stend svařování - I

Stroj slouží k přivaření primárního víka UOS. Zařízení stendu:

- svařovací automat
- zařízení pro kontrolu kvality svaru
- zařízení pro opravy svaru
- zařízení pro vakuování vnitř. pouzdra
- zařízení pro plnění vnitř. pouzdra UOS heliem a pro kontrolu těsnosti
- kamerové zařízení se záznamem
- rozměry: \varnothing 3 x 2 m
- dálkové ovládání
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 5 kW

Stend svařování - II

Stroj - slouží k přivaření sekundárního víka UOS. Zařízení stendu:

- svařovací automat
- zařízení pro kontrolu kvality svaru
- zařízení pro opravy svaru
- zařízení pro vakuování vnitř. pouzdra
- zařízení pro plnění vnitř. pouzdra UOS heliem a pro kontrolu těsnosti
- kamerové zařízení se záznamem
- rozměry: \varnothing 3 x 2 m
- dálkové ovládání
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 5 kW

Sklad VJP s překrytím v horké komoře

Suchý bazén 4 x 3 m , hloubka 6 m, kompaktní provedení

Skladovací kapacita: 120 kazet VJP VVER 440, 26 palivových souborů VJP VVER 1000

Zařízení skladu:

- skladovací mříž pro VJP 440
- skladovací mříž pro VJP 1000
- překrytí s pohonem - dálkové ovládání
- oblicovka bazénu
- ventilace

- kamerové zařízení se záznamem
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 10 kW,

Mezisklad plných UOS

Suchý bazén 5 x 3 m, hloubka 6,5 m

Skladovací kapacita: 3 UOS VVER 440, 3 UOS VVER 1000

Zařízení meziskladu:

- ukládací mříž
- oblicovka bazénu
- ventilace

(překrytí je specifikováno samostatně),

Box pro otryskávání

Slouží k otryskání povrchu UOS před provedením ochranného nástřiku (pokud bude tento nástřík prováděn).

Zařízení boxu:

- otryskávací zařízení - 2 komplety
- zařízení pro kontrolu kvality očištěného povrchu - 2 komplety
- zařízení pro otáčení a vedení UOS - 2ks
- obslužná plošina - 2 patra
- oblicovka
- odsávání
- kamerové zařízení se záznamem
- dálkové ovládání
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 5 kW

Box ochranného nástřiku

Slouží k provedení ochranného nástřiku na povrchu UOS (pokud bude tento nástřík prováděn).

Zařízení boxu:

- zařízení pro nástřík - 2 komplety
- zařízení pro kontrolu kvality provedeného nástřiku - 2 komplety
- zařízení pro otáčení a vedení UOS - 2ks
- obslužná plošina - 2 patra
- oblicovka
- odsávání
- kamerové zařízení se záznamem
- dálkové ovládání

Samohybný el. vůz pro POS s VJP VVER 440

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a hydraulickým zdvihem:

- nosnost: 130 t
- rozchod kolejí: 1,435 m
- výška zdvihu: 0,5 m

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 50 kW

Samohybný el. vůz pro POS s VJP VVER 1000

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a hydraulickým zdvihem:

- nosnost: 150 t
- rozchod kolejí: 1,435 m
- výška zdvihu: 0,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 50 kW

Kolejový vůz pro POS

Kolejové vozidlo bez pohonu:

- nosnost: 130 t
- rozchod kolejí: 1,435 m

Samohybný el. vozík pro UOS s VJP VVER 440

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a stínícím válcem s hydraulickým zdvihacím zařízením:

- nosnost: 8 t (zatím uvažovaná hodnota, která bude upravena podle výsledku vývoje UOS)
- rozchod kolejí: 2,2 m
- výška zdvihu: 1,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 15 kW

Samohybný el. vozík pro UOS s VJP VVER 1000

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a stínícím válcem s hydraulickým zdvihacím zařízením:

- nosnost: 8 t (zatím uvažovaná hodnota, která bude upravena podle výsledku vývoje UOS)
- rozchod kolejí: 2,2 m
- výška zdvihu: 1,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 15 kW

Hlavní činnosti související s použitím výše uvedené technologie jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště.

C.5.2.6 Geometrie úložných prostor

Potenciálně využitelné horninové bloky vycházejí z 3D strukturně-geologického modelu lokality Kraví hora (viz Obr. 2).

Pro návrh technického řešení podzemní části jsou známy pouze parametry horniny potenciálně využitelných bloků uvedené v následující tabulce.

Tab. 74: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků

| typ horniny | Rd | Rt | c* | ϕ^* | E | v | ρ |
|-------------|-------|-------|-------|----------|-------|------|-----------------------|
| | [MPa] | [MPa] | [MPa] | [°] | [GPa] | [-] | [kg.m ⁻³] |
| granulit | 215,3 | 9,5 | 22,6 | 66,3 | 49,8 | 0,19 | 2 659 |

Rd – pevnost v prostém tlaku

Rt – pevnost v prostém tahu

c – soudržnost

ϕ – úhel vnitřního tření

E – Youngův elastický modul

v – Poissonův součinitel

ρ – měrná hmotnost

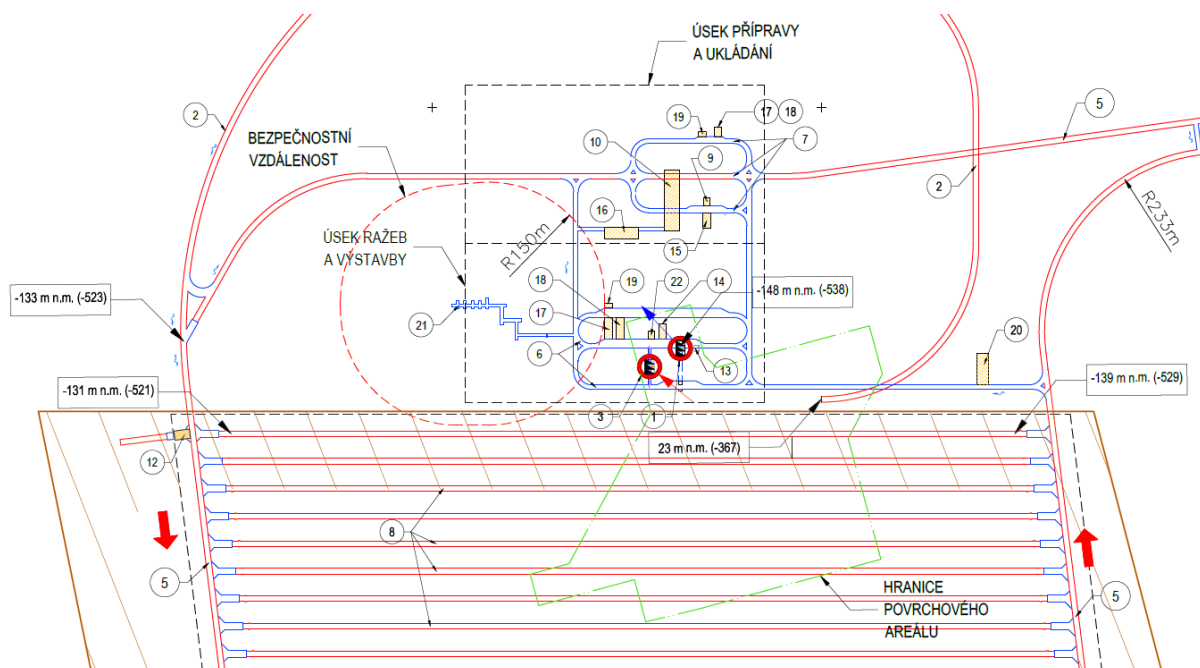
* empiricky odvozené parametry

Stanovené potenciálně využitelné bloky horniny lze z geotechnického pohledu chápat jako definované kvazihomogenní celky o konstantních vlastnostech. Vzhledem k předpokládaným zlomovým systémům zasahujícím do potenciálně využitelných horninových bloků, nelze stanovené geotechnické parametry předpokládat v poruchových pásmech zlomových struktur.

Ukládací část HÚ je samostatně řešena ve variantách pro horizontální ukládání VJP a vertikální ukládání VJP.

Způsob ukládání VJP má jednoznačný vliv na volbu použité mechanizace nejen pro samotnou přepravu a ukládání UOS, ale také volbu strojní techniky pro ražbu ukládacích vrtů. Z toho plynou i odlišné prostorové nároky na důlní stavební objekty, jimiž jsou liniová podzemní díla, kterými tyto transportní a ukládací stroje projíždějí.

Dále jsou uvedeny údaje pro variantu ukládání D1 (vertikální ukládání, mechanizovaný způsob ražby za pomoci plnoprofilových razicích strojů).



Obr. 58: Schéma technického zázemí (D1)

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

(1-těžní jáma, 2-zavážecí tunel, 3-vtažná jáma a strojovna vzduchotechniky, 5-páteřní chodby, 6-spojovací chodby úseku ražby, 7-spojovací chodby úseku ukládání, 9-ukládací vrty, 10-úsek kontroly UOS s VJP a technické zázemí úseku ukládání, 12-konfirmační laboratoř, 13-čerpací stanice s jímkou, 14-rozvodna - úsek ražby, 15-rozvodna - úsek ukládání, 16-shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna, 17-dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů, 18-sklad náhradních dílů, 19-sklad mazadel, úsek mytí a údržby, 20-sedimentační nádrž, 21-sklad výbušnin, 22-požární sklad)

C.5.3 Přístupová a technologická díla

C.5.3.1 Větrání

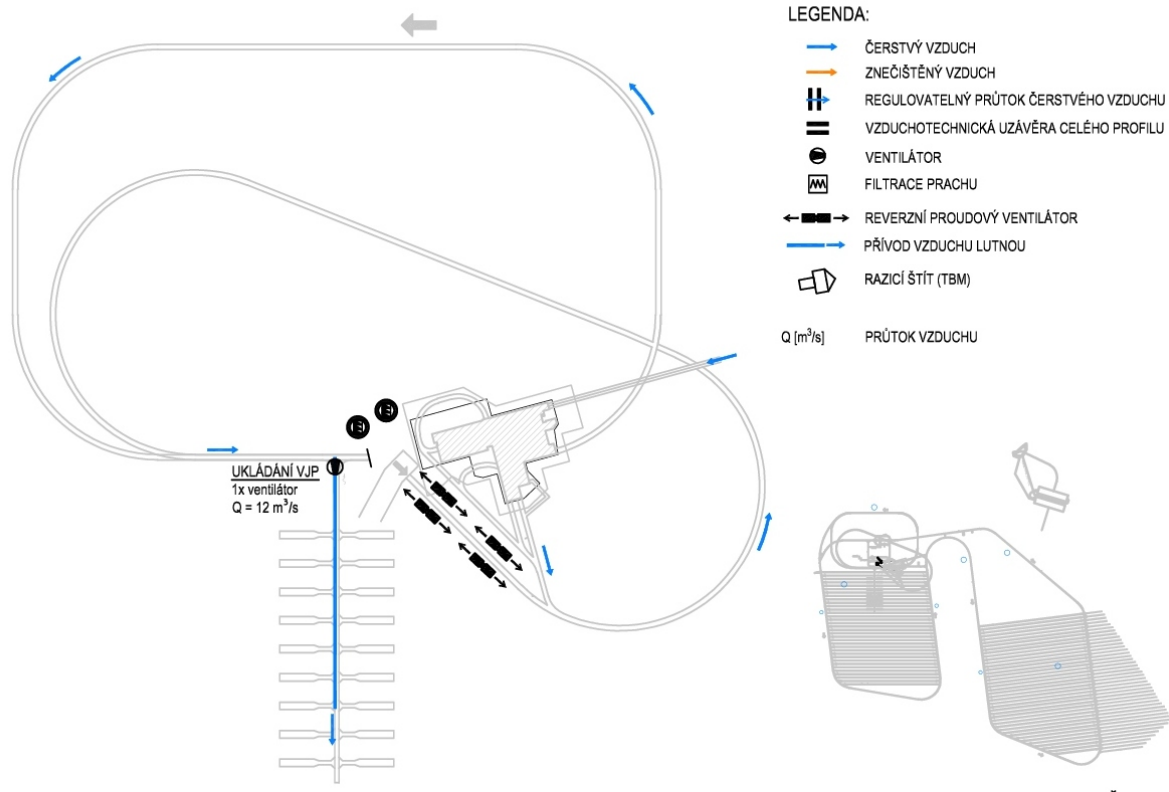
Modul větrání (Modul M16) sdružuje objekty a procesy spojené se zajištěním přívodu čerstvých větrů do podzemí HÚ, jejich rozvádění v rámci ukládacího horizontu a odvedení výdušných větrů zpět na povrch.

Větrání lze rozdělit do tří etap:

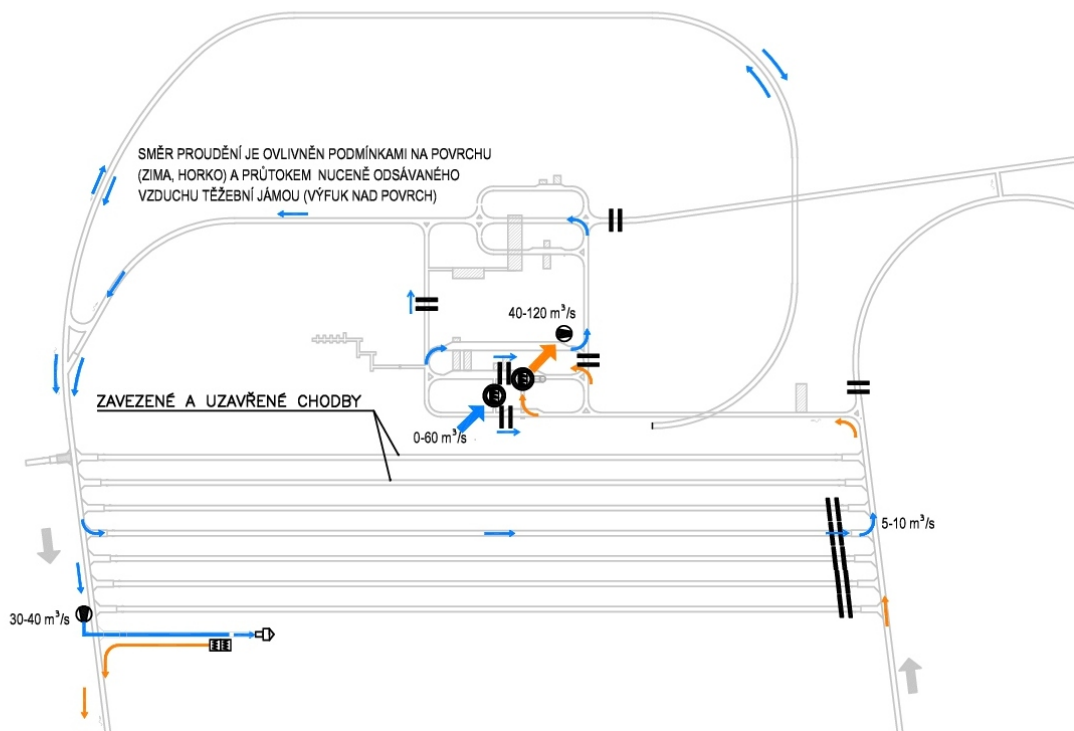
1. větrání při ražbách bez ukládání
2. větrání přechodné (ražby + ukládání)
3. větrání při uzavírání

Na následujícím obrázku je uvedeno pouze schéma větrání při současné ražbě pomocí TBM a ukládání VJP, ostatní etapy a varianty větrání jsou popsány ve zprávě (Špinka et al. 2018).

VĚTRÁNÍ ÚPADNICE PŘIROZENÝM VZTLAKEM



VĚTRÁNÍ PODZEMNÍCH PROSTOR PŘI RAŽBĚ ZAVÁŽECÍ CHODBY SEKCE I



Obr. 59: Konceptní schéma větrání HÚ při ražbách pomocí TBM zavážecích chodeb a zavážení VJP do úložiště v sekci I.

V případě RMU v podzemním prostoru lze systém větrání zastavit úplně nebo lze kontrolovaně odsávat minimální možný průtok vzduchu z důvodů udržení kontrolovaného šíření znečištěného vzduchu od zdroje k odtěžovacímu tunelu.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

Podrobnější informace, které se týkají modulu M16 včetně větrání přidružených technologických prostor a větrání při vzniku požáru v podzemním prostoru jsou uvedeny ve zprávách (Špinka et al. 2018) a (Grünwald et al. 2017).

DuSO 04 (Příprava RAO a VJP) je větrán separátně se vzduchotechnickými zařízeními provozně nezávislými na zbývajících částech HÚ. Pouze pro účely přívodu čerstvého vzduchu do tohoto objektu je využito vzduchotechnického kanálu ústícího do příportálové části zavážecího tunelu (DuSO 02). DuSO 04 je odvětráván přes 15 m vysoký komín (SO 78). Větrání samotné horké komory bude provedeno jako podtlakové s aktivní filtrací, viz kapitola C.4.2.6.3 (41.PS 14 - Vzduchotechnické zařízení) a vzduchovým obtokem.

S větráním horké komory související možné scénáře expozičních situací viz kapitola B.8.

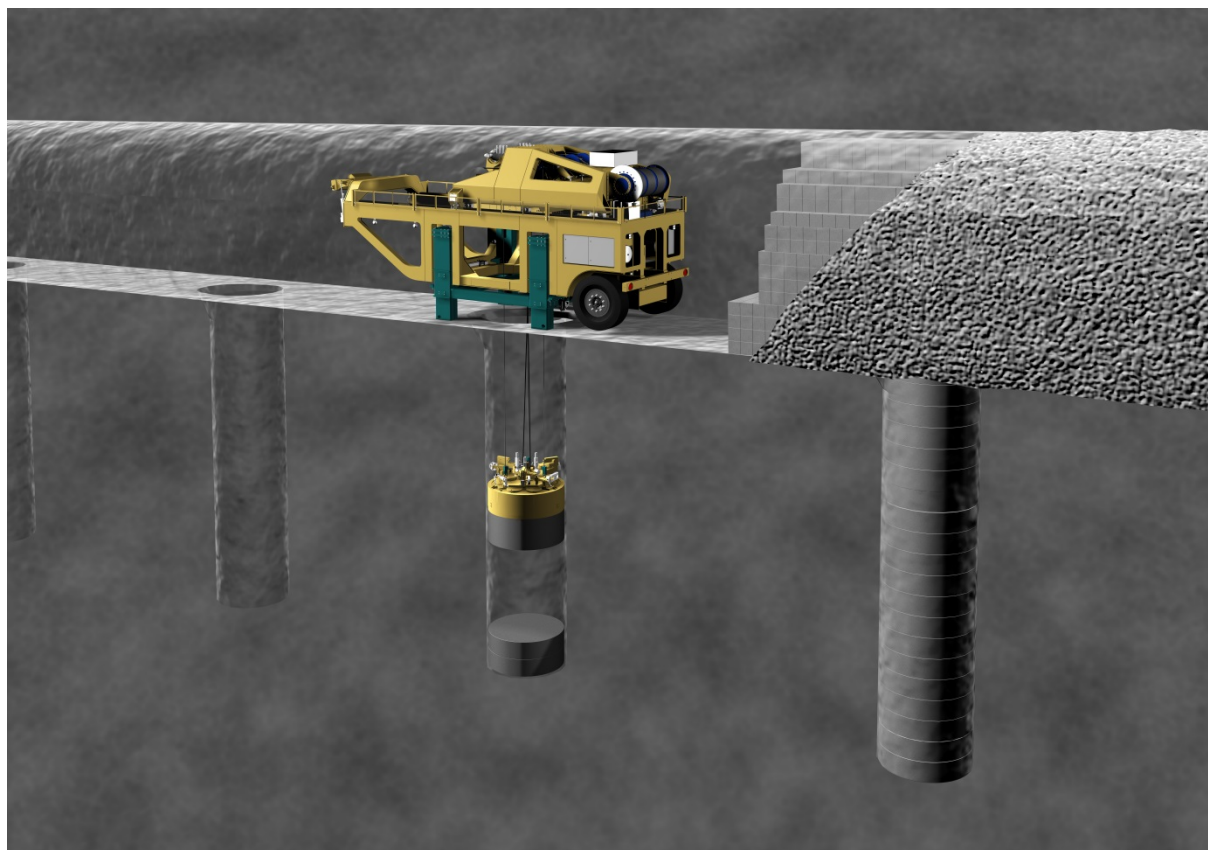
C.5.3.2 Odvodnění

Modul čerpání důlních vod (Modul M17) koncepčně řeší kumulaci a transport důlních vod (průsakových a technologických) na povrch. Akumulace probíhá v jímacích objektech, přičemž před jejich čerpáním výtlačným potrubím na povrch je prováděno jejich čištění v sedimentačních nádržích.

Podrobnější informace, které se týkají modulu M17 jsou uvedeny ve zprávách (Špinka et al., 2018) a (Grünwald et al. 2017).

C.5.3.3 Technologie pro vertikální umístění UOS

Předpokládá se technologie obdobná technologii, která se pro svislé ukládání uvažuje ve finském HÚ. Ve Finsku budou UOS uloženy do svislých vrtů o hloubce 6 m až 8 m, které jsou vyvrtány přímo v podlaze chodby. Na ukládací horizont budou UOS dopraveny zavážecím tunelem speciálním kolovým vozidlem. Zde bude UOS naložen na ukládací zařízení a převezen hlavními podzemními chodbami do ukládací chodby k místu finálního uložení. Na dně svislého vrtu jsou již uloženy bentonitové prefabrikáty. Nastává přesné polohování ukládacího zařízení a zpětné vztyčování UOS do vertikální polohy. Po uvedení UOS do svislé polohy nastává spouštění UOS do svislého vrtu. Následně je UOS obložen bentonitovými prefabrikáty. Ukládací chodba je vyplněna jílovými bloky a peletami. Po zaplnění ukládací chodby se tato zazátkuje betonovou zátkou.



Obr. 60: Manipulace s bentonitem, Finsko



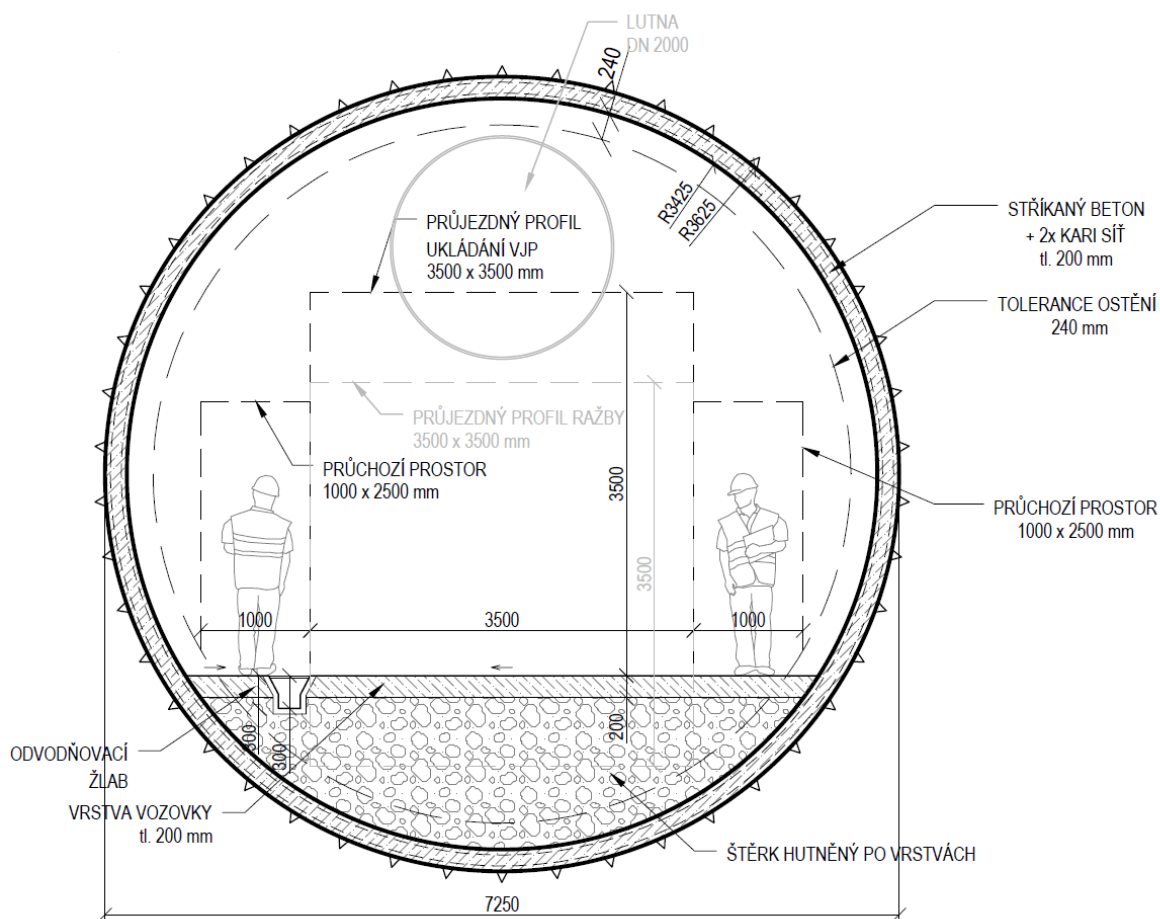
Obr. 61: Manipulace s UOS, spuštění UOS do svislého vrtu, Finsko

Podrobnější informace, které se týkají technologie ukládání včetně porovnání horizontálního a vertikálního způsobu ukládání z pohledu technického a realizačního jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al. 2017).

C.5.3.4 Geometrie zavážecího tunelu (svážné chodby) včetně jeho vstrojení

Zavážecí tunel je úklonné dílo v podélném sklonu maximálně 1:10. U varianty D1 má zavážecí tunel kruhový průřez s vnějším průměrem 7,25 m. Délka zavážecího tunelu je ovlivněna jak výškovým rozdílem mezi portálem tunelu a ukládacím horizontem, tak podélným sklonem a činí přibližně 7,3 km. Vozovka (dno) tunelu pro zavážení VJP do podzemí je tvořena betonem tloušťky 200 mm na po vrstvách hutněném štěrku.

Zavážecí tunel, který představuje přístupovou cestu z povrchu do podzemního areálu, plní i funkci jedné únikové cesty. Zavážecí tunel je však jedinou dopravní cestou pro zavážení VJP do podzemí. Koncepce ukládání RAO také primárně počítá s tímto tunelem pro svážení radioaktivních odpadů v betonkontejnerech do ukládacích komor (DuSO 11).



Obr. 62: Příčný řez zavážecím tunelem – pro variantu D1

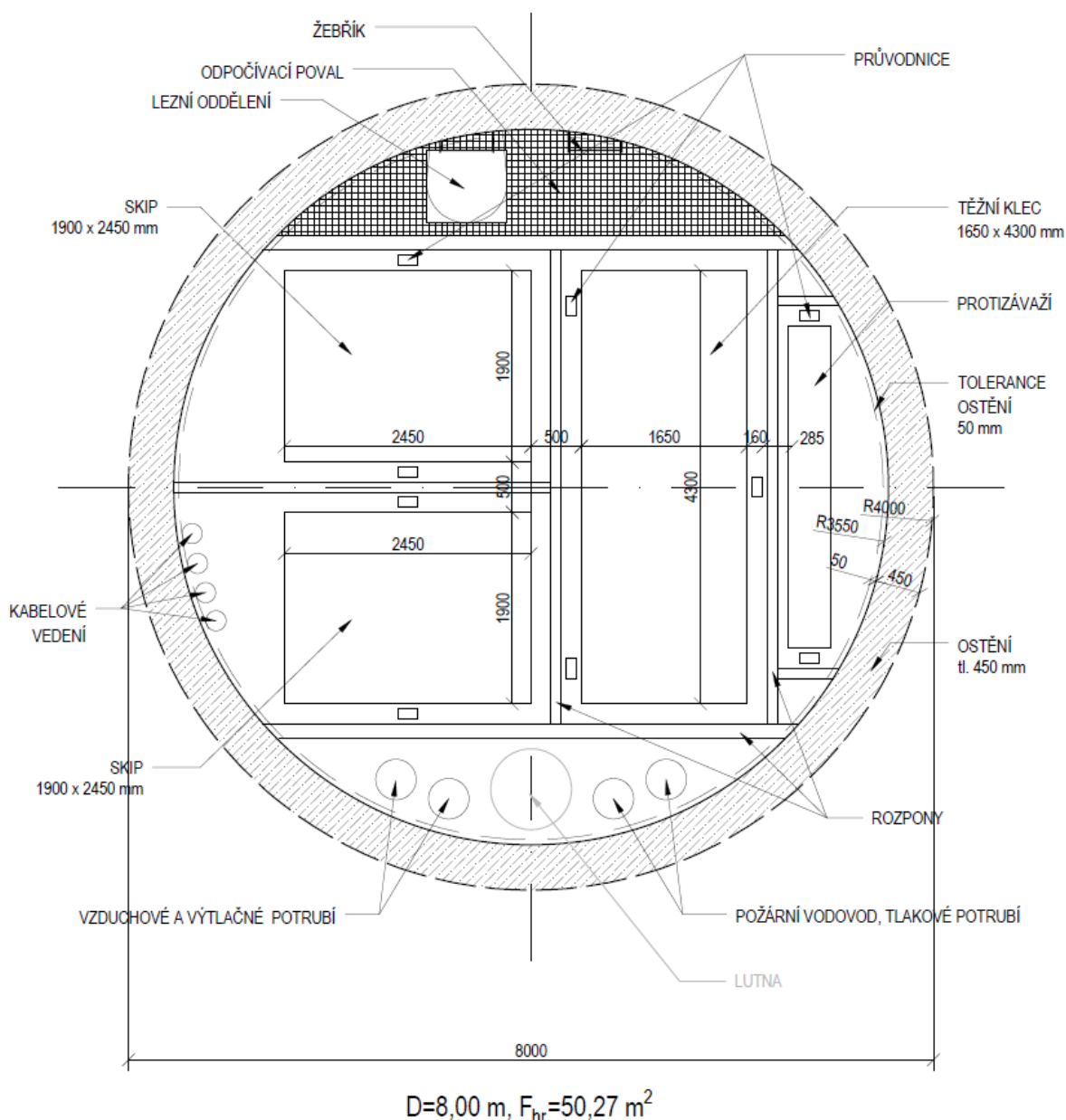
Podrobnější informace, které se týkají zavážecího tunelu, jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al. 2017).

C.5.3.5 Geometrie těžní jámy včetně jejího vstrojení

Těžní jáma bude zajišťovat především svislou dopravu rubaniny na povrch, odvádění použitých a znečištěných (výdušných) větrů z podzemního areálu a dopravu mužstva do

úseku ražby a výstavby. Tato jáma rovněž plní funkci únikové cesty na povrch. Jáma bude vybavena jedním klecovým a jedním skipovým zařízením. Zatímco klecové zařízení bude podle způsobu dopravy jednočinné pro dopravu lidí těžní klecí s protizávažím, tak skipové zařízení pro dopravu rubaniny na povrch bude dvojčinné tzv. kyvadlové se dvěma skipy.

Těžní jáma je kruhového průřezu o raženém průměru 8,0 m. Navržené betonové ostění dosahuje tloušťky 450 mm. Těžní jáma má pod nejnižším nárazím volnou hloubku a jámovou tůň v celkové délce 10 m.

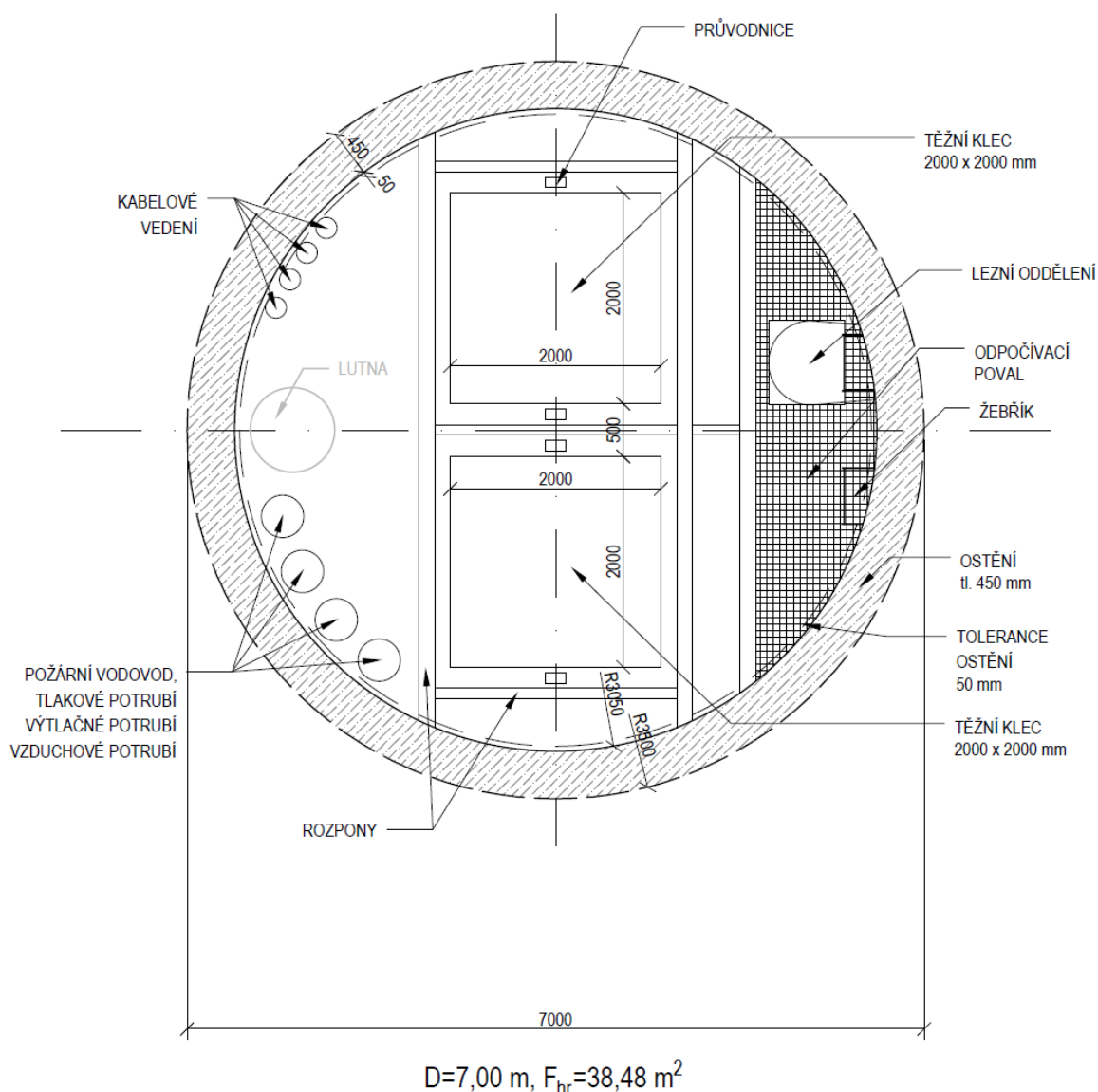


Obr. 63: Příčný řez těžní jámou

C.5.3.6 Geometrie vtažné jámy, včetně jejího vstrojení

Vtažná jáma je důlním stavebním objektem sloužícím k přivádění čerstvých větrů do podzemních prostor hlubinného úložiště. Vtažná jáma v lokalitě Kraví hora bude sloužit i k dopravě pracovníků do úseku přípravy a ukládání.

Příčný profil vtažné jámy má kruhový průřez o vnějším průměru 7,0 m. Výztuž jámy bude tvořena betonovým ostěním o tloušťce 450 mm.



Obr. 64: Příčný řez vtažnou jámou průměru 7,0 m

Řešení páteřních a závazecích chodeb je uvedeno ve zprávě (Špinka et al. 2018) a (Grünwald et al. 2017).

C.5.3.7 Konfirmační laboratoře

Modul M13 konfirmační laboratoře je objektově rozdělen na dvě části. První část konfirmační laboratoř je zřízena na horizontu ukládání RAO a jsou zde potvrzovány základní předpoklady o chování a vlastnostech horninového masívu. Vybudování této laboratoře předchází zahájení provozu, jelikož je nutné prokázat splnění odpovídajících požadavků vlastností masívu ovlivňující dlouhodobou bezpečnost HÚ (chemismus, tepelné, difúzní, sorpční a elektromigrační parametry, aj.). Druhá část je umístěna v ukládacím horizontu VJP. Zde budou ve skutečných geologických podmínkách panujících na ukládacím horizontu VJP ověřovány inženýrské bariéry a předpoklady navazující na již provedené výzkumné činnosti.

Umístění jednotlivých částí konfirmační laboratoře je patrné na výkresu viz Příloha D.4 této studie.

C.6 Provozní režim hlubinného úložiště

C.6.1 Provoz úložiště

Hlubinné úložiště je určeno k bezpečnému uložení VJP a RAO, které není možné uložit do přípovrchových úložišť nebo podzemních úložišť.

VJP bude do DuSO 04 (haly příjmu) přepravováno spojovacím tunelem z CMVJP v typově schválených POS na speciálních, pro tyto účely vyrobených, pásových vozecích nebo po ozubené kolejové dráze s maximálním sklonem 10%. RAO a UOS budou do HÚ přepravovány po silnici.

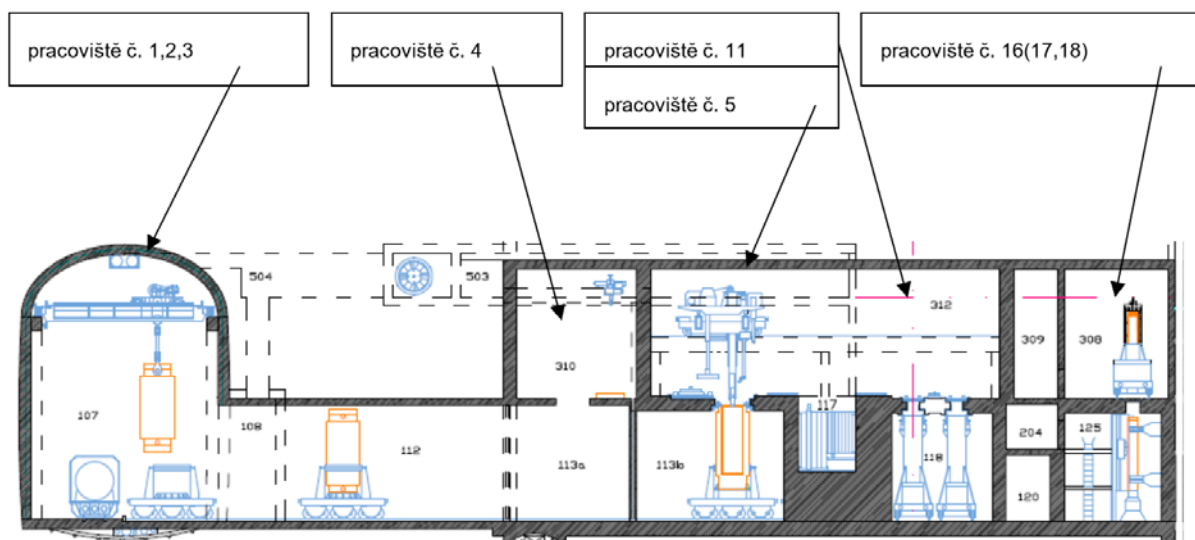
Podle zpráv (Pospíšková et al. 2012) a (Grünwald et al. 2017) budou prováděny dále uvedené činnosti.

C.6.1.1 Příjem POS s VJP

Hala příjmu m.č. 107 DuSO 04 je vybavena portálovým jeřábem nosnosti 150/5 tun, který bude sloužit k manipulacím s POS. Pomocí tohoto jeřábu budou prováděny veškeré manipulace s POS – tj. vztyčování a jeho přesun ve svislé poloze.

Před vlastním vztyčováním POS se v hale příjmu provede demontáž tlumičů nárazu, vizuální kontrola POS a kontrola jeho povrchové aktivity. Následně se na horní čepy upevní úvazy a pomocí jeřábu 150/5 t provede jeho vztyčení do svislé polohy otočením kolem dolních čepů POS a dále bude nad tlumičem zabudovaným do podlahy spuštěn z přepravního prostředku nad podlahu a několik decimetrů nad podlahou přenesen na speciální přepravní vůz, na kterém se zasune do dočasného skladu plných POS (m.č. 108; pracoviště č. 2). Zde bude připojen na monitorovací systém, kterým se sleduje teplota a tlak v POS.

V dočasném skladu se plný POS skladuje až do doby, než se ve skladovací mříži skladu VJP v horké komoře uvolní potřebný prostor pro uložení celého obsahu POS.



Obr. 65: Přeprava POS z Haly příjmu k HK

C.6.1.2 Příjem VJP do horké komory (HK)

Když se v horké komoře uvolní potřebný prostor pro vyjmutí celého obsahu VJP z POS, POS se odpojí od monitorovacího zařízení a přeloží se na samohybný elektrický vůz, který jezdí kyvadlově po kolejové dráze spojovací chodbou mezi skladem POS s VJP a stanovištěm pro demontáž sekundárního víka (pracoviště č. 4 viz obr. Schéma pracovišť, kapitola C.5.2.4 Umístění horké komory).

Na tomto pracovišti se demontuje sekundární víko a odloží na podstavec. Na primární víko POS se namontuje pomocný záchyt, který bude využíván při dalších manipulacích s primárním víkem v horké komoře. POS se přesune na další pracoviště pod přepravním otvorem do horké komory (pracoviště č. 5).

Přepravní otvor do horké komory je těsně uzavřený překrytím s pohonem, které plní zároveň funkci stínění. Přepravní vůz s POS najede na osy otvoru a zajistí se jeho poloha. Hydraulickým zvedacím zařízením umístěným na voze se POS zvedá až do polohy, kdy se horní plochou opře o vlnovec s těsněním na rámu překrytí nebo na adaptéru. Aby bylo možné v HÚ přijímat různé POS, je rám překrytí vybaven vyměnitelnými adaptéry pro různé POS.

Po přistykování POS k otvoru se překrytí otevře a nad otvor najede pojízdná plošina se stendy pro demontáž primárního víka (pracoviště č. 5). Stendy pracují v automatickém režimu a jsou řízeny dálkově. Když se primární víko uvolní, plošina se stendy odjede stranou a manipulátorem se primární víko sejme z POS a odloží na podstavec v horké komoře.

Z otevřeného POS se postupně vyjmají kazety s VJP a ukládají se do příslušné mříže VJP v horké komoře. Po ukončení překládky se prostor s VJP uzavře překrytím, které odděluje prostor s VJP od zbývajících částí horké komory a zajišťuje stínění v mříži umístěného VJP. Pomocí manipulátoru se opět usadí primární víko na POS. Přepravní otvor se uzavře překrytím a POS se spustí zpět do přepravní polohy.

POS bude uzavřen sekundárním víkem. Samohybný elektrický vůz převezve po případné dekontaminaci POS zpět do SO 80 v povrchovém areálu. Tam se přeloží na kolejový vůz pro POS a převezve se do meziskladu prázdných POS (SO 46).

C.6.1.3 Příjem a příprava prázdných UOS

Operace spojené s příjmem prázdných UOS se provádějí v hale příjmu UOS (pracoviště č. 7 až 9 viz Obr. 57) na stendu překlápění. Zde se provede vizuální kontrola, kontrola rozměrů a geometrie, průchodnost trubek UOS pomocí makety VJP a vyzkouší se správné dosednutí primárního a sekundárního víka. Zkontrolovaný UOS se uloží ve svislé poloze do skladu prázdných UOS, který je součástí haly příjmu UOS.

C.6.1.4 Plnění UOS a jejich příprava k uložení

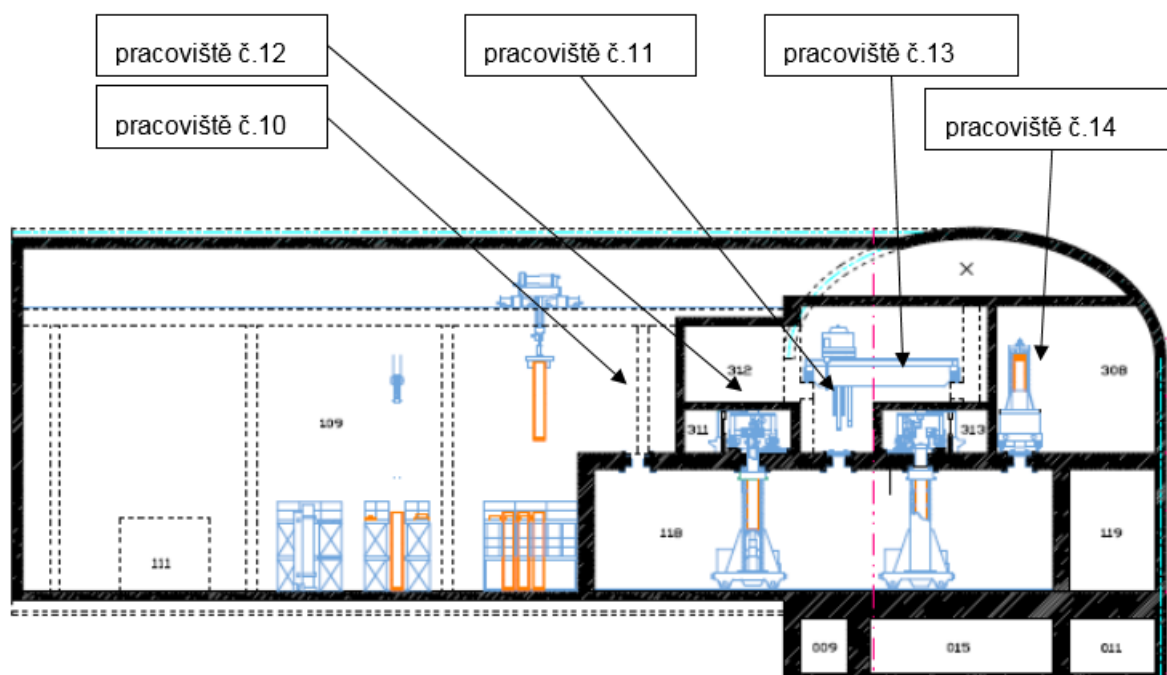
Zavážení VJP do UOS a všechny technologické operace na plných UOS se provádí na dvou paralelních linkách, které mohou pracovat souběžně. Jedna linka je trvale nastavená pro práci s UOS 440 a druhá pro UOS 1000. Zařízení obou linek je téměř totožné a v případě potřeby je možné linku provozovat i pro druhý typ UOS.

C.6.1.5 Zavážení VJP do UOS

Zavážení VJP se provádí ve svislé poloze do UOS umístěných na vozících, které pojíždějí po kolejové dráze pod úroveň podlahy horké komory.

UOS se jeřábem přenese nad pracoviště č. 10, kde se zasune do stínícího válce samohybného vozíku. Potom se UOS na vozíku přesune pod přepravní otvor do horké komory na pracoviště č. 11. Na vozíku se zdvihne přídatné stínění do pracovní polohy a přistykne se k vlnovci rámu překrytí. Otevře se překrytí otvoru a hydraulické zvedací zařízení zvedne UOS do pracovní polohy. Manipulátorem horké komory se postupně sejmou z UOS sekundární i primární víko. Tím je UOS připravený k zavezení VJP.

Otevře se překrytí prostoru mříže s VJP v horké komoře a manipulátor postupně vyjímá z mříže určené VJP a vkládá je do připraveného UOS. Práce s VJP probíhá v automatickém režimu. Po naplnění UOS manipulátor vloží zpět do UOS primární víko. Zaplněný UOS je spuštěn do transportní polohy, otvor do horké komory se uzavře a vozík s UOS se přesune pod otvor boxu svařování - I (pracoviště č. 12).



Obr. 66: Pracoviště zavážení VJP

C.6.1.6 Přivaření primárního víka UOS, kontrola přivaření

Vozík se navede na souřadnice osy otvoru. Na vozíku se zdvihne přídatné stínění do pracovní polohy a přistykne se k vlnovci rámu překrytí. Potom se otevře překrytí otvoru a UOS se zvedne do pracovní polohy ke stendu pro svařování (pracoviště č. 12). Svařovacím automatem se přivaří primární víko k vnitřnímu pouzdra. Kvalita svařování se průběžně sleduje. Po zavaření se nejprve vakuovacím zařízením vysaje vzduch z vnitřního pouzdra, pak se pouzdro zaplní heliem a provede se heliová zkouška těsnosti.

C.6.1.7 Přivaření sekundárního víka UOS, kontrola přivaření, plnění dusíkem

UOS se spustí do přepravní polohy, překrytí otvoru se uzavře a samohybný vozík s UOS se přesune zpět pod přepravní otvor do horké komory (pracoviště č. 11). Zde se stejným postupem jakým bylo vloženo do UOS primární víko, vloží i sekundární víko. Potom se samohybný vozík s UOS přesune pod otvor do boxu svařování - II (pracoviště č. 13). Zde se přivaří sekundární víko. Po přivaření se provede zkouška těsnosti heliem a vnitřní prostor vnějšího přebalu se vakuuje a vyplní dusíkem.

C.6.1.8 Uložení plných UOS v meziskladu

Upravený UOS (s přivařeným primárním a sekundárním víkem a zkontrolovaným na těsnost) je už možné uložit v meziskladu plných UOS (pracoviště č. 15). UOS se v samohybném vozíku spustí do přepravní polohy a přesune se pod přepravní otvor pracoviště č.14. Nad otvor najede překládací zařízení, které je určeno pro přepravu plného UOS mezi pracovištěm č.14 a meziskladem plných UOS. Překládací zařízení spustí otvorem ve stropu místnosti záchyt, kterým uchopí UOS a vtáhne ho do svého stínícího válce. V meziskladu plných UOS spustí UOS do skladovací mříže. Překládací zařízení je uzpůsobeno tak, aby bylo možné ukládat v meziskladu plných UOS ve dvou řadách (pracoviště č. 15). Zde může být plný UOS skladován do doby, než se uvolní kapacita na dalších pracovištích a může být provedena povrchová ochrana.

C.6.1.9 Povrchová úprava UOS

Samohybným vozíkem se plný UOS převezze z meziskladu plných UOS nad box pro otryskání povrchu. UOS se otvorem v podlaze místnosti spustí do boxu, kde se ustaví na otočný stůl. Podél UOS pojíždí ve vertikálním směru otryskávací zařízení. Po ukončení operace se provede kamerou kontrola kvality povrchu. Pokud se bude provádět ochranný nástřík, UOS se přeloží do boxu ochranného nástříku. Ochranný žárový nástřík se provádí rovněž ve svislé poloze. Hotový UOS se zkontroluje a uloží se buď zpět do meziskladu plných UOS nebo se přeloží přímo do přepravního prostředku, který ho dopraví do podzemí.

C.6.1.10 Přeprava UOS do podzemí

Mobilní kolová souprava pro transport UOS do podzemí najede pod otvor ve stropu zavázeční chodby, stínící válec kolové soupravy se překlápí do svislé polohy. Nad otvor najede samohybný vozík se zavěšeným UOS. Ze samohybného vozíku se spustí UOS stínícím válcem do lůžka mobilní kolové soupravy. Potom se stínící válec překlápí do vodorovné přepravní polohy. Mobilní kolová souprava sjede zavázečním tunelem na úroveň ukládacího horizontu (- 500 m).

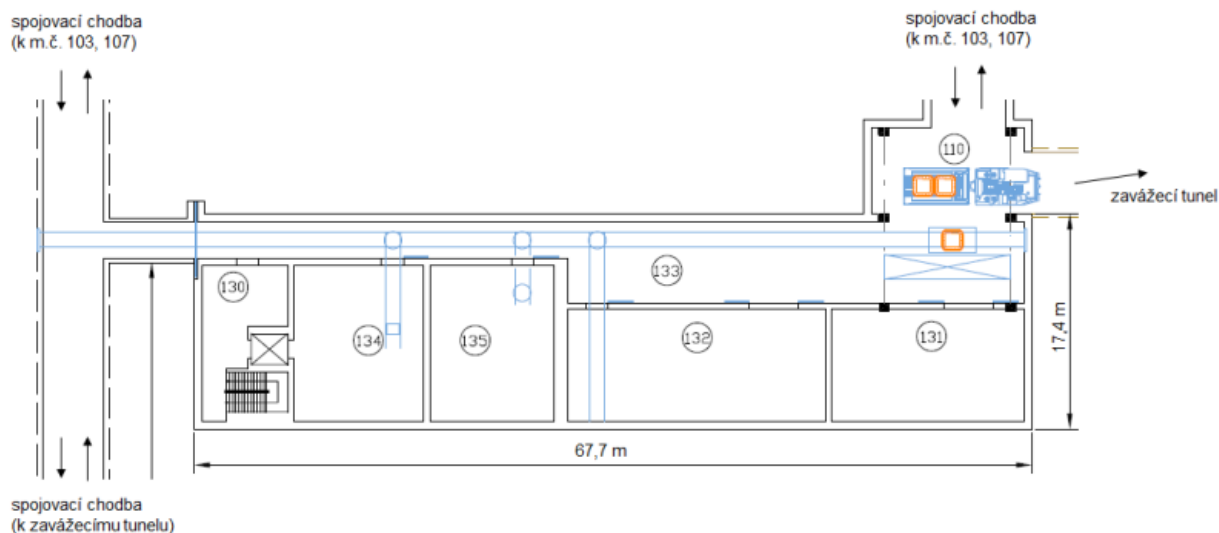
V případě vertikálního ukládání se dále používá technologie uvedená v kapitole C.5.3.3 Technologie pro vertikální umístění UOS.

C.6.1.11 Příprava RAO pro uložení

Kapitola se týká do HÚ ukládaných RAO, jiných než VJP. Činnosti s RAO (vysokoaktivní radioaktivní odpady neuložitelné do přípovrchových úložišť nebo podzemních úložišť a vlastními odpady z provozu HÚ) lze rozdělit do následujících skupin:

- příjem a příprava prázdných betonkontejnerů (BK) k plnění,
- příjem sudů s RAO,
- příjem prázdných sudů a jejich plnění vlastními RAO,
- příjem betonkontejnerů s RAO,
- plnění betonkontejnerů sudy s RAO a jejich příprava k uložení,
- plnění betonkontejnerů vlastními RAO a jejich příprava na uložení.
- zavezení betonkontejneru na ukládací horizont RAO
- uložení BK s RAO do ukládací komory

Všechny výše popsané manipulace budou probíhat výhradně na pracovištích s KP v podzemních prostorách DuSO 04.



Obr. 67: Příprava RAO pro uložení

(m. č. 110 – hala překládky betonkontejnerů, m. č. 130 – vestibul, m. č. 131 – sklad pevných RAO, m. č. 132 – aktivní dílny, m. č. 133 – zavážecí chodba betonkontejnerů, m. č. 134 – cementace, m. č. 135 – vytvrzování betonkontejnerů)

Podrobnější informace o provozu úložiště jsou uvedeny ve zprávách (Grünwald et al. 2017), (Pospíšková et al. 2012) a (Fiedler et al. 2010a).

C.6.1.12 Monitorování

Rozsah monitorování je v této fázi přípravy HÚ stanoven v obecných rámcích. Podrobný plán monitoringu bude zpracován na základě vlastního projektu HÚ, a to jak v části pro výstavbu – geotechnický monitoring, tak i v části pro provoz – program monitorování dle vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h). Oba dokumenty jsou totiž pevně svázány s konkrétním podrobným projektovým řešením HÚ.

C.6.1.12.1 Geotechnické monitorování

Geotechnické monitorování je soubor měření, pozorování a hodnocení zaměřený na sledování a kontrolu reakce horninového prostředí na stavbu tunelu a sledování indukovaných účinků v okolí stavby, v zóně poklesů a v zóně sledování.

S ohledem na vysokou rychlost mechanizovaných ražeb oproti konvenčním ražbám musí být některé metodiky monitorování prováděny metodami kontinuálního monitorování s dálkovým přenosem dat. Tím bude umožněno včas a účinně reagovat na případné anomální, v čase okamžité, projevy horninového prostředí.

Kontinuálním monitorováním se rozumí bezobslužný sběr dat v předem nastavených intervalech a jejich automatizované zpracování. Kontinuální monitorování bude zahájeno v dostatečném předstihu před vlastními ražbami (v řádu týdnů), aby byl zdokumentován původní „klidový“ stav horninového prostředí, a aby byly, pokud možno eliminovány případné parazitní vlivy (změny teploty, tlaku, slunečního osvětlení atd.) na výsledky měření ještě před ražbami.

C.6.1.12.2 Monitorování podzemních vod

Důležitou součástí monitorování je monitorování podzemních vod. Z toho důvodu se provádí měření:

- množství vody vytékající z tunelu po dobu výstavby,
- hydrostatických tlaků podzemních vod,
- změn hladiny podzemních vod v širším okolí tunelu v hydrogeologických vrtech,
- změn vydatnosti pramenů a povrchových toků v širším okolí tunelu,
- chemického složení podzemních vod,
- teploty.

Vodní režim v území se předpokládá sledovat dlouhodobě již před počátkem razicích prací, tak aby mohl postihnout i např. změny výšky hladiny podzemní vody dlouhodobějšího charakteru vlivem vývoje klimatu.

C.6.1.12.3 Program monitorování podle vyhlášky č. 422/2016 Sb.

Prostřednictvím monitorování osob, pracoviště a okolí se sleduje dodržení podmínek RO osob vstupujících na pracoviště a radiační situace v okolí úložiště.

Monitorování se zajišťuje osobními dozimetry, systémem stabilních měření s přenosem dat, dále přenosnými přístroji a systémem odběru a vyhodnocování vzorků z měřících míst.

Základní informace ze stabilních kontinuálních měření monitorujících pracoviště určená pro nakládání s VJP a RAO a z monitorování okolí jsou přenášeny do počítačového systému RK.

Počítačový systém RK zabezpečí zpracování, prezentaci a archivaci dat ze stabilních kontinuálních měření pro zabezpečení informovanosti obsluhy. Součástí tohoto počítačového systému a stabilních měření RK bude opticko - akustická signalizace překročení nastavených úrovní. Součástí počítačového systému bude též systém elektronické osobní dozimetrie.

Rozsah monitorování pracoviště:

- monitorování dávkových příkonů záření gama a příkonu dávkových ekvivalentů neutronů
- monitorování radioaktivních aerosolů a plynů v ovzduší na pracovištích HÚ
- monitorování povrchové kontaminace pracoviště a předmětů

Rozsah osobního monitorování:

- osobní dozimetrie pro osoby vstupující do KP
- kontaminace osob na výstupu z KP v hygienickém zázemí
- měření vnitřní kontaminace osob
- stanovení dávek

Rozsah monitorování výpustí:

- Monitorováním plyných výpustí ve ventilačních komínkách
- Monitorováním kapalných výpustí na hranici areálu HÚ

Rozsah monitorování okolí:

- Monitorování okolí v monitorovacích místech.

Program monitorování bude respektovat požadavky vyhlášky č. 360/2016 Sb. (SUJB 2016d) a vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h).

S ohledem na technický vývoj nejsou uváděny konkrétní přístroje pro zajištění monitorování, které bude odpovídat stavu techniky v době zpracování projektu v rozsahu požadovaném pro stavební řízení.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

V oblasti monitoringu se SÚRAO účastní mezinárodního projektu Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure (MoDeRn) 2020. Projekt Modern 2020 navazuje na výstupy projektu MoDeRn, který probíhal v období 2009–2013. Tématikou je monitoring hlubinného úložiště v různých fázích provozu a po jeho uzavření. MoDeRn 2020 je rozčleněn do čtyř ideových celků:

- strategie: zpracování metodiky potřeb monitorovaných parametrů pro potřeby bezpečnostního hodnocení, příprava strategie monitorování a doporučení monitorovacího plánu;
- technologie: výzkum a vývoj (R&D) technologií, včetně přenosových technologií, dlouhodobých napájecích zdrojů, senzorů a dalších komponent;
- demonstrace a praktická implementace: demonstrace inovativních technik;
- zapojení stakeholderů: nalezení cesty, jak zapojit do procesu všechny zúčastněné subjekty a začlenit relevantní požadavky do programu monitorování.

C.6.1.13 Nakládání s RAO

Nakládáním s RAO jsou činnosti, které se budou provádět v HÚ v souvislosti se shromažďováním, tříděním, zpracováním, úpravou, skladováním a ukládáním RAO.

Činnosti nakládání s RAO jsou sběr, třídění, zpracování a úpravu všech druhů odpadů, které vzniknou v kontrolovaném pásmu. Systémy nakládání s RAO budou vybaveny moderními technologiemi zajišťujícími úpravu RAO do formy vhodné pro uložení při zohlednění základních principů při nakládání s RAO.

Úprava RAO změnou jejich fyzikálních nebo chemických vlastností, popřípadě jejich obalem bude provedena tak, aby byla zajištěna jejich bezpečná přeprava, skladování a uložení. Úprava radioaktivních odpadů bude zahrnovat zpevňování radioaktivních odpadů a jejich vpravení do obalových souborů. Obalové soubory budou zvoleny tak, aby vydržely spolehlivě namáhání při následných manipulacích a přepravě a aby nakládání s nimi bylo bezpečné. Před vypuštěním vzdušin z HÚ budou odloučeny zachytitelné radioaktivní látky z kontaminovaných vzdušin filtrací. Systémy budou vybaveny tak, aby nedošlo k nekontrolovanému úniku radionuklidů do životního prostředí. Při zpracování pevného odpadu budou použity ověřené technologie, jako je třídění, fragmentace, lisování.

C.6.2 Uzavírání úložiště

Ukládání VJP a ostatních RAO se předpokládá v dlouhém časovém období. Navržené řešení umožňuje souběžný průběh etap výstavby, provozu, vyřazování z provozu a uzavírání HÚ ve smyslu vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) §7 c).

Po ukončení provozu úložiště budou provedeny demontáže zařízení a demolice stavebních objektů aktivních provozů a jejich uložení do HÚ.

Dále se předpokládá odstranění všech objektů s výjimkou objektu SO 15, který bude sloužit pro činnosti po uzavření úložiště, zejména k monitoringu. Zároveň bude zachována část technické infrastruktury pro provoz a dopravní obsluhu tohoto objektu. V rámci rekultivace ostatního území povrchového areálu budou provedeny zemní práce a rozprostřena ornice pro navrácení území do ZPF.

Závěrečné činnosti uzavírání úložiště budou připravovat lokalitu na institucionální kontrolu viz kapitola C.7 Požadavky na institucionální kontrolu.

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | <i>TZ303/2018</i> |

C.7 Požadavky na institucionální kontrolu

Po uzavření úložiště bude v přiměřeném rozsahu kontinuálně pokračovat sledování lokality úložiště z důvodu kontroly zajištění bezpečnosti a hodnocení vlivu na okolí (zabezpečení institucionální kontroly), která se předpokládá po dobu 300 – 500 let. Výsledky budou mimo jiné sloužit i k informování veřejnosti.

V souladu s bezpečnostním cílem uvedeným v kapitole 5.1 pod písmenem e) položka 2. se SÚRAO účastní mezinárodního projektu Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations (RK&M). Projekt RK&M si klade za cíl navrhnout strategii uchování dat a informací (znalostí) po dlouhé období, aby bylo zachováno povědomí o místě, kde jsou uskladněny vysoce aktivní odpady.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚ ZZZK Kraví Hora a blízkého okolí včetně návrhů pro umístění povrchového areálu | 31 |
| Obr. 2: Geologické schéma umístění využitelných horninových bloků v lokalitě Kraví Hora . | 33 |
| Obr. 3: Úrovně popisu lokality Kraví hora | 38 |
| Obr. 4: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Kraví hora..... | 39 |
| Obr. 5: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Kraví hora | 40 |
| Obr. 6: Schéma zlomů na lokalitě Kraví hora a v širším okolí v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu | 42 |
| Obr. 7: Klasifikované lineární indikace | 43 |
| Obr. 8: Mapa reliéfu lokality Kraví hora s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ..... | 54 |
| Obr. 9: Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS..... | 55 |
| Obr. 10: Rozdíl modelové hydraulické výšky v přípovrchové vrstvě a v úrovni HÚ | 56 |
| Obr. 11: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ | 57 |
| Obr. 12: Schématické řezy se znázorněním horizontální a vertikální vzdálenosti drenáže podzemní vody z prostoru projektovaného HÚ (fialové šipky) a homogenních bloků (modré šipky)..... | 58 |
| Obr. 13: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón..... | 60 |
| Obr. 14: Plocha HÚ, tektonické line v úrovni úložiště a drenážní toky..... | 61 |
| Obr. 15: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok-1] z prostoru HÚ v modelu proudění | 62 |
| Obr. 16: Mapa délky trajektorie transportních cest (m), lokalita Kraví hora | 66 |
| Obr. 17: Doby zdržení pro částice (roky) pro průzkumné území lokality Kraví hora | 66 |
| Obr. 18: Histogram doby zdržení částic v horninovém prostředí, homogenní blok (severní), lokalita Kraví hora..... | 67 |
| Obr. 19: Výřez z mapy „Zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů“ (v Hrnčiarová et al. 2009) s vyznačením potenciální lokality Kraví hora a okolí HÚ a seismickými jevy z databáze ČRSS..... | 74 |
| Obr. 20: Tepelná vodivost (λ) a tepelná difuzivita (a) u granulitů (G) – lokalita Kraví Hora | 82 |
| Obr.21: Tepelná vodivost (λ) a tepelná difuzivita (a) u migmatitů (M) – lokalita Kraví Hora | 83 |
| Obr. 22: Situace ložiskových objektů v průzkumném polygonu lokality Kraví hora a v jeho okolí | 90 |
| Obrázek 23: Přehled starých a opuštěných důlních děl v širším zájmovém území 2 km okolo lokality Kraví hora..... | 91 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 24: Roční srážkové úhrny – stanice ČHMÚ Bystřice nad Pernštejnem (B2BYSP01, období 1980 - 2010 | 95 |
| Obr. 25: Hustota obyvatelstva v síti 1x1km..... | 100 |
| Obr. 26: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince.. | 104 |
| Obr. 27: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro 16 směrů větrné růžice a referenčního dospělého jedince. (reprezentativní jedinec) | 105 |
| Obr. 28: Srovnání potencionální radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a jeho jednotlivých složek s potencionální radiotoxicitou 1 t uranové rudy..... | 109 |
| Obr. 29: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu | 115 |
| Obr. 30 Schéma transportní cesty od HÚ do životního prostředí | 116 |
| Obr. 31 Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim | 120 |
| Obr. 32 Schéma DFN konceptu..... | 121 |
| Obr. 33 Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | 123 |
| Obr. 34: Koncepční model výpočtu dávek na reprezentativní osobu z uvažovaných cest ozáření | 125 |
| Obr. 35: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m ³) - (0-10250 let) | 147 |
| Obr. 36: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)..... | 148 |
| Obr. 37: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m ³) | 150 |
| Obr. 38: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m ³) - (0-1000000 let)..... | 150 |
| Obr. 39: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)..... | 151 |
| Obr. 40: Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok) - (0-1 milion let) (0 -1000000 let)..... | 151 |
| Obr. 41: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok) . | 152 |
| Obr. 42: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm)..... | 159 |
| Obr. 43: Schéma palivového proutku..... | 159 |
| Obr. 44: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ:..... | 162 |
| Obr. 45: Vertikální řez reaktoru VVER-1000 | 165 |
| Obr. 46: Varianta UOS č. 2 (pro 7 PK VVER 440, s vnějším obalem z uhlíkové oceli, vnitřní pouzdro z nerezové oceli a vnitřní vestavby z nerezové oceli)..... | 175 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 47: Varianta UOS č. 12 (pro 7 PK VVER 440, vnější obal z uhlíkové oceli, sedm nerezových vnitřních pouzder a vestavba zajišťující vzájemnou polohu vnitřních pouzder) 176 | 176 |
| Obr. 48: Relativní aktivita přírodního uranu a všech frakcí, které vznikají při použití stejného množství přírodního uranu v jaderném palivovém cyklu | 176 |
| Obr. 49: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online)..... | 178 |
| Obr. 50: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny)..... | 179 |
| Obr. 51: Součinitel tepelné vodivosti pro bentonit B75 v závislosti na zhutnění Modře jsou vyznačeny hodnoty pro uměle vlhčený materiál (w=20 %) a červeně pro přirozeně vlhký materiál (w=7,5 %) | 179 |
| Obr. 52: Vertikální uložení UOS (VVER 440) z ukládací chodby ražené TBM - D1..... | 183 |
| Obr. 53: Schéma vodního hospodářství HÚ | 191 |
| Obr. 54: 1. nadzemní podlaží SO 41 | 194 |
| Obr. 55: 2. nadzemní podlaží SO 41 | 195 |
| Obr. 56: 3. nadzemní podlaží SO 41 | 195 |
| Obr. 57: Schéma pracovišť č. 4 až 18 | 202 |
| Obr. 58: Schéma technického zázemí (D1) | 206 |
| Obr. 59: Koncepční schéma větrání HÚ při ražbách pomocí TBM zavážecích chodeb a zavážení VJP do úložiště v sekci I..... | 208 |
| Obr. 60: Manipulace s bentonitem, Finsko..... | 210 |
| Obr. 61: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko..... | 210 |
| Obr. 62: Příčný řez zavážecím tunelem – pro variantu D1 | 211 |
| Obr. 63: Příčný řez těžní jámou | 212 |
| Obr. 64: Příčný řez vtažnou jámou průměru 7,0 m | 213 |
| Obr. 65: Přeprava POS z Haly příjmu k HK..... | 214 |
| Obr. 66: Pracoviště zavážení VJP | 216 |
| Obr. 67: Příprava RAO pro uložení..... | 218 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ | 16 |
| Tab. 2: Požadavky na posuzované vlastnosti podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) | 19 |
| Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1..... | 24 |
| Tab. 4: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení | 51 |
| Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Kraví hora | 64 |
| Tab. 6: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení | 67 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 7: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů | 68 |
| Tab. 8: Rozpustnost screeningových radionuklidů ve vodě Kraví hora (SGW2) | 69 |
| Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí..... | 70 |
| Tab. 10: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality | 70 |
| Tab. 11: Databáze zemětřesení v okolí potenciální lokality Kraví hora | 75 |
| Tab. 12: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení | 79 |
| Tab. 13: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností granulitů a migmatitů z území kandidátní lokality Kraví hora | 83 |
| Tab. 14: Vybrané hodnoty geochemických indikátorů z lokality Kraví hora | 86 |
| Tab. 15: Přehled vrtů z polygonu rozdělených podle dosažené hloubky..... | 92 |
| Tab. 16: Charakteristika klimatické oblasti MT9..... | 96 |
| Tab. 17: Počet obyvatel v jednotlivých obcích | 99 |
| Tab. 18: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku..... | 102 |
| Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (99,9999 %)..... | 103 |
| Tab. 20: Omezená kolektivní efektivní dávka | 104 |
| Tab. 21: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %) | 104 |
| Tabulka 22: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu | 105 |
| Tabulka 23: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatné rozptylové podmínky – 16 úniků do všech směrů větrné růžice..... | 106 |
| Tab. 24: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti | 108 |
| Tab. 25: Bezpečnostní funkce bariér hlubinného úložiště | 111 |
| Tab. 26: Parametry puklin v izolační části horninového prostředí. Hodnoty se vztahují k jednomu UOS; plochy, smáčené obvody a toky se škálují během výpočtu podle aktuálního počtu poškozených UOS..... | 118 |
| Tab. 27: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech..... | 126 |
| Tab. 28: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu..... | 129 |
| Tab. 29: Hodnoty referenčních difuzivit D_w (m^2s^{-1}) a meze rozpustnosti pro blízké pole SL_{bent} | 129 |
| Tab. 30: Parametry bentonitové tlumící vrstvy, které shrnují současné poznatky o těchto materiálech..... | 130 |
| Tab. 31: Doporučené hodnoty rozpustností pro uvažované prvky a jejich horní a spodní limity | 131 |
| Tab. 32: Sorpční parametry granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu (Havlová et al. 2018)..... | 132 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 33: Difúzní koeficienty De granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu. | 133 |
| Tab. 34: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu | 136 |
| Tab. 35: Přenosové faktory půda - rostlina | 137 |
| Tab. 36: Výnosy zemědělských plodin..... | 138 |
| Tab. 37: Přenosové faktory pro přestup přijaté aktivity do živočišného produktu | 139 |
| Tab. 38: Parametry použité pro hospodářská zvířata | 140 |
| Tab. 39: Spotřební koš (reprezentativní osoba, dospělý, centrální scénář)..... | 140 |
| Tab. 40: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby | 142 |
| Tab. 41: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím | 142 |
| Tab. 42: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody | 144 |
| Tab. 43: Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin) | 146 |
| Tab. 44: Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech | 146 |
| Tab. 45: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let..... | 148 |
| Tab. 46: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let)..... | 152 |
| Tab. 47: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ | 158 |
| Tab.48:Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP | 160 |
| Tab. 49: Celková aktivita klíčových radionuklidů pro EDU, ETE i NJZ a aktivita přepočítaná na jeden UOS..... | 161 |
| Tab. 50: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro všechny typy JE | 162 |
| Tab. 51: Rozměry UOS použité ve výpočetních modelech pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ | 163 |
| Tab. 52: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS | 163 |
| Tab. 53 : Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí reaktoru pro postupné vyřazování z provozu doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Temelín | 164 |
| Tab. 54: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (koš AZ, šachta reaktoru, návar TNR a TNR) pro postupné vyřazování z provozu pro JE Temelín | 166 |
| Tab. 55: Měrné aktivity a hmotnosti různých materiálů na konci ozařování a pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín..... | 166 |
| Tab. 56: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín | 166 |

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 57: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany | 167 |
| Tab. 58: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (šachta reaktoru, koš AZ, návar TNR a TNR) pro JE Dukovany | 167 |
| Tab. 59: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru (tepelná izolace, dno koše AZ a serpentinitový beton) pro JE Dukovany | 168 |
| Tab. 60: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany | 168 |
| Tab. 61: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro všechny plánované bloky a pro okamžité vyřazování z provozu NJZ..... | 168 |
| Tab. 62: Odhad počtu betonových kontejnerů pro konstrukční a technologické části výzkumného reaktoru LVR-15 pro postupné vyřazování..... | 169 |
| Tab.63: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy..... | 170 |
| Tab. 64: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů z 1. a 2. přepravy vitrifikovaného VJP z výzkumného reaktoru LVR-15 | 170 |
| Tab. 65: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard | 171 |
| Tab. 66: Přehled ZIZ používaných na území ČR podle obsažených radionuklidů a jejich sumární aktivity k referenčnímu datu 10. 12. 2015 | 171 |
| Tab.67: Přehled ZIZ užívaných na území ČR podle jejich klasifikace (Databáze ZIZ, SÚJB) | 172 |
| Tab. 68: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al. 2016) a MX-80 (Karnland 2010)..... | 178 |
| Tab. 69: Dispoziční varianty řešení podzemního areálu HÚ pro vertikální ukládání..... | 182 |
| Tab. 70: Seznam SO | 186 |
| Tab. 71: Seznam provozních souborů | 192 |
| Tab. 72: Seznam důlních stavebních objektů | 200 |
| Tab. 73: Seznam důlních provozních celků | 200 |
| Tab. 74: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků | 206 |

Reference

- AKESSON, M., L. BÖRGESSON A O. KRISTENSSON. (2010): SR-Site Data report THM modelling of buffer, backfill and other system components [online]. Stockholm: SKB, [cit. 2016-02-02]. ISSN 1404- 0344. Dostupné z: <http://www.skb.se/publication/2095119/TR-10-44.pdf>
- ANDERSSON, J., STRÖM, A., SVEMAR, C., ALMÉN, K.-E., ERICSSON, L. E. (2000): What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation. SKB TR-00-12, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, Stockholm, Sweden, 148 pp.

- BALATKA B. A KALVODA J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. – *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, 113, Praha, 205–222.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York, 272 pp.
- BUKOVSKÁ Z. A VERNER K. ED. (2017): Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov. Závěrečná zpráva, 351 s. MS SÚRAO.
- BURIÁNEK D., VERNER K., HANŽL P., KRUMLOVÁ H. (2009): Petrochemical and microstructural comparison between Cambro-Ordovician metagranites and migmatites of the Svatka Unit and the Orlice-Sněžník Unit. – *Journal of Geosciences*, 54, 181–200.
- ČERNÍK M., STEINOVÁ J., ŠEVCŮ A., BURKARTOVÁ K., ČERNÁ K., MIKEŠ J., ŠPAČEK P., DOBREV D., ČERNOUŠEK T., STOULIL J. (2017): Mikrobiální koroze za podmínek hlubinného úložiště pro koncepci ocelový UOS – zhutněný bentonit, zpráva SÚRAO, číslo 196/2017, 61 str.
- ČERNÍK M., STEINOVÁ J., ŠEVCŮ A., MIKEŠ J., ŠPAČEK P., DOBREV D., ČERNOUŠEK T., STOULIL J. (2016): Mikrobiální koroze za podmínek hlubinného úložiště pro koncepci ocelový UOS – zhutněný bentonit – Průběžná technická zpráva. Zpráva SÚRAO, 71/2016, 52 str.
- ČERVINKA R., HANULÁKOVÁ D. (2013): Laboratorní výzkum tlumících, výplňových a konstrukčních materiálů. Geochemické modelování – bentonitová pórová voda. Zpráva ÚJV Řež, a. s., 14269, 111 s.
- ČERVINKA R., GONDOLLI J. (2015): Modelování pórové vody kompaktovaného bentonitu BaM. Projekt UOS č. 14E1054. ÚJV-14407
- ČERVINKA R., VOPÁLKA D., ADAM R., BRÁZDA L., DRTINOVÁ B., HOFMANOVÁ E., KITNEROVÁ J., RAMEŠOVÁ L. REIMITZ D., ŠIMÚTHOVÁ Z., ŠTAMBERG K., VETEŠNÍK A. (2015): Transport radionuklidů z úložiště / vstupní parametry a procesní modely pro hodnocení transportu radionuklidů přes inženýrské bariéry, 1. průběžná zpráva. Technická zpráva č. 2015/18, SÚRAO
- ČERVINKA, R., GONDOLLI, J., KLAJMON, M., TOMÁŠOVÁ, Z., RUKAVIČKOVÁ, L., ŘIHOŠEK, J., PACHEROVÁ, P., ZEMAN, J., VENCELIDES, Z. (2017): Chování horninového prostředí/Příprava geochemického modelu úložiště – Definice vstupních dat a příprava modelů, průběžná zpráva. Technická zpráva číslo 125/2017. SÚRAO, 118 str.
- ČERVINKA R., GONDOLLI, J., KOLOMÁ K. (2016): Eroze bentonitu a její dopad na dlouhodobé chování inženýrských bariér hlubinného úložiště a transport. Závěrečná zpráva projektu Eroze bentonitu a její dopad na dlouhodobé chování inženýrských bariér hlubinného úložiště a transport radionuklidů. ÚJV Řež, a. s. ÚJV- Z 4495
- ČERVINKA R., KLAJMON M., ZEMAN J., VENCELIDES Z. (2018): Příprava geochemického modelu – geochemické výpočty a model reakčního transport, Technická zpráva SÚRAO, 2018
- DOBREV D., GONDOLLI J., MENDOZA MIRANDA A. N., STEINOVÁ J., ZUNA M. (2017a): Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí, Technická zpráva SÚRAO, číslo 194/2017, 162 str.
- DOBREV D., KAŠPAR V., ZUNA M., NORMA A., MENDOZA M. (2017B): Test omezení koroze UOS využitím drenážní vrstvy v úložných vrtech, Technická zpráva SÚRAO, číslo 199/2017.

- ECKERMAN K., HARRISON, J., MENZEL, H.-G., CLEMENT, C.H. (2012): Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP Publication 119, Ann. ICRP 41(s), 2012
- FIEDLER F., OUBRAM J., ERÖS J., VOZÁR M., HAMŠÍK J., PRACHAŘ I., BLAŽEK J., KOTNOUR P. (2010a): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, II. etapa – Varianty řešení a jejich návrh, F. Technologická část, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS.
- FIEDLER F., OUBRAM J., BENEŠOVÁ A. a kol. (2010b): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, II. etapa – Varianty řešení a jejich návrh, E. Stavební část nadzemní, Technická zpráva, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS.
- FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., GRUNDLOCH J., HOLEČEK J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KLOMÍNSKÝ J., KRYŠTOFOVÁ E., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., NAHODILOVÁ R., PACHEROVÁ P., PERTOLDOVÁ J., PEŘESTÝ V., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., ŠVAGERA O., VERNER K., ŽÁČEK V. (2018): Závěrečná zpráva 3D strukturně – geologické modely potenciálních lokalit HÚ. – TZ 229/2018, SÚRAO, Praha, 594 s.
- GOLDSIM (2014): GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 6.4. Washington, USA, 2014
- GOLDSIM (2017): GoldSim Contaminant Transport Module - User's Guide. - GoldSim Technology Group, version 7.0, Washington, USA, 2017
- GONDOLLI J., DOBREV D., KLAJMON M., ČERNOUŠEK T., KOUŘIL M. (2018a): Chování UOS pro VJP a RAO / Korozní produkty – 3. Průběžná zpráva. Technická zpráva číslo 217/2018. – SÚRAO, Praha
- GONDOLLI J., ČERVINKA R., HAVLOVÁ V., DOBREV D. (2018b) Příprava databáze VUP, Technická zpráva SÚRAO, v přípravě
- GRÜNWARD L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F, KOBYLKA D., BITTNER Z., ZAHRADNÍK O. (2017): Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Závěrečná zpráva. Technická zpráva číslo 134/2017. – SÚRAO, Praha
- HAMPL S., HŮLE D. (2018): Socioekonomická analýza lokalita, Závěrečná zpráva, Technická zpráva SÚRAO č. 197/2017
- HANÁK J., CHLUPÁČOVÁ M., ONDRA P., HROUDA F., SOSNA K., ŽIŽKA J., KAŠPAREC I., DĚDEČEK P. (2017): Stanovení petrofyzikálních charakteristik horninového prostředí pro území potenciálních lokalit HÚ. - Závěrečná zpráva 103/2017, SÚRAO, 171 s.
- HAVLOVÁ V., VIDENSKÁ K., GONDOLLI J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., RUKAVIČKOVÁ L. (2015), Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalinických hornin a migrační parametry hornin českého masivu, Technická zpráva SÚRAO, 13/2015
- HAVLOVÁ V. (2018a): Hierarchizace kritérií či indikátorů vhodnosti lokalit a způsob hodnocení lokalit. Technická zpráva v přípravě, SÚRAO, Praha
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., POLÁK, M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BUKOVSKÁ Z. (2018b): Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění HÚ VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti – Kraví hora Technická zpráva SÚRAO,282/2018

- HAVLOVÁ V., KOLOMÁ K., BRÁZDA L., RUKAVIČKOVÁ L. (2017): Odhad hodnot transportních parametrů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin Českého masivu. – Technická zpráva č. 102/2017, SÚRAO, Praha.
- HJERPE T., IKONEN A.T.K., BROED R. (2010), Biosphere Assessment report, Posiva 2010-03
- Hušířáková H. (2018): Transport radionuklidů z úložiště / Bezpečnostní rozbor HÚ v lokalitě Kraví hora, Biosférický model a parametry pro výpočet transportu radionuklidů na lokalitě Kraví hora. - Technická zpráva č. 218/2018, ÚJV řež, a. s., Praha, leden 2018
- HEIDBACH O., CUSTODIO S., KINGDON A., MARIUCCI M.T., MONTONE P., MÜLLER B., PIERDOMINICI S., RAJABI M., Reinecker J., REITER K., TINGAY M., WILLIAMS J., ZIEGLER M. (2016): Stress Map of the Mediterranean and Central Europe 2016, GFZ Data Service, doi:10.5880/WSM.2016.001.
- HOEK E., BROWN E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8): 1165–1186.
- HRKALOVÁ M. (ED.) (2011): Zhodnocení existujících geologických a dalších informací z území mezi ložisky Rožná a Olší z hlediska vymezení horninového masivu potenciálně vhodného po vybudování hlubinného úložiště. – SÚRAO, Aquatest, Praha, 27 str.
- HRNČIAROVÁ T., MACKOVČIN P., ZVARA I. (2009): Atlas krajiny České republiky. Praha, MŽP ČR, Průhonice, Výzkumný ústav ST pro krajinu a okrasné zahradnictví, ISBN 978-80-85116-59-5, 331 s.
- HROCH T. A PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. Závěrečná zpráva. – TZ 25/2015, SÚRAO. Praha.
- CHLUPÁČ I. A ŠTORCH P. (1992): Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of Committee for Regional Geologic Classification. – Čas. Mineral. Geol. 37: 257–275.
- IAEA (2003a): "Reference Biospheres" for solid radioactive waste disposal. - IAEA - BIOMASS-6, IAEA, Vienna, 2003, ISBN 92–0–106303–2
- IAEA (2010): Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater environments. - IAEA Technical Reports Series No. 472, IAEA, Vienna, 2010, ISBN 978–92–0–113009–9
- IAEA (2011a): Safety Standards, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR- 5, IAEA, Vienna 2011
- IAEA (2011b), Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guides, No. SSG-14, IAEA, Vienna, 2011
- IAEA (2012): Safety Standards, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Wastem Specific Safety Guide, No. SSG-23, IAEA, Vienna 2012
- IAEA (2015): Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, Specific Safety Guide, No. SSG-35. – International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
- IAEA (2016): Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements No. NS-R-3 (Rev. 1), IAEA Safety Standards, Vienna 2016
- IPCC (2013): Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 1535 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge.

- ICRP(1999): Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste, ICRP publication 81, ICRP Annals of the ICRP, September 1999
- JOHANSEN, O. (1975): Thermal conductivity of soils. Ph.D. thesis, Trondheim, Norway. (CRREL Draft Translation 637, 1977). ADA 044002.
- JOHNSON, L., POINSSOT, C., FERRY, C., LOVERA, P. (2004): Estimates of the Instant Release Fraction for UO₂ and MOX fuel at t=0, in: A Report of the Spent Fuel Stability (SFS). Project of the 5th Euratom Framework Program, NAGRA Technical Report 04-08, 2004IAEA (2011a): Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011, Appendix I" Siting of geological disposal facilities
- KABELE P., ŠVAGERA O., SOMR M., NEŽERKA V., ZEMAN J., JELÍNEK J., BUKOVSKÁ Z., SOEJONO I., FRANĚK J. (2018): Mathematical modelling of brittle fractures in rock mass by means of the DFN method. Závěrečná zpráva. – TZ /2018, SÚRAO, Praha, 100 s.
- KALÁB Z., ŠÍLENÝ J., LEDNICKÁ M., JECHUMTÁLOVÁ Z. (2015): Seismická stabilita území. Závěrečná zpráva. – TZ 26/2015, SÚRAO, Praha, 105 s.
- KARNLAND O. (2010): Chemical and mineralogical characterization of the bentonite buffer for the acceptance control procedure in a KBS-3 repository, TR-10-60, SKB 09/2010)
- KING, F. (2009): Corrosion resistance of austenitic and duplex stainless steels in environments related to the nuclear decommissioning authority's phased geological repository concept, Quintessa limited report to NDA RWMD, QRS-1384C-R1 version 1.2
- KLAJMON M., HAVLOVÁ V., ČERVINKA R., KOLOMÁ K., RUKAVIČKOVÁ L. (2016): Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin Českého masivu: Výpočet rozpustnosti radionuklidů v podmínkách podzemních vod Českého masivu. Technická zpráva č. TZ 104/2016. 73 s. – SÚRAO. Praha
- KOBYLKA D.: Inventarizace zdrojového členu a jeho charakteristiky – optimalizace vzdálenosti UOS, průběžná zpráva SÚRAO, 4Q, 2017
- Kobylka D., (2018) Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS – závěrečná zpráva, v přípravě
- KOLOMÁ K., KLAJMON M., HAVLOVÁ V. (2018): Rozpustnosti, speciace a sorpční chování radionuklidů pro účely hodnocení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ. Technická zpráva v přípravě, SÚRAO, Praha.
- KOPAČKOVÁ V., JELÍNEK J., ŠVAGERA O., HROCH T., KOUČKÁ L., JELÍNEK J., SKÁCELOVÁ Z., FÁROVÁ K. (2017): Morfostrukturní analýza širšího okolí průzkumných území HÚ pomocí DPZ. Závěrečná zpráva – MS SÚRAO Praha.
- KOŠLER J., KONOPÁSEK J., SLÁMA J., VRÁNA S. (2014): U–Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif – Journal of the Geological Society, 171, 83–95.
- KOTNOUR P. ČERMÁK J., DOBREV D., GONDOLLI J., KÁRNÍK D., KOUŘIL M., KRÁL L., KŘÍŽOVSKÝ M., LOVECKÝ M., MACÁK P., MATAL O., MATOUŠEK J., PECHMANOVÁ E., STOULIL J., ŠIK J., VÁVRA M., ŽALOUDEK J. (2017): Průběžná technická zpráva 3. Etapa, zpráva Škoda JS, Ae 17004Dok, 156 str.
- KOVÁČIK M., VONDROVIC L., VENCL M., POSPÍŠKOVÁ I., URÍK J. (2015): Ověření vhodnosti horninového prostředí pro umístění hlubinného úložiště VJP a RAO v PÚZZZK Kraví hora. – MS SÚRAO, Praha.

- KRÁLOVCOVÁ J. (ED.) (2012): Model Kraví Hora. – Závěrečná zpráva, Technická univerzita Liberec, 104 str.
- KRÁSNÝ, J., et al. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav. Praha.
- KŘÍBEK B., HÁJEK A. EDS (2005): Uranové ložisko Rožná, model pozdně variských a povariských mineralizací. – Česká geologická služba, Praha, 1–98.
- KURSTEN B., SMAILOS E., AZKARATE I., WERME L., SMART N.R., SANTARINI G. (2004): State-of-the-art document on the CORrosion BEhaviour of COntainer MAterials, Final report. Contract N° FIKW-CT-20014-20138, 305 str.
- KYNCL J. (2011): Výpočetní analýza kritičnosti úložných kontejnerů s vyhořelým palivem z jaderných reaktorů v hlubinném úložišti, Zpráva ÚJV Z-3229 R,F, Říjen 2011, 18 str.
- MAREK J., SKOŘEPA J., NAVRÁTILOVÁ V., SKOPOVÝ J., SLOVÁK J., TESAŘ M., ČERNÝ J. (2005): Kritéria pro zúžení vybraných lokalit a kategorizace tektonických zón zjištěných v rámci projektu. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- MARKOVÁ L. (2011): Úvod do kontroly kritičnosti úložiště před a po jeho uzavření, Zpráva ÚJV 13801, Listopad 2011
- MARTINČÍK J, VRBA T., ČECHÁK T., THINOVÁ L., PRŮŠA P., MUSÍLEK L., ZAHRADNÍK O., LOUŽENSKÝ T. VEVERKA M. (2018), Studie ZBZ Kraví hora – provozní bezpečnost, Technická zpráva SÚRAO ,158/ 2017
- MENDOZA A. (2017): Gas generation and migration in clay media as a result of anaerobic steel corrosion. Technická zpráva číslo 187/2017. – SÚRAO, Praha
- MENDOZA A. (2018): Experimental devices for measuring gas generation and transport in bentonite. Technická zpráva číslo 2018. - SÚRAO, Praha
- MILSON J. (2003): Field Geophysics. 3rd edition. John Wiley & Sons Ltd., 232 pp.
- MŽP (2016): Surovinové zdroje České republiky, Statistické údaje do roku 2016, 25. Vydání ČGS, 10/2017
- NAVRÁTILOVÁ V. (2011): Zhodnocení existujících geologických a dalších informací z území mezi ložisky Rožná a Olší z hlediska vymezení horninového masivu potencionálně vhodného pro vybudování hlubinného úložiště. Závěrečná zpráva. – Aquatest, 115 str.
- NÝVLT D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. – Ph.D. thesis, 103 pp., Faculty of Science, Charles University, Praha.
- NÝVLT D., DOBROVOLNÝ P. (2015): Klimatická stabilita území. Technická zpráva č. 22/2015. SÚRAO, Praha.
- ONDŘÍK, J. et al. (2010a): Hydrogeologická charakteristika jižní části uranového ložiska Rožná a uranového ložiska Olší se zřetelem na umístění hlubinného úložiště VJP a RAO na lokalitě Kraví Hora, Dolní Rožínka: Diamo s.p., o.z. GEAM, 2010.
- ONDŘÍK J. (2010b): Skalka: digitální geologické mapy, 4. fáze prací. – Diamo, 7 str.
- ONDŘÍK J. (2010c): Skalka: digitální geologické mapy, 5. fáze prací. – Diamo, 17 str.
- ONDŘÍK J. (2010d): Hydrogeologická charakteristika jižní části uranového ložiska Rožná

- ONDŘÍK J. et al. (2011): Hydrogeologická charakteristika jižní části uranového ložiska Rožná a ložiska Olší se zřetelem na umístění hlubinného úložiště na lokalitě Kraví hora a 3D model ložiska Olší a jižní části ložiska Rožná. – Diamo, 51 str.
- PACOVSKÝ J., ŠTÁSKA J. a kol. (2017): Návrh a výroba směsi bentonitových pelet, 1. průběžná zpráva, SATRA, ÚJV Řež, ČVUT, Mott MacDonald CZ.
- PAČES T., BÁRTA J., BREITER K., DOBEŠ P., HANÁK J., HAVLOVÁ V., HOLEČEK J., KLOMÍNSKÝ J., LAUFEK F., KOPAČKOVÁ V., KRÁLOVCOVÁ J., LUKEŠ J., MÁLEK J., MARYŠKA J., MRÁZOVÁ Š., PROCHÁZKA J., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČEK J., SCHENK V., SIDORINOVÁ T., SKARKOVÁ H., ŠAFANDA J., ULRICH S., VESELOVSKÝ F., VOKÁL A., ZÁRUBA J., ZEMAN A. (2010): Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů (arch. č. SÚRAO 32/10).
- PERTOLDOVÁ J., KOŠULIČOVÁ M., VERNER K., ŽÁČKOVÁ E., PERTOLD Z., KONOPÁSEK J., VESELOVSKÝ F., KOŠLER J. (2014): Geochronology and petrology of pyroxene garnet skarns (eastern Bohemian Massif): implications for the source and evolution of the Variscan continental crust. – Journal of Geosciences, 59, 2014.
- PERTOLDOVÁ J., VERNER K., VRÁNA S., BURIÁNEK D., ŠTĚDRÁ V., VONDROVIC L. (2010): Comparison of lithology and tectonometamorphic evolution of units at northern margin of the Moldanubian Zone: implications for geodynamic evolution in the northeastern part of the Bohemian Massif. – J. Geosciences 55, 299–319.
- PETRUŽÁLEK, M. (2017): Stanovení mechanických vlastností hlavních petrografických typů na potenciálních lokalitách HÚ. TZ 88/2017, GIÚ AV ČR, v. v. i., 76 s.
- PHARAOH, T.C., 1999, Palaeozoic tectonics and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): A review: Tectonophysics, v. 314, p. 17–41, doi:10.1016/S0040-1951(99)00235-8.
- POSPÍŠIL L., ŠVÁBENSKÝ O., WEIGEL J., WITISKA M. (2010): Geological constraints on the GPS and precise levelling measurements along the Diendorf-Čebín tectonic zone. – Acta Geodyn. Geomater., 7, 317–333
- POSPÍŠKOVÁ I., VOKÁL A., FIEDLER F., PRACHAŘ I., KOTNOUR P. a kol. (2012): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS
- PPM FACTUM RESEARCH (2016): Socioekonomická analýza lokalit vytipovaných pro umístění hlubinného úložiště, Souhrnná zpráva za lokalitu Kraví hora, Praha, 30. září 2016
- PROCHÁZKA J. ET AL. (2010): Projekt průzkumných prací na hypotetické lokalitě. Závěrečná zpráva. ČGS Praha.
- QuantiSci, PAGODA, Version 3.3, Technical Description, 1990
- RATAJ, J., FRÝBORT, J., FEJT, F., HERALTOVÁ, L. (2015): Databáze VJP pro bezpečnostní rozbor, Technická zpráva č. 11/2015. SÚRAO, 2015
- ROŠTÍNSKÝ P., POSPÍŠIL L., ŠVÁBENSKÝ O. (2013): Recent geodynamic and geomorphological analyses of the Diendorf-Čebín Tectonic Zone, Czech Republic. – Tectonophysics, 599, 45–66.
- RUKAVIČKOVÁ L., ŘIHOŠEK J., MYŠKA O. (2017): Měření Eh a obsahu kyslíku ve vrtech v PVP Bukov, Technická zpráva SÚRAO, 188/2017

- ŘÍHA J., KRÁLOVCOVÁ J. (2018): Transportní charakteristiky lokalit - metodika, výpočet, vyhodnocení. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha.
- SEDLÁK J. (2010): Strukturně geologická interpretace v nejbližším okolí lokality Skalka (letecká gama spektrometrie, letecká magnetometrie, pozemní gravimetrie). – Závěrečná zpráva + 16 mapových příloh, Miligal, 23 str.
- SCHALLER M., VON BLANCKENBURG F., HOVIUS N., KUBIK P. W. (2001): Large-scale erosion rates from in situ-produced cosmogenic nuclides in European river sediments. – Earth Planet. Sci. Lett. 188, pp. 441–458.
- SCHENKOVÁ Z., KOTTNAUER P. (2009): Investigation of the Recent Crustal Movements of the Eastern Part of the Bohemian Massif Using. – Acta Research Reports, No. 18, 17–25.
- SCHULMANN K., KRÖNER A., HEGNER E., WENDT I., KONOPÁSEK J., LEXA O., ŠTÍPSKÁ P. (2005): Chronological constraints on the pre-orogenic history, burial and exhumation of deep-seated rocks along the eastern margin of the Variscan orogen Bohemian Massif, Czech Republic. – Amer. J. Sci., 305, 407–448.
- SCHULMANN K., LEXA O., ŠTÍPSKÁ P., RACEK M., TAJČMANOVÁ L., KONOPÁSEK J., EDEL J. B., PESCHLER A., LEHMANN J. (2008): Vertical extrusion and horizontal channel flow of orogenic lower crust: key exhumation mechanisms in large hot orogens? – Journal of Metamorphic Geology, 26, 273–297.
- SKB (1997): Spent nuclear fuel – how dangerous is it? A report from the project „Description of risk“, TR-97-13, March 1997
- SKB (1999): Deep repository for spent nuclear fuel; SR 97 – Post-closure safety, SKB Technical Report 99-06, 1999
- SKB (2010A): Design, production and initial state of the closure, TR-10-17, December 2010
- SKB (2010B): Mass transfer between waste canister and water seeping in rock fractures. Revisiting the Q-equivalent model. TR-10-42. SKB, Stockholm, Sweden
- SKB (2011): SKB report, Long-term safety for the final repository at Forsmark, TR-11-01, March 2011
- SOUČEK K. (2010): Hodnocení hornin pro účely úkolu Skalka. Digitální geologické mapy. – Geonika, 33 str.
- SOUČEK K., STAŠ L., MARTINEC P. (2009): Hodnocení hornin pro účely úkolu „Skalka – digitální geologické mapy“. – Ústav geoniky AV ČR, Ostrava.
- SOUČEK K., VAVRO M., STAŠ L., VAVRO L., WACLAWIK P., KONICEK P., PTÁČEK J., VONDROVIC L. (2017): Geotechnical characterization of Bukov Underground Research Facility. Procedia Engineering (v tisku).
- ŠŤÁSTKA J., PACOVSKÝ A KOL. (2016): XI. Dílčí zpráva Mock-Up-Josef (prodloužení 2016), ČVUT, Praha
- SUJB (2012): Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Interpretace kritérií pro umístění jaderných zařízení a návrh jejich průkazů. Bezpečnostní návod BN-JB-1.14, SÚJB, 2012
- SUJB (2016a): Zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016, atomový zákon

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kraví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- SUJB (2016b): Vyhláška č. 378/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o umístění jaderného zařízení.
- SUJB (2016c): Vyhláška č. 358/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
- SUJB (2016d): Vyhláška č. 360/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o monitorování radiální situace
- SUJB (2016e): Vyhláška č. 361/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu
- SUJB (2016f): Vyhláška č. 377/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III nebo IV. kategorie
- SUJB (2016g): Vyhláška č. 379/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o schválení typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a přepravě radioaktivní nebo štěpné látky
- SUJB (2016h): Vyhláška č. 422/2016 Sb. ze dne 14. prosince 2016 o radiální ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- SUJB (2017a): Vyhláška č. 329/2017 Sb. ze dne 26. září 2017 o požadavcích na projekt jaderného zařízení
- ŠPINKA O., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., ZAHRADNÍK O., VEVERKA A. (2018): Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora, Závěrečná zpráva. Technická zpráva číslo 136/2017 – SÚRAO, Praha
- ŠVAGERA O., FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., ČEJCHANOVÁ A., MLČOCH B., PERTOLDOVÁ J., SKÁCELOVÁ Z., SOEJONO I., TOMEK F. (2015): Rešerše dostupných archivních dat pro 7 zájmových území SÚRAO relevantních pro 3D strukturně geologické modely. – Technická zpráva č. 12/2015, ČGS. Praha.
- TAJČMANOVÁ L., KONOPÁSEK J., SCHULMANN K. (2006): Thermal evolution of the orogenic lower crust during exhumation within a thickened Moldanubian root of the Variscan belt of Central Europe. – *Journal of Metamorphic Geology*, 24, 119–134.
- TOUŠ M., HAVLOVÁ V., ČUBOVÁ K., OTCOVSKÝ T., HEJNÝ J., KRÍŽ P., PODLAHA J., TRTÍLEK R., GONDOLLI J., VEČERNÍK P., JOHN J., NĚMEC M. (2018): Vlastnosti RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. Závěrečná zpráva projektu Výzkumná podpora pro hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště. ÚJV Řež, a. s. Praha
- TRPKOŠOVÁ, D., HAVLOVÁ, V., HUSŤÁKOVÁ, H. (2016): Aktualizace integrovaného, transportního modelu pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti. Závěrečná zpráva číslo 44/2016, SÚRAO
- TRPKOŠOVÁ, D., HAVLOVÁ, V., BUKOVSKÁ, Z., FRANĚK, J., RATAJ, J., FRÝBORT, J., KOBYLKA, D., LOSA, E., FEJT, F., VOPÁLKA, D., BABOROVÁ, L., ŠTAMBERG, K., VETEŠNÍK, A., VANĚČEK, V., JAN UHLÍK, GVOŽDÍK, L., MILICKÝ, M., POLÁK, M., KRÁLOVCOVÁ, J., ŘÍHA, J., JIŘÍ MARYŠKA, J. (2017a): Transport radionuklidů z úložiště / Bezpečnostní rozbor HÚ v lokalitě Kraví hora. Shrnutí procesních modelů lokality Kraví hora a aktualizace parametrů komplexního modelu, zpráva SÚRAO 200/2017, Listopad 2017
- TRPKOŠOVÁ, D., HUSŤÁKOVÁ, H., DOBREV, D., HAVLOVÁ, V., BUKOVSKÁ, Z., FRANĚK, J., RATAJ, J., FEJT, F., VETEŠNÍK, A., BABOROVÁ, L., VOPÁLKA, D., POLÁK, M., UHLÍK, J., GVOŽDÍK, L., ČERNÝ, M., KRÁLOVCOVÁ, J., ŘÍHA, J., BŘEZINA, J. (2017b): Transport radionuklidů

z úložiště / Bezpečnostní rozbor HÚ v lokalitě Kraví hora. Průběžná technická zpráva 189/2017, SÚRAO

TRPKOŠOVÁ, D., HUSTÁKOVÁ, H. ET A KOLEKTIV.(2018): Bezpečnostní zpráva dlouhodobé bezpečnosti HÚ na lokalitě Kraví hora, Technická zpráva SÚRAO, /2018, v přípravě

TYRÁČEK J., WESTAWAY R., BRIDGLAND D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. – Proceedings of the Geologists Association, 115, pp. 101–124.

UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2016): Regionální hydrogeologické modely lokalit. Technická zpráva číslo 100/2017. PROGEO, s.r.o., Roztoky u Prahy.

UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., Hydrogeologické modely horninového prostředí, pasport regionálního modelu – lokalita Kraví hora, Technická zpráva SÚRAO 94/2017

UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Detailní hydrogeologické modely lokalit, Technická zpráva v přípravě. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha

UHLÍK J., KRÁLOVCOVÁ J., TRPKOŠOVÁ D., BAIER J., BALVÍN A., BŘEZINA J., GVOŽDÍK L., CHUDOBA J., POLÁK M., ŘÍHA J., ŠKARYDOVÁ I. (2015): Rešerše zahraničních přístupů k modelování HÚ, metodika a koncepce řešení. Technická zpráva číslo 01/2015. PROGEO, s.r.o., Roztoky u Prahy.

VAŠÍČEK, R., L. HAUSMANNOVÁ, J. ŠTÁSTKA, ET AL. (2016): D3.21 Final results of EPSP laboratory testing: DOPAS (Contract Number: FP7 - 323273). Dostupné také z: http://www.posiva.fi/files/4393/DOPAS_D3_21_Final_results_of_EPSP_laboratorytesting_final_March_2016_v2.pdf

VEČERNÍK P., DRTINOVÁ B. ET AL. (2016): Transportní vlastnosti cementových materiálů – průběžná zpráva II, Technická zpráva číslo 82/2016, SÚRAO/ ÚJV Řež, a. s., Praha, 75 s.

VEČERNÍK P., DRTINOVÁ B. ET AL. (2017): Transportní vlastnosti cementových materiálů – průběžná zpráva III, Technická zpráva číslo 209/2017, SÚRAO/ ÚJV Řež, a. s., Praha.

VEČERNÍK, P., L. HAUSMANNOVÁ, R. ČERVINKA, R. VAŠÍČEK, M. ROLL, J. HLOUŠEK A V HAVLOVÁ (2016): Interaction between cement and Czech bentonite under temperature load and in in-situ conditions: an overview of experimental program. In: , Amphos 21 a KIT, ed. Draft of the 1st Annual Project Workshop Proceeding: Deliverable n°D4.08., s. 77-85. Dostupné z: <https://www.cebama.eu/Content/PublicArea/WP4/D4.08.pdf>.

VERNER K., BURIÁNEK D., VRÁNA S., VONDROVIC L., PERTOLDOVÁ J., HANŽL P., NAHODILOVÁ R. (2009): Tectonometamorphic features of geological units along the northern periphery of the Moldanubian Zone (Bohemian Massif). – Journal of Geosciences, 54, 87–100.

VETEŠNÍK, A., REIMITZ, D., VOPÁLKA, D. (2016): Neurčitostní a citlivostní analýza detailního modelu pole blízkých interakcí umožňujícího studovat vliv bodové koroze na tok radionuklidů z pole blízkých interakcí. Závěrečná zpráva číslo 30/2016, SÚRAO

VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDROVIC L., KOVÁČIK M., STEINEROVÁ L., DUSÍLEK P., WOLLER F. (2017): Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Metodický pokyn SÚRAO MP 22, rev. 3 SÚRAO, Praha

| | | |
|--|---|---------------------|
|  SÚRAO | Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Kráví hora | Evidenční označení: |
| | | TZ303/2018 |

- VONDROVIC L., VERNER K., KOPAČKOVÁ V., MARTÍNEK K., KOCIÁNOVÁ L., FRANĚK J. (2012): Geologické mapování v okolí Rožné v měřítku 1 : 5 000 a morfotektonická interpretace družicových a leteckých dat. Souhrnná zpráva dílčí etapy projektu: Morfotektonická interpretace družicových a leteckých dat. – Závěrečná zpráva, ČGS, 47 str.
- Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod
- WENRA (2014): Wenra document, Radioactive Waste Disposal Facilities Safety Reference Levels, 22 December 2014
- WOLLER F. (2006): Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Zkrácená závěrečná zpráva sdružení GEOBARIÉRA. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- WOLLER F. (2017): Bentonit - potenciální ložisko suroviny pro potřeby HÚ, SÚRAO interní zpráva
- X-5 MONTE CARLO TEAM (2010): MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Los Alamos National Laboratory, 2010
- Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- ZEMAN A. (1973): Současný stav výzkumu pleistocenních fluviálních sedimentů v Dyjsko-svrateckém úvalu a jejich problematika. – Studia geographica, 36, 41–61
- ŽÁK J., VERNER K., HOLUB F. V., KABELE P., CHLUPÁČOVÁ M., HALODOVÁ P. (2012): Magmatic to solid state fabrics in syntectonic granitoids recording early Carboniferous orogenic collapse in the Bohemian Massif – J. Struct. Geol. 36, 27–42, doi:10.1016/j.jsg.2011.12.011.
- ŽÍŽALA D., VILÍMEK V. (2011). Morfostrukturní analýza údolí svratky v okolí Doubravníku. – Informace České Geografické Společnosti, 1, 1–12.
- ŽÍŽALA D., ZVELEBIL J., VILÍMEK V. (2010): Using dendrogeomorphology in research on a slope deformation in Běleč, Czech-Moravian Highland (Czech Republic). – AUC Geographica, 45, 73-88.

Digitální zdroje

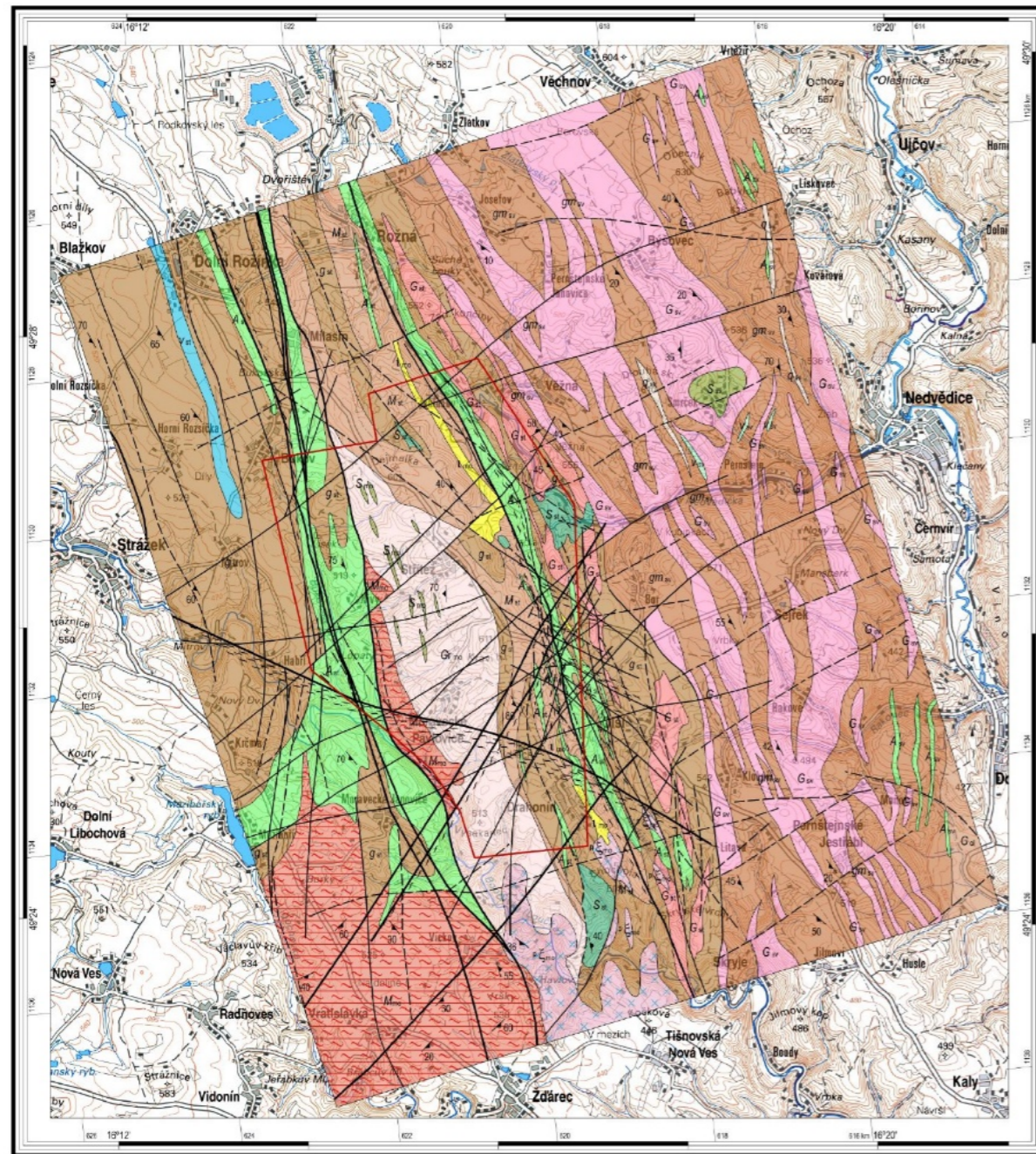
- Databáze ČGS: Surovinový informační systém (SurIS) ČGS – Geofond [online]. Cit. 31. 1. 2017. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=5>
- NERA project – zdroj dat o historických zemětřeseních do roku 1990 [online]. Dostupné z: <http://www.seismicportal.eu/>
- VÚV – zdroj dat pro ochranná pásma vodních zdrojů [online]. Dostupné z: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/opvz/HTML_ISVS\\$opvz\\$stazeni.asp?doc=full](http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/opvz/HTML_ISVS$opvz$stazeni.asp?doc=full), 2018

D PŘÍLOHY

D.1 Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Kraví hora 1:50 000, ČGS

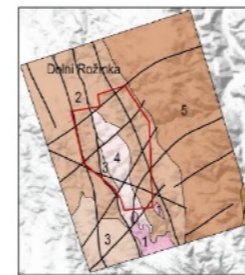
ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA

ÚČELOVÁ GEOLOGICKÁ MAPA KANDIDÁTSKÉ LOKALITY KRAVÍ HORA 1 : 50 000



- PŘEDPLATFORMNÍ JEDNOTKY ČESKÉHO MASIVU KRYSTALINIKUM A ZVRÁSNĚNÉ PALEOZOIKUM**
- žilné horniny v moldanubiku SVRCHNÍ PALEOZOIKUM**
- 1 aplický granit
 - 2 durfachtit
- intruzivní horniny v moldanubiku ultradraselné plutony**
- 3 g_{sv} paralu
 - 4 M_{sv} migmatizovaná paralu až migmatt
 - 5 V_{sv} mramor
 - 6 A_{sv} amfibolit
 - 7 S_{sv} peridotit, serpentit
 - 8 G_{sv} ortonula
- metamorfni jednotky v moldanubiku NEOPROTEROZOIKUM - PALEOZOIKUM**
- 9 S_{sv} peridotit, serpentit
 - 10 M_{sv} ortonula až migmatt (glónská rta)
- metamorfni jednotky v pestré a jednotvárné skupině moldanubika**
- 11 G_{mo} feležový granult
- kutnohorsko-svratecká oblast svratecké krystalinikum**
- 12 gm_{sv} svor až muskovitická paralu
 - 13 q_{sv} kvartit
 - 14 V_{sv} mramor
 - 15 A_{sv} amfibolit
 - 16 S_{sv} serpentit
 - 17 G_{sv} ortonula až leukokritní migmatt
- moravskozlezská oblast moravikum svratecká klenba oléšnická skupina**
- 18 G_{sv} paralu s vložkami pestrých hornin
- Symboly:**
- 19 pravidlocobinná, plesně neobjášená hranice litologických jednotek a hranic zlom předpokládání - kategorie I - regionální významné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
 - 20 zlom předpokládání - kategorie II - lokální významné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
 - 21 zlom předpokládání - kategorie III - lokální méně významné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
 - 22 zóna kasoklázny
 - 23 zóna kasoklázny
 - 24 20 směr a sílka metamorfni foliace
 - 25 hranice lokality Kraví hora

PŘEHLED GEOLOGICKÝCH JEDNOTEK



- 1 ústřechové masivy
- 2 svratecké moldanubikum
- 3 glónská jednotka moldanubika
- 4 granuloité komplexy moldanubika
- 5 svratecké krystalinikum
- 6 moravikum

KLAD LISTŮ

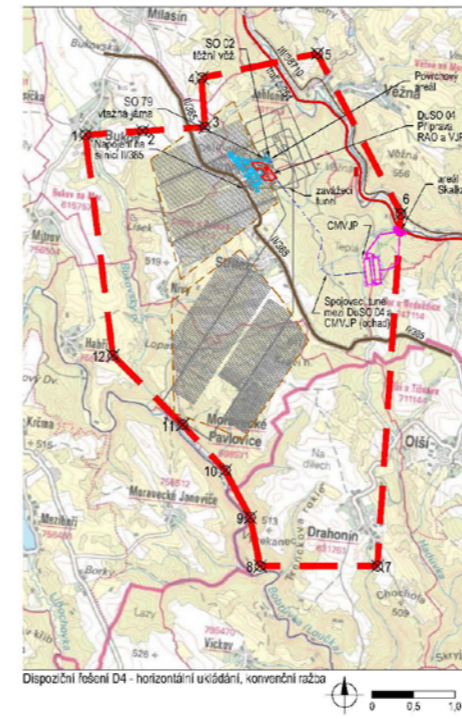
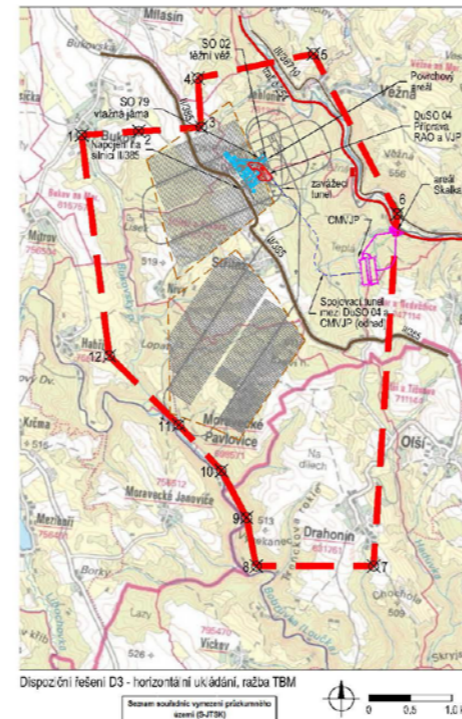
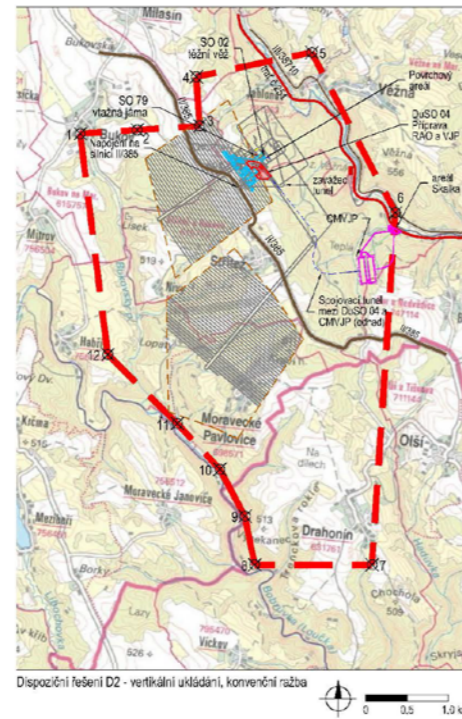
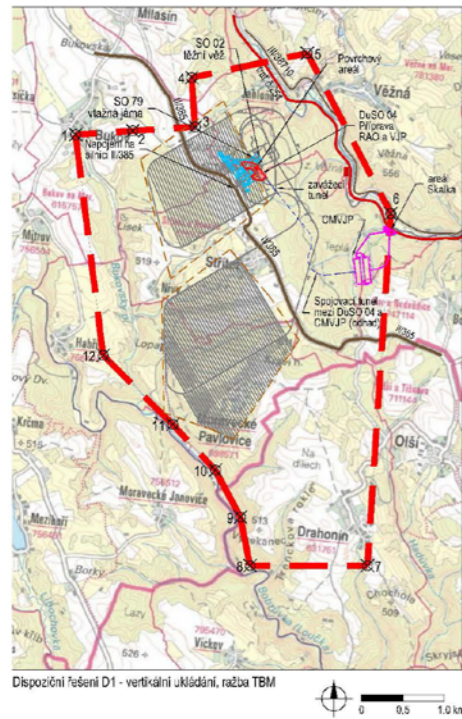


Účelová geologická mapa kandidátské lokality Kraví hora 1:50 000
Autorský tým: J. Franěk, K. Verner, D. Buriánek, E. Krystofová (2018)
Technické zpracování: E. Kuncová



Soutřídňovací systém: S-JTSK, Křivčinné (obecně konformní) kulčivě zobrazení Besselova elipsoidu do roviny. Východní systém: balkský po vyrovnání. Tato mapa je chráněna autorským právem. Veškeré reprodukce, přípravování nebo digitalizace mapy nebo jejích částí jsou možná pouze s předchozím písemným souhlasem SÚRAO. Třetivý podnik: © Český úřad zeměměřický a katastrální, 2016. Tematický obsah: © Česká geologická služba, 2016. Digitální zpracování a tisk: odbor informačních systémů ČGS.

D.2 Výkres - Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4) ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018)



| Číslo bodu | X | Y |
|------------|-----------|-----------|
| 1 | 122025,24 | 112075,61 |
| 2 | 122022,00 | 112020,00 |
| 3 | 122020,00 | 112010,00 |
| 4 | 121991,53 | 112022,00 |
| 5 | 119964,00 | 112070,30 |
| 6 | 119960,00 | 112020,00 |
| 7 | 119920,00 | 112050,00 |
| 8 | 120870,00 | 112050,00 |
| 9 | 120770,00 | 112020,00 |
| 10 | 121000,00 | 112040,00 |
| 11 | 121620,00 | 112025,27 |
| 12 | 121660,00 | 112021,75 |

LEGENDA STÁVAJÍCÍ INFRASTRUKTURY

- Silnice I/44 - síť pro II třídy
- Silnice III/4 - síť pro II třídy
- Zeleňovňář

LEGENDA NOVÝCH NABOJENÍ

- Nová regojení zornikové
- areálu na státní síti

OSTATNÍ

- Historie průzkumných děl
- Homogenní horninový útvar na úrovni -200m
- Centrální meziklášter vyhledávací jednotky patva (CMVJP)
- Spojovací tunel mezi DUSO 04 - Příprava RAO a VJP a CMVJP (odvod)

POZNÁMKY

- U spojovacího tunelu mezi DUSO 04 - Příprava RAO a VJP a Centrální meziklášter vyhledávací jednotky patva (CMVJP) se jedná o odhadované vnitřní šířky tunelů.
- Dělní rozkreslení závěšného tunelu a celkové situace podzemí viz Přílohy Č. 04 - 07.

S-JTSK B.p.v.

OBJEDNATEL: SÚRAO | SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ | ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE: SO 2016-017 | ze dne 3.2.2016 | ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE: 5116 0000 41

VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

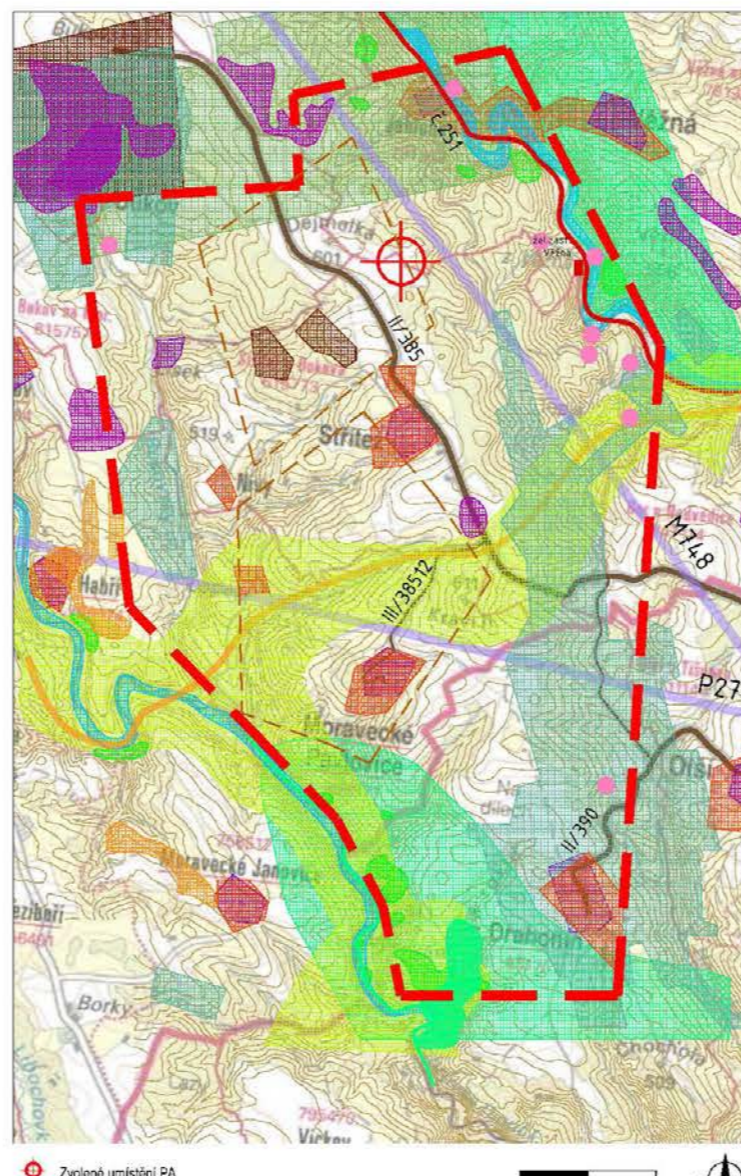
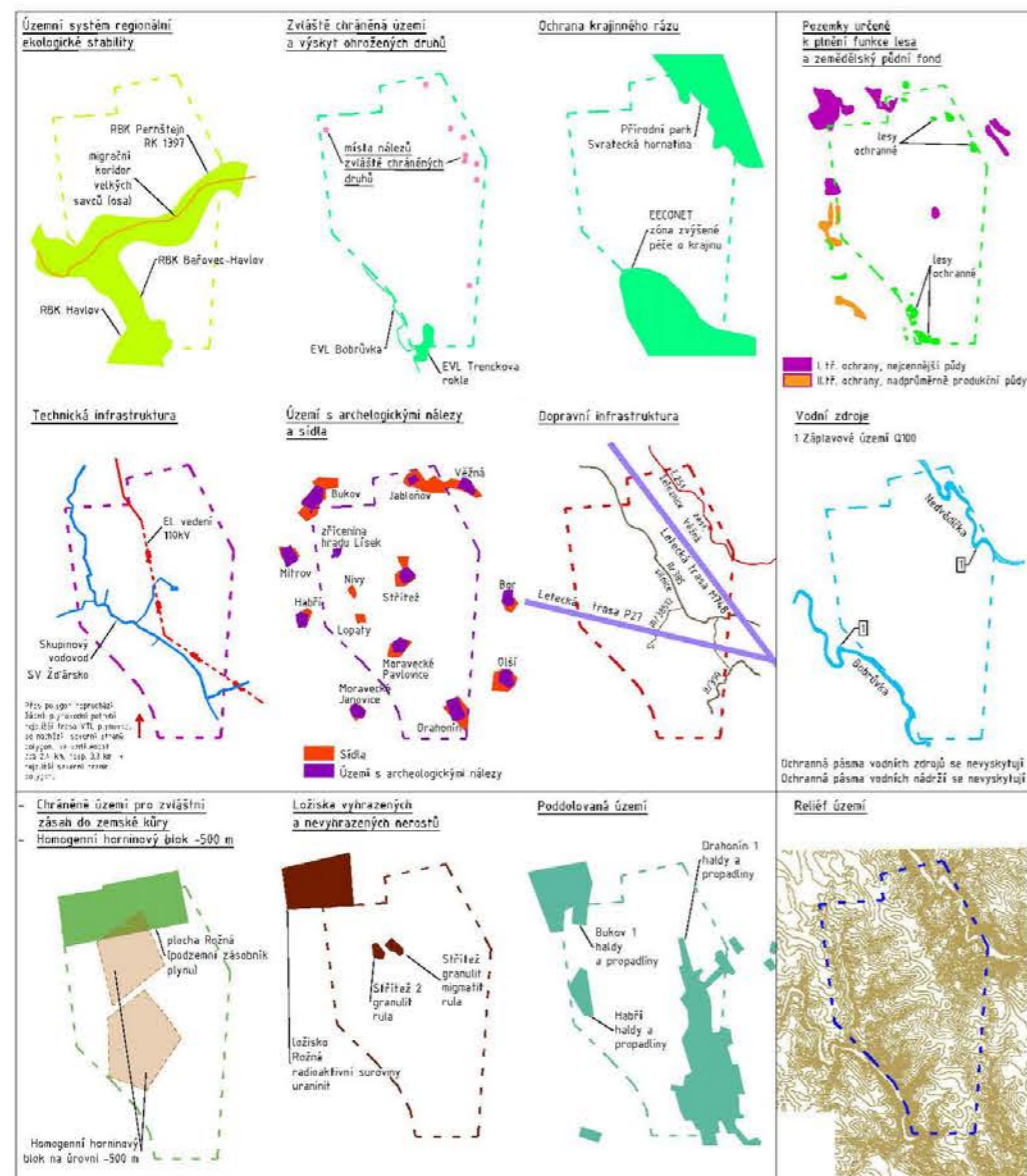
POSKYTOVATEL: ČVUT - SATRA - Mect Macdonald CZ | VEDOUČÍ PROJEKTU: Ing. Alexandr Butovč, Ph.D. | ZASTUPCE OBJEDNATELE: Ing. Jaromír Augusta, Ph.D. | VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY: Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph.D. | KONTROLOVAL: Mgr. Ondřej Zahradník | VYPRACOVAL: Ing. Aloš Vuzverka

NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI: **STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ KRAVÍ HORA**

NÁZEV PŘÍLOHY: **PŘEHLEDNÁ SITUACE**

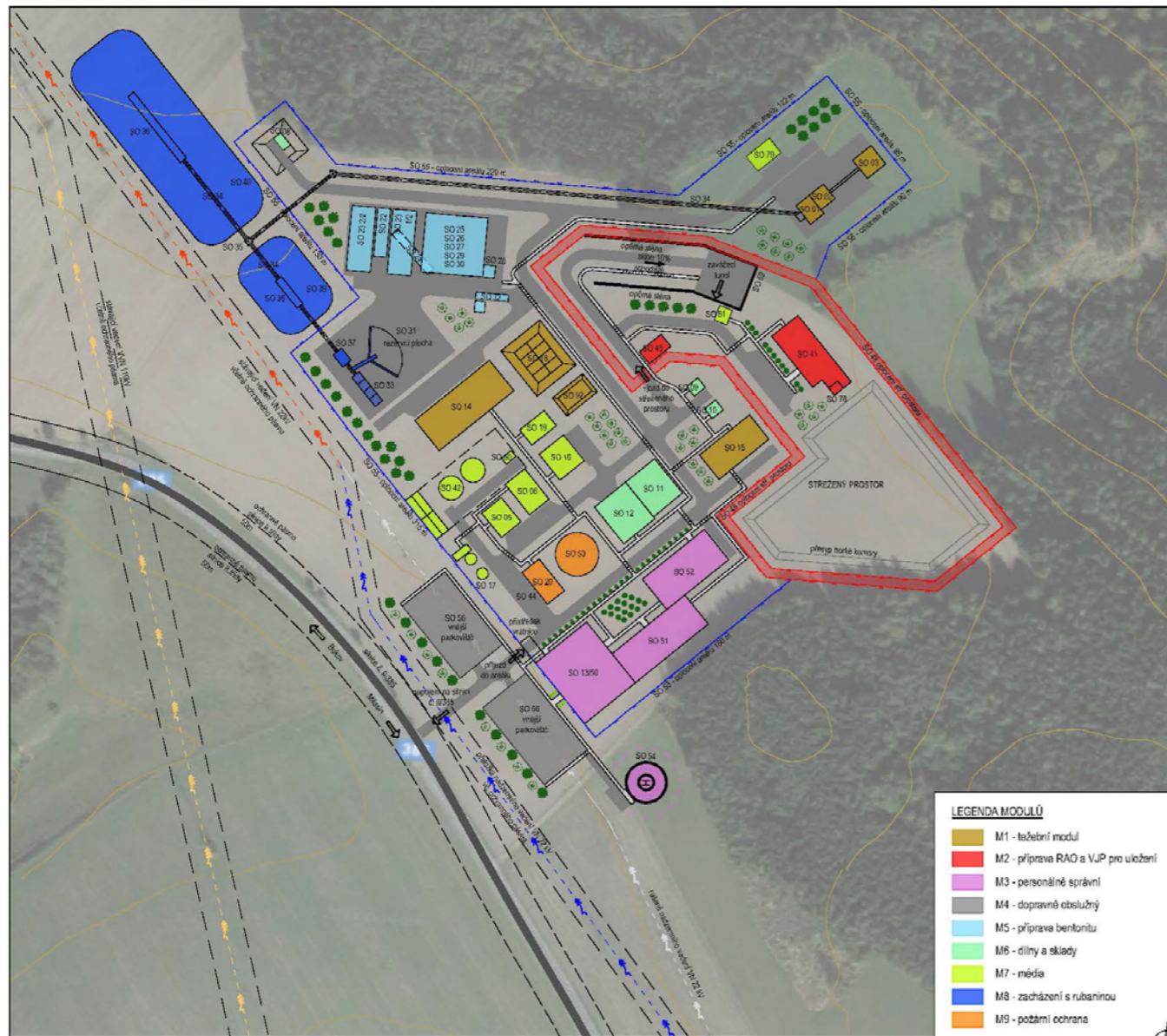
POČET FORMÁTŮ: 4x A4 | MĚŘÍTKO: - | DATUM: 05/2018 | IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO: SÚRAO 2017-0353 | PŘÍLOHA: 01 | REVIZE:

D.3 Výkres - Střety zájmů ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špinka et al., 2018)



| | | |
|---|---|---|
| S-JTSK | | B.p.v. |
| OBJEDNATEL: | SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ | ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE SO 2016-017 ze dne 3.2.2016 |
| SÚRAO | | ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE 5116 0000 41 |
| VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ | | |
| POSKYTOVATEL: CVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ | VEDOUČÍ PROJEKTU Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. | |
| CVUT ČVUT v Praze Závořská 1903/4, 160 00 Praha 6 www.cvut.cz | ZÁSTUPCE OBJEDNATELE Ing. Jaromír Augusta, Ph.D. | |
| SATRA SATRA, spol. s r.o. Sokolská 32, 120 00 Praha 2 www.satraz.cz | VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph. D. | |
| M M MOTT MACDONALD | KONTROLOVAL Mgr. Ondřej Zahradník | |
| | VYPRACOVAL Ing. Aleš Veverka | |
| NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ KRAVÍ HORA | | |
| NÁZEV PŘÍLOHY STŘETY ZÁJMŮ | | KOPIE |
| POČET FORMÁTŮ 3x A4 | MĚŘITKO - | DATUM 05/2018 |
| | IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO SÚRAO 2016-0353 | PŘÍLOHA 02 |
| | | REVIZE |

D.4 Výkres - Povrchový areál - objektová skladba, lokalita Kraví hora ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špínka et al., 2018)



LEGENDA MODULŮ

- M1 - Ižební modul
- M2 - příprava RAO a VJP pro uložení
- M3 - personální správní
- M4 - dopravní obslužný
- M5 - příprava bentonitu
- M6 - dílny a sklady
- M7 - média
- M8 - zacházení s rubaninou
- M9 - požární ochrana

- vnitřní komunikace - pojízdné
- vnitřní komunikace - chodníky
- stávající silniční komunikace
- oplocení PA
- oplocení střeženého prostoru
- okrasné keře, stromy
- stávající nadzemní vedení VN 110 kV vč. ochr. pásma
- stávající nadzemní vedení VN 22 kV vč. ochranného pásma
- přeložka nadzemního vedení VN 22 kV
- vstevnice
- rušená část nadzemního vedení VN 22kV

| Seznam povrchových stavebních objektů | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|--|---|--------|
| Modul | Označení | Název | Zestavěná plocha (m ²) | |
| M1 - Ižební | SO 01 | šachetní budova se skřepozobníkem | 165,00 | |
| | SO 02 | tůžň výt | 138,00 | |
| | SO 03 | strojovna mlhového stroje | 225,00 | |
| | SO 09 | nádrž technologické vody | 380,00 | |
| | SO 14 | šiftný lampovna, mli bot | 1540,00 | |
| | SO 15 | provazní budova výstavby a rozřívání HÚ | 824,00 | |
| | SO 18 | odkalovací jímka důlních vod | 1190,00 | |
| | SO 41 | provazní budova aktivních provozů | 1040,00 | |
| | SO 45 | vratnice aktivních provozů | 180,00 | |
| M3 - personální správní | SO 48 | oplocení střeženého prostoru (m) | 930,00 | |
| | SO 59 | portál tunelu | 960,00 | |
| | SO 78 | vášeň VZT ZHK | 50,00 | |
| | SO 1350 | informační centrum, vřítnice, ošeltovna, ošaha | 2100,00 | |
| M4 - dopravní obslužný | SO 51 | centrální administrativní objekt | 1440,00 | |
| | SO 52 | centrální kuchyně, jídelna a bulet | 1280,00 | |
| | SO 54 | helipol | 530,00 | |
| | SO 44 | vnitřní komunikace pojízdné standardní | 24820,00 | |
| M5 - příprava bentonitu | SO 55 | chodníky | 3800,00 | |
| | SO 56 | oplocení areálu (m) | 1280,00 | |
| | SO 56 | vnější parkoviště | 4310,00 | |
| | SO 22 | podzemní odběrový zásobník | 240,00 | |
| | SO 23 | mezskáčka | 1180,00 | |
| | SO 24 | podzemní dopravníková chodba | 165,00 | |
| | SO 25 | sušící zařízení | 210,00 | |
| | SO 26 | výroba a sklad bentonitových polotovárů | 380,00 | |
| | SO 27 | mícháma bentonitové směsi | 260,00 | |
| | SO 28 | zásobníky pojiva a vody | 60,00 | |
| | SO 29 | kný sklad | 440,00 | |
| | SO 30 | výroba bentonitových prefabrikátů | 225,00 | |
| M6 - dílny a sklady | SO 32 | mnozí váha | 80,00 | |
| | SO 08 | sklad výbušnin | 60,00 | |
| | SO 09 | sklad olejů | 72,00 | |
| | SO 10 | sklad plynů | 72,00 | |
| | SO 11 | centrální dílny | 684,00 | |
| | SO 12 | skladová hala | 788,00 | |
| | SO 05 | centr. trafostanice, rozodna, náhradní zdroj | 320,00 | |
| | SO 06 | kompresorovna | 400,00 | |
| | SO 16 | centrální zdroj tepla | 425,00 | |
| | SO 17 | vodojem 2 x 150 m ³ | 160,00 | |
| | SO 19 | úprava vypouštěné vody | 200,00 | |
| | SO 42 | centr. čistírna odpad vod | 720,00 | |
| M7 - média | SO 60 | objekt míření odpadních vod | 40,00 | |
| | SO 61 | přívodní komora VZT | 85,00 | |
| | SO 70 | venkovní osvětlení | - | |
| | SO 71 | rýhy a kanály rozodů slaboproudu | - | |
| | SO 72 | rýhy a kanály rozodů silnoproudu | - | |
| | SO 73 | kanalizace dořř, splašk, průmyel | - | |
| | SO 74 | rozodů pitné a požární vody | - | |
| | SO 75 | pořubní kanály | - | |
| | SO 76 | terénní úpravy | - | |
| | SO 79 | objekt vřáhé jámy | 220,00 | |
| | SO 31 | zpevněná skáčka | 1800,00 | |
| | SO 33 | řřídíma, zásobníky odběru kameniva | 150,00 | |
| M8 - zacházení s rubaninou | SO 34 | dopravníkový most (m) | 550,00 | |
| | SO 35 | přespační uzal | 80,00 | |
| | SO 36 | výšpný most a (m) | 50,00 | |
| | SO 36 | výšpný most b (m) | 20,00 | |
| | SO 37 | řřídíma | 70,00 | |
| | SO 39 | mezskáčka odhalu | 2400,00 | |
| | SO 40 | mezskáčka rubaniny na 5 dnů | 7800,00 | |
| | SO 91 | deponie rubaniny (mimo areál) | - | |
| | M9 - požární ochrana | SO 20 | stanice báňské záchraně služby, požární stanice | 364,00 |
| | | SO 53 | požární nádrž | 615,00 |

S-JTSK

B.p.v.

| | | | |
|-------------|-------|---------------------------------------|--|
| OBJEDNATEL: | SÚRAO | SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPAĐŮ | ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE SO 2016-017 ze dne 3.2.2016 ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE 5116 0000 41 |
|-------------|-------|---------------------------------------|--|

VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

| | |
|--|--|
| POSKYTOVATEL: ČVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ | VEDOUČÍ PROJEKTU Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. |
| ČVUT v Praze Žitovská 25, 160 00 Praha 6 www.cvut.cz | ZÁSTUPCE OBJEDNATELE |
| SATRA, spol. s r.o. Sokolská 32, 120 00 Praha 2 www.satraz.cz | Ing. Jaromír Augusta, Ph.D. VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY |
| Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Národní 984/15, 110 00 Praha 1 www.mottmac.com | Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph. D. KONTROLOVAL Mgr. Ondřej Zahradník VYPRACOVAL Ing. Aleš Veverka |

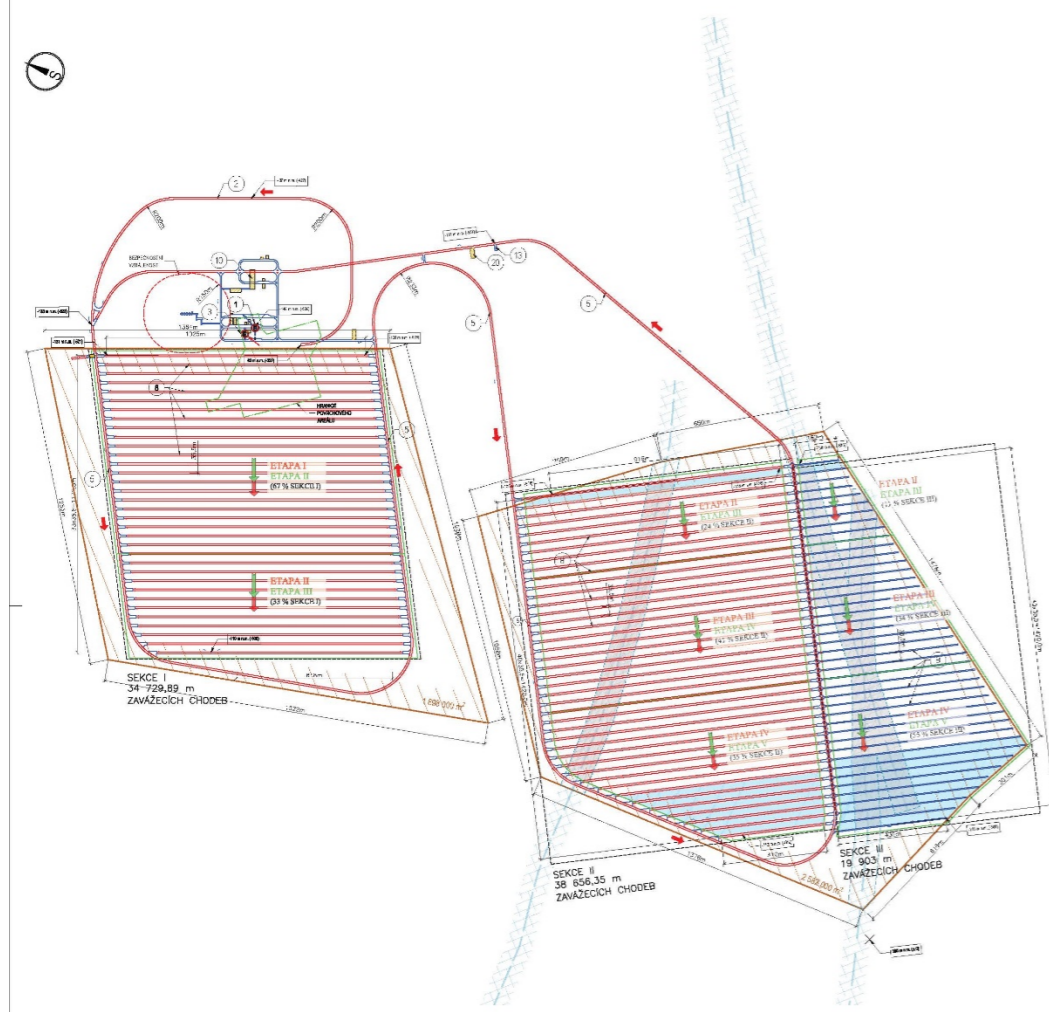
| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI | STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ KRAVÍ HORA | | |
| NÁZEV PŘÍLOHY | POVRCHOVÝ AREÁL - OBJEKTOVÁ SKLADBA | | |

| | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------------------|---------|--------|
| POČET FORMÁTŮ | MĚŘÍTKO | DATUM | IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO | PŘÍLOHA | REVIZE |
| 3x A4 | - | 05/2018 | SÚRAO 2017-0353 | 03 | |

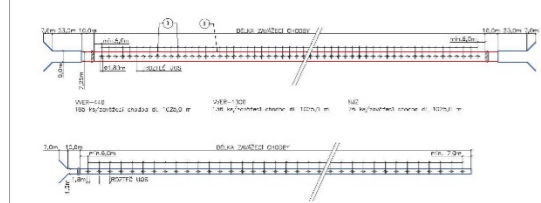
D.5 Výkres - Situace – dispozice řešení D1 ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Kraví hora (Špínka et al., 2018)

SCHEMA HÚ - ČÁST A
VERTIKÁLNÍ UKLÁDÁNÍ VJP
LOKALITA - KRAVÍ HORA

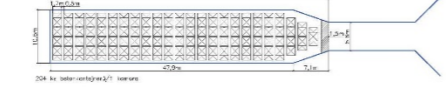
DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ D1
UKLÁDACÍ ÚROVEŇ VJP - 300 až -520
M 1:10 000



SCHEMA VERTIKÁLNÍHO UKLÁDÁNÍ UOS s VJP
M 1:2000



SCHEMA UKLÁDÁNÍ RAO
M 1:500

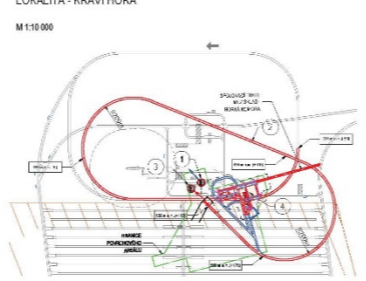


LEGENDA:
SEZNAM DŮLNÍCH STAVEBNÍCH OBJEKTŮ:

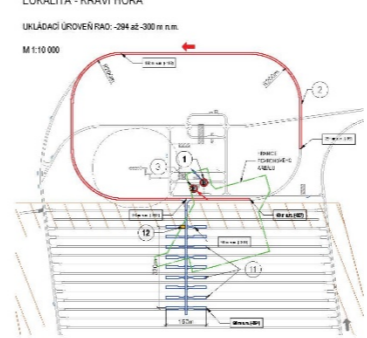
- 1 DUSO 01 - TĚŽNÁ JÁMA
- 2 DUSO 02 - ZAVÁZECÍ TUNEL (PADNICE)
- 3 DUSO 03 - VTAŽNÁ JÁMA
- 4 DUSO 04 - PŘÍPRAVA RAO A VJP
- 5 DUSO 05 - PÁTEŘNÍ CHODOBY
- 6 DUSO 06 - SPOJOVACÍ CHODOBY ÚSEKŮ RAŽBY
- 7 DUSO 07 - SPOJOVACÍ CHODOBY ÚSEKŮ UKLÁDÁNÍ
- 8 DUSO 08 - ZAVÁZECÍ CHODOBY
- 9 DUSO 09 - UKLÁDACÍ VRTY
- 10 DUSO 10 - CENTRUM PŘÍPRAVY KONTEJNERŮ A TECHNICKÉ ZÁZEMÍ ÚSEKŮ UKLÁDÁNÍ
- 11 DUSO 11 - UKLÁDACÍ KOMORY RAO
- 12 DUSO 12 - KONFIRMACE LABORÁTOR
- 13 DUSO 13 - ČIŠŤACÍ STANICE S JÍMNÍKOU
- 14 DUSO 14 - ROZVODNA - ÚSEK RAŽBY
- 15 DUSO 15 - ROZVODNA - ÚSEK UKLÁDÁNÍ
- 16 DUSO 16 - ŠKOLNÍČKOVNÉ OSOBY, STANICE PRVNÍ POMOCI A ZKUŠEBNA
- 17 DUSO 17 - DĚLNÝ PRO OPRAVU A ÚDRŽBU STROJNĚ MECHANIZMŮ
- 18 DUSO 18 - SKLAD NÁHRADNÍCH DÍLŮ
- 19 DUSO 19 - SKLAD MAZADEL, ÚSEK MYTÍ A ÚDRŽBY
- 20 DUSO 20 - SEDIMENTAČNÍ NÁDŽ
- 21 DUSO 21 - SKLAD VÝŠUŠN
- 22 DUSO 22 - POŽÁRNÍ SKLAD

- MECHANIZOVANÝ ZPŮSOB RAŽBY (TBM)
- KONVENČNÍ (CYKLOK) ZPŮSOB RAŽBY (NRTM, DRILL & BLAST)
- HRANICE POVRCHOVÉHO AREÁLU
- HRANICE STAVEBNÍ JÁMY OBJEKTU DUSO 04
- DŮLNÍ STAVEBNÍ OBJEKTY (DUSO)
- POTENCIÁLNĚ VYUŽITELNÉ BLOKY HORNIN V HORIZONTÁLNÍM UKLÁDÁNÍ VJP (POTENCIÁLNĚ VYUŽITELNÉ GEOLOGICKÉ MEDELE)
- PREDKOVANÉ ZLOMY 2. KAT. V HORIZONTÁLNÍM UKLÁDÁNÍ VJP (ZOBRAZOVANÉ POUZÍ ZLOMY PODOBNÝCH STRUKTURNĚ-GEOLOGICKÝCH MODELŮ)
- UKLÁDACÍ PROSTORY S MOŽNÝM VÝSKYTEM PREDKOVANÝCH ZLOMŮ
- NAPRAVENÉ UKLÁDACÍ PROSTORY S MOŽNÝM VÝSKYTEM PREDKOVANÝCH ZLOMŮ
- HRANICE VYUŽITÉ PLOCHY POTENCIÁLNĚ VYUŽITELNÝCH HB
- HRANICE ZLOMŮ V POTENCIÁLNĚ VYUŽITELNÝCH HB
- POMYSLNÁ HRANICE ETAPIZACE PROCESU RAŽEB, RESP. UKLÁDÁNÍ
- SMĚR POSTUPU RAŽBY ZAVÁZECÍHO TUNELU A PÁTEŘNÍCH CHODOB POMOCÍ TBM
- SMĚR POSTUPU UKLÁDÁNÍ VJP V RÁMCI JEDNOTLIVÝCH SEKCI

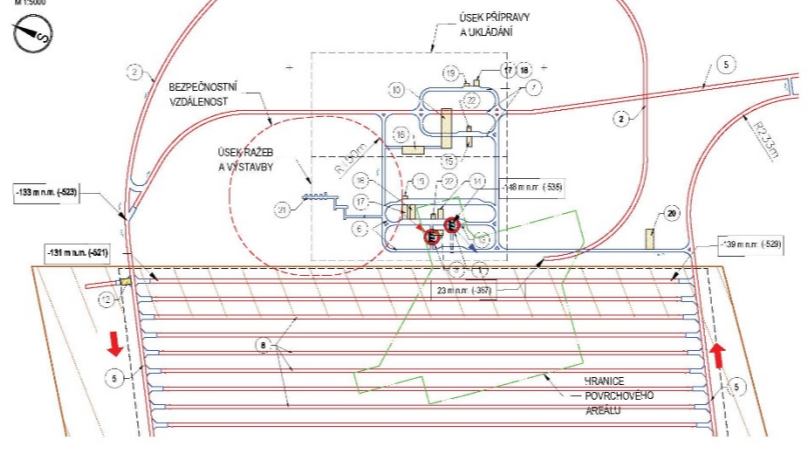
DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ VJEZDU DO PODZEMÍ
ČÁST B
LOKALITA - KRAVÍ HORA
M 1:10 000



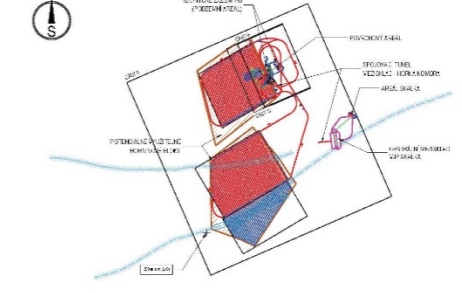
DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ VJEZDU DO PODZEMÍ A UKLÁDACÍCH KOMOR RAO
ČÁST C
LOKALITA - KRAVÍ HORA
UKLÁDACÍ ÚROVEŇ RAO - 304 až -300 m n.m.
M 1:10 000



DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ TECHNICKÉHO ZÁZEMÍ HÚ
LOKALITA - KRAVÍ HORA
M 1:5000



KLAD VÝKRESOVÝCH ČÁSTÍ
M 1:50 000



| | Plocha HB [m²] | Plocha zlomy v HB [m²] | Ukládací plochy [m²] | Nevyužitelné plochy pro ukládací prostory [m²] | Využití HB* [%] |
|---------------|------------------|------------------------|----------------------|--|-----------------|
| Severní HB | 1 358 000 | --- | 1 263 000 | --- | 66,51 |
| Jižní HB | 2 582 000 | 414 000 | 2 202 000 | 374 000 | 81,32 |
| Celkem | 4 480 000 | 414 000 | 3 465 000 | 374 000 | 77,34 |

| Dispoziční řešení / způsob ukládací VJP | D1 - VÚ, M | Vertikální |
|---|------------|------------|
| Typ přepravované ražby | K | M |
| Zavázeční tunel | | x |
| Páteřní chodby | | x |
| Zavázeční chodby | | x |
| Ukládací vrtý | | x |

| Ukládání ostatních RAO | Počet [ks] | Rozměry [m x m x m] |
|------------------------|------------|---------------------|
| UOS | 3000 | 1,7 x 1,7 x 1,5 |
| UOS | 3000 | 1,7 x 1,7 x 1,5 |

| UOS | Počet [ks] | Rozměry [mm x mm] | Rožteče UOS [mm] | Rožteče zavážecích chodoB vrtů [mm] | Délka ukládacího vrtu [mm] | Doba skladování [rok] |
|-----------|------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| VVER-440 | 3100 | Ø305x3733 | 5,5 | 35,5 | 5 655 | 65 |
| VVER-1000 | 1800 | Ø1050x5375 | 7,5 | 35,5 | 7 190 | 65 |
| NÚZ | 2700 | Ø1050x5375 | 13,5 | 35,5 | 7 190 | 65 |

SÚRAO
SPRÁVA GLDĚBÍ RADIOAKTIVNÍCH DOPADŮ
VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

POSKYTOVATEL: CVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ
VEDOUcí PROJEKTU: Ing. Alexandr Bulvák, Ph. D.
ZASTUPCE OBJEDNATELE: Ing. Jaromír Augusta, Ph. D.
VEDOUcí EXPERTNÍ GRUPLY: Ing. Alexandr Bulvák, Ph. D.
KONTROLOVAL: Ing. Lukáš Grünwald
VYPRACOVAL: Ing. Ota Špínka, Ph. D.

NAZEV DÍLČÍ ČÁSTI: STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ KRAVÍ HORA
NAZEV PŘÍLOHY: SITUACE - DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ D1

| POČET FORMÁTŮ | MĚŘÍTKO | DATUM | IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO | PŘÍLOHA | REVIZE |
|---------------|---------|---------|---------------------|---------|--------|
| 10 A4 | 1:10000 | 05/2018 | SÚRAO 2017-0353 | D4 | A |

NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



SÚRAO

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: info@surao.cz

www.surao.cz