

Technická zpráva číslo 305/2018

**STUDIE ZADÁVACÍ
BEZPEČNOSTNÍ ZPRÁVY PRO
UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO
ÚLOŽIŠTĚ V LOKALITĚ
NA SKALNÍM**

Autoři: Ing. Antoním Vokál, CSc.

a kolektiv

SÚRAO

Praha, září 2018

Studie zadávací bezpečnostní zprávy pro umístění hlubinného úložiště v lokalitě Na Skalním

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	14
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	18
A.3 Obecné informace o vlastnostech území k umístění hlubinného úložiště	30
A.4 Výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací	34
B Vlastní hodnocení vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik	36
B.1 Geologické charakteristiky	36
B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	37
B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností	46
B.1.3 Dostupnost dat	50
B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality	51
B.2 Hydrogeologické charakteristiky	54
B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště	55
B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu	57
B.2.3 Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě Na Skalním	60
B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality	64
B.3 Transportní charakteristiky	66
B.3.1 Doba transportu radionuklidů	66
B.3.2 Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě	68
B.3.3 Hodnocení ředění	69
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	73
B.4.3	Postvulkanické jevy	75
B.4.4	Klimatická stabilita.....	75
B.4.5	Celkové expertní zhodnocení lokality Na Skalním z hlediska stability území ...	76
B.5	Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami.....	78
B.5.1	Tepelné vlastnosti lokality	78
B.5.2	Hydraulické vlastnosti.....	79
B.5.3	Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí	80
B.5.4	Geochemické vlastnosti	81
B.5.5	Mikrobiologické vlastnosti.....	83
B.5.6	Plynopropustnost	83
B.5.7	Celkové expertní zhodnocení lokality Na Skalním z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami	83
B.6	Faktory ovlivňující možnost narušení úložiště budoucími aktivitami člověka.....	85
B.6.1	Ložiskové poměry na lokalitě	85
B.6.2	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla	85
B.6.3	Vrtná prozkoumanost	86
B.6.4	Zdroje podzemních vod.....	86
B.6.5	Potenciál geotermální energie.....	86
B.6.6	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů, které mohou narušit úložiště budoucími aktivitami člověka	86
B.7	Ostatní posuzované vlastnosti území jaderného zařízení umístěného na povrchu .	87
B.7.1	Seismicita.....	87
B.7.2	Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem	87
B.7.3	Povodně.....	87
B.7.4	Oběh podzemní vody	88
B.7.5	Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových púd	88
B.7.6	Klimatické a meteorologické jevy	88
B.7.7	Biologické jevy	88
B.7.8	Přírodní požáry.....	89

B.7.9	Pád letadla a jiných objektů.....	90
B.7.10	Výbuchy a požáry mající původ v činnosti člověka a jejich zplodiny	90
B.7.11	Chráněné ložiskové území nebo dobývacího prostoru	91
B.7.12	Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy	91
B.7.13	Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj.....	94
B.7.14	Současné využití území	96
B.7.15	Vliv jiného jaderného zařízení	96
B.7.16	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu	96
B.8	Vliv šíření radioaktivních látek z nadzemních prostor úložiště za provozu úložiště	97
B.9	Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ	103
B.9.1	Časový rámec hodnocení.....	104
B.9.2	Transportní cesty a cesty ozáření.....	105
B.9.3	Bezpečnostní funkce bariér úložiště	105
B.9.4	Odvození normálního scénáře a alternativních scénářů vývoje úložiště	108
B.9.5	Databáze vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost úložiště....	109
B.9.6	Koncepční modely normálního vývoje úložiště	109
B.9.7	Vstupní data do modelů	121
B.9.8	Výsledky výpočtů	142
B.10	Shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení	152
B.11	Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení	153
B.12	Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu	153
B.12.1	Vyhořelé jaderné palivo.....	154
B.12.2	Odpady z vyřazování jaderných zařízení.....	160
B.12.3	Ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť	165
C	Popis projektu	169
C.1	Bezpečnostní cíle projektu HÚ	169
C.2	Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie.....	169
C.3	Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy	170
C.3.1	Ukládací obalový soubor	170
C.3.2	Tlumící bariéra	173

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.

C.3.3	Výplň.....	177
C.3.4	Těsnící zátky.....	177
C.3.5	Těsnění a injektáže.....	177
C.3.6	Úložné prostory.....	178
C.4	Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu.....	180
C.4.1	Umístění povrchového areálu.....	180
C.4.2	Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů.....	180
C.5	Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu.....	190
C.5.1	Umístění podzemního areálu.....	190
C.5.2	Uspořádání a technologické vybavení objektů.....	192
C.5.3	Přístupová a technologická díla.....	204
C.6	Provozní režim hlubinného úložiště.....	209
C.6.1	Provoz úložiště.....	209
C.6.2	Uzavírání úložiště.....	216
C.7	Požadavky na institucionální kontrolu.....	217
Seznam obrázků.....		218
Seznam tabulek.....		220
Reference.....		223
D Přílohy.....		235
D.1	Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Na Skalním 1:50 000, ČGS 235	
D.2	Výkres - Celková situace z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018).....	236
D.3	Výkres - Povrchový areál 485 m n.m. z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018).....	237
D.4	Výkres - Ukládací patro -0 m n.m. z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018).....	238

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 Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

- 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 umístění, 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 bránící 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.

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalném	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

- 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 odpadnebo 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 diferenciálně 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

ČR	Česká republika
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	přepavní 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

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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
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 Na Skalním 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 Na Skalním 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 Na Skalním 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 Na Skalném 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 nejbezpečnější 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

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 Ždár, Lodhéřov - 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.

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, Lodhéřov - Jihočeský kraj), Hrádek (Nový Rychnov, Rohozná – Kraj Vysočina) a Horka (Budišov, Oslavička - Kraj Vysočina), Kraví hora (Kraj Vysočina), Na Skalním (EDU-západ, Kraj Vysočina), Janoch (ETE-jih, 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 Na Skalním 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) shrnout jednotlivé vlastnosti území k umístění hlubinného úložiště a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění hlubinného úložiště a
- 2) porovnat všechny vlastnosti z hlediska způsobnosti ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, procesů a událostí, které se mohou vyskytnout v době nebezpečnosti odpadů.

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

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
- Výzkumná podpora pro projektové řešení hlubinného úložiště
- Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku.
- Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ – EDU Západ.

Řešení těchto projektů od roku 2014 se zúčastnilo více než 300 výzkumných a inženýrských pracovníků z více než 20 výzkumných organizací a vysokých škol. V projektech byly shrnuty všechny dostupné archivní poznatky a poznatky získané z výzkumných a průzkumných prací lokalitě Na Skalním. Všechny použité podklady jsou uvedeny v části „Reference“.

Vlastního zpracování studie ZBZ se zúčastnili následující pracovníci SÚRAO:

Ing. Antonín Vokál, CSc.,

Ing. Ilona Pospíšková,

Mgr. Lukáš Vondrovic, PhD.,

Ing. Jaromír Augusta, PhD.

Mgr. Martin Eliáš,

Ing. Zdena Lahodová,

Ing. Eva Popelová, PhD.

a pracovníci společnosti PRO ENGINEERING, s.r.o.:

Ing. Jan Antoš

Ing. Karel Bárta

Ing. Pavel Čech, MBA

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

Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
§ 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
§ 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	B.1.2, Příloha

Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
	mechanicky odlišnými typy hornin, které jsou postiženy hydrotermálními a jinými druhotnými přeměnami	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
§ 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 umístování 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	B.1.1, B.2

Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
	úložiště.	
§ 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 popsitelnosti 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 rozbory a rozbory 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 zpracovatelích 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 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	B.1.1, Příloha D.4

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

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	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.	
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 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 nepříjemným únikům radionuklidů.	B.4.4
I.27	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: (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)	B.4

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	<p>neotektonických procesů, jako je zdvih, pokles, náklon, vrásnění a zlomová tektonika</p> <p>(D) výskyt zlomů v geologickém prostředí (např. jejich umístění, délka, hloubka a informace o stáří posledního pohybu)</p> <p>(E) napěťové pole v oblasti lokality</p> <p>(F) odhady charakteristik a maximální intenzity zemětřesení, které by byly možné v lokalitě na základě jejich seismotektonických vlastností;</p> <p>(G) odhady geotermálního gradientu a důkazy o termálních pramenech</p> <p>(H) důkazy o aktivním (kvartérním a pozdně tercierním) vulkanismu</p> <p>(I) důkazy diapirů (diapirované struktury);</p> <p>(J) paleohydrologie.</p> <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>	
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 snižují 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 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.</p>	B.2
I.30	<p>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.</p>	V této etapě neposuzováno
I.31	<p>Data potřebná pro hydrogeologii:</p> <p>(a) hydrogeologické vyhodnocení místních a regionálních geologických formací a charakterizace a identifikace zvodněných a nepropustných poloh v dostatečných podrobnostech</p> <p>(b) identifikace a charakterizace významných hydrogeologických formací v regionu (např. jejich umístění, rozsah, souvislosti)</p> <p>(c) odhad přítoku a odtoku do a z hlavních místních a regionálních hydrogeologických formací (umístění a vodní bilance)</p> <p>(d) hydrogeologické charakteristiky hostitelské horniny (např. distribuce pórovitosti, propustnosti, hydraulický gradient);</p>	B.2

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	(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	
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 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: (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	B.5
I.36	Umístění hlubinného úložiště by mělo být provedeno s ohledem na současné i potenciální lidské činnosti v lokalitě nebo její blízkosti.	B.6

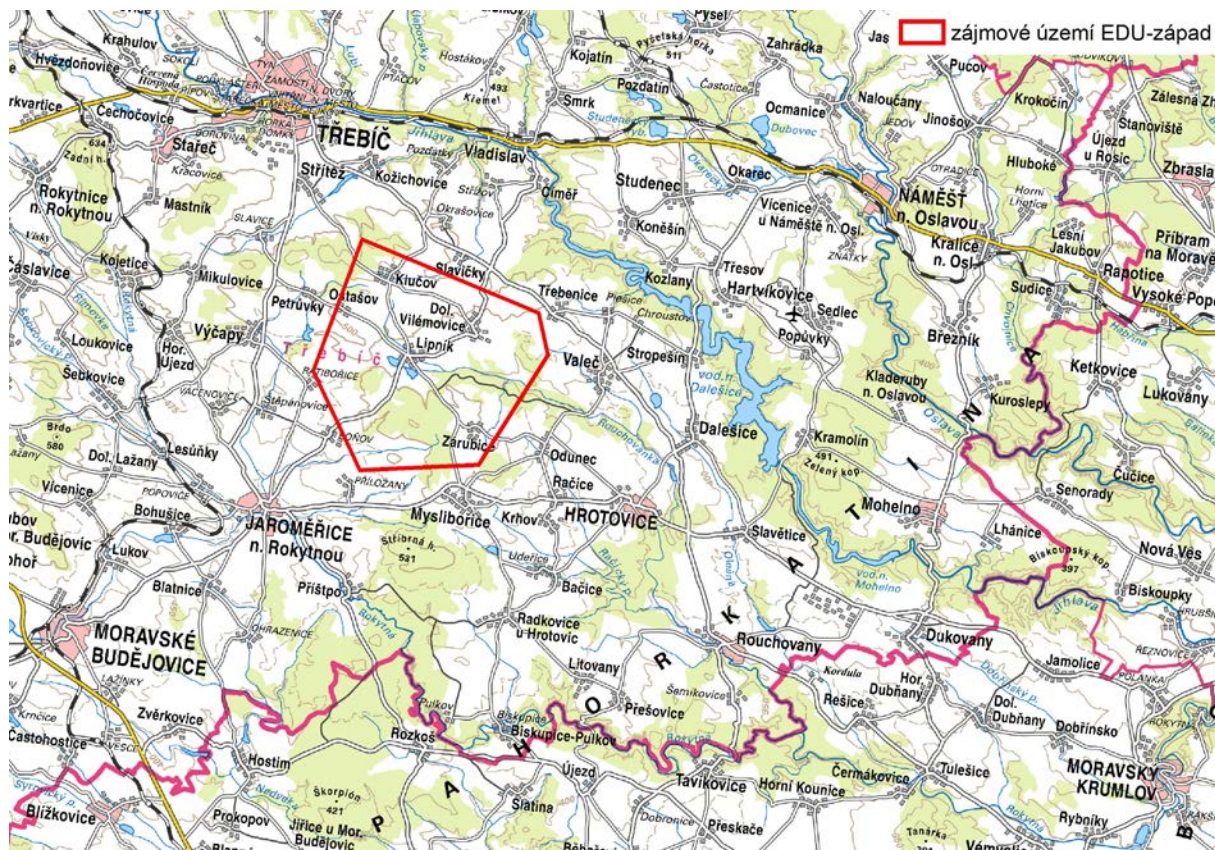
Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	Pravděpodobnost, že tyto činnosti by mohly mít vliv na uzavření a izolační schopnosti úložiště a způsobit nepřijatelné důsledky, by měla být minimalizována.	
I.37	Při hodnocení hostitelské horniny pro hlubinné 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.	B.6
I.38	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.	B.6
I.39	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.	B.7.3
I.40	Informace nezbytné pro vyhodnocení toho, jak současné i potenciální lidské činnosti by mohly mít vliv na hlubinné úložiště, zahrnuje: (a) záznamy z minulosti a současnosti o vrtní 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 podzemních vod v lokalitě (d) umístění stávajících a plánovaných vodních děl.	B.6
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 zásypaný 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	B.7.11, C

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	kameniva nebo vody pro stavební činnosti může být vzata v úvahu	
I.43	<p>Údaje nezbytné pro posouzení stavebních a inženýrských podmínek zahrnují:</p> <ul style="list-style-type: none"> (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	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> (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
I.46	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> (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	<p>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 umístění musí obsahovat podrobné údaje o stávajícím půdním fondu, jurisdikci a územních plánech zájmové oblasti.</p>	C, Studie EIA

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
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, 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, B.8, Studie EIA

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

Polygon EDU-západ se nachází v jihovýchodní části kraje Vysočina mezi městy Třebíč, Jaroměřice nad Rokytnou a Hrotovice. Areál Elektrárny Dukovany je vzdálen vzdušnou čarou cca 15 km dále k jihovýchodu



Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚ ZZZK Na Skalním a blízkého okolí

Zájmová lokalita pro umístění HÚ se nachází při jihozápadním okraji vymezeného polygonu zájmového území EDU – západ, zhruba mezi obcemi, resp. sídly Ratibořice, Boňov, Zárubice a Lipník. Lokalita Na Skalním, do které je navrženo umístění povrchového areálu, se nachází na severozápadním okraji správního území obce Myslibořice (k. ú. Myslibořice), asi 1,1 km východně od zástavby Boňova. Lokalita je z jihu ohraničena vodotečí Ostrý potok, ze severu pak hranicí lesa na vrchu Na Skalním (557 m n. m.). Z východu tvoří hranici alej spojující zemědělské usedlosti Ostrý dvůr a Horní Dvůr. Ze západu je pak plocha ohraničena údolím s bezejmennou vodotečí ústící do Ostrého potoka.

Zájmové území leží v jižní části třebíčského plutonu na styku s moravským moldanubikem dle dělení Mísaře et al., 1983. Jeho jižní část je litologicky homogenní a je tvořena amfibol-biotitickými, většinou porfyrickými melanokratickými granity až syenity, které jsou souhrnně označovány jako durbachity. Durbachity se vyskytují se v třebíčském plutonu v několika texturních a geochemických varietách. Nejhojněji zastoupeným typem je hrubě zrnitý porfyrický amfibol-biotitický melagranit až melasyenit. Jedná se o charakteristickou černošedou horninu se světlými vyrostlicemi draselných živců o velikosti až prvních centimetrů, v minerálním složení „základní hmoty“ dominují draselné živce, amfiboly a biotit, v menší míře se objevuje plagioklas. Křemen je podružný, akcesoricky běžně přítomné jsou

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

apatit, titanit, ilmenit a zirkon. Při okrajích tělesa se lokálně vyskytují neporfyrické nebo jen nevýrazně porfyrické variety doprovázené aplitickými granity anatektického charakteru.

Technické řešení hlubinného části úložiště musí především respektovat strukturně a tektonické poměry hostitelského horninového masivu tak, aby byly splněny požadavky na dlouhodobou bezpečnost. Potenciálně využitelné bloky horniny musí být v takové hloubce a v takové vzdálenosti od zvodnělých poruchových zón, aby bylo zamezeno přístupu člověka k odpadům, ovlivnění úložiště procesy probíhajícími na povrchu a zabráněno rychlé migraci radionuklidů od úložiště ke zvodnělým poruchovým zónám. Při výběru vhodných horninových bloků se vycházelo z kritérií shrnutých v dokumentu SÚRAO MP. 22 vycházejících ze zahraničních doporučení. V závěrech zprávy Hanžla et al. (2018) byl pro další průzkum doporučen polygon Na Skalním, ve kterém byl v rámci durbachitů vymezen homogenní blok složený ze tří dílčích bloků oddělených lokálními zlomy (Obr. 2). Tyto bloky byly vyčleněny s využitím výsledků nového geologického mapování (Hanžl et al. 2017) a geofyzikálního výzkumu (Karous et al. 2017).

Na základě vymodelovaného rozsahu horninových těles a průběhu zlomů byly navrženy relativně homogenní bloky hornin v plánované hloubce úložiště cca 500 m pod zemským povrchem (Obr. 2). Bloky Na Skalním č. 1–3 mají rozlohu 4,16, 3,10 a 2,88 km².

Tyto bloky respektují následující kritéria:

- blok musí ležet min. 100 m od zlomů 1. kategorie;
- blok musí ležet min. 50 m od vybraných zlomů 2. kategorie;
- blok nesmí procházet přes litologické hranice (vyjma intruzivních hranic granitoidů v odůvodněných případech);
- blok musí respektovat rozsah PÚZZZK.

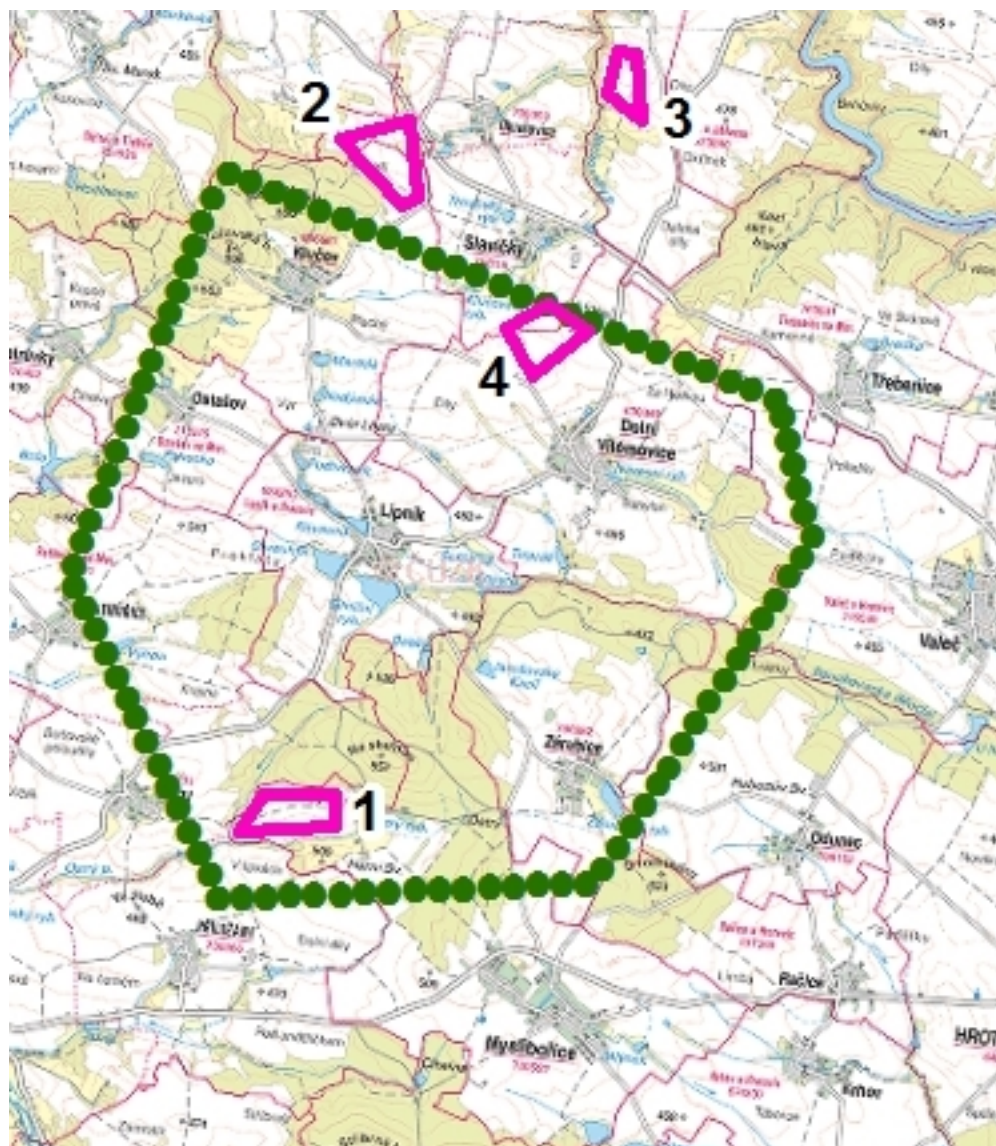


Obr. 2: Horizontální řez detailním 3D strukturně geologickým modelem lokality Na Skalním na úrovni cca 500 m hloubky (tj. cca 0 m n. m.) a lokalizace předpokládaných homogenních bloků.

Předpokládané homogenní bloky – žluté polygony v rámci průzkumného území (silná černá linie). Slabé modré linie – průmět zlomů, červené linie – průmět hranice granitů moldanubika, růžová a béžová linie – metamorfni jednotky moldanubika, fialová linie – průmět hranice třebečského plutonu

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.

Na základě terénního šetření byly v zájmovém území vytipovány 4 zvažované lokality pro umístění HÚ Na Skalním (1) v k. ú. Myslibořice, Záhoří (2) na k. ú. Klučov + k. ú. Okrašovice a Přední útvary (4) na k.ú. Dolní Vilémovice (Obr. 3).



Obr. 3: Prověřované lokality pro umístění PA v rámci polygonu Na Skalním.

Preferované umístění Na Skalním (označeno 1) se nachází cca 1,5 km východně od obce Boňov. Plocha pro umístění povrchového areálu je z jihu ohraničena vodotečí Ostrý potok, ze severu pak hranicí lesa na vrchu Na Skalním (557 m n. m.). Z východu tvoří hranici alej spojující zemědělské usedlosti Ostrý Dvůr a Horní Dvůr. Ze západu je pak plocha ohraničena údolím s malou vodotečí ústící do Ostrého potoka. Tato plocha je využívána jako zemědělská půda. Plocha je zhruba uprostřed ve směru východo-západním rozdělena mezí, ve východní polovině s porostem drobných křovin. Na pozemku se nenacházejí významné vzrostlé dřeviny. Plocha se svažuje směrem k jihu.

Lokalita pro umístění PA byla vybrána na podkladě požadavků na vhodnou morfologii terénu (požadavek umístění tzv. „horké komory“ v horninovém masivu ale s přímým napojením na ostatní části PA ve stejné niveletě), na vzdálenost od souvislé obytné zástavby, na umístění v krajině a možnosti dopravního napojení na dopravní infrastrukturu.

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 vlastností 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 smluvy-dodavatelská organizace-datumní 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

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

dokumentace jsou evidovány samostatně s popisem, charakteristikou a uvedením kódu projektu (smlouvy) dle evidenční knihy SÚRAO a lokalizace, pokud je to možné.

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 použité podklady jsou uvedeny v textu a jejich seznam je v části „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):

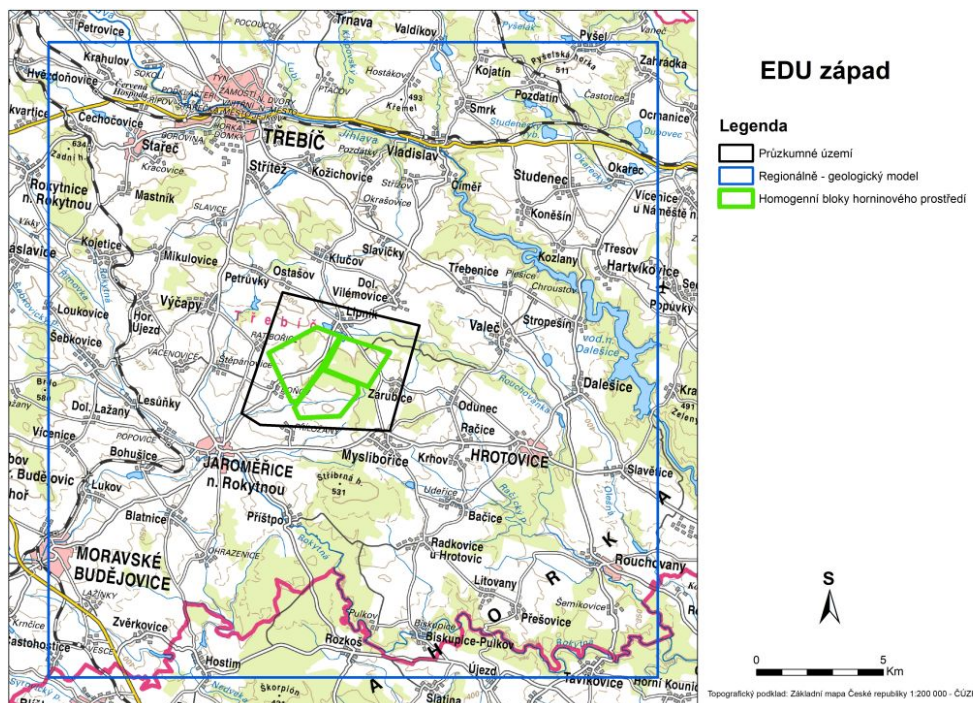
- 1) Popsatelnost a predikovatelnost
 - a. Regionální stavba území
 - b. Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury
 - c. Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové struktury
 - d. Stupeň duktilní deformace
 - e. Věrohodnost komplexního prostorového modelu geologické stavby
- 2) Variabilita 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, Obr. 4):

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. 4: Úrovně popisu lokality

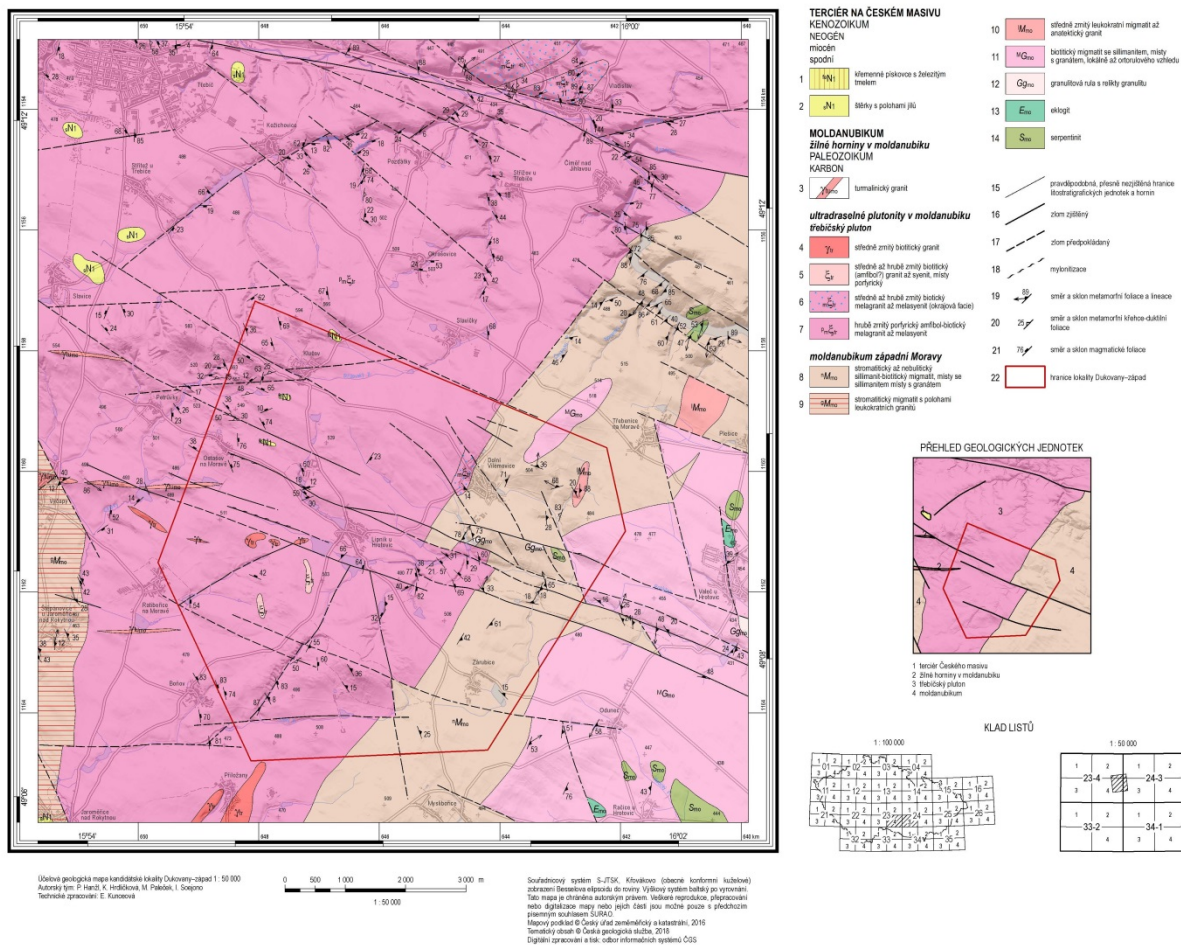
B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

B.1.1.1 Regionálně-geologická a litologická stavba území

Horniny okolí lokality EDU jsou součástí regionální jednotky Českého masivu, konkrétně rtepelsko-barrandienské 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 Na Skalním spadají do oblasti, která je označována jako variský orogenní íkořen akreční prizma (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 (Mísař et al. 1983) patří horninové komplexy oblasti Dukovany-západ k regionálnímu celku moldanubikum, respektive k části moravské moldanubikum. V jeho nadloží leží relikty terciéru Českého masivu a kvartér denudačních oblastí.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA
 ÚČELOVÁ GEOLOGICKÁ MAPA KANDIDÁTSKÉ LOKALITY DUKOVANY–ZÁPAD 1 : 50 000



Obr. 5: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Na Skalním

B.1.1.2 Stupeň křehké tektoniky – zlomové struktury

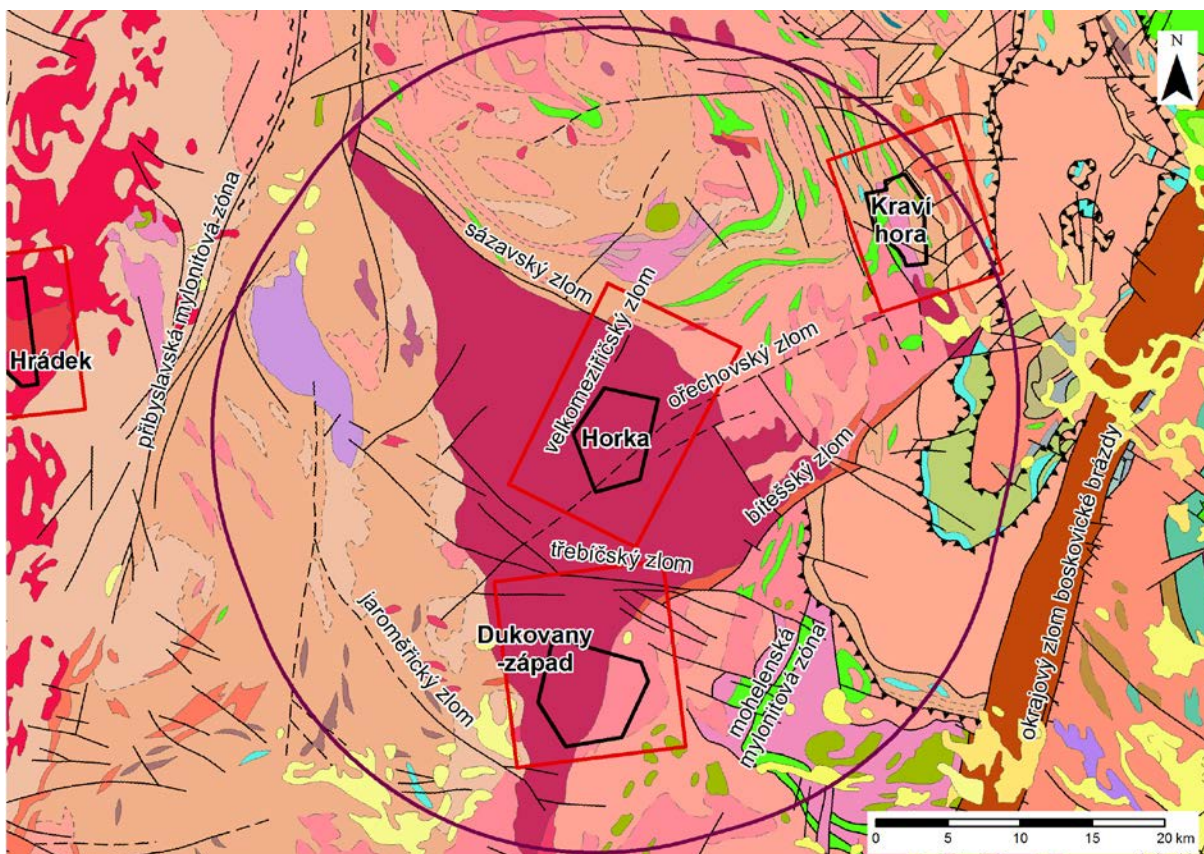
Charakteristika struktur duktilní a křehké deformace vychází z komplexní strukturní, a nejnověji z projektu SÚRAO Zhodnocení geologických a jiných informací z českého moldanubika (Hanžl et al. 2017). Číslování zlomů v této zprávě bylo převzato ze zprávy Franěk et al. 2018.

Zlomové struktury regionálního měřítka (v okruhu 25 km)

Hlavní zlomy a zlomové systémy jihovýchodního okraje Českého masivu jsou zobrazeny na Obr. 6 a byly podrobně popsány v rešeršní studii Hrdličkové et al. (2016). Lokalita leží mezi SSV–JJZ orientovanou přibyslavskou mylonitovou zónou na západě a okrajovým zlomem boskovické brázd na východě. Tyto zóny byly pozdě varisky založeny a poté různě intenzivně reaktivovány. Zřejmá je kenozoická reaktivace okrajového zlomu boskovické brázd dokumentovaná i recentními zeměměřičskými v diendorfském zlomovém systému v jejím jižním pokračování v Rakousku. Na území České republiky byla pozorována seismicita v oblasti miroslavského zlomu, kde nejsilnější otřes ze dne 17. 8. 2000 dosáhl lokálního magnitudy 2,5 a otřes z 1. 6. 2014 byl o magnitudu 2,0 (Havíř et al. 2001; ÚFZ 2015).

Zlomy SZ–JV a JV–SZ už jsou pravděpodobně povariské, i když starší literatura uvádí jejich hlubinné založení. Významnou strukturou je třebíčský zlom orientace V–Z doprovázený výraznou kataklázou, nízkoteplotními mylonity a alterací v horninách třebíčského plutonu.

Kravský zlom vystupující na jihu omezuje hranici moldanubika a dyjské klenby moravika a jde o variskou násunovou strukturu podobně jako náměšťský zlom a dřínovské nasunutí ve svratecké klenbě.



Obr. 6: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Na Skalním (Dukovany-západ)

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

Zlomové struktury vymezeného území

Označení a popis zlomů, zlomových systémů a zón je uvedeno ve smyslu zprávy Hanžla et al. (2017).

Třebíčský zlom (Z01 Obr. 7) je morfologicky nejzřetelnější zlomová struktura území, která na nápadně rovné linii směru ZSZ–VJV mezi Třebíčí a Vladislaví sleduje údolí Jihlavy. Jedná se až o několik set metrů mocnou, v generelu subvertikální zónu, která se projevuje výraznými fasetami na obou svazích údolí Jihlavy, mylonitizací a drcením hornin, deformace hornin je doprovázena i silnou chloritizací durbachitů. Smysl pohybu na zlomu není zřejmý a je evidentní, že zlom prodělal polyfázový vývoj. Podle posunu severní části třebíčského plutonu k východu se zdá být pravostranný. Zlom odděluje podle Bubeníčka (1968) nebo Leichmanna et al. (2016) geologicky a geofyzikálně odlišné kry třebíčského plutonu, což indikuje také zřetelnou vertikální složku pohybu. Ve Vladislavi se třebíčský zlom rozvětluje do struktury tvaru „koňského ocasu“, menší zlomy v různé orientaci a délce pokračují k východu a jihovýchodu (**Z02**). Kolem údolí Jihlavy je hlavní linie třebíčského zlomu

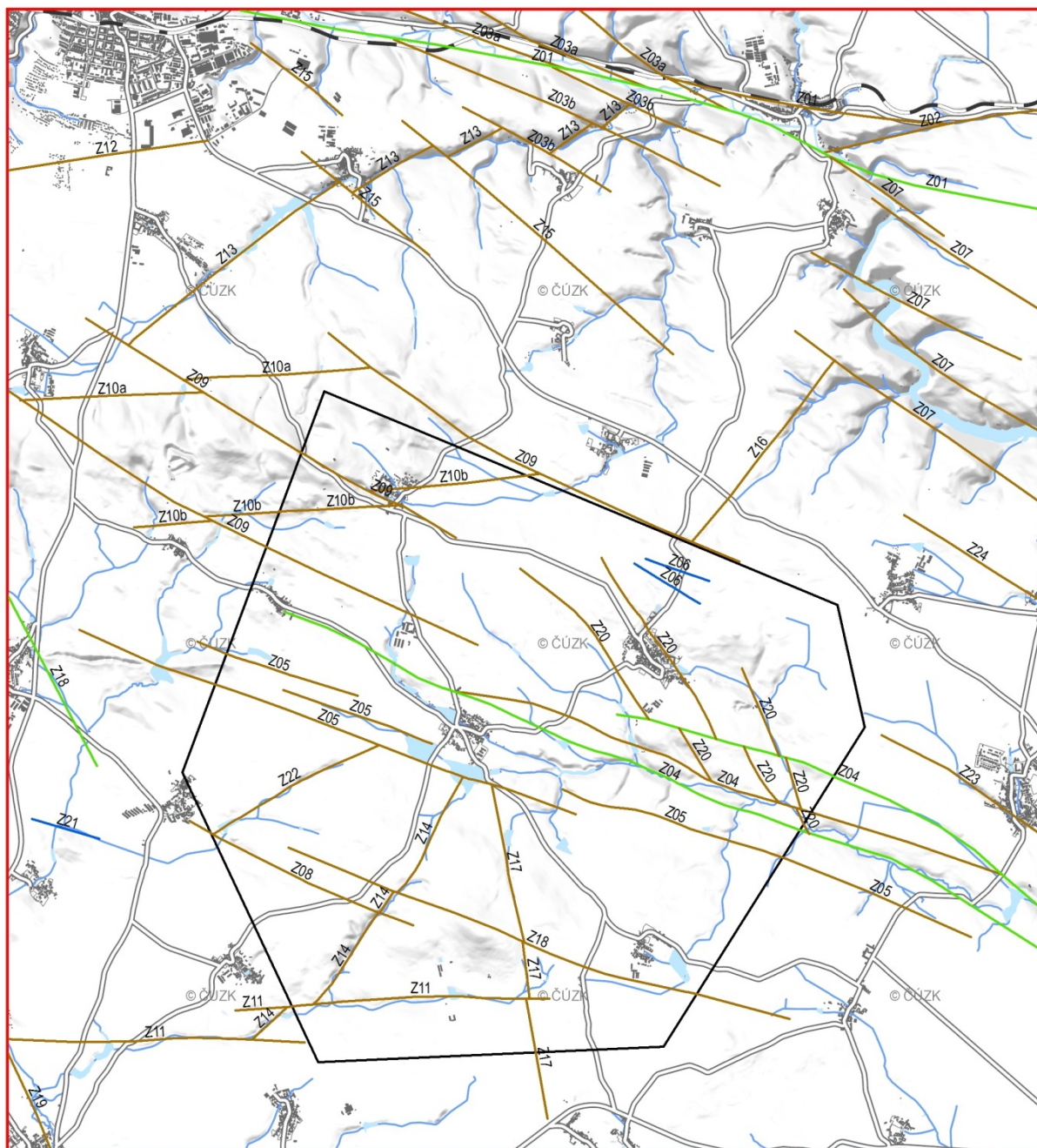
 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

doprovázena zpeřenými strukturami orientace SZ–JV (**Z03a, ba**). Třebíčský zlom je možno označit jako ověřenou regionální strukturu.


Druhou významnou zlomovou zónou označenou jako lipnický zlom je skupina subparalelních zlomů (**Z04**) směru SZ–JV až lokálně ZSZ–VJV, která sleduje údolí Roučovanky a sv. od Lipníku u Hrotovic směrem k Ostašovu na Moravě vyznívá. Zóna je velmi zřetelná na regionálních geofyzikálních mapách (Hrdličková et al. 2016), především mapa úplných Bouguerových anomálií indikuje zřetelný levostranný posun. Levostranný posun dosahující řádově až 1 km na v. okraji třebíčského plutonu potvrdilo i geologické mapování a povrchový geofyzikální výzkum. Na subparalelních strukturách (**Z05**), které porušují těleso turmalinického granitu na hřbetu Brda jjz. od Ostašova na Moravě jsou z mapy zřetelné pravostranné i levostranné pohyby s posunem v řádu prvních desítek metrů. Lipnický zlom velmi pravděpodobně prodělal polyfázový vývoj.

Další struktury podobné orientace jako lipnický zlom byly indikovány drobným rozposouváním jihovýchodního kontaktu třebíčského plutonu (**Z06, Z07**) a moldanubika a/nebo indikovány pozemním geofyzikálním výzkumem (**Z08**). Podobné struktury (**Z09**), v kombinaci s v.–z. orientovanými zlomy (**Z10a, b**) zřetelně ovlivňují morfologii Klučovské hory.

Zmíněné zlomy průběhu V–Z (**Z10b**) na j. svahu Klučovské hory označili Stárková a Zrůstek (1977) jako klučovský zlom a dávali jej do souvislostí s výskyty žil turmalinických granitů (ty vystupují dále k Z na hřbetu Hošťanka). Další východo-západní zlomy (**Z11**) byly interpretovány na základě morfologie, jedná se zejména o ojedinělé geofyzikální indikace v údolí Ostrého potoka. Subvertikální zvodnělé mylonitové zóny podobné orientace (trend 250°) byly popsány v jižní stěně zářezu (**Z12**) u obchodního centra v jižní části Třebíče. Další skupinou zlomů jsou struktury orientace SV–JZ, které jsou porušovány zlomy orientace SZ–JV. Nejvýznamnější z nich jde paralelně s vodní nádrží Markovka (**Z13**). Tato struktura byla indikována morfotektonickou analýzou a dochází na ní také ke zřetelnému ohybu magmatických foliací v třebíčském plutonu z trendu SZ–JV do trendu SV–JZ. Lze ji označit, podobně jako zlom probíhající údolím potoka (**Z14**) v. od Boňova, který byl indikován morfotektonickou analýzou a přítomností zvodnění, jako pravděpodobnou lokálně významnou strukturu. Zlom v údolí Markovky je porušen příčnými dislokacemi (**Z15**). Další struktura směru SV–JZ byla lokalizována v horninách moldanubika paralelně s okrajem třebíčského plutonu (**Z16**) sv. od Dolních Vilémovic a byla detekována na základě morfotektonické analýzy a přítomností zvodnění.



0 2,5 5 km

	EDU_Z
	EDU-Z2

1 - regionální významné poruchové zóny

2 - lokální významné poruchové zóny

3 - lokální méně významné poruchové zóny

Obr. 7: Schéma zlomů na lokalitě Na Skalním a v širším okolí v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu

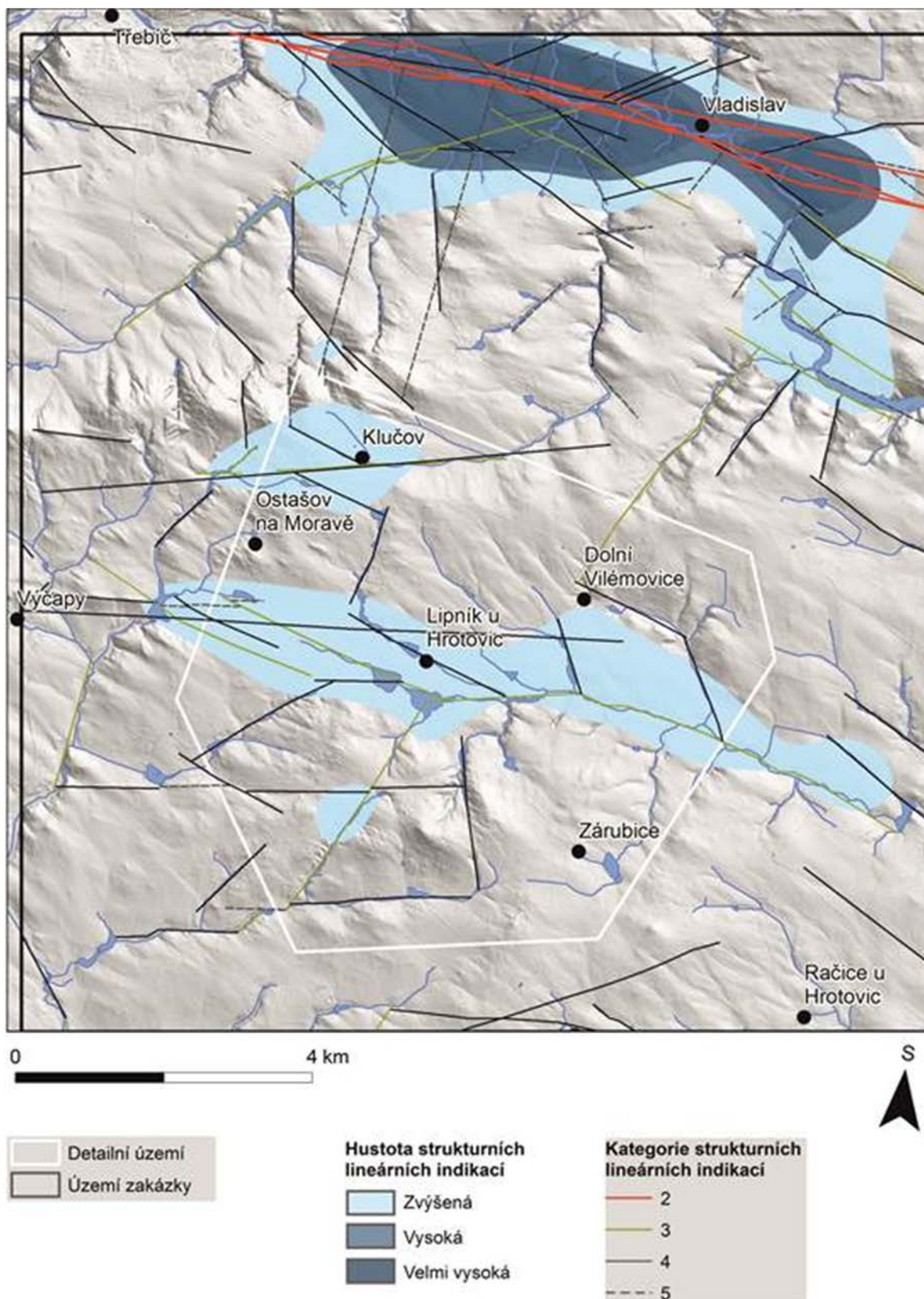
Morfotektonické zhodnocení zájmové lokality bylo provedeno na základě morfostrukturní analýzy digitálního modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G) a radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2 v rámci projektu „Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ EDU-západ“

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

(Hanžl et al. 2017). Validované lineární indikace byly následně klasifikovány do definovaných kategorií míry křehkého porušení (kategorie 1–5, Marek et al. 2005).

Rozložení strukturních lineárních indikací je nerovnoměrné. Jsou soustředěny především v severní a západní části území. Tomuto rozložení odpovídají i hustotní maxima strukturních lineárních indikací (Obr. 8). Oblast s velmi vysokou četností lineárních indikací se nalézá pouze v údolí řeky Jihlavy, v místě tektonické zóny třebíčského zlomu. Do detailního území zasahují dvě dílčí oblasti se zvýšenou hustotou strukturních lineárních indikací. Jedno se nalézá v okolí lipnického zlomu a druhé, menšího rozsahu, v okolí Klučova.

Ve zkoumaném území nebyla detekována jediná strukturní lineární indikace první kategorie (Marek et al. 2005). V morfologicky výrazném údolí řeky Jihlavy se nachází několik strukturních lineárních indikací 2. kategorie (Marek et al. 2005), které mají vazbu na strukturně složitou tektonickou zónu třebíčského zlomu. Geologickým a geomorfologickým průzkumem jsou dokladovány parametry 2. kategorie (Hanžl et al. 2017). Východním směrem tuto významnou strukturu doprovází soubor lineárních indikací 3. a 4. kategorie směru SZ–JV, které mají vazbu na ověřené nebo předpokládané zlomy.



Obr. 8: Klasifikované lineární indikace na lokalitě Na Skalním

(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. Bodové symboly reprezentují centroidy katastrů obcí.)

Další lineární indikace regionálního významu 3. kategorie se nalézají v prostoru lipnického zlomu. Prochází středem detailního území a je složena z kombinace relativně přímých linií směru ZSZ–VJV propojených strukturou směru V–Z. Zóna je velmi zřetelná na regionálních geofyzikálních mapách (Hrdličková et al. 2016) a levostranným až 1 km dlouhým posunem v. okraje třebíčského plutonu. V oblasti Klučova do detailního území také zasahuje lineární indikace 3. kategorie směru V–Z. Do detailního území zasahují ještě dvě lineární indikace směru SV–JZ řazené do 3. kategorie, které mají vazbu na zlomy ověřené geologickým výzkumem.

Svoji délkou výraznější zóna lineárních indikací 3. kategorie prochází údolím potoka Markovka. Jedná se o soubor lineárních indikací směru SV–JZ až VSV–ZJZ, které po geologickém mapování byly klasifikovány jako zóna průběhu pravděpodobného zlomu. Mimo detailní území se nalézají další tři lineární indikace směru SV–JZ řazené do 3. kategorie, které mají vazbu na ověřené zlomy. Struktury nižších řádů mají většinou vazbu na puklinové systémy, deformační foliace a výjimečně na ověřené zlomy lokálního významu.

B.1.1.3 Stupeň křehkého porušení - puklinové struktury

Puklinové systémy jsou na území zastoupeny hlavně systematickými extenzními puklinami (fraktury módu I), nesystematickými puklinami a také exfoliačními puklinami. Systematické pukliny jsou reprezentovány převážně subvertikálními puklinami a v malé míře také subhorizontálními puklinami. Nesystematické lokální pukliny jsou tvarově nepravidelné krátké plochy (do 1 m) s nízkou četností a odlišnou orientací (Hanžl et al. 2017).

Hustota puklin durbachitů třebíčského plutonu je rovnoměrná, u všech směrů je medián 2 pukliny do jednoho délkového metru. To svědčí o pravidelném rozpuštění horniny ve všech puklinových setech. Puklinový systém je v horninách třebíčského plutonu tvořen převážně subvertikálními extenzními puklinami a vykazuje poměrně homogenní distribuci jejich orientace. Lze v něm pozorovat dva hlavní puklinové sety průběhu SSZ–JJV a V–Z.

Hustota puklin v horninách moldanubika je značně směrově závislá. Nejvyšší hustota je v azimutu směru 120° s mediánem 6 puklin na metr. Dalšími směry se značným rozpuštěním jsou směry s azimutem 80° a 160° s 5 puklinami na délkový metr. Puklinová síť je v metamorfovaných horninách moldanubika definována výrazným dominantním setem sz.–jv. průběhu méně výrazným setem vz. průběhu.

B.1.1.4 Stupeň duktilní deformace

Stavby a struktury metamorfovaných hornin gföhlské skupiny moldanubika

Dominantními duktilními planárními stavbami v moldanubiku jsou metamorfní foliace. V rámci komplexu metamorfovaných hornin moldanubika lze vyčlenit dvě odlišné fáze deformačního a metamorfního vývoje shodně s širším okolím studované oblasti (např. Schulmann et al. 2008; Tajčmanová et al. 2010). Struktury relativně staršího stádia mají generelně strmou orientaci a průběh S–J až SV–JZ, zatímco na ně naložené mladší stavby zapadají spíše pod mírnými až středními úhly k JV. Starší metamorfní foliace má generelně vysokoteplotní charakter a je ve své původní orientaci zachována pouze lokálně, na většině území v různé míře rotována a modifikována nebo je zachována pouze reliktně ve formě izoklinálních až odškracených vrás v mladší foliaci.

Relativně mladší stavby vyvinuté v horninách gföhlské skupiny vznikly transpozicí původní vysokoteplotní stavby do ploch nové metamorfní foliace. Tvorba mladších subhorizontálních metamorfních staveb byla v granulitových rulách spojena s rozsáhlou rekrytalizací relativně starší minerální asociace. Tyto mladší metamorfní stavby jsou v horninách moldanubika na většině studovaného území dominantní, zatímco starší stavby původně subvertikální orientace jsou lokálně zachovány v doménách nižší intenzity deformace.

V rámci obou generací metamorfních folií jsou heterogenně vyvinuté metamorfní lineace převážně charakteru protažení křemen-živcových a biotitových agregátů často se sillimanitem. Metamorfní lineace jsou na celém studovaném území jednotně subhorizontální a mají sv.–jz. průběh.

Stavby durbachitů třebíčského plutonu

Z kontextu regionálního postavení třebíčského plutonu a odkryvů v severní části plutonu je zřejmý intruzivní styk s moldanubikem. Kontakty jsou lokálně maskovány mladšími zlomy. V údolí Jihlavy jsou v exokontaktu vyvinuty leukokratické migmatity až aplity a v endokontaktu je několik metrů mocná poloha okrajového typu durbachitu s xenolitem migmatitu.

V durbachitech jako dominantním horninovým typu třebíčského plutonu byly zjištěny dvě odlišné generace staveb souvisejících s magmatickým stadiem vývoje třebíčského plutonu. Magmatické stavby v durbachitech jsou definované především přednostní prostorovou orientací živcových vyrostlic, ale i orientací zrn biotitu a amfibolu v základní hmotě, a jsou také často zvýrazněny přednostní orientací eliptických mafických enkláv. Obě magmatické stavby mají většinou velice podobný charakter, nicméně relativně mladší stavby místy přecházejí do tranzitní metamorfní foliace. Kromě tohoto lokálně odlišného charakteru se tyto dvě na sebe naložené stavby vzájemně liší především orientací, starší jsou subvertikální generálně sj. průběhu, mladší jsou subhorizontální.

Na studovaném území vystupují také žilná tělesa aplitů, pegmatitů a žilného křemene, která mají průběh převážně směrů V–Z nebo SV–JZ a strmou orientaci. Jejich rozšíření je v rámci území heterogenní, mocnosti jsou maximálně v prvních metrech. Vnitřní stavby v žilných tělesech mají převážně magmatický charakter.

B.1.1.5 Geologický vývoj

Moldanubikum reprezentuje podle Žáka et al. (2011) hluboce erodovanou střední kůru s tektonicky vmístěnými bloky hornin metamorfovanými v granulitové facii a doprovázené útržky hornin zemského pláště. Tato část reprezentuje spodní kůru a je známa jako gföhlská jednotka (Fuchs 1976). Protolit hornin moldanubika se vyvíjel v oblasti severního okraje Gondwany v průběhu svrchního proterozoika až pozdního paleozoika (Kröner et al. 1988; Friedl et al. 2000; Pertoldová et al. 2014; Košler et al. 2014). Dominujícím horninami, ze kterých se vyvinuly metamorfované horniny moldanubika, byly siliciklastické sedimenty doprovázené lokálně pestrými vložkami (vápence, kvarcity, vulkanické horniny). Za protolit granulitů jsou považovány ordovické a devonské granitoidy (Janoušek et al. 2004; Kusbach et al. 2015).

S variským vývojem byla spojena HP-HT metamorfóza moldanubických spodnokorových hornin za podmínek stanovených v granulitech, peridotitech a eklogitech. Poté následovala rychlá exhumace do podmínek střední až svrchní kůry spojená s HT–LP retrogradní metamorfózou v podmínkách amfibolitové facie s rozsáhlou anatexí a duktilní deformací.

Ultradraselné plutonity moldanubika jsou prostorově, strukturně a časově spjaté s granulity (Schulmann et al. 2009) a intrudovaly v období 340–335 Ma (pro přehled Janoušek a Holub 2007). Post-tektonické granity reprezentované především moldanubickým plutonickým komplexem intrudovaly v období 331–323 Ma (např. Schulmann et al. 2009; Žák et al. 2011) v zájmovém území nevystupují. Tento časový vývoj potvrzují i nově získaná radiometrická data (Hanžl et al. 2017).

Podle Schulmanna et al. (2009) jsou s vysokotlakou metamorfózou spojeny strmé SSV–JJZ orientované stavby (stáří 350–340 Ma) vyvinuté během V–Z komprese. Věk mladších plochých staveb, vzniklých v důsledku plochých násunů k SV doprovázených prstovitými intruzemi durbachitů, spjatých se středně až nízkotlakou, vysokoteplotní metamorfózou, je ~335 Ma. V závěru variské orogeneze vznikly na východním okraji Českého masivu SSV–JJZ orientované mylonitové struktury. Na západ od třebíčského plutonu je to přibyslavská mylonitová zóna křehce-duktilního charakteru, v. od třebíčského plutonu leží mohelenská mylonitová zóna.

V období od ukončení variské orogeneze po současnost došlo k systematické denudaci Českého masivu. Během oligocénu, v období tektonického klidu, se utvořil zarovnaný povrch (Balatka et al. 2000). Za produkty paleogenního lateritického zvětrávání jsou považovány reziduální jíly s opály zjištěné u Třebíče-Boroviny, případně i na dalších lokalitách (Trnka 1981). Do tohoto období či do spodního neogénu lze zařadit i vznik četných písčitých až jílovitopísčitých eluvií běžných na třebíčském plutonu i moldanubiku. Výskyty kenozoických sedimentů odráží především vývoj říční sítě na jv. okraji Českého masivu. Souvislejší pokryv mořskými neogenními sedimenty leží především dále na jih a jihovýchod.

K časovému zařazení vývoje zlomových systémů schází relevantní data. Z interpretace relativních vztahů v mapě se jako nejstarší jeví některé zlomové struktury SV–JZ a V–Z průběhu, mladší jsou pak zlomy SZ–JV až ZSZ–VJV průběhu. Podle korelace s podobnými strukturami na východním okraji Českého masivu jsou SZ–JV orientované systémy paralelní se zlomy tzv. sudetského směru. Mezi nimi např. soustavu zlomů mezi Tišnovem a Kuřimí se zakleslou severní krou považovali Petrová et al. (2001) na základě pozice otnangských a badenských sedimentů za pobadenské. Pliocenní až pleistocenní reaktivaci podloží mezi třebíčským a jaroměřickým zlomem předpokládal na základě výskytu různě mocných vltavínových štěrků Rejl (1980). Recentní tektonická aktivita je doložena na diendorfském zlomovém systému průběhu SSV–JJZ v Rakousku (např. Lenhardt et al. 2007).

B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností

B.1.2.1 Prostorová variabilita

Třebíčský pluton tvořený durbachity zaujímá největší část průzkumného území lokality EDU-Z, tj. oblasti, do které by bylo v případě výběru této lokality situováno HÚ RAO. Litologicky je složen z několika variet durbachitů, kdy dominuje hrubě zrnitý porfyrický melanokratický granit až syenit a ostatní variety v něm tvoří malé čočky s přechodnými hranicemi. V durbachitech se v menší míře v celém modelu vyskytují drobné žíly granitů, leukogranitů a aplitů ~ V–Z směru, které byly vzhledem k malým rozměrům částečně ignorovány. Absence hlubokých vrtů v celém území EDU-Z2 a variabilita hustot durbachitů třebíčského plutonu neumožňují přesné stanovení jeho hloubky pod současným povrchem. Leichmann et al. (2016) předpokládá velmi malý hloubkový dosah masivu, který by v jeho jižní polovině (kromě oblasti Klučovské hory) neměl být hlubší než cca 1200 m. Také nově vytvořené

gravimetrické 2D řezy (Sedlák et al. 2017) využitě pro tvorbu 3D strukturně geologického modelu lokality jsou v souladu s názorem, že se jde o relativně mělce založené ploché deskovité těleso. Dle výsledků těchto gravimetrických modelů byl pluton ve výsledném modelu protažen těsně nad úroveň báze modelu v hloubce 1,5 km.

Východní i západní hranice plutonu je charakterizována intruzivním kontaktem s metamorfovanými horninami moldanubika, které dle předpokladů zapadají pod středními až strmými úhly směrem do tělesa plutonu, a je z části zlomově modifikována. Na západě může být i prstovitého charakteru.

V případě monotónní skupiny moldanubika v západní části modelu a gföhlské jednotky ve východní části modelu byl respektován průběh foliací z nově provedených terénních prací a z archivních podkladů (GeoČR 50) a dále průběh horninových těles v interpretativních geologických řezech nově zkonstruovaných v území EDU-Z (Hanžl et al. 2017). Hranice těchto jednotek i průběh jednotlivých těles do hloubky jsou tedy konformní s převažující SV–JZ orientací duktilních staveb. Jednotlivé variety migmatitů do sebe přecházejí. Anatektické granity západně od třebíčského plutonu jsou konformní s plochou metamorfní foliací. Ostré hranice s okolními horninami mají serpentinity, tvar těles a jejich výskyt do hloubky nelze predikovat.

Celé území modelu je protínáno větším množstvím zlomů a zlomových zón. V území EDU-Z mají tyto zlomy sklon přejatý z interpretativních geologických řezů (Hanžl et al. 2017). Sklon těchto zlomů byl respektován i v širším území EDU-Z2, další zlomy v území EDU-Z2 byly modelovány dle převažující orientace subparalelních blízkých zlomů a s přihlédnutím k orientaci mezoskopických zlomů dokumentovaných na výchozech v blízkém okolí. Pokud tyto údaje nebyly k dispozici, pak byly zlomy interpretovány konvenčně jako vertikální.

B.1.2.2 Petrologická variabilita

Metamorfované horniny moldanubika

Metamorfované horniny polygonu EDU-Z reprezentují drosendorfskou a gföhlskou skupinu moravského moldanubika. Výskyty hornin jednotvárné skupiny jsou plošně nepřilíhající rozsáhlé v západním okraji polygonu. Převažujícími horninami jednotvárné skupiny jsou v zájmovém území migmatitizované biotitické pararuly přecházející až do perlových rul.

Horniny pestré skupiny, které lemují na území polygonu EDU-Z třebíčský pluton na V a J tvoří sérii migmatitů a rul v různých, navzájem přechodných stádiích migmatitizace od stromatitických přes pokročilé nebulitické, oftalmické migmatity až po anatektické granitoidní typy hornin. Kromě těchto migmatitů lze rozlišit i tzv. gföhlské ruly (migmatity ortorulového vzhledu) a granulitové ruly s polohami granulitu. V malé míře se objevují vápenatosilikátové horniny doprovázející migmatit a serpentinity.

Migmatitizovaná biotitická pararula až perlová rula (drosendorfská jednotka)

Uvedené horniny se v polygonu vyskytují především při západním okraji třebíčského plutonu u Štěpánovic. Horniny jsou drobně zrnité, většinou páskované, v menší míře očkaté, šedé až tmavě šedé. Jejich minerální složení je poměrně fádňité – sestávají z křemene, plagioklasu, draselného živce a biotitu, výjimečně (v této oblasti) v nich lze nalézt sillimanit nebo granát a vzácně cordierit.

Migmatity a migmatizované „gföhlské ruly“

Jedná se o širokou skupinu hornin navzájem do sebe přecházejících bez zřetelných ostrých kontaktů. Variabilita migmatitů se projevuje především v míře natavení a rekrystalizace, texturách a zrnitosti, přičemž minerální složení je relativně homogenní a tvoří je převládající draselný živec, plagioklas o složení oligoklasu a křemen, v menší míře je přítomen biotit, v některých případech sillimanit, vzácněji granát. Do uvedené skupiny hornin byly zahrnuty i tzv. gföhlské ruly jejichž minerální složení se od ostatních uvedených migmatitových typů výrazně neliší (obvykle je přítomen granát), míra migmatizace je většinou nižší.

Granulit a granulitová rula

Vzájemné přechody mezi horninami studované části moldanubika se objevují i v granulitových horninách, kde granulity plynule přecházejí do granulitových rul, leukokratních ortorul, místy migmatizovaných až do migmatitů. Granulitové ruly s relikty granulitu jsou světlé, bílošedé nebo okrově šedé horniny, často kostičkovitě rozpadavé, lze v nich pozorovat deformační stavby a usměrnění. Jsou složeny z křemene, živců, přičemž draselné živce a plagioklasy jsou zastoupeny zhruba ve stejném poměru, biotitu, granátu, běžně se vyskytuje sillimanit, v menší míře může být reliktně zachovaný kyanit.

Vložkové horniny

Serpentinity tvoří v zájmovém území jen velmi malá, zato zřetelně vymezená tělesa s ostrými kontakty. Jedná se o masivní horniny černošedé barvy, většinou bíle ovětrávající. V minerálním složení dominují serpentínové minerály nad původní, jen reliktně zachovalou, asociací pyroxen, olivín.

Vápenatosilikátové horniny tvoří drobné čočky a polohy s nezřetelnými rozplývavými hranicemi vůči hostitelským migmatitům v oblasti kolem Zárubic. Horniny jsou světlešedé, středně zrnité, často páskované. Tvoří je především živec, přičemž draselný živec převažuje nad plagioklasem, křemen, a pyroxen.

Intruzivní horniny

Geologické podloží převážné části území lokality Dukovany-západ je tvořeno magmatickými horninami třebíčského plutonu. V převážné většině se jedná o tzv. durbachity – syenitové horniny s vysokými obsahy draslíku a hořčíku, které jsou produktem mísení plášťových a korových magmat během exhumace vysoce metamorfovaných hornin moldanubika. V těch se v menší míře objevují tělesa granitů. Nejmladším členem magmatické řady intruze třebíčského plutonu jsou žilné granity a pegmatity.

Durbachity

Vyskytují se v třebíčském plutonu v několika texturních a geochemických varietách. Nejhojněji zastoupeným typem je hrubě zrnitý porfyrický amfibol-biotitický melagranit až melasyenit. Jedná se o charakteristickou černošedou horninu se světlými vyrostlicemi draselných živců o velikosti až prvních centimetrů, v minerálním složení „základní hmoty“ dominují draselné živce, amfiboly a biotit, v menší míře se objevuje plagioklas. Křemen je podružný, akcesoricky běžně přítomné jsou apatit, titanit, ilmenit a zirkon.

V této hlavní hornině se lokálně vyskytují většinou nemapovatelné (první metry až první desítky metrů) domény středně až hrubě zrnitých biotitických granitů až syenitů. Tyto horniny většinou (ne vždy) postrádají charakteristickou porfyrickou stavbu, zpravidla mívají zřetelně nižší zastoupení tmavých minerálů, amfibol může zcela chybět a mívají vyšší obsahy křemene než předchozí zmíněný typ. Hranice mezi oběma jsou přechodné.

Třetím durbachitovým typem zastoupeným v třebíčském plutonu v rámci zájmového polygonu je tzv. okrajová facie durbachitu. Vyskytuje se v neprůběžných pruzích při jv. okraji třebíčského plutonu. Hranice s hrubě zrnitými a porfyrickými durbachity je přechodná, hranice s moldanubikem je na Jirkasově mlýně ostrá, ale v Dolních Vilémovicích jde pravděpodobně o vzájemné, litologicky oddělené prstovité zastupování. Durbachit okrajové facie jsou horniny šedé barvy, stejnoměrně zrnité případně nevýrazně porfyrické. Hlavními minerály jsou plagioklas, K-živce, křemen, biotit, akcesoricky se vyskytují ilmenit a titanit.

Granodiorit

Tvoří v durbachitech žíly protažené ve směru SZZ–JVV a nepravidelně oválná tělesa o rozměrech prvních metrů až prvních stovek metrů. Hranice s durbachity jsou ostré, ale v plochem terénu je v písčitém detritu nelze přesně určit. Světlé šedé až šedobílé či světle okrové biotitické granity jsou drobně až středně zrnité, většinou bez zřetelné přednostní stavby. Jejich minerální složení zahrnuje plagioklas, draselný živec, křemen a biotit.

Žilné horniny

Turmalinický granit tvoří vývhodozápadní žílu v lokalitě Brda, pokračující na západ k Výčapům. V mapě i morfologicky se zdají být kontakty s durbachity ostré, ve starém lůmku u vodní nádrže Brda je však zachováno vzájemné pronikání durbachitů s granity. Jedná se o nápadnou světlou až bílou drobně tmavě skvrnitou (turmalín) horninu o složení K-živce, plagioklas, křemen ± turmalín ± muskovit ± biotit.

Pegmatity a aplity tvoří v rámci polygonu většinou jen drobné, maximálně první metry mocné žíly.

B.1.2.3 Geochemická variabilita

Území lokality EDU-Z je tvořeno dvěma kontrastními litologickými členy – migmatitizovanými horninami moldanubika a syenitovými horninami třebíčského plutonu. Z pohledu geochemického lze horniny podílející se na stavbě území lze rozdělit do tří skupin:

- migmatity a migmatitizované ruly moldanubika včetně gföhlských rul;
- syenity a durbachity třebíčského plutonu;
- peraluminické granitoidní intruze.

Originální data jsou dostupná ve zprávě Hanžl et al. (2017).

Migmatity a migmatitizované ruly moldanubika

Horniny jsou kyselé s obsahy $\text{SiO}_2 = 69,3\text{--}76,2$ hm. %). Podle P–Q klasifikace Debona a Le Forta (1983) jde o granity v případě gföhlských a granulitových rul, horniny v širší škále od granitu po granodiorit v případě migmatitů. Horniny jsou peraluminické.

Migmatity mají mírně zvýšenou maficitu a relativně vysoké obsahy prvků jako Fe, Mg, Ti, Al a Ca. Typická je převaha K nad Na. Naproti tomu gföhlské ruly a retrográdně postižené granulity jsou silně nabohacené litofilními prvky (hlavně alkáliemi, Th a U). Jak migmatity, tak gföhlské ruly a granulity vykazují výraznou negativní Eu anomálii.

Durbachity třebíčského plutonu

Durbachitové horniny jsou převážně intermediální ($\text{SiO}_2 = 48,7\text{--}68,7$ hm. %) a metaluminické, všechny typy jsou melanokráttní, bohaté železem, a zvláště pak hořčíkem ($\text{FeO}t = 1,96\text{--}9,32$ hm. %, $\text{MgO} = 2,41\text{--}14,1$ hm. %, $\text{mg}\# = 60,1\text{--}79,6$). Podle klasifikačních

schémat Coxe et al. (1979) a Debona a Le Forta (1983) jde o křemenné syenity až melagranity.

Charakteristické jsou pro studované horniny vysoké obsahy K_2O (4,4–7,3 hm. %) a jeho silná převaha nad Na_2O (0,7–3,0 hm. %) Drtivá většina analýz tak splňuje definici ultradraselných hornin Foleyho et al. (1987).

Durbachitová série je bohatá tranzitními kovy (Cr, Ni, Co, Sc), horniny navíc vykazují silné nabohacení litofilními prvky (alkáliemi: Cs, Rb, K, dále pak Th + U a Pb). Uvedené charakteristiky dokládají, že část zdrojového magmatu měla korové složení, zatímco vysoký obsah MgO indikuje plášťovou komponentu zdrojových magmat.

Peraluminické granitoidní intruze

Skupina granitoidních intruzí je – ve srovnání s leukogranitovými žilami – poměrně variabilní ($SiO_2 = 70,0–74,5$ hm. %). Podle P–Q klasifikace Debona a Le Forta (1983) jde o granity až (vzácné) granodiority. Uvedené horniny mají mírně až středně peraluminický charakter. Některé jsou leukokráttní, typická je také převaha K nad Na. Vzory vzácných zemin vykazují variabilní normalizované obsahy LREE i HREE (LuN = 2,5–21). Míra nabohacení LREE oproti HREE je různá a také Eu anomálie se mění od hluboké negativní po silně pozitivní.

Serpentinity se svým složením s minimálním obsahem SiO_2 a vysokým MgO zcela vymykají.

B.1.2.4 Stupeň alterace hornin a minerálů

Durbachity třebíčského plutonu obecně představují vcelku homogenní horninové prostředí. Homogenita samotné plutonické horniny je však místy narušována žilami leukokratických granitů až aplopegmatitů, vyskytujících se v celém zájmovém území ve velikostech jednotek až prvních tisíců metrů. Hloubkový dosah těchto žil nebyl ověřen, lze však předpokládat že prostupují celý objem zájmového horninového masivu s podobnou četností jako na povrchu.

V moldanubiku je nejvýznamnější nehomogenitou křemenná žíla a těleso serpentinitu jv. od Dolních Vilémovic.

V moldanubických horninách jsou alterační procesy poměrně málo rozšířené a projevují se pouze na minerální úrovni. Nejčastější je rozpad tmavých minerálů, biotitů za vzniku Fe-oxidů či živců na jílové minerály. Kaolinizace je nečastější u zvětralých gřfolských rul. Z hlediska případné změny materiálových vlastností horniny jsou tyto alterace nevýznamné.

Horniny třebíčského plutonu jsou zpravidla alterovány obdobným způsobem, výjimkou jsou rozsáhlé alterační zóny vázané na třebíčský zlom, v rámci polygonu byl tento jev pozorován v okolí Vladislavi. Durbachity byly v tomto případě alterované velmi intenzivně, tmavé minerály byly téměř kompletně přeměněny na chlorit, živce sericitizované nebo přeměněné na jílové minerály. Tento proces se výrazně odrazil i v celohorninové geochemii příslušného vzorku. Kolem lipnického zlomu nebyly druhotné alterace pozorovány, pouze na drobných dislokacích se objevily křemenné výplně.

B.1.3 Dostupnost dat

B.1.3.1 Množství, kvalita a dostupnost archivních dat

Aplikovatelnost metod geologického výzkumu je založena na rešerši dostupných archivních dat o širším území vymezené lokality EDU-Z. Ucelený přehled archivních materiálů je obsažen v technické zprávě Hrdličkové et al. (2016). Kompletní geologický popis lokality

EDU-Z podávají zprávy projektu „Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ – EDU západ“ Hanžla et al. (2017) a Hanžla et al. (2018) včetně příloh.

B.1.3.2 Aplikovatelnost standardních geologických metod

Z hlediska aplikovatelnosti standardních metod geologického výzkumu se území jeví jako vhodné jak vzhledem k jeho osídlení, přístupnosti, geologické stavbě, tak k jeho geomorfologickým podmínkám. Území je podrobně charakterizována ve zprávě Krajíčka et al. (2018).

Osídlení v rámci polygonu má výhradně venkovský charakter. Všechny obce na území polygonu měly k 31. 12. 2016 méně než 500 obyvatel. Území je snadno přístupné silnicemi II. a III. třídy a soustavou lesních a polních cest. Krajina zájmového území má leso-zemědělský charakter. V mírně zvlněném reliéfu s malým převýšením, který je rozčleněn zpravidla mělkými a široce otevřenými údolími vodních toků, dominují zalesněné masivy Klučovské hory (595 m n. m.) na severozápadě a Na Skalním (556 m n. m.) v jižní části polygonu. Lesní porosty se kromě několika izolovaných enkláv významněji uplatňují už pouze v pásu pravobřežního svahu údolí Rouchovanky.

Mimo vlastní polygon je zřetelné zahloubení lokálních toků směrem do údolí Jihlavy, kde je možné dobře studovat geologický charakter oblasti. Četnost skalních výchozů je relativně dobrá, výskyt výchozů je však nerovnoměrný. Exogenní procesy způsobují zvětrávání krystalinických hornin. Zvětralá zóna obvykle nepřesahuje hloubku prvních metrů, podél zlomových zón je však zřetelně vyšší. Toto zvětrání má zcela nepravidelný průběh ve vertikálním i v horizontálním směru. Rozsah a mocnosti kvartérních sedimentů jsou malé. Svahové deformace jsou zanedbatelné. Na základě těchto faktů lze na území provádět podrobný geologický výzkum a průzkum standardními metodami.

B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality

Zájmové těleso třebíčského plutonu je z litologického pohledu složení poměrně homogenní. Dominantně ho tvoří porfyrický amfibol-biotitický melagranit až melasyenit (durbachit), místy s přítomností mafických mikrogranulárních enkláv. Na lokalitě se v suitě durbachitových hornin vyskytují dále granity až syenity a žilné granity. Geochemická variabilita durbachitů je z hlediska popsání a predikovatelnosti nevýznamná, petrografické rozdíly v durbachitech se projevují hlavně v texturních znacích.

Na základě gravimetrických modelů (Leichman et al 2016; Sedlák et al. 2017) lze odhadnout hloubku třebíčského plutonu v jižní části na 1000 m, na severu v oblasti Klučovské hory až na 2500 m.

Intruzivní kontakty plutonu mají planární charakter. Na V je kontakt při povrchu subvertikální, případně lehce ukloněný k SZ a zlomově modifikovaný. Na Z není vztah třebíčského plutonu s moldanubikem plně interpretovatelný, na několika místech nelze vyloučit laločnatý charakter.

V–Z orientované žíly granitu reprezentují nejvýraznější litologickou nehomogenitu uvnitř třebíčského plutonu v centrální části území. Už z podstaty je složení moldanubika výrazně komplikovanější, kdy podrobné mapování rozlišilo pět typů migmatitů s litologicky kontrastními tělesy serpentinitů, eklogitů a granulitových rul.

Z pohledu křehké tektoniky je lokalita výrazně tektonicky postižena. Zjištěny byly tři hlavní systémy zlomových struktur. Zlomové struktury relativně čtenějšího výskytu a významu probíhají ve směru ~V–Z. Prostorová distribuce těchto zlomů je poměrně rovnoměrná. Druhou skupinu tvoří zlomy probíhající ve směru ~S–J s dominantním výskytem v jižní části území. Třetí skupinu tvoří 2 zlomy SZ–JV směru v severní části území.

Strukturně geologická data z hlubších částí tělesa v zájmovém území nejsou k dispozici a orientace zlomů lze jen odhadovat na základě vzácných terénních indikací a průběhu struktury v terénu. Dominantním směrem je trend SSZ–JJV reprezentovaný lipnickým zlomem, který je paralelní s údolím Roučovanky. Další zlomy směru SZ–JV a SV–JZ mají pouze lokální charakter. Strukturně geologická data z hlubších částí tělesa v zájmovém území nejsou k dispozici a orientace zlomů lze jen odhadovat na základě vzácných terénních indikací a průběhu struktury v terénu. Dominantním směrem je trend SSZ–JJV reprezentovaný lipnickým zlomem, který je paralelní s údolím Roučovanky. Další zlomy směru SZ–JV a SV–JZ mají pouze lokální charakter.

Na základě nových terénních dat byl sestaven detailní 3D model (závěrečná zpráva Hanžl et al. 2018), jehož popsání a predikovatelnost z hlediska geologické stavby je souhrnně popsána v kapitole B.1.1. Homogenní bloky na lokalitě byly navrženy mezi lokální zlomy.

Z již provedených terénních prací lze určit dominantní puklinové systémy ve zkoumané oblasti, avšak predikce jejich změn do hloubky je bez provedení vrtných prací doplněných např. o podrobnou karotáž nebo ideálně průzkumu v důlních a štolových dílech nejistá (Lexa a Schulmann 2016). Strukturní data sesbíraná na povrchu a jejich matematická extrapolace nicméně přináší reálný obraz o podobě a hustotě puklinových systémů v přípovrchové zóně zkoumaného masivu a není chybou předpokládat výskyt puklin podobných orientací i ve větší hloubce, kde se však může dominance a hustota jednotlivých systémů puklin měnit.

Puklinový systém je v horninách třebíčského plutonu tvořen převážně subvertikálními extenzními puklinami a vykazuje poměrně homogenní distribuci jejich orientace. Lze v něm pozorovat dva hlavní puklinové sety průběhu SSZ–JJV a V–Z. Puklinová síť je v metamorfovaných horninách moldanubika je definována výrazným dominantním setem sz.–jv. průběhu méně výrazným setem v.–z. průběhu. Rozpukání moldanubika je třikrát hustší (~6 puklin/m) nežli v třebíčském plutonu (~2 pukliny/m).

Běžně pozorované alterace u minerálů a přípovrchové zvětrání hornin nemají na homogenitu horninových bloků vliv. Výraznější alterace byly zjištěny pouze podél třebíčského zlomu v nejsevernější části širší lokality.

Krasové jevy se ve studovaném území nevyskytují.

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)	2
Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Stupeň duktilní deformace (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Možnost vytvoření komplexního prostorového modelu geologické stavby (1 - nejlepší až 5 – nejhorší)	2
Variabilita vlastností	
Prostorová variabilita horninového prostředí (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Petrologická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Geochemická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Stupeň alterace hornin a minerálů (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
Dostupnost dat	
Množství, kvalita a dostupnost archivních dat (1 - nejlepší až 5 - nejhorší)	2
Aplikovatelnost standardních geologických metod	2

Pokud vyhodnotíme všechny výše uvedené podklady, lze konstatovat, že na základě všech dostupných dat zpracovaných v kapitole B.1. „Geologické charakteristiky“ nebyla na základě dostupných archivních dat zjištěna vylučující kritéria pro umístění HÚ.

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 popsateľnosti 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 Tato kapitola je zpracována na základě informací uvedených v zprávě 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).

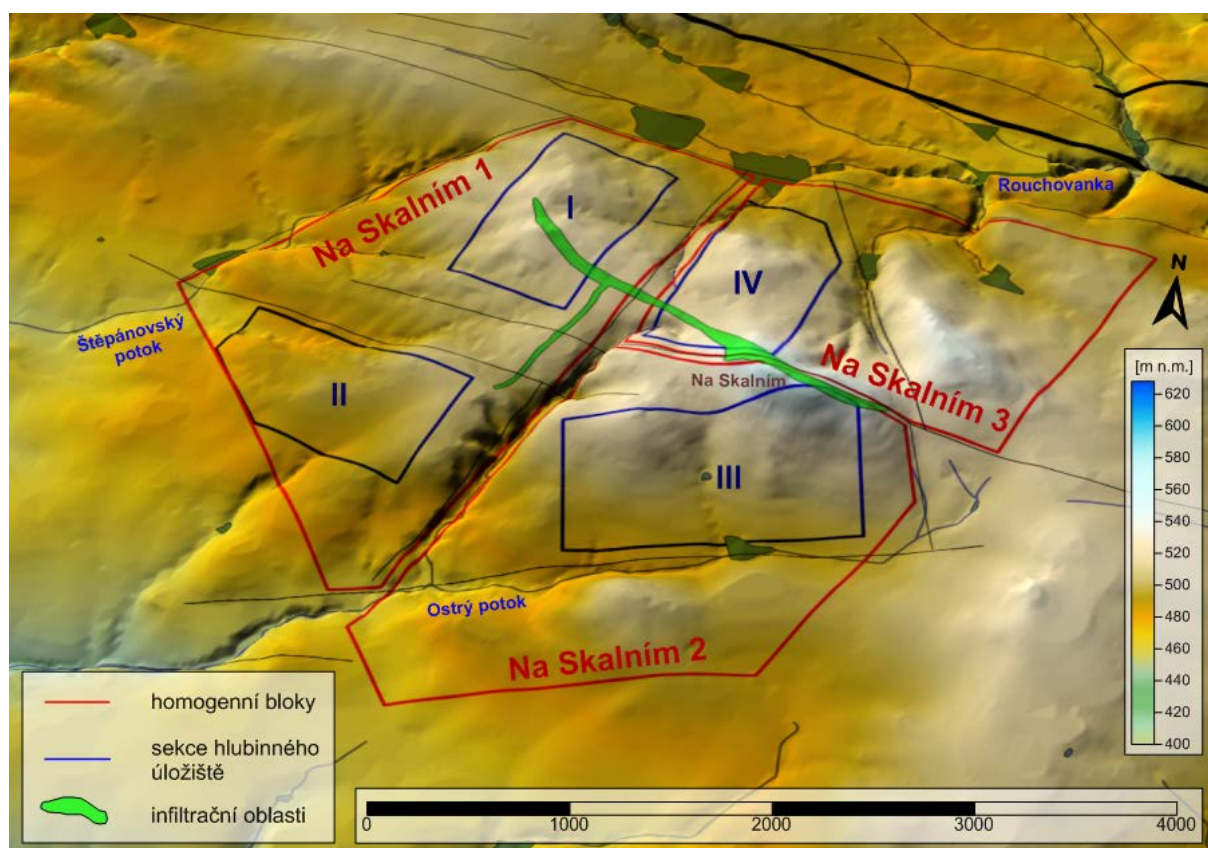
Popis transportu radionuklidů vzdáleným polem byl proveden s využitím:

- techniky particle tracking (vypočtena je průměrná postupová doba nereagující nesorbující látky),

- 3D transportního modelu MODFLOW-USG, FEFFLOW a FLOW 123D

Sekce úložného prostoru projektovaného HÚ jsou situovány do tří homogenních bloků, přičemž v západním bloku (Na Skalním 1), který má největší rozlohu, se nachází dvě sekce. Vymezené homogenní bloky se z hlediska reliéfu oblasti nachází v prostoru vyvýšeného území granitového tělesa. Infiltrační oblasti plochy vymezené homogenními bloky v hloubce cca 500 m pod terénem (střední úroveň 20 m n.m.) se tak pravděpodobně nachází přímo na terénu bloků a v jejich blízkém okolí. Infiltrační oblasti pro plochu HÚ, vymezené hydraulickým modelem pomocí metody particle tracking, jsou vyznačeny na mapě reliéfu na Obr. 9. (Havlová et al., 2018b).

Infiltrační plochy prostoru HÚ se rozkládají od vrchu Na Skalním na hřbetních partiích terénu nad homogenními bloky. Pravděpodobné infiltrační oblasti potenciálního HÚ se tedy nachází mimo vodohospodářsky využívaná území.



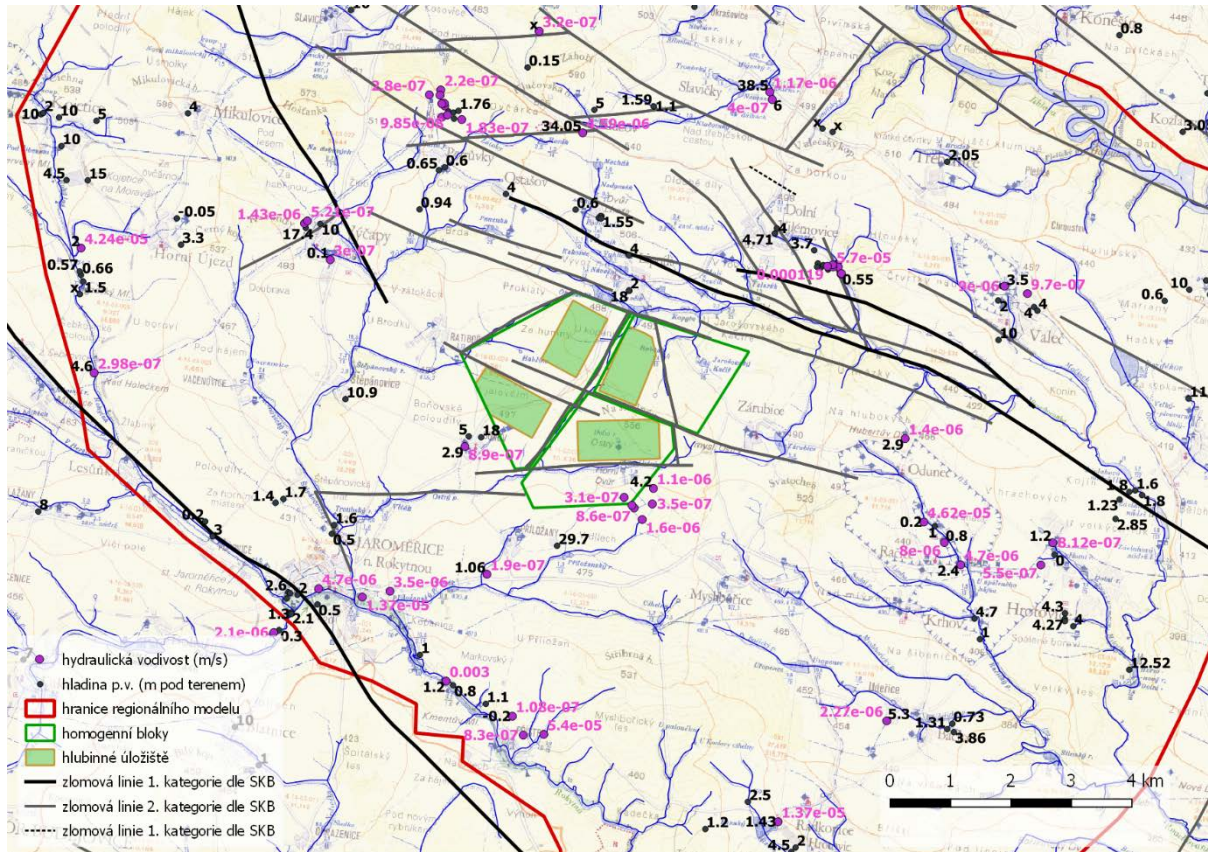
Obr. 9: Mapa reliéfu lokality Na Skalním s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ

B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště

Jevy jako zvodně či zvodnělé zlomové zóny představují možné cesty pro únik radionuklidů do životního prostředí. Takovéto cesty by měly být vyloučeny či maximálně omezeny při umístění hlubinného úložiště. Umístění úložiště by mělo být optimalizováno tak, aby pohyb vody v izolační části úložiště byl co nejmenší. V současné době bez znalostí vlastností lokalit z hloubek úložiště je možno určit přítomnost zvodní či zvodnělých zlomových zón v izolační části pouze na základě analýzy klimatických, hydraulických a hydrogeologických poměrů v lokalitě.

Podle hydrogeologické rajonizace, která byla uvedena v platnost Vyhláškou č. 5/2011 Sb., je na území lokality Dukovany-západ vymezen hydrogeologický rajon základní vrstvy 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy.

Malému vodárenskému významu různých horninových typů moldanubika a třebečského plutonu, které formují tzv. hydrogeologický masiv, odpovídá poměrně nízká a velmi nerovnoměrná hydrogeologická prozkoumanost zájmového území (Obr. 10)



Obr. 10: Pozice lokality Na Skalním, homogenních bloků a hydrogeologických údajů v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS.

Svrchní zvodeň rychlého mělkého lokálního oběhu vzniká v prostředí kvartérních sedimentů a zvětralinového pláště. Hlubkový dosah zvodně je řádově do 10 až 20 metrů. Pro mělký oběh je typická rozkolísanost hladin podzemní vody v závislosti na srážkových úhrnech. Hydraulická vodivost hornin se zde pohybuje v rozsahu řádů 10^{-7} až 10^{-5} m.s⁻¹.

Spodní hlubší zvodeň je vázaná na puklinové prostředí pevných hornin a její hlubkový dosah zpravidla nepřekračuje 100 m. K drenáži zóny hlubšího oběhu dochází v úrovni hlavních drenážních bází nebo na svazích jejich údolí, a to často skrytě do nadložních kvartérních sedimentů a zvětralinového pláště. Prameny odvodňující hlubší oběh podzemních vod mají stabilnější vydatnosti a často jsou vázané na vodivé tektonické poruchy. Hydraulická vodivost puklinového prostředí tohoto kolektoru je v rozmezí řádů 10^{-8} po 10^{-7} m.s⁻¹.

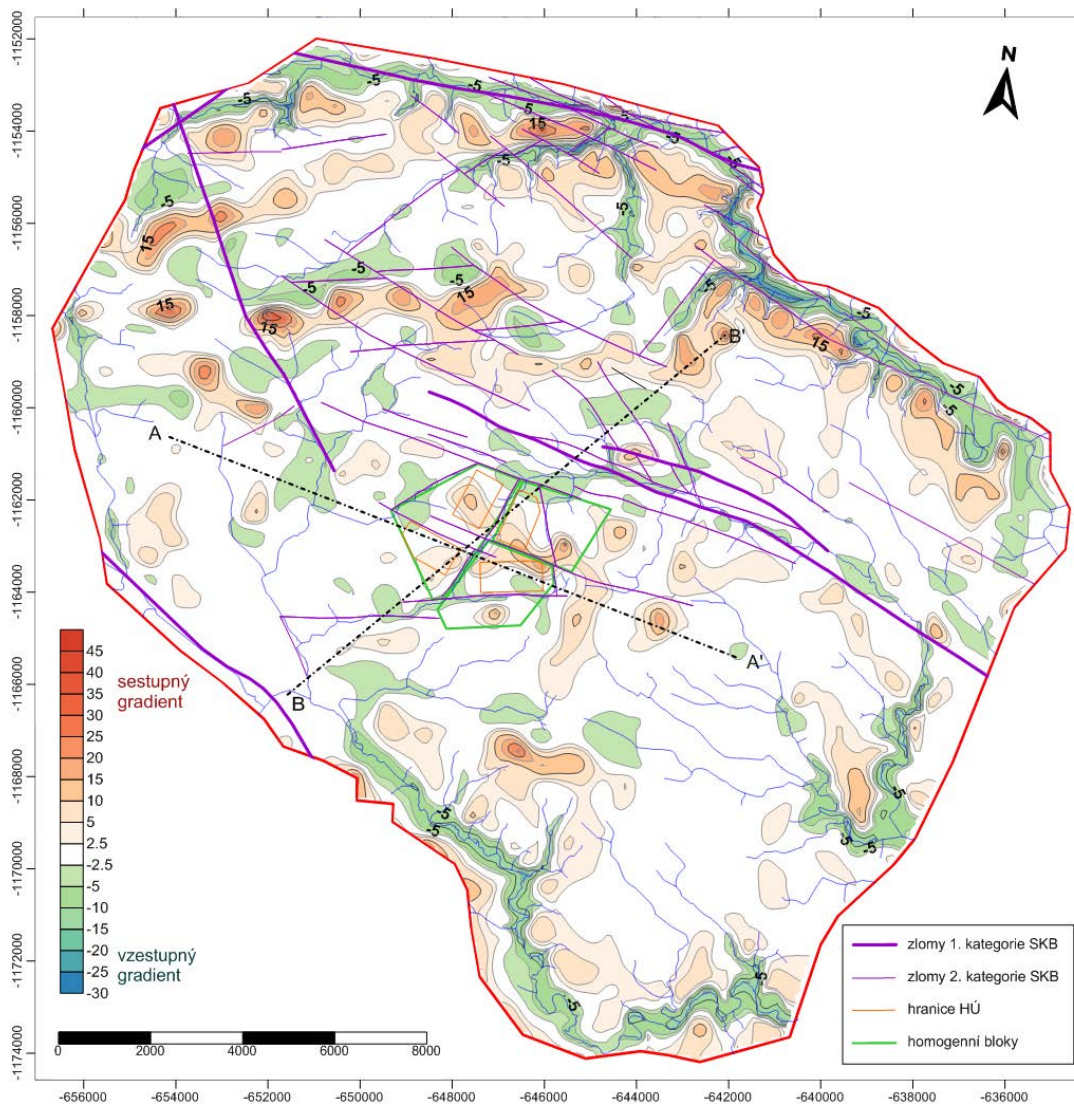
V hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma o tři až pět řádů nižší než v přípoверхové zóně rozvolnění puklin a nelze předpokládat, že zde bude souvislá zvodeň.

B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu

V konceptu modelu proudění byl přijat předpoklad volné hladiny podzemní vody v připovrchové vrstvě relativně mělce pod terénem. Od tohoto předpokladu se odvíjí rozložení tlakového pole v celé modelové oblasti. 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.

Obr. 11 dokumentuje rozdíl modelové hladiny v připovrchové vrstvě a hladiny ve vrstvě odpovídající úrovni úložiště. Ze zobrazení je patrné, že zóna sestupného proudění (kladný rozdíl hladin) je soustředěna do vrcholových partií území. Oblasti se záporným vertikálním tlakovým gradientem (vzestupným prouděním) se nachází v místech nižší elevace terénu, zejména v okrajových částech homogenních bloků. Další oblast záporného tlakového gradientu tvoří zaříznutá údolí Ostrého potoka a jeho bezejmenného přítoku, probíhající nad homogenním blokem Na skalním 2.

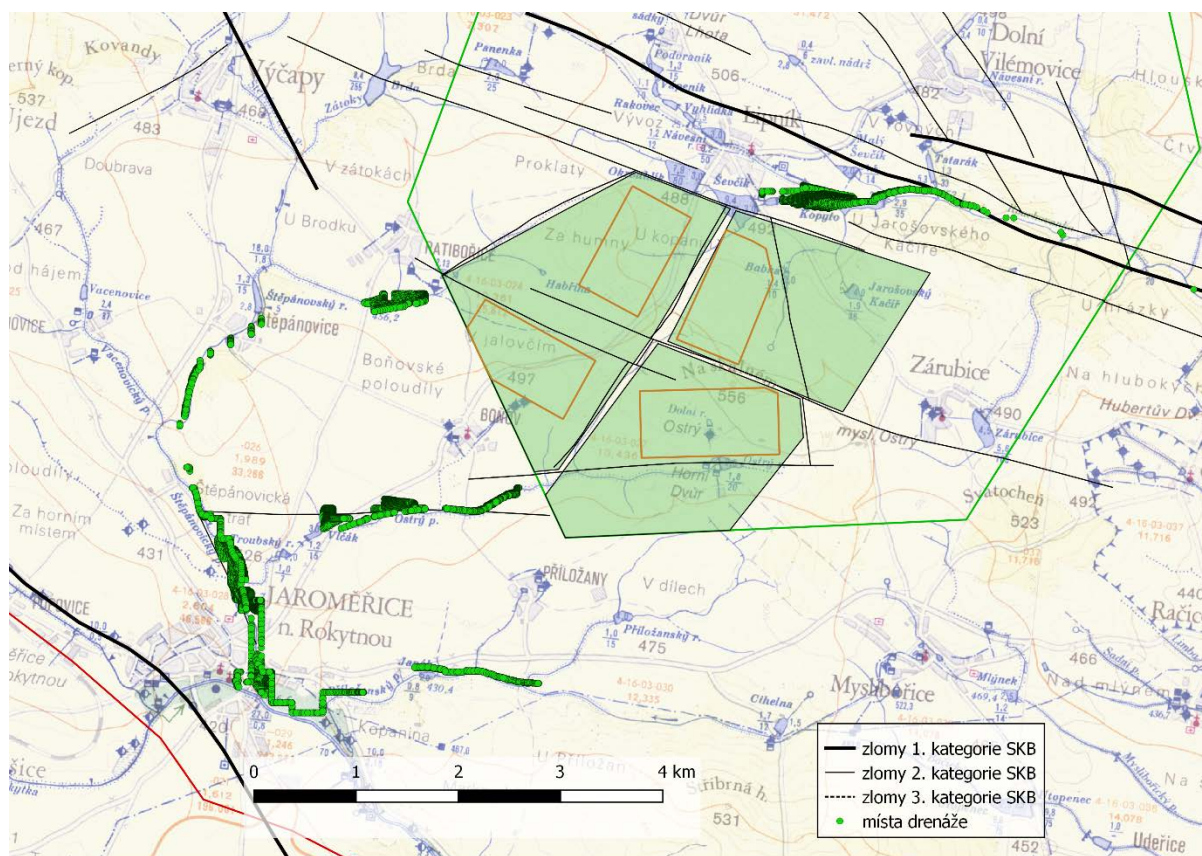
Nejvýraznější oblast sestupného proudění se nachází v okolí vrchu Na Skalním, který protíná zlomová linie 2. řádu, probíhající mezi homogenními bloky 2 a 3. Obdobně jsou i další oblasti infiltrace v oblasti homogenních bloků soustředěny do oblastí, charakteristických typicky vyšší elevací terénu. Výrazné drenážní oblasti se naopak vyskytují v okolí Ostrého potoka, vinoucího se přes jižní homogenní blok, dále pak při severu a západě plochy homogenních bloků. Obecně lze konstatovat, že oblasti dominuje sestupné proudění, které je zastoupeno v 74 % celkové plochy HÚ. Nejnižší podíl (cca 55 %) sestupného proudění přitom připadá na jihovýchodní sekci úložiště (sekce 3). Tlaková úroveň hladiny v prostoru úložiště se pohybuje v intervalu 465 až 510 m n.m.



Obr. 11: Rozdíl modelové hydraulické výšky v přípovrchové vrstvě a v úrovni HÚ

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.

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni 4 až 34 m n.m. byly stanoveny na základě modelu proudění podzemní vody s využitím metody particle tracking. Místa drenáže částic z úrovně hlubinného úložiště jsou znázorněna na Obr. 12.

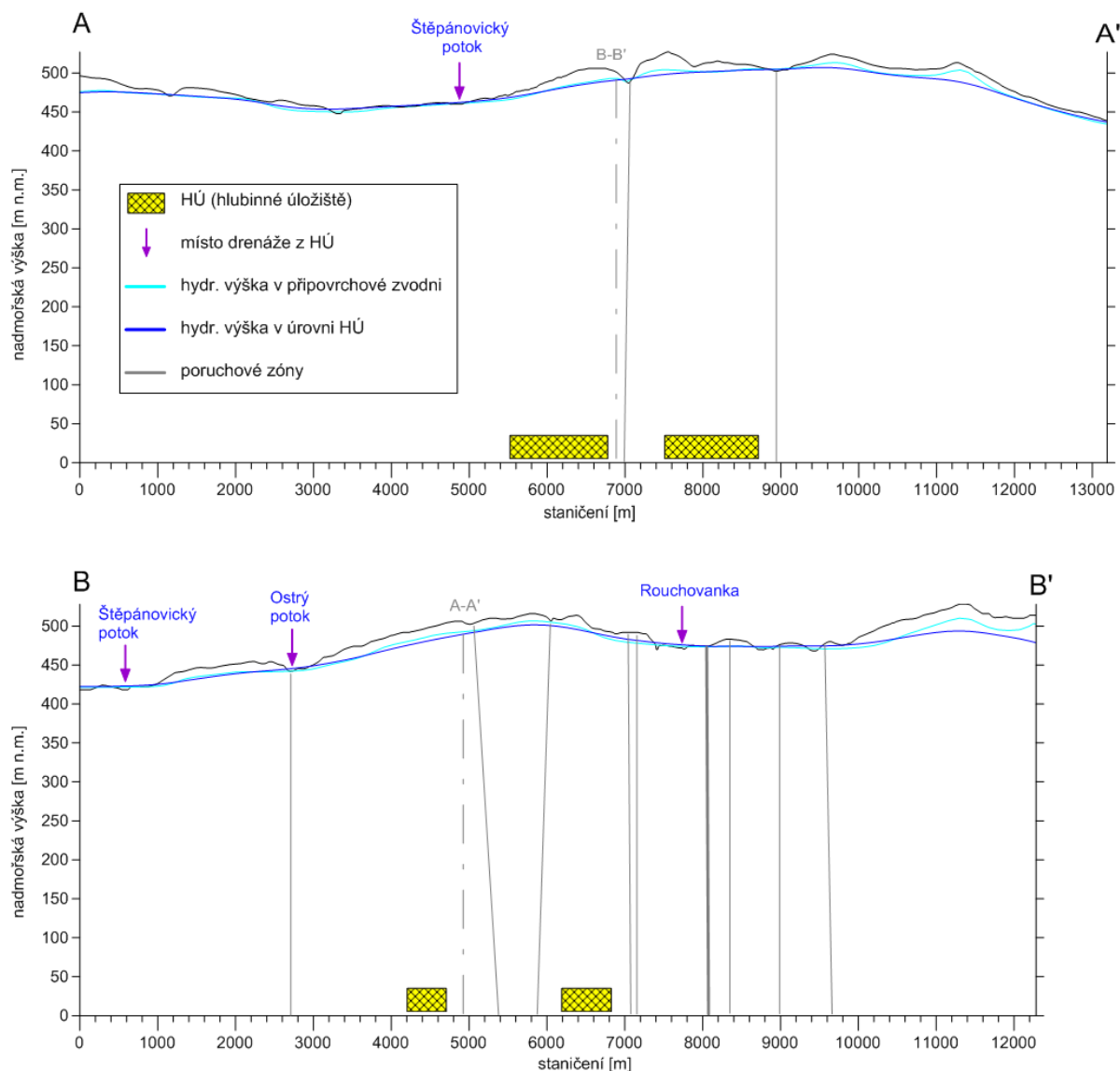


Obr. 12: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ

Z hlediska drenáže je největším recipientem podzemní vody z prostoru HÚ povodí řeky Rokytná, do kterého je drénováno 68 % plochy HÚ. Drenáž je mimo vlastní toku Rokytné realizována toky, které do ní ústí v okolí města Jaroměřice nad Rokytnou. Konečné polohy trajektorií částic, indikující drenážní oblasti, jsou liniově rozprostřeny podél os drenážních toků. V drenážní oblasti Rokytné se nejbližší hranicím HÚ (cca 500 m) nachází soustředění drénovaných částic při horním toku Štěpánovského potoka. Na Ostrém potoce je drenáž vody z prostoru HÚ soustředěna do oblasti, kde dochází ke křížení toku se zlomem druhé kategorie (cca 16 % veškeré vody z prostor HÚ). K drenáži dominantního množství vody z úrovně HÚ v povodí Rokytné, cca 24 % všech částic, dochází v prostoru souběhu spodní části Štěpánovického potoka se zlomem druhé kategorie severně od města Jaroměřice nad Rokytnou. Na toku Příložanského potoka je většina částic drénována v oblasti soutoku s řekou Rokytná. V povodí Rouchovanky je drenáž soustředěna do oblasti v okolí soutoku bezejmenných toků v blízkosti homogenního bloku (32 % z celkového množství).

Většina částic v povodí Rokytné je drénována v nadmořské úrovni cca 420 až 430 m n.m., dominantní úroveň drenáže povodí Rouchovanka se nalézá ve výšce cca 470 až 480 m n.m.

Výškové úrovně drenáže HÚ (označené fialovými šipkami) jsou dokumentovány ve schématických (10krát převýšených) řezech na Obr. 13.



Obr. 13: 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 Na Skalním

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

B.2.3.1 Bilance množství podzemní vody

Bilanční údaje pro zájmovou lokalitu Dukovany vychází z údajů hydrogeologického modelu v detailním měřítku, založeném na plošném rozložení srážkového normálu (vyhodnocení ČHMÚ). Střední hodnota infiltrace v zájmové modelové oblasti Dukovany byla stanovena hodnotou $1.9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (Krásný et al., 1982). Z celkového infiltrovaného množství $593 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

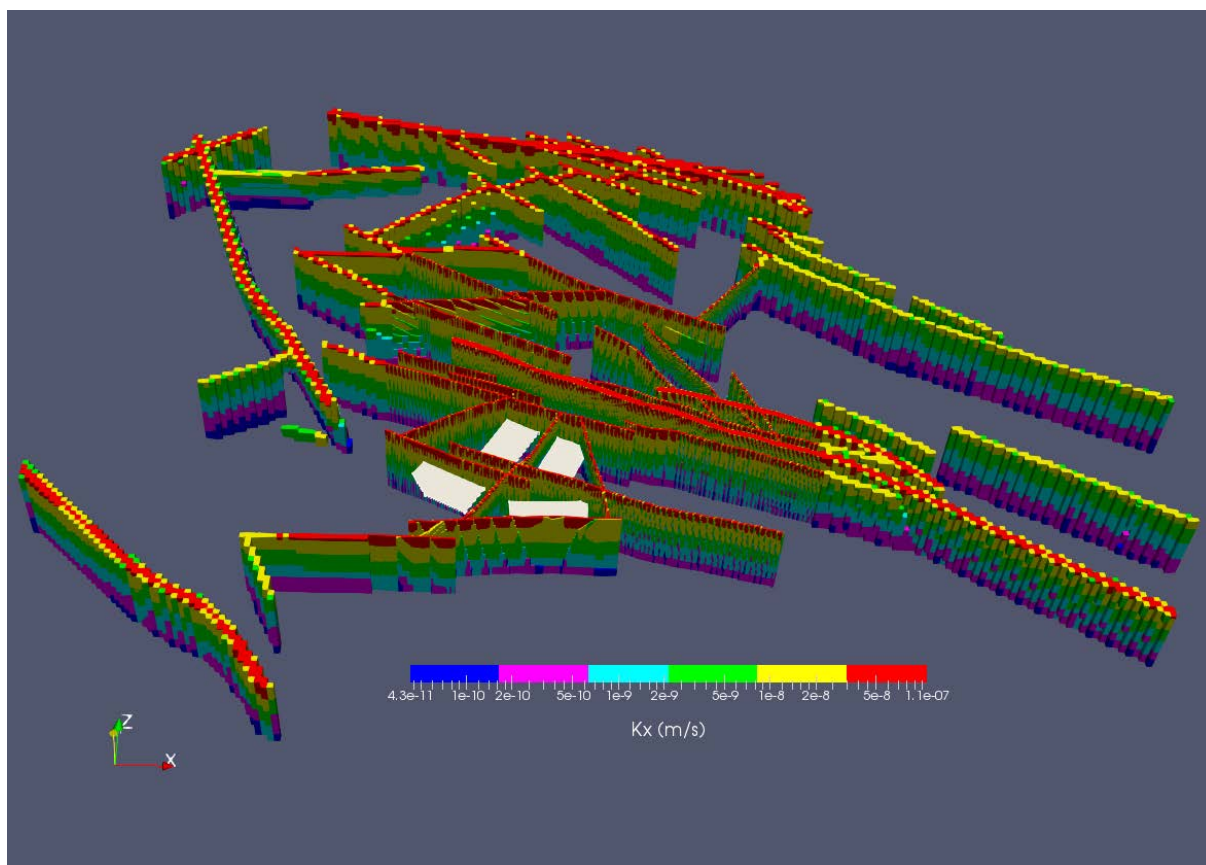
 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

proudí 95 % podzemní vody pouze v přípovrchové vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Do prostředí izolační části masivu (z přípovrchové do 2. modelové vrstvy) infiltruje $31 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Suma přítoků do vymezených úložných prostor HÚ je modelem stanovena na $7,68\cdot 10^{-2} \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ tak činí $2,52\cdot 10^{-2} \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$.

B.2.3.2 Vliv poruchových zón na poměry proudění

Severně od polohy HÚ na území Dukovany se nachází regionální lipnický zlom, do bezprostřední vzdálenosti úložiště pak zasahují zlomy druhého řádu, orientované subparalelně právě s lipnickým zlomem. Proudění v oblasti homogenních bloků je ovlivněno několika subvertikálními zlomy druhé kategorie s variabilní orientací. Jižně od hranic HÚ ovlivňují proudění zlomy, predisponující údolí Ostrého potoka. Mezi hranicemi homogenních bloků je předpokládána lokálně významná zlomová linie, orientovaná přibližně kolmo ke zlomu lipnickému, který predisponuje údolí bezejmenných toků probíhajících přibližně geometrickým středem sekcí hlubinného úložiště. Severozápadně při hranicích homogenních bloků zasahuje do oblasti proudění lokálně významný zlom SZ orientace, jehož směr na povrchu kopíruje linie bezejmenného přítoku Štěpánovského potoka. Homogenní blok Na skalním 3 protíná zlom druhé kategorie, který rovněž ovlivňuje proudění podzemní vody z HÚ. Celkově je tak proudění podzemní vody z prostor HÚ do drenážních toků ovlivněno regionálně významným lipnickým zlomem a celkem 10 zlomy 2. kategorie. Modelová hydraulická vodivost poruchových zón je znázorněna na Obr. 14.

Zlomy představují potenciální preferenční cestu proudění z infiltrační oblasti ve vrcholových polohách masivu do drenážních partií severovýchodně a jihozápadně od homogenních bloků a zároveň umožňují efektivní propojení hlubších a mělkých partií masivu. Vzhledem k jejich relativní početnosti v okolí HÚ mají zlomová pásma na lokalitě Dukovany podstatný význam. Lze navíc předpokládat, že síť současně uvažovaných poruchových zón není zcela kompletní. Zlomová pásma mají v úrovni potenciálního HÚ v okolí vymezených bloků hydraulickou vodivost cca $1.5\cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro pásma 2. řádu a $2\cdot 10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro pásma 1. řádu.



Obr. 14: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón

B.2.3.3 Propustnost horninového masivu

V horninovém prostředí lokality Dukovany jsou na základě přijaté koncepce vymezeny dvě dílčí části s rozdílným charakterem propustnosti.

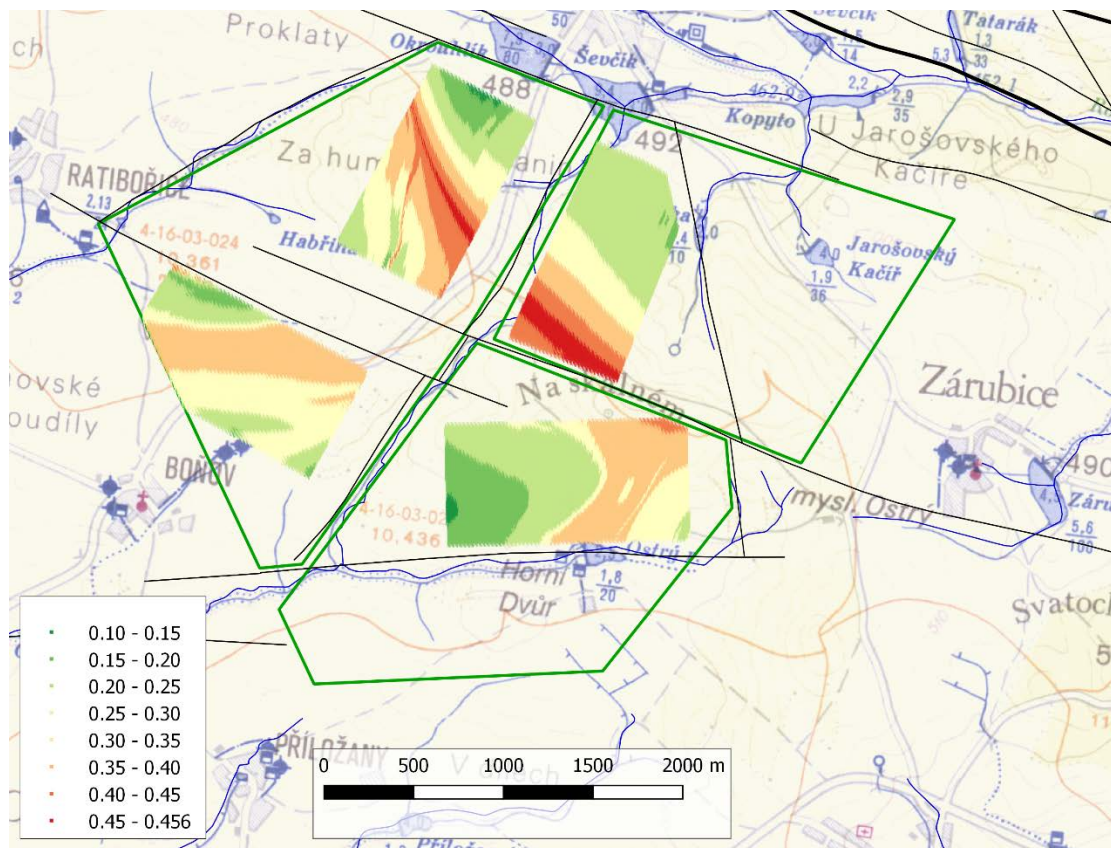
Svrchní část horninového profilu tvoří málo mocné sedimentární horniny, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masivu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Propustnost této části prostředí lze popsat jako puklinově - průlinovou. Hydraulická vodivost v přívodové vrstvě se podle předpokladů pohybuje v rozsahu $2 \cdot 10^{-9}$ až $1 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, přičemž i v přívodové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou. Obecně lze zónu intenzivnějšího rozpukání odhadnout do 80 až 100 m.

Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní puklinový kolektor. Proudění podzemní vody je v tomto prostředí omezeno na síť vzájemně propojených ploch diskontinuit, které oddělují z makroskopického měřítka prakticky nepropustné bloky. Na základě analogií lze předpokládat, že intenzita puklinového porušení obecně s hloubkou klesá a větší pravděpodobnost hydraulicky vodivých zón je v oblastech poruchových pásem. Tuto koncepci zohledňuje i hydraulický model, kde je uvažován pokles hydraulické vodivosti v masivu s hloubkou jak v oblastech bez identifikovaných poruchových zón, tak v těchto zónách.

Rychlosti proudění v izolující části masivu lze v modelové simulaci proudění přibližně stanovit na základě výsledků výpočtu metodou particle tracking. Průměrná rychlost proudění z prostoru potenciálního umístění úložiště do drenážních bází je určena jako podíl celkové

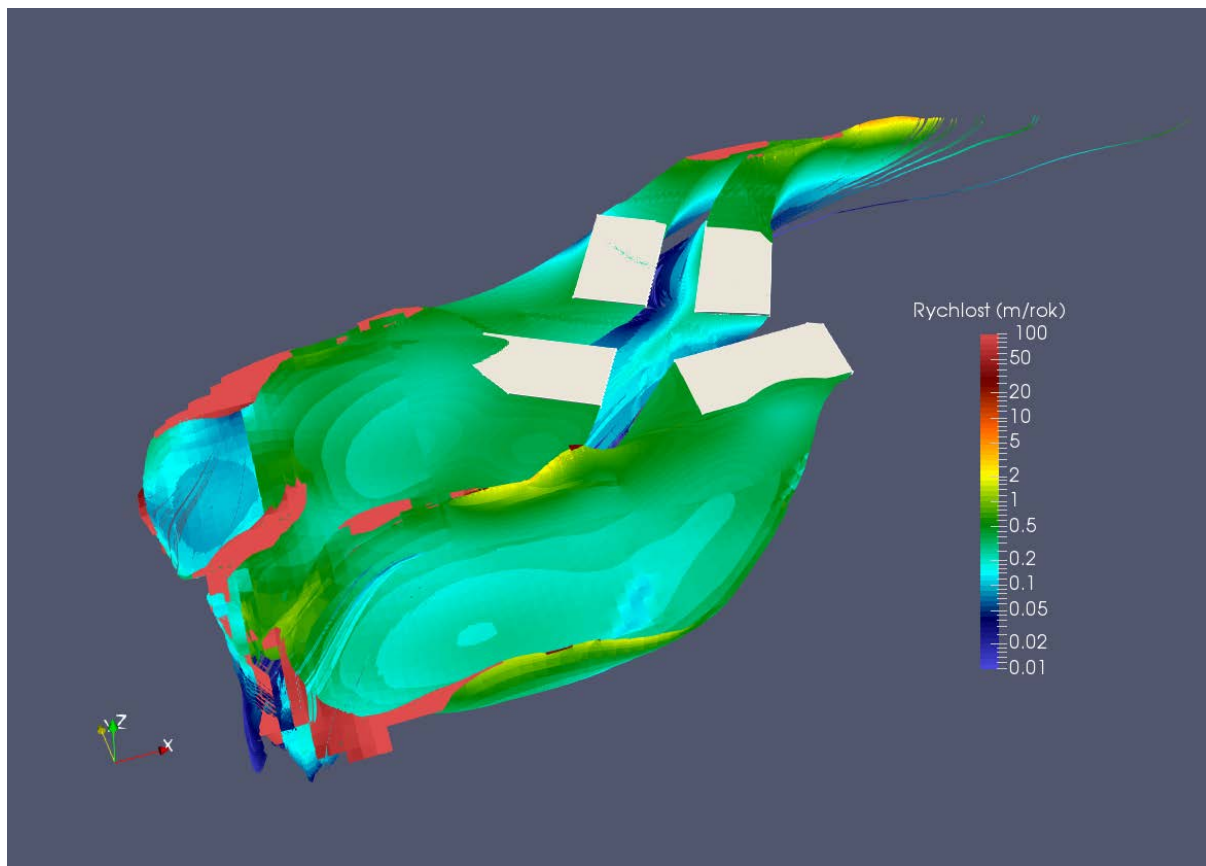
transportní dráhy a doby zdržení částice (reprezentující nehmotný bod v podzemní vodě) v horninovém prostředí.

Rozložení průměrných rychlostí proudění z prostoru HÚ do drenážních toků v detailním modelu je uvedeno na Obr. 15. Nejvyšší průměrné rychlosti proudění (cca $0,45 \text{ m}\cdot\text{rok}^{-1}$) jsou vypočteny v místech infiltračních oblastí. Nejnižší průměrné rychlosti jsou naopak stanoveny při západní hranici sekce 3, s minimy pohybujícími se okolo 10 cm za rok.



Obr. 15: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok⁻¹] z prostoru HÚ v modelu proudění

Skutečná rychlost proudění se liší v závislosti na hydraulickém odporu prostředí a hydraulickém gradientu. V Obr. 16 jsou vykresleny trajektorie particle trackingu z oblasti HÚ s barevným rozlišením podle okamžité vypočtené rychlosti (pohled od SZ). Z obrázku je patrné, že proudění v přívrchové zóně může dosahovat rychlostí řádově desítek až stovek metrů za rok, zatímco částice, které sestupují do větších hloubek horninového masivu, se zde pohybují rychlostmi maximálně desítek centimetrů za rok. Zvýšené rychlosti jsou patrné v severní části HÚ, kde zároveň převládá vzestupné proudění.



Obr. 16: Trajektorie proudění z prostoru HÚ, do drenážních oblastí, okamžité modelové rychlosti proudění

B.2.3.4 Zhodnocení obtížnosti vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu

Hydrogeologický model pro lokalitu Dukovany je sestaven na základě dostupných dat a aktuálních znalostí bez konkrétních údajů (vstupních a kalibračních) z úrovně předpokládaného HÚ. Vzhledem k charakteru prostředí hydrogeologického masivu model není schopen postihnout možné lokální anomálie v hydraulických parametrech prostředí, ale pro posouzení režimu generálního tlakového proudění, rychlosti proudění a bilance podzemní vody na úrovni stávajících znalostí představuje relevantní nástroj použitelný pro hydrogeologické hodnocení možnosti vybudování HÚ v této lokalitě.

B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality

Veškerá hydrogeologická data pocházejí z povrchu nebo připovrchové zóny. Žádný z dosavadních hydrogeologických průzkumů či výzkumů nedosáhl hloubek plánovaného HÚ, kde lze očekávat rozdílné hydraulické vlastnosti hornin. Pro komplexní hydrogeologické zhodnocení chybí data o hlubokých hydrogeologických strukturách, zejména o výskytu, orientaci a hydraulických vlastnostech vodivých zlomů a poruchových zón v hloubkách HÚ. Hodnocení hydrogeologických poměrů v hloubce úložiště může proto vycházet pouze z interpretace povrchových dat, analogie nebo odborného odhadu.

Je možné předpokládat, že u řady poruch (zlomů) vodivých v mělkých částech masivu bude se zvětšující se hloubkou docházet ke svírání puklin a zlomových ploch a jejich hydraulická vodivost bude klesat až na hodnoty blízké okolnímu horninovému prostředí. Role těchto zlomů v hloubce úložiště bude již minimální. U některých zlomů s ověřenou či

předpokládanou HG funkcí není znám sklon a ani jeho směr, u dalších jsou tyto odvozovány od měření na povrchových výchozech. Skutečný průběh zlomů s hloubkou může být odlišný. Hydrogeologické parametry (charakteristiky) lokality vzhledem k posuzovaným hydrogeologickým veličinám jsou ve zjednodušené formě shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Na Skalním

	Na Skalním
střední úroveň HÚ (m n.m.)	20
plocha HÚ (km²)	3,05
Tlakové poměry proudění	
drenážní báze - horizontální vzdálenost od hranice HÚ (km)	0,5 – 3,9
drenážní báze - vertikální vzdálenost od úrovně HÚ (m)	395 – 460
počet drenážních povodí	2
dominantní drenážní tok (% plochy HÚ)	Rouhovanka (32 %)
dominantní drenážní povodí (% plochy HÚ)	Rokytná (68 %)
sestupná vertikální složka proudění (% plochy HÚ)	74
Bilance množství podzemní vody	
průměrná infiltrace ze srážek (l·s ⁻¹ ·km ⁻²)	1,9
průtok přes prostor HÚ (l·s ⁻¹)	7,68·10 ⁻²
specifický průtok v prostoru HÚ (l·s ⁻¹ ·km ⁻²)	2,52·10 ⁻²
Vliv poruchových zón	
maximální propustnost zón do 1 km od hranice HÚ (m·s ⁻¹)	7,0·10 ⁻⁸
počet zón 1. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	0
počet zón 2. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	10
počet zón ovlivňující proudění mezi HÚ a drenáží	11
Propustnost horninového masivu	
v prostoru HÚ (m·s ⁻¹)	3,5·10 ⁻⁹ - 4,6·10 ⁻⁹
izolační část masivu do vzdálenosti 300 m od HÚ (m·s ⁻¹)	1,3·10 ⁻⁹ - 1,3·10 ⁻⁸
Rychlost proudění podzemní vody	
průměrná z prostoru HÚ k drenáži (m·rok ⁻¹)	0,10 - 0,56
v úrovni úložiště (m·rok ⁻¹)	0,11 - 0,46

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 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 přípovrchových 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.

Voda protékající blokem potenciálního HÚ drénuje do dvou povodí, Rokytné a Roučovanky. V následující Tab. 6 a Tab.7 jsou uvedeny statistické údaje pro délku a dobu zdržení nesorbujících kontaminantů do obou povodí.

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

Rokytná	Délka cesty [m]	Doba zdržení [roky]
Minimum	1469	1027
Maximum	8698	242462
Q1	2581	2144
Q2 (medián)	3092	4843
Q3	4154	10619
Aritmetický průměr	3400	8326
1% kvantil	2032	1209
5% kvantil	2180	1474
95% kvantil	4926	21925
99% kvantil	7356	57608

Tab.7: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení – povodí Rouchovanky

Rouchovanka	Délka cesty [m]	Doba zdržení [roky]
Minimum	1115	1510
Maximum	6810	153230
Q1	2041	2515
Q2 (medián)	2381	3852
Q3	2700	6604
Aritmetický průměr	2417	6329
1% kvantil	1545	1621
5% kvantil	1653	1793
95% kvantil	3328	20029
99% kvantil	3970	41090

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. 8. Současně jsou v této tabulce uvedeny i hodnoty D_e doporučené pro použití v bezpečnostních výpočtech ve zprávě Havlové et al. (2017).

Tab. 8: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů pro granitické horniny Českého masivu

((Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky z lokality Na Skalním; lokalita Pozdřátky, vzorek PZV1, durbachity; experimentální program v ZL Transport 1; použita syntetická podzemní voda SGW2)

Radionuklid	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)	
^3H	3,1	6,5
^{36}Cl	0,26	2,5
^{125}I	0,26	3,0

Jak je patrné z výsledků experimentálních prací, hodnoty D_e pro všechny radionuklidy jsou vyšší než doporučené hodnoty pro granitické horniny Českého masivu ve zprávě Havlové et al. (2017). V daném případě je především patrná vyšší hodnota D_e pro anionty, která svědčí o menší míře aniontové exkluze a rychlejším pohybu radionuklidů, nikoliv však řádovém.

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 Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě

Podle aktuálně platné hydrogeologické rajonizace (vyhláška č. 5/2011 Sb.) patří území polygonu EDU-Z do hydrogeologického rajonu č. 6550 – Krystalinikum v povodí Jihlavy. Krystalinikum je zde zastoupeno dvěma základními hydrogeologickými jednotkami. První je tvořena syenitův třebíčského plutonu, druhá hydrogeologická jednotka zahrnuje ruly a migmatity a v menší míře i serpentinitův moldanubika.

Složení podzemních vod se ve zmíněných jednotkách zásadní měrou neliší. Mezi kationty u syenitův a serpentinitův převažuje hořčík, jedná se o podzemní vody typu Mg-HCO_3 (hlubší oběh) a Mg-SO_4 (mělký oběh). Zvýšené obsahy hořčíku v podzemních vodách jsou pro oblasti výskytu syenitův typické. U rul a migmatitův je v podzemních vodách dominantní vápník (vody typu Ca-HCO_3 a Ca-SO_4). Poměrné zastoupení kationtův u rul a migmatitův je často proměnlivé, což je dáno polohou vzorkovaných vrtův v blízkosti jiné jednotky. Vrty v

pararulách se zvýšeným obsahem hořčíku leží v blízkosti poloh serpentinitů a syenitů. Výše uvedené složení není zcela vyhraněné, časté jsou přechodné typy vod.

Poměrné zastoupení aniontů je závislé zejména na hloubce oběhu čerpaných vod, u mělkých vod z oxidační zóny převládají sírany, u hlubších vod hydrogenuhličitanů. V hodnoceném datovém souboru hydrogeologických vrtů ze syenitů jsou výrazně zastoupeny hlubší vrty (nad 40 m), u řady analýz ze syenitů proto výrazně převládají hydrogeonuhličitanů. Celková mineralizace podzemních vod se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 100 do 500 mg.l⁻¹, pH od 6,4 do 7,8.

Antropogenní znečištění podzemních vod je na lokalitě Dukovany-západ vysoké. U mělkých podzemních vod (prameny a výtoky z drenáží) v prostředí metamorfítů moldanubika převažují antropogenně ovlivněné vody s převahou dusičnanů a chloridů, jedná se o hydrochemické typy Ca-NO₃, případně Ca-Na-Cl. Pokud pomíneme antropogenní znečištění, převažují mezi anionty sírany, typické pro mělký oběh v oxidační zóně. Podzemní vody z prostředí syenitů třebečského plutonu jsou méně postiženy znečištěním, převažuje hydrochemický typ Ca-SO₄.

Na základě dostupných informací o lokalitě EDU (Hanžl a Hrdličková 2017) je možno předpokládat, že podzemní voda z lokality nemá extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek) v porovnání s ostatními vodami granitických hornin Českého masivu.

Výsledné hodnoty rozpustností uvažovaných radionuklidů pro lokalitu Na Skalním určené v práci Kolomé a Klajmona (2018) jsou celkově shrnuty v Tab. 9.

Tab. 9: Rozpustnosti screeningových radionuklidů ve vodě Na Skalním

Prvek	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l ⁻¹]
U	Becquerelit	4,96 · 10 ⁻⁵
Np	NpO ₂ (am,hyd)	1,23 · 10 ⁻⁹
Tc	TcO ₂ :1.6 H ₂ O(s)	4,18 · 10 ⁻⁹
Se	Se(mono)	2,09 · 10 ⁻¹²
Ni	Ni(OH) ₂ (beta)	7,07 · 10 ⁻⁵

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 přípoверхových vrstev byl na základě výstupů modelu Flow123D kvantifikován pomocí parametru ředění. Výsledky jsou uvedeny v následující Tab. 10.

Tab. 10: Hodnoty ředění pro jednotlivá povodí drenáže

Povodí	Ředění proti maximu [-]	Ředění proti průměru [-]
Rokytná	1,22E-03	4,84E-03
Rouchovanka	1,34E-03	5,31E-03

B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik

Transportní charakteristiky lokality Na Skalním 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 lokalitě Na Skalním. V následující Tab. 11 jsou shrnuty vybrané transportní parametry.

Tab. 11: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality Na Skalním (Havlová et al., 2018)

Parametr	Vztaženo k	Hodnota
Délka transportních cest (medián)	Pro polygon HÚ	2 774 m
	Pro část HÚ, jež je drénována do dílčího povodí	ROK: 3 092 m; ROU: 2 381 m
Doba zdržení (medián)	Pro polygon HÚ	4 280 let
	Pro část HÚ, jež je drénována do dílčího povodí	ROK: 4 843 let; ROU: 3 852 let
Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí (vztažená k maximální koncentraci)	Rokytná (ROK)	1,22E-03
	Rouchovanka (ROU)	1,34E-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])	³ H	6,5
	³⁶ Cl	2,5
	¹²⁵ I	3,0
Porozita [%]		0,38
Vyhodnocení míry sorpce pro vybrané RN*	U(VI)	Nízká (O) (1,1±1,7 ml.g ⁻¹)
	Np	Vysoká (O)
	Tc	Nízká (O)
	Se	Nízká (1,4±1,0 ml.g ⁻¹)
	¹³⁷ Cs	Střední (129,0±11,0 ml.g ⁻¹)
	⁹⁰ Sr	Nízká (4±1,0 ml.g ⁻¹)
	Obsah tmavých minerálů v hornin (modelové složení hornin na lokalitě)	Slídy
Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l ⁻¹]
U	Becquerelite	$4,96 \cdot 10^{-5}$
Np	NpO ₂ (am,hyd)	$1,23 \cdot 10^{-9}$
Tc	TcO ₂ :1.6 H ₂ O(s)	$4,18 \cdot 10^{-9}$
Se	Se(mono)	$2,09 \cdot 10^{-12}$

Parametr	Vztaženo k	Hodnota
Ni	Ni(OH) ₂ (beta)	7,07 · 10 ⁻⁵

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 2011) 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 lokality Na Skalním 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 vychází z rešerše historických zemětřesení pro 7 lokalit, která byla prezentována ve zprávě Kalába et al. (2015). Její závěry jsou platné i pro lokalitu Na Skalním (EDU-Z), a to z nejbližších ostatních hodnocených potenciálních lokalit. Nejbližší lokalita k území je potenciální lokalita Horka (cca 30 km) – viz Obr. 6.

Lokality jaderných elektráren mají velmi přísná kritéria na hodnocení seismické stability, hodnocení je striktnější, než pro podzemní stavební objekt budovaný v hloubce 500 m. Lokality jaderných elektráren jsou kontinuálně monitorovány lokálními seismickými sítěmi (Seismologický informační display EDU je na webu <http://sid.ipe.muni.cz/index.php>). Provoz sítí zabezpečuje Ústav fyziky Země Masarykovy univerzity Brno (monitoring hradí ČEZ, který je majitelem mj. výročních zpráv z aktuálního monitoringu). Podle informace z listopadu 2017 (ústní informace ředitel ÚFZ) jsou ve zpracování revidované katalogy historické seismicity v širokém zápolí elektráren.

Na základě výše uvedených poznámek lze důvodně předpokládat, že na lokalitě EDU-Z není z hlediska seismicity překročeno žádné z vylučujících kritérií.

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 dle vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb., § 5 a změn reliéfu (SÚJB 2016b), které by v dlouhodobém měřítku mohly vést k exhumaci potenciálního úložiště.

Zhodnocení geodynamické stability vychází z metodiky použité ve studii erozní stability perspektivních lokalit HÚ VJP v ČR (Hroch a Pačes 2015) a geomorfologické analýzy, která byla součástí Zprávy o provedení geologicko-výzkumných prací na lokalitě EDU – západ (Hanžl et al. 2017). K vyhodnocení geodynamické charakteristiky zájmového území byla použita výše uvedená geomorfologická analýza území zahrnující přítomnost zarovnaných povrchů a jejich pozice k úrovni dnešní erozní báze, posouzení projevů „mladých“ cyklů zpětné eroze, vizuální interpretace zlomových struktur včetně vizuálního posouzení indikací aktivity pohybů. Do hodnocení byla zohledněna dostupná data o rychlosti eroze na základě historických chemických analýz a datování.

Území EDU-Z se nachází v povodí řeky Jihlavy, jižní polovina území je odvodňována tokem Roučovanka (pravobřežní přítok řeky Rokytná), severní polovinu území odvodňuje řeka Jihlava a jejími boční přítoky. V oblasti lze vymezit tři úrovně zarovnaných povrchů. Nejvyšší úroveň se nachází v nadmořských výškách 520 až 480 m n. m. a je zachována v okolí Klučovské hory a na rozvodí Roučovanky, střední úroveň odpovídající nadmořské výšce 480 až 460 m je vymezena především v jižní části území, nejnižší úroveň odpovídá plochému reliéfu ve 460 až 440 m. n. m. nad údolím řeky Jihlavy v severní a severovýchodní části území. Jednotlivé úrovně zarovnaného povrchu jsou odděleny mírně ukloněnými ústupovými a strukturními svahy. Povrch zarovnaných povrchů je charakteristický plochým reliéfem, který není vystaven intenzivním projevům zpětné eroze. Místy jsou na těchto zarovnaných površích vytvořeny nízké klenbovitě vyvýšeniny – ruwary, představující bazální část nerovné zvětrávací plochy dotvořené exfoliací masivních hornin, většinou granitoidů o rozměrech několika prvních metrů (Hanžl et al. 2017).

Lokální erozní báze představuje pro jižní část území povrch nivy Roučovanky v nadmořské výšce cca 410 m. n. m., pro severní část území úroveň povrchu nivy řeky Jihlavy v nadmořské výšce cca 380 až 390 m n. m. Regionální erozní bázi pro širší území je soutoková oblast Rokytné, Jihlavy a Oslavy u Ivančic v nadmořské výšce cca 205 m n. m.

Výrazné projevy zpětné hloubkové eroze se uplatňují zejména severní polovině území vázané na svahy údolí řeky Jihlavy, kde jsou vytvořena hluboká erozní údolí s příčným profilem tvaru písmene V. Přilehlé svahy se vykazují vyššími úklony v úpatních částech, na jejich horních okrajích jsou vyvinuté výrazné hrany, které vytvářejí morfologické rozhraní se zarovnanými. Svahy jsou často obnažené na skalní podloží vytvářející přirozené výchozy. V uzávěrech erozních údolí jsou často vyvinuta čela zpětné eroze projevující se jako výrazné obloukové uzávěry s výraznou hranou. Indikace působení zpětné eroze lze také sledovat v údolí Roučovanky, kde jsou také vytvořena erozní údolí či strže a říční údolí lemují strmé erozní svahy často s obnaženým skalním podložím. V porovnání se severní částí území jsou zde v důsledku nižšího topografického gradientu projevy zpětné eroze méně výrazné. Reliéf přetvářený zpětnou erozí zaujímá cca 40 % jeho plochy celého území.

Údaje o rychlosti zahlubování říčního systému nejsou z konkrétního okolí území lokality EDU-Z k dispozici. Archivní údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému jsou dostupné pouze v regionálním měřítku.

O nízkých rychlostech zahloubení drenážního systému vypovídá pozice zachovaných spodnopleistocenních teras v soutokové oblasti řek Oslavy a Jihlavy, jejichž báze leží přibližně 60 až 70 m nad současným povrchem nivy (Matějovská a Minaříková 1991; Pálenský et al. 1994). Tento výškový rozdíl odpovídá rychlostem zahloubení říčního systému v řádech setin až prvních desetin milimetrů za rok. Podobným rychlostem zahloubení odpovídá pozice říčních teras 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). Podobnou intenzitu zahlubování říčního systému uvádějí Balatka a Kalvoda (2008), kde na základě studia výškového rozdílu peneplenizovaných 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 hodnoty vertikálních pohybů zemského povrchu, resp. **rychlosti zahlubování drenážního systému, nepřekračují hodnoty 1 mm/rok.**

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. Pro lokality Na Skalním a Horka jsou uváděny hodnoty vertikálních pohybů v řádu prvních desetin milimetrů za rok (Pospíšil et al. 2017). V jižní části Boskovické brázdy jsou udávány rychlosti pohybů 1 až 2 mm/rok (Schenkova a Kottnauer 2009, Pospíšil et al. 2010, Roštínský et al. 2013). Vyskočil (1996) uvádí v oblasti okraje Českého masívu 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 intenzity eroze a denudace.

V reliéfu se uplatňuje několik zřetelných lineárních prvků, které mohou být vázány na křehkou tektoniku. Tyto prvky jsou zřetelné především v erozním reliéfu. Nejvýraznějším

lineárním prvem je přímý průběh údolí řeky Jihlavy ve směru ZSZ a VJV mezi Třebíčí a Vladislaví. Identický směr vykazuje přímý úsek údolí Rouchovanky jižně od Dolních Vilémovic. Téměř na celém území se uplatňuje paralelní uspořádání drenážního systému s orientací SZ-JV. Výše uvedené směry korespondují s orientací většiny asymetrických hřbetnic vyčleněných na daném území. Nejvýraznější liniové prvky s orientací JJZ-SSV až JZ-SV představuje přímý průběh údolí Číměřského potoka, údolí Jihlavy východně od obce Číměř nad Jihlavou a erozní údolí východně od Boňova. Tyto geomorfologické formy **nevykazují zřetelné indikace mladých pohybů**, geometrie svahů vázaných na křehké struktury je modifikována dlouhodobými denudačními procesy, které mění jejich původní geometrii.

Litologická rozhraní se v reliéfu téměř neprojevují. V morfologii jsou zřetelné pouze žilné horniny, které na západě území vytvářejí elevace protažené ve směru Z-V.

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 post-vulkanické aktivity za posledních 250 milionů let. Z hlediska post-vulkanických 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 EDU–Z po dobu budoucích 100 tisíc let a vychází ze studie Klimatická stabilita (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 EDU–Z 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 HÚ EDU–Z 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 EDU–Z 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 přirozených 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 EDU–Z zůstane obdobný dnešním podmínkám.

B.4.5 Celkové expertní zhodnocení lokality Na Skalním 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.

Shrnutí vybraných parametrů indikátorů 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	0,166 m.s ⁻² (0,087 m.s ⁻² – pro přepočítání do hloubky 500 m)
Minimální vzdálenost lokality k seismicky aktivnímu zlomu	není stanovena
Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria)	20 až 140 m (215 m vůči nejvýše položenému místu na území)
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)	40 %
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	není zjištěn
Přítomnost post-vulkanických jevů	v okruhu 100 km od lokality nejsou známy projevy vulkanické, ani postvulkanické aktivity za posledních 250 milionů let
Potenciální přítomnost ledovce na lokalitě	není pravděpodobná
Potenciální změna hydrogeologického režimu na lokalitě vlivem zalednění (přítomnost permafrostu)	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 ztuhnutým 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,

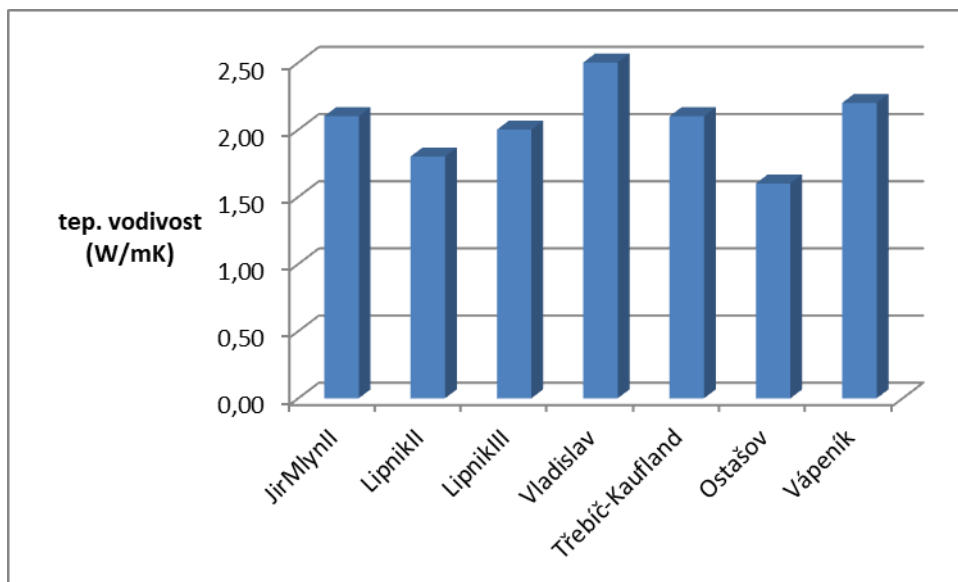
zejména bentonitu a rovněž z důvodu komplikovanosti hodnocení procesů probíhajících v úložišti při teplotách nad 100 °C. Vlastnosti podzemní vody jsou také ovlivňovány teplotou, zejména její chemizmus, viskozita a objemová hmotnost. Tepelné vlastnosti hornin (zejména tepelná vodivost a tepelná difuzivita) 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 Na Skalním jsou uvedeny na Obr. 17 (Dědeček, 2017)



Obr. 17: Tepelná konduktivita durbachitů – lokalita Na Skalním

Je vidět poměrně velký rozptyl hodnot, průměrně se tepelná vodivost měřených durbachitů pohybuje kolem 2,0 W/mK.

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, konektivité a transmisivité puklin. Vliv rychlého proudění vody přes úložné vrty má především vliv na rychlost eroze tlumícího materiál a rychlost koroze ukládacího obalového souboru. V současné době však nejsou k dispozici údaje z hloubek úložiště.

B.5.3 Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí

Hodnocení mechanických vlastností dominantních hornin kandidátní lokality Magdaléna, tj. středně zrnitých melanokratických biotit-pyroxenických syenitů tzv. tábořského typu bylo provedeno na základě definovaných a přijatých kritérií vhodnosti, které zahrnují:

- pevnost intaktní horniny v prostém tlaku,
- fyzikální vlastnosti horniny s vazbou na pevnostní parametry,
- deformační (přetvárné) vlastnosti horniny,
- napjatostní stav horninového masivu.

K hodnocení byly použity dostupné archivní podklady, představované odbornými publikacemi, veřejně přístupnými výzkumnými zprávami a atestem kvality těženého kamene.

Tab. 13: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností durbachitů

Autor (autoři)	Onderka a Samek (1966)	Pavlík (1967)	Rech (1978)	Hanžl et al. (2017)
Vlastnost	průměr min. – max.	průměr min. – max.	průměr min. – max.	průměr min. – max.
Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	2722 2670 – 2780	2756 2730 – 2780	2770 2760 – 2780	2702 2610 – 2780
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	2672 2630 – 2700	2668 2540 – 2760	2720 2710 – 2740	2566 2444 – 2720
Celková pórovitost [%]	1,82 1,09 – 3,23	3,14 0,40 – 7,60	1,85 1,44 – 2,17	5,03 2,16 – 8,99
Nasákavost [%]	0,50 0,36 – 1,04	0,37 0,30 – 0,50	–	0,84 0,23 – 1,41
Pevnost v prostém tlaku [MPa]	107 67 – 135	90* 83 – 99*	143 121 – 165	61 22 – 138
Modul přetvárnosti [MPa]	–	11053* 9316 – 13729*	27300 14000 – 43000	14629 2026 – 37161
Poissonovo číslo [-]	–	0,17* 0,11 – 0,25*	0,30 0,20 – 0,50	0,17 0,12 – 0,23

*Pórovitost stanovena jako otevřená pórovitost

Jak vyplývá z hodnot jednotlivých sledovaných vlastností uvedených v Tab. 13, durbachity třebíčského masivu reprezentující horninové prostředí kandidátní lokality Na Skalním, lze v intaktním stavu charakterizovat jako hutné, kompaktní horniny s relativně nízkou celkovou pórovitostí a nízkou nasákavostí. Měrná hmotnost odpovídá petrografickému složení přítomných hornin, tj. obsahu křemene, draselných živců, plagioklasů a biotitu jako dominantních minerálů durbachitů. Objemová hmotnost, celková pórovitost a nasákavost durbachitů na lokalitě Na Skalním je v zásadě velmi podobná hodnotám těchto vlastností, zjištěných u petrograficky obdobných hornin kandidátní lokality Horka. Vyšší hodnoty,

uváděné některými autory zejména v případě celkové pórovitosti jak durbachitů jsou pravděpodobně způsobeny vyšším stupněm navětrání horninových vzorků, odebíraných z povrchových výchozů.

Na základě pevnosti intaktních vzorků v prostém tlaku (cca 60 – 140 MPa v případě durbachitů) je pak možno posuzované horniny kandidátní lokality Na Skalním zařadit, ve smyslu známých pevnostních klasifikací (např. Bieniawski 1989, Hoek a Brown 1997), do tříd hornin s vysokou až velmi vysokou pevností. Obdobně jako v případě základních petrofyzikálních vlastností, tak také v případě pevnosti v prostém tlaku jsou hodnoty zjištěné u durbachitů srovnatelné s parametry analogických hornin kandidátní lokality Horka.

V dostupné literatuře se nepodařilo nalézt konkrétní údaje o napěťových poměrech v horninovém masivu na lokalitě Na Skalním. Na základě dosavadních znalostí mechaniky hornin (Zang a Stephansson 2010) a představ o geotektonickém vývoji Českého masivu během variské orogeneze (viz např. Franke 2000) lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že primární, izotropní litostatické napěťové pole horninového masivu může být výrazně ovlivněno a deformováno tektonickými, popřípadě reziduálními silami. Tento předpoklad je však možno ověřit pouze přímými měřeními napětí horninového masivu in situ. Kvalifikovaným způsobem lze na lokalitě Na Skalním odhadnout pouze velikost vertikální složky napětí, která při objemové hmotnosti převládajících durbachitů popř. migmatizovaných rul přibližně $2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ může v předpokládané úložné hloubce 500 m pod povrchem dosahovat cca 13,5 MPa. Přestože v rámci Českého masivu bylo dosud provedeno minimální množství měření napěťových poměrů horninového masivu, lze dle evropské databáze napětí (Heidbach et al. 2016) očekávat generální trend působení maximální složky horizontálního napětí ve směru přibližně S-J.

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 Červinka et al. (2013 až 2018).

Na základě dostupných informací o lokalitě Na Skalním (Hanžl et al. 2017) bylo provedeno zhodnocení dle vybraných kritérií (Tab. 14). Vybraným relevantním zástupcem vod hlubšího oběhu na lokalitě Na Skalním byl vytipován vrt HV-22 (GDO 415963, hloubka 75 m). Tento vrt leží do 1 km od západní hranice polygonu Na Skalním, nicméně zastoupení hlavních iontů odpovídá charakteristickým hodnotám na lokalitě a v jejím širším okolí. Chemická analýza je typická pro oběh podzemních vod v hloubkách do 100 m v redukční zóně třebíčského masivu. Expertním posouzením se došlo k závěru, že rozšíření souboru dat o další potencionální analýzy (GDO 415962, HV-21 a GDO 415824, KL-1 nebo GDO 415826, KL-5) by nepřineslo přesnější informace o složení podzemních vod (např. snížení nejistot). Tato jediná analýza byla použita pro hodnocení lokality Na Skalním a poukazuje na významný nedostatek dat z větších hloubek.

Tab. 14: Vybrané geochemické indikátory pro lokalitu Na Skalním

Popis indikátoru	Hodnocení
Hodnota pH	pH = 8,00
Hodnota Eh	Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.
Rozpuštěný kyslík	Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.
Rozpuštěný CO ₂ (TIC) pCO ₂ < 10 ⁻²	pCO ₂ = 10 ^{-2,59}
Hodnota iontové síly (IS)	IS = 0,006 mol·l ⁻¹
Celkové rozpuštěné látky (TDS)	Hodnota TDS = 345 mg·l ⁻¹
Koncentrace Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , S _{total} , (CO ₂ -HCO ₃ ⁻ -CO ₃ ²⁻)	Nejsou data pro určení rozsahu
Koncentrace K ⁺ a Fe _{total}	Hodnoty K ⁺ = 5,1 mg·l ⁻¹ a Fe _{tot} = 0,28 mg·l ⁻¹
Koncentrace agresivního (volného) oxidu v kombinaci s pH	CO ₂ = 0,0 mg·l ⁻¹ a pH = 8,0
Suma molární koncentrace dvojmocných iontů	suma Ca ²⁺ a Mg ²⁺ = 1,8 mmol·l ⁻¹
Celková koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC)	Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.

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.

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, 2018)

B.5.7 Celkové expertní zhodnocení lokality Na Skalním z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami

Analýza zjištěných informací o lokalitě Na Skalním z hlediska slučitelnosti s vybranými kandidátními inženýrskými bariérami spíše vede k závěru, že kritéria relevantní pro

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

slučitelnosti vlastností lokality s uvažovaným systémem inženýrských bariér budou splněna. Nedostatek dat z hlubokých horizontů lokality, kde by mělo být umístěno úložiště, však neumožňuje pro většinu kritérií určit reprezentativní hodnoty parametrů, které by bylo možno srovnat s parametry z ostatních potenciálních lokalit či s parametry zahraničních lokalit.

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 1999) 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, 2011, 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

Zdroje nerostných surovin jsou v polygonu Na Skalním přítomny v jednom ložisku a v jednom prognózním zdroji surovin. Jde o cihlářskou surovinu a suroviny živce a bóru. K sestavení ložiskové části kapitoly byly využity údaje SurlS a elaboráty geologického průzkumu. Z posouzení současných údajů o ložiskové situaci lze usoudit, že současná a budoucí lidská aktivita při případné, byť málo pravděpodobné ekonomické těžbě nedosáhne hloubky pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění hlubinného úložiště, a neovlivní tak parametr nebezpečí proniknutí člověka do prostoru HÚ. (Podrobněji viz zpráva Havlová et al., 2018b)

B.6.2 Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla

Na lokalitě EDU–západ nejsou v databázi důlních děl, vedené Českou geologickou službou, registrována žádná stará (SDD) ani opuštěná (ODD) důlní díla, a nehrozí tedy střet s vylučujícími podmínkami vyhlášky 378/2016 Sb. Ve vlastním polygonu EDU–západ je

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

evidován jeden bodový záznam č. 3261 Klučov s linií mělkých pinek na železné rudy mezi Klučovem a Ostašovem.

B.6.3 Vrtná prozkoumanost

V oblasti se nacházejí nečetné hydrogeologické, monitorovací a inženýrskogeologické vrty a vrty provedené v rámci ložiskového průzkumu na niklové a cihlářské suroviny a stavební kámen. (podrobněji viz Havlová et al., 2018b).

B.6.4 Zdroje podzemních vod

Zvodnění hlavního kolektoru krystalinika v okolí lokality EDU–západ není obecně dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují 1 l.s⁻¹. Vodní zdroje jednotlivých obcí mají stanovena ochranná pásma I. a II. stupně ve smyslu zákona 254/2001 Sb. o vodách (vodní zákon), která slouží k ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních vod, využívaných k zásobování pitnou vodou. Na území lokality EDU–západ se nevyskytují žádné významné zdroje podzemních vod, neboť 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. Na vlastní lokalitu také nezasahuje žádné z registrovaných ochranných pásem vodních zdrojů obecních vodovodů (Havlová et al., 2018b).

B.6.5 Potenciál geotermální energie

Podle Čermáka (1979) je hodnota průměrného tepelného toku v Českém masivu 68 ± 24 mW.m⁻². Nejvyšší hodnoty tepelného toku v severní části Českého masivu 80–100 mW.m⁻² jsou vázané na vyšší radioaktivitu variských granitů smrčinsko-krušnohorského batolitu a krkonošsko-jizerského kompozitního masivu. Lokalita EDU–západ leží v území s nízkým podprůměrným zemským tepelným tokem okolo 40–50 mW/m².

B.6.6 Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů, které mohou narušit úložiště budoucími aktivitami člověka

Z analýzy plyne, že území lokality Na Skalním a její ložiskové parametry v současném pojetí ochrany nerostných surovin nepředstavují střety s kritérii pro umístění hlubinného úložiště. Určitou nejistotu v kritériu přítomnost nerostných surovin by mohl představovat v budoucnu průzkum na sulfidickou mineralizaci se zlatem, jehož drobné výskyty byly historicky doloženy západně a severozápadně od PÚZZK.

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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 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

V rámci polygonu EDU-Z je záplavové území stanoveno pro Q_{100} na toku Rouchovanky cca od jihovýchodního okraje zástavby Lipníku dále po proudu mimo polygon až do prostoru jižně obce Valeč, tedy mimo kontakt s povrchovou i podzemní částí HÚ.

Druhé nejbližší záplavové území je stanoveno na řece Rokytné, jižně od zájmové lokality. Záplavové území je výrazné zejména v okolí Jaroměřic nad Rokytnou. Vzdálenost od jižní hranice zájmového území je přibližně 11 km. Umístění povrchového areálu leží mimo stanovená záplavová území.

B.7.4 Oběh podzemní vody

Charakteristikou oběhu podzemní vody, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno (§ 8, vyhláška č. 378/2016), je existence významných útvarů podzemních vod, u nichž by mohlo dojít k trvalému znečištění radioaktivní látkou. Významné útvary podzemních vod se v lokalitě Na Skalním nenacházejí a složení podzemních vod nedosahuje hodnot agresivních vod (viz kapitola B.2).

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

Podmínkami pro výstavbu povrchového areálu a hloubených objektů z pohledu inženýrsko-geologických poměrů v přípovrchové oblasti se zabývá technická zpráva SÚRAO (Bureš et al., 2018), které je shrnuta v části c) této studie. Případné zjištění nevhodných vlastností základových púd 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

Podle klimatologického členění České republiky (Quitt 1971) protíná lokalitu Dukovany-západ hranice mezi klimatickým oblastmi MT5 v západní části a MT9 ve východní části. Pro klimatickou oblast MT5 je typické normální až krátké léto, mírné až mírně chladné, suché až mírně suché; přechodné období je normální až dlouhé, s mírným jarem a mírným podzimem; zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normální až krátkou sněhovou pokrývkou (60–100 dní). Průměrná roční teplota v klimatické oblasti MT5 dosahuje hodnot 6–7 °C. Pro klimatickou oblast MT9 je typické 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 (60–80 dní). Průměrná roční teplota v klimatické oblasti MT9 činí 7–8 °C.

Průměrné roční srážkové úhrny kolem 550 mm řadí lokalitu Dukovany-západ mezi srážkově průměrné až sušší oblasti České republiky. V dlouhodobém průměru měsíčních srážkových úhrnů v období 1981–2010 připadá hlavní maximum na červen a červenec, kdežto období od října do března má celkem vyrovnané a spíše nižší srážkové úhrny.

B.7.7 Biologické jevy

Krajinu zájmového území EDU-Z lze charakterizovat jako krajinu zemědělskou až lesozemědělskou.

Ve struktuře krajiny severní poloviny zájmového území dominují větší bloky zemědělské půdy, která je využívána převážně jako orná. Zastoupení trvalých travních porostů je minimální. Lesní porosty se nacházejí pouze jihozápadně od obce Lipník (místní název lesa Za Humny) a ve větším rozsahu pak při severozápadním okraji zájmového území na úbočí Klučovské hory. Biologické jevy jsou v zájmovém území ovlivněny zemědělským hospodařením. Z tohoto hlediska lze předpokládat, že hnojení, a zejména hnojení organické, a pesticidy mají výrazný vliv na mikrobiální aktivity v půdě, v přípovrchové zvodni i v povrchových vodách a také na jejich chemické složení (např. ionty NO₃, NH₄) s následným vstupem do potravinových řetězců. V další fázi prací se předpokládá, že bude

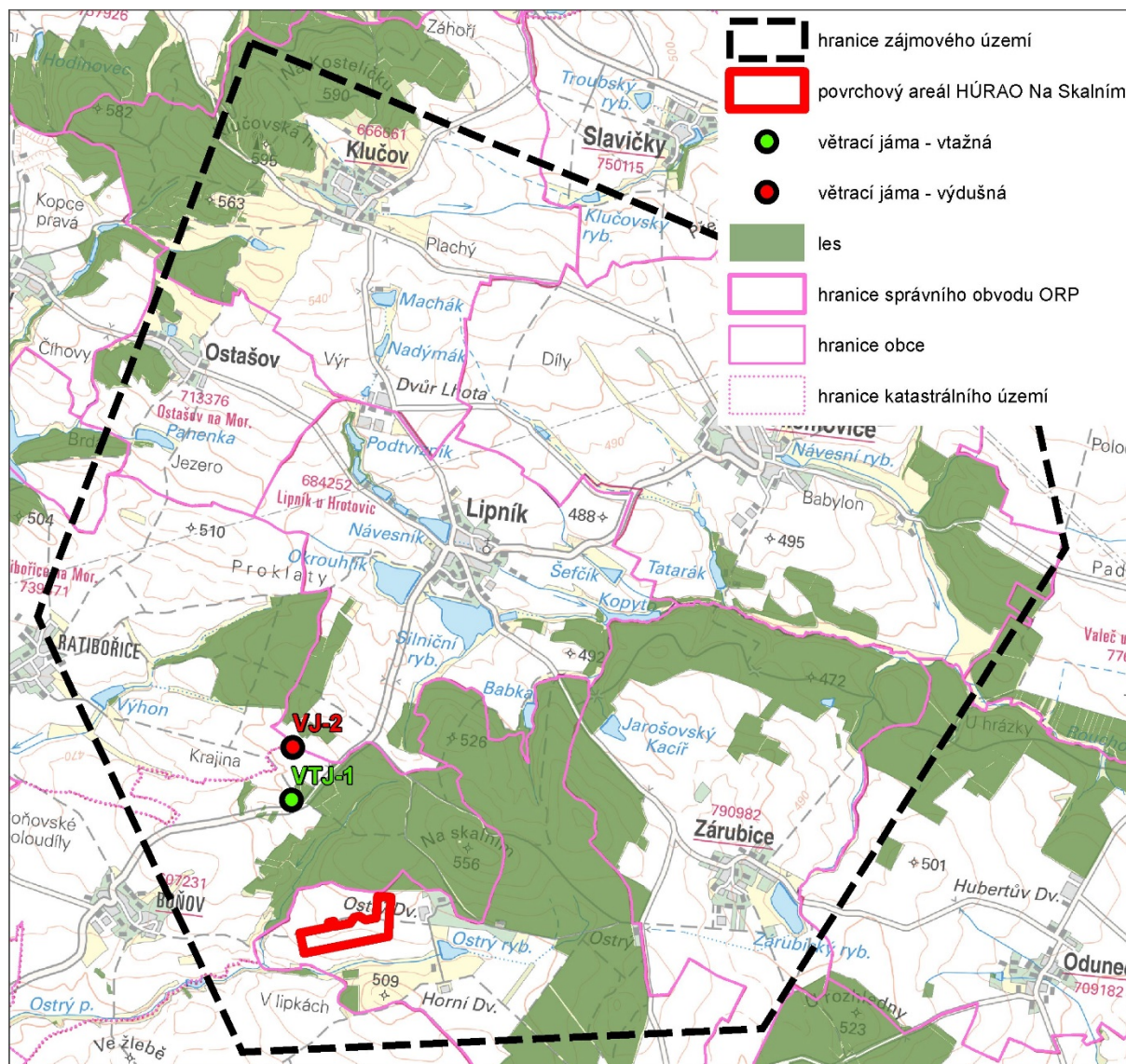
proveden biologický monitoring, především ve vymezených územích povrchového areálu. Na základě výsledků pak bude možné podrobněji vyhodnotit předpokládané vlivy na technologická zařízení, a nastavit soubor opatření tak, aby případné negativní důsledky byly eliminovány, případně zcela vyloučeny.

B.7.8 Přírodní požáry

Míru zastoupení lesních porostů, resp. pozemků určených k plnění funkcí lesa (lesnatost území) v jednotlivých k. ú., zasahujících do polygonu EDU-Z a v jeho okolí vyjadřuje Tab.15 a Obr. 18.

Tab.15: Podíl lesů ve vybraných k. ú. v lokalitě Na Skalním a v blízkém okolí (ČÚZK, 2017)

Název k. ú.	Celkem k.ú.	Z toho PUPFL	
	[ha] (= 100%)	[ha]	%
Boňov	547,22	145,39	26,57
Dolní Vilémovice	990,77	99,15	10,01
Klučov	728,12	245,91	33,77
Lipník u Hrotovic	514,06	45,94	8,94%
Myslibořice	1 122,34	295,16	26,30
Ostašov na Moravě	213,30	18,73	8,78
Příložany	676,40	80,23	11,86
Ratibořice na Moravě	639,04	86,78	13,58
Zárubice	552,22	188,10	34,06
CELKEM	5 983,47	1 205,38	20,15



Obr. 18: Prostorové rozmístění lesních porostů v zájmovém území EDU-Z (dle ÚHÚL)

S ohledem na místní terénní a fyzické podmínky nelze nebezpečné šíření požáru z okolí PA vyloučit. Z důvodu minimalizace nebezpečí ohrožení požárem bude nutné do vzdálenosti min. 50 m od jeho hranice odstranit lesní porost.

B.7.9 Pád letadla a jiných objektů

Praděpodobnost pádu letadla je zpravidla velmi malá a pohybuje se pod hodnotou 10^{-8} za rok. Podrobnější posouzení možnosti pádu letdla bude doplněno v další fázi výběru lokality.

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).

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

B.7.11 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.7.12 Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy

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

B.7.12.1 Silniční ochranná pásma

Polygonem prochází silnice II. třídy č. 401, která vede z Vladislavi do Jaroměřic nad Rokytnou. Je dlouhá 18,1 km. Prochází jedním krajem a jedním okresem.

Varianty silničního napojení PA jsou uvažovány ze dvou nejbližších silnic II. třídy a to:

- II/152 Dukovany – Jaroměřice nad Rokytnou – Moravské Budějovice (pro variantu DU-s1),
- II/360 Třebíč – Jaroměřice nad Rokytnou (pro variantu TE-s2).

Označení variant respektuje, obdobně jako u variant kolejového napojení, přístupové směry od obou hlavních zdrojů VJP, tzn. ETE a EDU i s vědomím, že na silniční dopravu v relaci ETE – HÚ, resp. EDU – HÚ budou s ohledem na předpokládané využití, specifikované v úvodu, kladeny menší nároky, než v případě kolejové dopravy.

Z hlediska silničního napojení je důležitá vazba na nadřazenou silniční síť, zejména s ohledem na přepravu materiálu v období výstavby a provozu HÚ. Ve vztahu k lokalitě Na Skalním připadají v úvahu silnice:

- I/23 Rosice (D1) – Třebíč – Jindřichův Hradec – Soběslav (D3),
- I/38 Jihlava (D1) – Moravské Budějovice – st. hranice ČR / Rakousko.

Ochranné pásmo 50 m od osy vozovky pro silnice I. třídy, 15 m od osy vozovky pro silnice II. a III. třídy (Krajíček et al., 2018)

B.7.12.2 Ochranná pásma dráhy

V blízkosti polygonu prochází železniční trať č. 241 - je jednokolejná neelektrizovaná železnice spojující Znojmo a Okříšky. Na trati se nachází jeden tunel. Maximální povolená rychlost je 80 km/h.

Ochranné pásmo je 60 m od osy krajní koleje.

B.7.12.3 Ochranná pásma plynovodu, ropovodu nebo jiného produktovodu

Územím polygonu Na Skalním procházejí:

- VTL plynovody distribuční soustavy ve směru:
 - Hrotovice – Myslibořice – Jaroměřice n. Rokytnou,
 - Valeč – Třeбенice – Dol. Vilémovice.

Do HÚ bude přiveden zemní plyn STL plynovodní přípojkou z nejbližší možné lokality, tj. z STL plynovodu jižně od obce Zárubice, alternativně je možné napojení z STL plynovodu zásobující plynem obec Lipník.

Bezpečnostní pásmo plynovodního potrubí s tlakem do 40 bar je dle zákona č. 314/2009 Sb. a dle DN potrubí až 65 m od osy potrubí na obě strany. Ochranné pásmo u nízkotlakých a středotlakých plynovodů a plynovodních přípojek, jimiž se rozvádí plyn v zastavěném území obce 1 m na obě strany od půdorysu. Ochranné pásmo u ostatních plynovodů a plynovodních přípojek 4 m na obě strany od půdorysu (Zákon č. 314/2009)

B.7.12.4 Ochranná pásma zařízení elektrizační soustavy

Územím polygonu procházejí:

- elektrická vedení přenosové a distribuční soustavy:
 - ZVN 400 kV (V433) ve směru TR Slavětice (EDU) - Valeč – Dol. Vilémovice – Ratibořice – Dačice - TR Dasný / Č. Budějovice (400 kV –V433),
 - VVN 110 kV (V5580/5581) ve směru TR Slavětice – Valeč – Slavíčky – Střítěž - TR Řípov / Třebíč

Ochranné pásmo nadzemního vedení je měřeno od krajního vodiče, do 35 kV – 7 m, do 110 kV – 12 m, do 220 kV – 15 m, do 400 kV – 20 m (Zákon č. 314/2009) na obě strany.

B.7.12.5 Ochranná pásma zařízení na výrobu či rozvod tepelné energie

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

B.7.12.6 Ochranná pásma nadzemních a podzemních telekomunikačních vedení

Ve vrcholové části Klučovské hory je umístěno významné telekomunikační zařízení (vysílač Klučovská hora) (Krajíček et al., 2018)

Ochranné pásmo nadzemního vedení činí od krajního vodiče vedení (u zařízení vlastní telekomunikační sítě držitele licence) 1 m na obě jeho strany (Zákon č. 314/2009) Ochranné pásmo podzemního komunikačního vedení činí 1,0 m po stranách krajního vedení (Zákon č. 127/2005 Sb.)

B.7.12.7 Ochranná pásma letišť a leteckých staveb

Z hlediska střetů zájmů případného umístění PA lze za nejvýznamnější faktor považovat ochranná pásma vojenského letiště Náměšť nad Oslavou, vyhlášená Ministerstvem obrany dne 09. 05. 2013. Jedná se o tato ochranná pásma:

- OP výškového omezení staveb - vnější vodorovná plocha 609,0 m n. m, zasahuje do severovýchodní části polygonu na území obcí Dolní Vilémovice, Zárubice, Odunec a Valeč,
- OP RSP-6 Náměšť n. Osl. (Klučovská hora – radar AČR) – zasahuje do severozápadní části polygonu na území obcí Klučov, Ostašov, Petrůvky, Jaroměřice n. Rokytou, Lipník, Slavíčky a Dolní Vilémovice.

Tato ochranná pásma svým rozsahem významně zasahují do severní části polygonu (Zákon č. 314/2009)

B.7.12.8 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 B.6.

B.7.12.9 Ochranná pásma zvláště chráněného území

Velkoplošná zvláště chráněná území, ani jejich ochranná pásma, se v zájmovém území nevyskytují.

Ve zájmovém území Na Skalním se dle evidence Ústředního seznamu ochrany přírody (dále jen „ÚSOP“) nalézají jediné MZCHÚ a to přírodní památka (PP) Klučovský kopec. Předmětem ochrany je společenstvo suchomilných trávníků s výskytem silně ohroženého koniklece lučního na okraji jeho moravského areálu rozšíření. Jedná se o drobnou loučku a mez na jižním svahu Klučovské hory, v nadmořské výšce 556 – 560 m, asi 5 km severně od PA.

Ostatní maloplošná zvláště chráněná území se nacházejí mimo vymezený polygon, přičemž nejbližší lokalitou je přírodní rezervace (PR) Jedlový les a údolí Rokytné, cca 6 km od PA. Další MZCHÚ se nacházejí ve větší vzdálenosti.

B.7.12.10 Ochranná pásma nemovité kulturní památky

Jediným památkově chráněným územím v polygonu Na Skalním je vesnická památková zóna (dále jen „VPZ“) Boňov. Svým charakterem jde o obec horského návesního typu s téměř zachovaným původním půdorysem a architektonickou hodnotou řady objektů, zejména v centrální části obce (náves obklopená štítově orientovanými uzavřenými statky s branou a přízemními, delší stranou do ulice řazenými domy se zdobenými vjezdovými branami, kaple se zvoničkou z druhé poloviny 19. století). Boňov byl prohlášen památkovou zónou vyhl. MK č. 249/1995 Sb., ze dne 22. září 1995, o prohlášení území historických jader vybraných obcí a jejich částí za památkové zóny.

V rámci zastavěného území obcí v rámci polygonu jsou evidovány jednotlivé nemovité kulturní památky (zejména sakrální stavby a zachované historické usedlosti). Kostel se nachází pouze v Lipníku (kostel sv. Jana Křtitele), v ostatních sídlech jsou evidovány pouze návesní kaple.

Mimo zájmové území Na Skalním, cca 4 km JZ, se nachází městská památková zóna (dále jen „MPZ“) Jaroměřice nad Rokytnou, jejíž součástí je také národní kulturní památka barokní zámecký komplex s farním kostelem sv. Markéty. Je obklopen pravidelnou zahradou francouzského typu, která přechází v přírodně krajinářský park. V centru Myslibořic, cca 3,5 km JV od PA se nachází zámek z 20. let 18. století a pozdně renesanční kostel Sv. Lukáše [2].

Území s doloženým nebo předpokládaným výskytem archeologických nálezů jsou dle evidence Národního památkového ústavu (dále jen „NPÚ“) jsou vázána především na zastavěná území sídel a jejich bezprostřední okolí. Na k. ú. Myslibořice, cca 1,5 km východně od lokality Na Skalním se v zalesněném svahu nad potokem Ostrý nachází archeologické naleziště v prostoru bývalé tvrze a vesnice Lykodery, zaniklé pravděpodobně ve 14. století (Krajíček et al., 2018)

B.7.12.11 Ochranná pásma vodního zdroje

Na území polygonu EDU-Z se nevyskytuje žádný zdroj pitné vody pro veřejné účely ani do polygonu nezasahují žádná ochranná pásma vodních zdrojů ležících mimo polygon. Nejbližší obcí za hranicí EDU-Z zásobovanou z vlastních, lokálních zdrojů podzemní vody je Valeč. Zdrojem pitné vody jsou zde dva vrty hluboké 45 a 70 m s celkovou vydatností 2 l/s.

	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

Zásobování obcí na území polygonu EDU-Z (Klučov, Ostašov, Lipník, Dolní Vilémovice, Zárubice, Myslibořice a Jaroměřice nad Rokytnou) pitnou vodou je zajištěno zejména z veřejných vodovodů zásobených z oblastního vodovodu Třebíčsko (Vranov – Třebíč) s úpravou vody Štítary. Skupinový vodovod Třebíčsko je souhrnný název pro centrální vodárenský systém zahrnující tři zdroje pitné vody: prameniště Heraltice, vodárenskou nádrž Mostiště a vodní nádrž Vranov. Zásobování pitnou vodou je v obcích na území polygonu zajištěno z větve dukovanské a trebičské oblastního vodovodu, které jsou zásobovány z vodní nádrže Vranov. Prameniště Heraltice je jedním ze zdrojů pitné vody v případě nouzového zásobování obcí za krizové situace, ostatní obce budou zásobeny balenou vodou.

B.7.12.12 Ochranná pásma zdrojů léčivých minerálních vod

V lokalitě Na Skalním a jeho bezprostředním okolí se nenacházejí zdroje léčivých minerálních vod.

B.7.12.13 Zóny havarijního plánování jiného jaderného zařízení nebo stanovené podle jiného právního předpisu

V zájmovém území Na Skalním a jejím bezprostředním okolí se nachází zóna havarijního plánování jaderného zařízení – JE Dukovany. To této zóny náleží všechny obce ležící v zájmovém území Na Skalním [6].

B.7.12.14 Ochranné pilíře jam, celíků a pásem povrchových a důlních objektů

V lokalitě Na Skalním se nenacházejí ochranné pilíře jam, celíků a povrchové a důlní objekty.

B.7.13 Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj

Součástí posouzení území z hlediska vhodnosti pro umístění HÚ musí být dle § 17 vyhl. č. 378/2016 Sb. (Vyhláška č. 378/2016 Sb., o umístění jaderného zařízení) také údaje o počtu obyvatel, územním rozložení a hustotě osídlení. Počty obyvatel a hustota osídlení, přičemž toto posouzení je třeba provádět pro území do vzdálenosti 30 km od jaderného zařízení. V příloze H.2. této dokumentace je uveden tabelární přehled všech měst a obcí, jejichž územní obvody zasahují do kruhu o poloměru 30 km se středem v ploše PA s údaji o počtu obyvatel k 31.12. 2016, rozloze územního obvodu a hustotě osídlení. Velikostní typologie obcí a hustota osídlení jsou zobrazeny v grafickém schématu 5a. Území Rakouska není v těchto přílohách zahrnuto s ohledem na jeho minimální rozsah.

Území do 30 km od lokality Na Skalním patří z největší části do kraje Vysočina, částečně pak do Jihomoravského a okrajově též do Jihočeského kraje. Celková rozloha územních obvodů obcí, které se zcela nebo částečně nacházejí uvnitř této kružnice, je cca 328,66 km². K 31.12. 2016 zde žilo celkem 255 801 obyvatel, z toho ve městech³ celkem 135 170 obyvatel, tj. 52,8% z celkového počtu obyvatel. Obcí se statutem města má ve vymezeném území 13 obcí, z celkového počtu 342. Z hlediska velikostní typologie mají pouze Třebíč a Znojmo více jak 30 tis. obyvatel. Jediným městem o velikosti nad 10 tis. obyvatel je Velké Meziříčí. Více jak 5000 obyvatel mají města Ivančice, Moravské Budějovice, Moravský Krumlov a Velká Bíteš. Počet obyvatel ostatních měst (Náměšť nad Oslavou, Oslavany, Jaroměřice nad Rokytnou, Jemnice, Zbýšov, Brtnice) se pohybuje cca v intervalu od 3,7 do

³ Ve smyslu § 3odst. 1 zák. č. 128/2000 Sb., o obcích, ve znění pozdějších předpisů je za město považována obec s min. 3 000 obyvateli.

4,8 tis. obyvatel. Souhrnné údaje o velikostní struktuře obcí ve vymezeném území následující Tab. 16.

Tab. 16: Velikostní struktura osídlení do 30 km od PA (www.czso.cz)

Velikostní kategorie	Počet	Počet obyvatel celkem ⁴	Tj. % z celkového počtu obyvatel	Průměrná hustota osídlení [obyv. / km ²]
Města nad 30 tis. obyv.	2	70 153	27,42	572,0
Města nad 10 tis. obyv.	1	11 593	4,53	285,1
Města nad 5 tis. obyv.	4	28 068	10,97	157,4
Ostatní města do 5 tis. obyv.	6	25 356	9,91	233,5
Obce do 3 tis. obyv.	21	29 868	11,68	81,7
Obce do 1 tis. obyv.	56	37 488	14,66	59,8
Obce do 500 obyv.	252	53 275	20,83	30,5

Vysvětlivky: Celkový počet obyvatel v obcích do 30 km: 255 801 = 100%

Tabulka výše dokládá roztržitou strukturu osídlení s převahou malých a velmi malých obcí. Z měst nad 5 tis. obyvatel se „uvnitř“ sledovaného území nachází pouze Třebíč a Moravské Budějovice. Ostatní větší města se nacházejí na okraji vymezeného pásma, po obou stranách hranice vymezeného 30 km pásma (Znojmo, Velké Meziříčí, Ivančice, Moravský Krumlov, Velká Bíteš). Za této situace je logické, že funkci přirozených spádových center s vyšším stupněm občanské vybavenosti a významnější obytnou resp. pracovní funkcí plní kromě menších měst (do 5 tis. obyvatel) také některé větší obce.

Osídlení v rámci polygonu má výhradně venkovský charakter. Všechny obce na území polygonu měly k 31.12. 2016 méně než 1 000 obyvatel. Město Jaroměřice nad Rokytnou zasahuje do polygonu pouze svými okrajovými k. ú. Boňov, Příložany a Ratibořice n. Moravě s čistě venkovskými sídly s malým počtem trvale bydlících obyvatel (viz Tab.17).

Tab. 17: Počet obyvatel v obcích polygonu Na Skalním (www.czso.cz)

Pověřený obecní úřad	Obec	Počet obyvatel k 31.12.2016
Hrotovice	Odunec	92
	Valeč	787
	Zárubice	119
Jaroměřice nad Rokytnou	Jaroměřice nad Rokytnou	4 181
	Myslbořice	722
Třebíč	Dolní Vilémovice	393
	Klučov	173
	Lipník	390
	Ostašov	138
	Slavičky	267

⁴ Stav k 31.12. 2016.

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

Pověřený obecní úřad	Obec	Počet obyvatel k 31.12.2016
	Výčapy	866

Nejvýznamnějším sídelním a spádovým centrem celého území je město Třebíč (36 330 obyv. vzdálené cca 10 km severozápadně od vymezeného polygonu⁵. Kromě správního centra celé oblasti (ORP) je Třebíč také významným zdrojem pracovních příležitostí a vyšší občanské vybavenosti. Ostatní centra osídlení v nejbližším okolí jsou již výrazně menší – Jaroměřice nad. Rokytinou (4 181 obyv.), vzdálené cca 6 km jihozápadně a Hrotovice (1 770 obyv), cca 8 km jihovýchodně. Jako správní centra území je postavení obou obcí rovnocenné (POÚ), v sídelní struktuře regionu mají významnější postavení Jaroměřice nad Rokytinou (počet obyvatel, občanská vybavenost, počet podnikatelských subjektů).

Hlavními centry dojížděky do zaměstnání jsou město Třebíč a Dukovany, resp. Elektrárna Dukovany. Doplňkovým zdrojem pracovních příležitostí je zemědělská a ostatní místní výroba a služby. Podíl nezaměstnaných osob na celkovém počtu ekonomicky aktivních obyvatel (tj. 15 – 64 let) ve výše uvedených obcích dosahoval k 31. 12. 2016 od 2,8% (Petrůvky) do 12,3 % (Odunec). Ve většině obcí pak přesáhl krajský průměr 5,17 %.

B.7.14 Současné využití území

Celkový charakter a míru využití území dokládá zastoupení jednotlivých druhů pozemků v členění dle zákona o katastru nemovitostí (Zákon č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (katastrální zákon), ve znění pozdějších předpisů). Mezi zemědělské pozemky patří orná půda, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty, vinice a chmelnice. Za nezemědělské pozemky jsou považovány lesní půda, vodní plochy, zastavěné plochy a nádvoří a ostatní plochy. Z hlediska rekreačního využití má území polygonu Na Skalním význam spíše okrajový. Jediným atraktivnějším prostorem je pouze masiv Klučovské hory při sz. okraji území s možností dálkových výhledů směrem na východ a jih.

B.7.15 Vliv jiného jaderného zařízení

Lokalita se nachází v blízkosti jaderné elektrárny Dukovany, skladu vyhořelého paliva a URAO Dukovany. V případě současně provozu těchto zařízení bude nutno posoudit kumulativní vliv těchto zařízení na člověka a životní prostředí.

B.7.16 Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu

Nebyly zjištěny žádné ostatní charakteristiky území, které by podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) zakazovaly umístění hlubinného úložiště v lokalitě Na Skalním.

⁵ Orientační údaj, vztaženo vždy k obci Lipník, která se nachází nejbližše středu polygonu.

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 (Čechák 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 $< 8,6 \cdot 10^{-4}$ celkové uvolnitelné aktivity respektive $< 1,5 \cdot 10^{-2}$ 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.

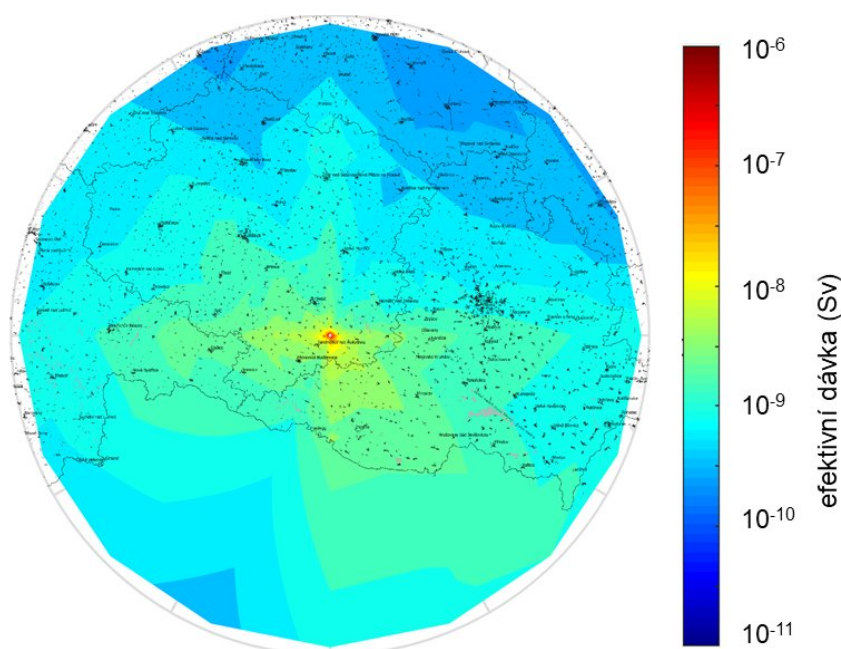
Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivity POS se započtením filtrace (99,9999 %)

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	1,39E+05	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 během 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 dlouhodobém vypouštění je uveden na Obr. 19.



Obr. 19: 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 u lokality Na Skalním. Hodnoty takto omezené kolektivní efektivní dávky udává Tab. 20.

Tab. 20: Omezená kolektivní efektivní dávka

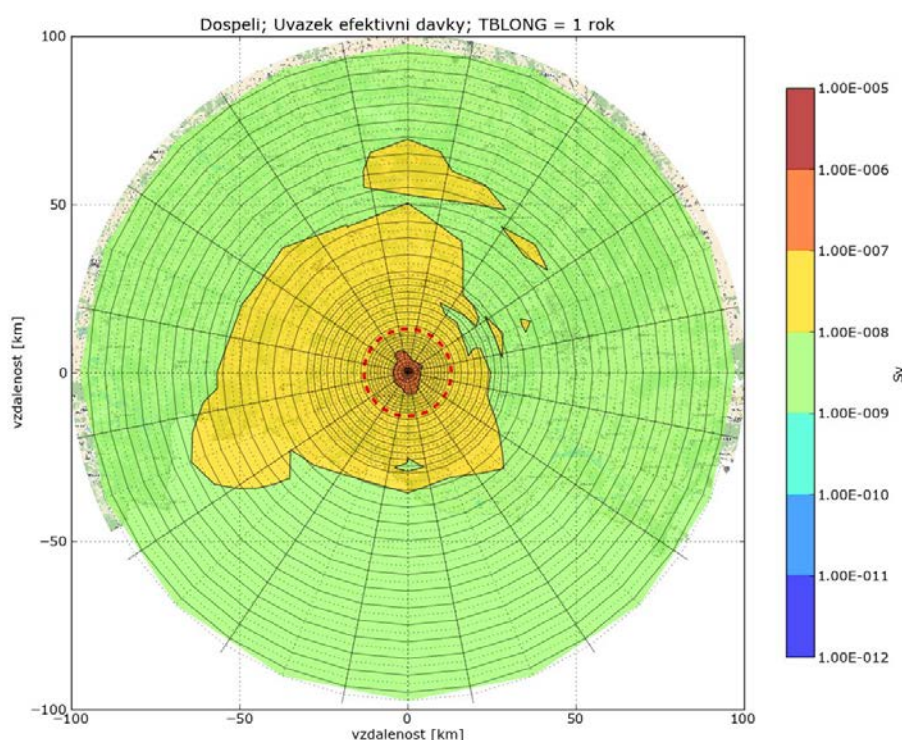
poloměr [km]	počet obyvatel (2011)	kolektivní efektivní dávka [man Sv]
10	15026	1,24E-04
25	130551	4,04E-04
30	208341	5,71E-04

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 započtením 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
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. 20.



Obr. 20: 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	2,39E-07	2,85E-07	1,66E-04	0,5	0,1	30,9	68,5
2	202,5	1,18E-07	1,40E-07	5,85E-05	0,5	0,1	33,7	65,7
3	225	1,44E-07	1,71E-07	8,86E-05	0,4	0,1	27,8	71,7
4	247,5	1,52E-07	1,82E-07	3,20E-04	0,4	0,1	27,1	72,5
5	270	3,88E-07	4,61E-07	6,76E-04	0,4	0,1	31,9	67,6
6	292,5	1,72E-07	2,01E-07	2,67E-04	0,4	0,1	29,6	69,9
7	315	2,62E-07	3,07E-07	1,15E-04	0,4	0,1	29,5	70,0
8	337,5	2,16E-07	2,54E-07	1,62E-04	0,3	0,1	28,0	71,6
9	360	2,35E-07	2,77E-07	4,13E-05	0,3	0,1	26,0	73,6
10	22,5	9,86E-08	1,16E-07	1,19E-05	0,3	0,1	28,8	70,7
11	45	1,41E-07	1,65E-07	5,14E-05	0,3	0,1	27,6	72,0
12	67,5	1,62E-07	1,89E-07	7,15E-05	0,4	0,1	25,5	74,1
13	90	3,37E-07	4,02E-07	1,85E-04	0,4	0,1	27,7	71,8
14	112,5	2,04E-07	2,43E-07	1,27E-04	0,5	0,1	32,2	67,2
15	135	2,39E-07	2,84E-07	1,93E-04	0,4	0,1	32,0	67,5
16	157,5	1,50E-07	1,78E-07	1,30E-04	0,4	0,1	29,6	69,9

^{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 dlaždici

^{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 špatnými rozptylovými podmínkami – 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	5,42E-06	6,16E-06	1,47E-03	1,07	8,34	63,83	26,76
2	202,5	5,42E-06	6,16E-06	9,74E-04	1,20	7,88	65,65	25,27
3	225,0	5,42E-06	6,16E-06	8,52E-04	1,30	9,38	59,29	30,03
4	247,5	5,42E-06	6,16E-06	2,58E-03	1,25	11,86	49,07	37,83
5	270,0	2,75E-06	3,12E-06	2,15E-03	1,24	7,49	67,34	23,93
6	292,5	6,34E-07	6,75E-07	1,32E-03	0,98	9,60	58,67	30,75
7	315,0	6,65E-07	7,08E-07	4,50E-04	0,79	7,25	68,49	23,46
8	337,5	6,72E-07	7,16E-07	6,52E-04	0,89	7,43	67,79	23,89
9	360,0	6,77E-07	7,21E-07	1,81E-04	0,69	11,13	52,27	35,91
10	22,5	6,82E-07	7,26E-07	1,49E-04	0,60	9,51	58,97	30,91
11	45,0	6,78E-07	7,23E-07	5,03E-04	0,67	7,40	67,77	24,17
12	67,5	6,44E-07	6,86E-07	5,10E-04	0,79	10,19	56,14	32,88
13	90,0	1,15E-06	1,30E-06	8,74E-04	0,98	8,54	63,07	27,41
14	112,5	1,46E-06	1,66E-06	1,12E-03	0,99	7,56	67,19	24,26
15	135,0	2,50E-06	2,84E-06	1,58E-03	0,92	7,66	66,87	24,56
16	157,5	3,97E-06	4,52E-06	1,72E-03	1,02	6,67	70,93	21,39

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 0,39 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ u dospělého jedince a 0,46 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ 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 5,4 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ respektive 6,2 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ 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, 2017, 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. 2017) 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 případné maximum vypočtené dávky

Sociální předpoklady

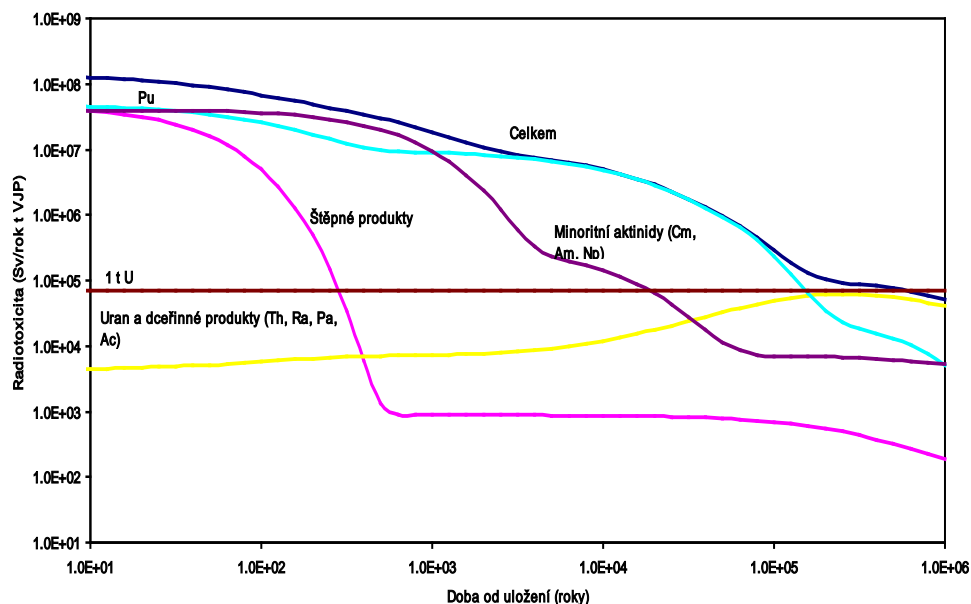
Zemědělská komunita

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. 21), 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. 21: 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.

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

	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalném	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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. 21), 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).

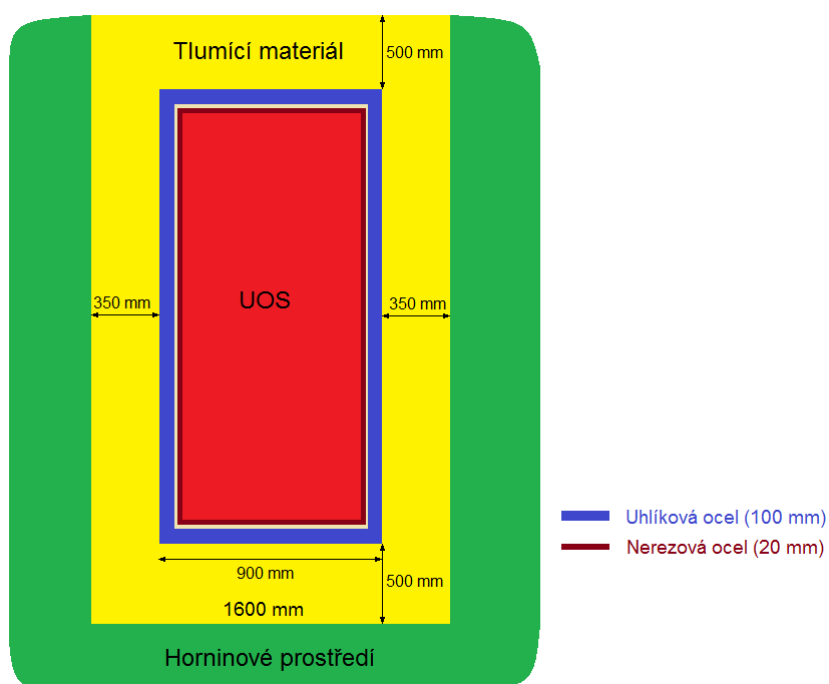
Identifikace všech VUP, které mohou ovlivnit bezpečnost úložiště je zcela zásadní pro provedení bezpečnostního rozboru hlubinného úložiště, neboť zanedbání nějakého procesu či události může výrazně ovlivnit výsledky bezpečnostního rozboru.

Seznam VUP, které mohou ovlivnit bezpečnost HÚ je uveden ve zprávě SÚRAO (Gondolli et al. 2018). 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 Konceptní 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.



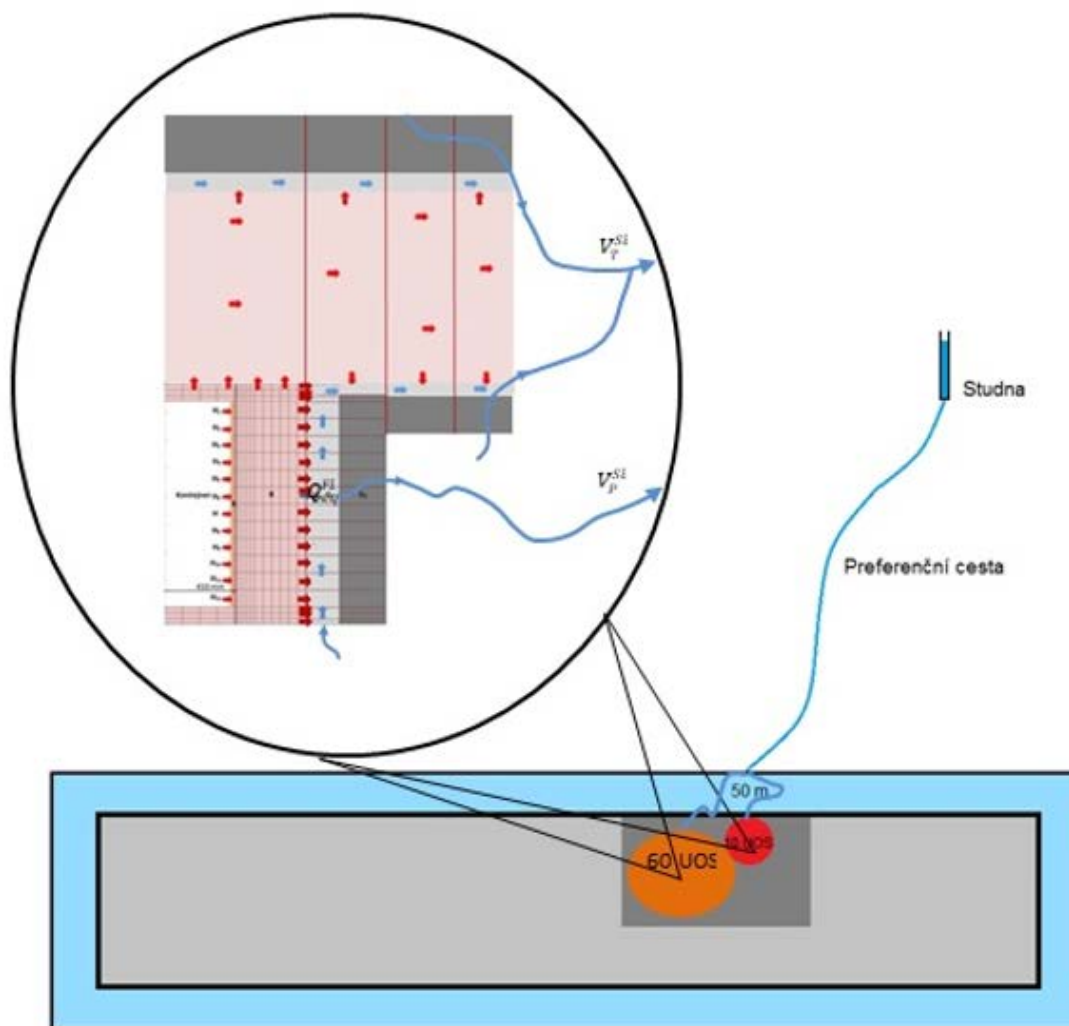
Obr. 22: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu

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. kategorie 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. 23).



Obr. 23 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.

Vlastnosti horninového prostředí potřebné pro výpočty transportu, tj. retardační koeficienty a rozpustnost vycházejí z dat získaných v rámci charakterizace lokality Kraví hora, protože z jiných lokalit nejsou tyto hodnoty dostupné z hloubek úložiště. Rovněž výpočet transportních cest vychází z hodnot relevantních pro lokalitu Kraví hora. Výsledky výpočtů efektivní dávky spočítané pomocí výpočetního kódu GoldSim nejsou proto specifické pro

lokalitu Na Skalním, ale jsou vztaženy k lokalitě Kraví hora. Výpočet efektivní dávky specifický pro kandidátní lokality by počítán pouze pomocí výpočetního kódu PAGODA. Hodnoty spočítané pro lokalitu Kraví hora je však možno srovnat pomocí dat uvedených v následující Tab. 26, kde jsou srovnány vybrané parametry, kterými se odlišují potenciální lokality z hlediska výpočtu efektivní dávky. Hodnoty efektivní dávky jsou přímo úměrné délce transportní cesty, době zdržení, specifickému toku vody přes úložiště a podílu transportu radionuklidů do dominantní drenáže.

Tab. 26: Transportní parametry potenciálních lokalit pro umístění HÚ

Kritická cesta výběru parametrů - nepříznivější hodnoty")	Povodí dominantní drenáže	Jeho podíl [%]	Délka cesty [m] medián (nižší hodnota)	Doba zdržení [roky] medián (nižší hodnota)	Specifický tok [l/s/km ²]
Březový potok	Březový potok	88	1800	9170	9,87e-3
Čertovka	Blšanka	100	1761	2463	4,07e-2
Čihadlo	Řečice	60	2576	10410	2,56e-2
Horka	Oslava	56,5	2618	7495	2,47e-2
Hrádek	Jedlovský potok	93,93	1034	2800	2.3e-2
Kraví hora	Bobruvka	82	1456	3273	3,8e-2
Magdalena	Smutná	96,22	1128	1764	3,51e-2
Na Skalním	Rokytná	67,8	3092	4843	2,52e-2
Janoch	Vltava	100	1204	8010	1,02e-2

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 uživatelem 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 uživatelem 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. 23, 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, transportní parametry těchto puklin jsou uvedeny v Tab. 27. Ve výplňovém materiálu se neuvažuje advektivní tok, pouze difúzní tok. Tyto podmínky definují v modelu blízkého pole preferenční cestu z UOS do geosféry, viz Obr. 23.

Tab. 27: 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]	7,58.10 ⁻⁵	Plocha [m ²]	7,58.10 ⁻⁵
Smáčený obvod [m]	2	Smáčený obvod [m]	2
Tok [m ³ /s]	2,29.10 ⁻⁸	Tok [m ³ /s]	2,29.10 ⁻⁸
Q_{eq}^{F1} [m ³ /s]	2,52.10 ⁻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 $V_{cel}[\text{m}^3/\text{s}] = 9,14 \cdot 10^{-7} [\text{m}^3/\text{s}]$. Tento tok odpovídá toku modelovým blokem na úrovni úložného prostoru o objemu $50 \times 50 \times 50 \text{ m}^3$, který protíná puklina s rozměry $50 \times 50 \text{ m}$ při rozevření $\delta = 7,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}$. 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 ($\mu = 1 \cdot 10^{-3} [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$), ρ je hustota vody ($\rho = 997 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$) a g je gravitační zrychlení ($g = 9,81 [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$).

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

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 UOS reprezentuje deset UOS, N_1 , které selžou okamžitě v čase $T_f = 1 \cdot 10^4 [\text{a}]$, druhá skupina šedesáti UOS, 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 $7,58 \cdot 10^{-5} [\text{m}]$ a difúzní koeficient ve vodě jako $D_w = 2 \cdot 10^{-9} [\text{m}^2/\text{s}]$, poloměr úložného vrtu $r_h = 0.9 [\text{m}]$, a rychlost proudění vody:

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

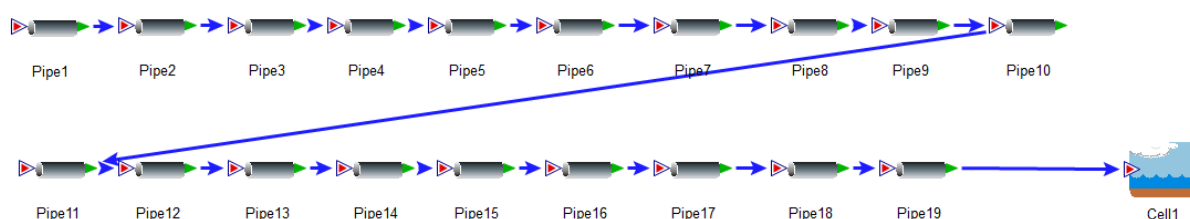
kde W je šířka pukliny rovna $1 [\text{m}]$.

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

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 $50 \times 50 \times 50 \text{ m}^3$, 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. 24).



Obr. 24 Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim

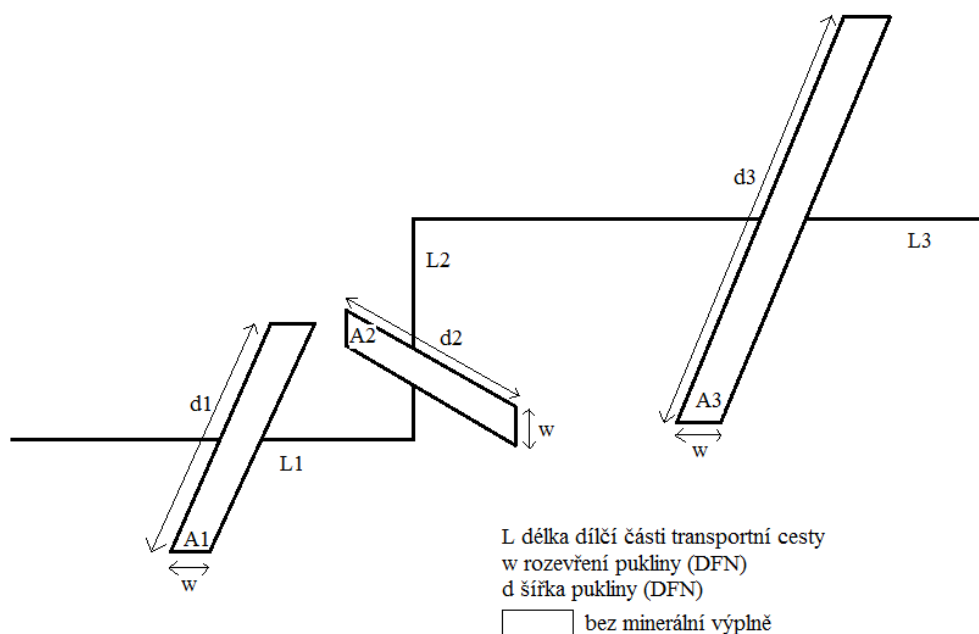
Každá část se liší transportními vlastnostmi a odpovídá vzdálenosti mezi pozorovacími body, ležících v jednotlivých modelových vrstvách v 3D transportním modelu či na jiném klíčovém rozhraní v 3D transportním modelu. Rozdělení do 19 částí bylo zvoleno z důvodu využitelnosti modelu vzdáleného pole na 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. 25):

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. 25 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 stáším 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).

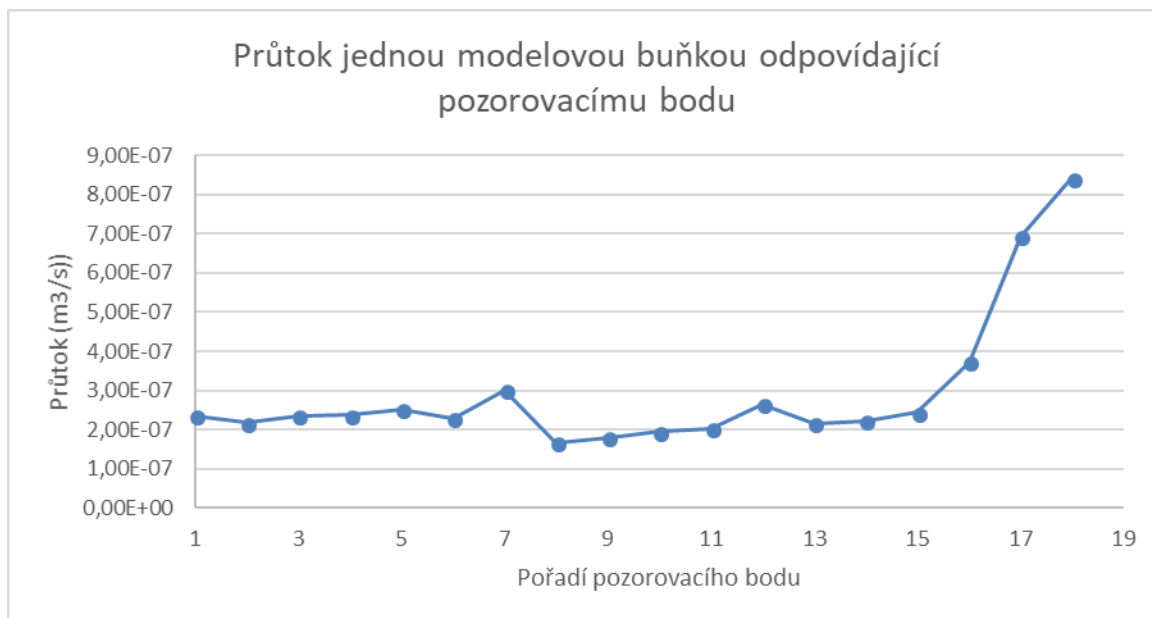
Průtočná plocha jednotlivých částí transportní cesty je dána vztahem:

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

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. 26 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. 26 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

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 rozdílu 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. 25 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.

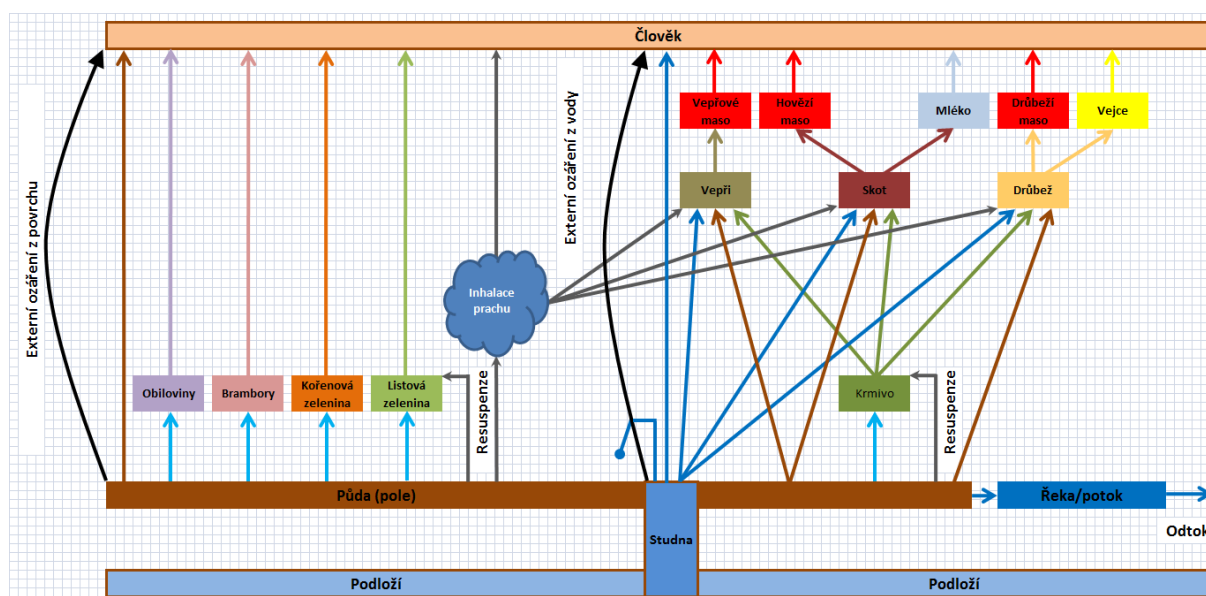
B.9.6.1.3 Model biosféry

Model biosféry pro lokalitu Na Skalním 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 geosféry/biosféry ("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. 27.



Obr. 27: 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

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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 490⁶ kg_{HM} pro NJZ. Aktivita vybraných radionuklidů uvažovaných ve výpočtech je uvedena v Tab. 28.

Tab. 28: 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
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

⁶ 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
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 předimenzování 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 získaná ve zmíněném projektu, ale i v dalších projektech zabývajících se výzkumem materiálů UOS např. Černík et al. (2017), Dobrev et al. (2017). 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.

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. 29).

Tab. 29: 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

Nuklid	IRF
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. 30 a v Tab. 31 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. 30: 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
C	$1,2\cdot 10^{-9}$	-1	Cs	$2,1\cdot 10^{-9}$	-1
Cl	$2,0\cdot 10^{-9}$	-1	Sm	$1,0\cdot 10^{-10}$	$9,0\cdot 10^{-7}$
Ca	$7,9\cdot 10^{-10}$	$1,0\cdot 10^{-2}$	Ho	$1,0\cdot 10^{-10}$	$9,0\cdot 10^{-7}$
Ni	$6,8\cdot 10^{-10}$	$8,0\cdot 10^{-5}$	Po	$5,0\cdot 10^{-10}$	-1
Co	$5,1\cdot 10^{-10}$	$8,0\cdot 10^{-5}$	Pb	$9,3\cdot 10^{-10}$	$8,0\cdot 10^{-5}$
Se	$1,3\cdot 10^{-10}$	$1,0\cdot 10^{-5}$	Ra	$8,9\cdot 10^{-10}$	$5,0\cdot 10^{-8}$
Sr	$7,9\cdot 10^{-10}$	$1,0\cdot 10^{-4}$	Ac	$8,9\cdot 10^{-10}$	$1,0\cdot 10^{-6}$
Zr	$1,0\cdot 10^{-9}$	$2,0\cdot 10^{-9}$	Pa	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-5}$
Mo	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-5}$	Th	$5,0\cdot 10^{-10}$	$3,0\cdot 10^{-6}$
Nb	$1,0\cdot 10^{-9}$	$8,0\cdot 10^{-5}$	Np	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-8}$
Tc	$2,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-8}$	U	$1,0\cdot 10^{-9}$	$5,0\cdot 10^{-7}$
Pd	$1,0\cdot 10^{-9}$	$2,0\cdot 10^{-7}$	Pu	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-6}$
Ag	$1,70\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-6}$	Am	$1,0\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-5}$

prvek	D_w [m ² ·s ⁻¹]	SL_{bent} [mol·dm ⁻³]	prvek	D_w [m ² ·s ⁻¹]	SL_{bent} [mol·dm ⁻³]
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. 31: Parametry bentonitové tlumící vrstvy, které shrnují současné poznatky o těchto materiálech. Jsou uvedeny ve formátu, jenž se jenž načítá při modelování komplexní model úložiště připravený v prostředí GoldSim (Trpkošová 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
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. 32).

Tab. 32: 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	Doporučená hodnota
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		
Mo	2,35.10 ⁻⁰⁵	2,35.10 ⁻⁰⁵	2,0.10 ⁻¹³
Nb	1,40.10 ⁻⁰⁶	1,0.10 ⁻⁰³	1,0.10 ⁻⁰⁸
Ni	3,07.10 ⁻⁰⁵	3,4.10 ⁻⁰³	9,5.10 ⁻⁰⁹
Np	1,15.10 ⁻⁰⁹	1,7.10 ⁻⁰⁵	1,8.10 ⁻¹⁸
Pa	1,00.10 ⁻⁰⁹	1,0.10 ⁻⁰⁵	1,0.10 ⁻¹¹
Pb	8,00.10 ⁻⁰⁵		
Pd	3,98.10 ⁻⁰⁶	4,0.10 ⁻⁰⁵	2,7.10 ⁻⁰⁶
Po	Nelimitováno rozpustností ^{h,i}		
Pu	2,00.10 ⁻¹¹	2,2.10 ⁻⁰⁴	2,6.10 ⁻¹⁴
Ra	1,20.10 ⁻⁰⁴	1,2.10 ⁻⁰⁴	4,0.10 ⁻⁰⁸
Se	1,63.10 ⁻¹²	2,4.10 ⁻⁰⁶	6,6.10 ⁻¹⁴
Sm	2,41.10 ⁻⁰⁸	3,7.10 ⁻⁰⁴	2,2.10 ⁻⁰⁹
Sn	1,43.10 ⁻⁰⁷	3,3.10 ⁻⁰⁶	1,1.10 ⁻⁰⁸
Sr	4,53.10 ⁻⁰⁵	6,7.10 ⁻⁰⁴	4,7.10 ⁻⁰⁶
Tc	4,17.10 ⁻⁰⁹	4,6.10 ⁻⁰⁷	4,5.10 ⁻¹³
Th	4,56.10 ⁻⁰⁷	6,1.10 ⁻⁰⁵	4,7.10 ⁻¹³
U	5,14.10 ⁻⁰⁸	1,6.10 ⁻⁰³	4,5.10 ⁻¹³

Prvek	Rozpustnost [mol dm^{-3}]		
	Doporučená hodnota	Horní limit	Doporučená hodnota
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. 33).

Tab. 33: 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
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

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 [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
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. 34).

Tab. 34: 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	$8,0 \cdot 10^{-16}$	$1,6 \cdot 10^{-15}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$1,23 \cdot 10^{-09}$
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	$6,40 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$

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 [$m^2 \cdot s^{-1}$]
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 BIOMASS-6 (Husťáková, 2018). Konceptní 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 (Husťáková, 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 Husťáková (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 (ppm factum research 2016), 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, **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 1,7.10⁻⁴ 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. 35.

Tab. 35: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu

Prvek	K_d [m ³ .kg ⁻¹]
Be	0,99
C	0,003
Cl	0,0003

Prvek	K_d [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
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 (vztahované na sušinu) jsou uvedeny v Tab. 36 (podrobnosti viz Husťáková, 2018)

Tab. 36: 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

Prvek	Obiloviny	Listová zelenina	Kořenová zelenina	Brambory	Krmivo	Krmivo založeno na
	(Cereals)	(Leafy vegetable)	(Root crops)	(Tubers)	(Fodder)	
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 krmivopícnin) byly převzaty z údajů dostupných na stránkách Českého statistického úřadu (viz Tab. 37).

Tab. 37: 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. 38.

Tab. 38: 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
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. 39.

	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

Tab. 39: Parametry použité pro hospodářská zvířata

Hospodářské zvíře	Denní spotřeba			Rychlost dýchání Krmivo
	Krmivo	Voda	Půda	
	[kg čer./den] [l/den]	[l/den]	(kg suš./den)	[kg čer./den] [l/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. 40 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. 40: 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	
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:

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalném	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

- 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) $3,0 \cdot 10^{-8} \text{ Bq/m}^3$ (Husťáková, 2018)

Rychlost dýchání reprezentativní osoby

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

- **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 ozářením, 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. 41 pro každou aktivitu reprezentativní osoby uvedeny příslušné pobytové časy, prašnosti vzduchu, rychlosti dýchání a způsob výpočtu zevního ozářením.

Tab. 41: 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. 42) budou použity při výpočtu celkové roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu, konkrétně příspěvků z příjmu radionuklidů požitím (ingesce) a příjmu radionuklidů vdechnutím (inhalace).

Tab. 42: 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
Ca-41	1,9.10 ⁻¹⁰	1,8.10 ⁻¹⁰
Ni-59	6,3.10 ⁻¹¹	4,4.10 ⁻¹⁰
Co-60	3,4.10 ⁻⁰⁹	3,1.10 ⁻⁰⁸
Ni-63	1,5.10 ⁻¹⁰	1,3.10 ⁻⁰⁹
Se-79	2,9.10 ⁻⁰⁹	6,8.10 ⁻⁰⁹
Sr-90	2,8.10 ⁻⁰⁸	1,6.10 ⁻⁰⁷
Nb-93m	1,2.10 ⁻¹⁰	1,8.10 ⁻⁰⁹
Zr-93	1,1.10 ⁻⁰⁹	2,5.10 ⁻⁰⁸
Mo-93	3,1.10 ⁻⁰⁹	2,3.10 ⁻⁰⁹
Nb-94	1,7.10 ⁻⁰⁹	4,9.10 ⁻⁰⁸
Tc-99	6,4.10 ⁻¹⁰	1,3.10 ⁻⁰⁸
Pd-107	3,7.10 ⁻¹¹	5,9.10 ⁻¹⁰
Ag-108m	2,3.10 ⁻⁰⁹	3,7.10 ⁻⁰⁸

Radionuklid	Požítí (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]
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	$4,8 \cdot 10^{-09}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$
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. 43. Pro výpočet ozáření z povrchu kontaminované půdy jsou konzervativně použity hodnoty faktorů pro nekonečnou hloubku půdy.

Tab. 43: 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	5,76.10 ⁻²¹	1,12.10 ⁻¹⁷	2,17.10 ⁻²⁰
C-14	7,20.10 ⁻²³	2,24.10 ⁻¹⁹	4,39.10 ⁻²²
Cl-36	1,28.10 ⁻²⁰	2,23.10 ⁻¹⁷	4,48.10 ⁻²⁰
Ca-41	0	0	0
Ni-59	0	0	0
Co-60	8,68.10 ⁻¹⁷	1,26.10 ⁻¹³	2,74.10 ⁻¹⁶
Ni-63	0	0	0
Se-79	9,96.10 ⁻²³	3,03.10 ⁻¹⁹	5,93.10 ⁻²²
Sr-90	3,77.10 ⁻²¹	7,53.10 ⁻¹⁸	1,46.10 ⁻²⁰
Nb-93m	5,57.10 ⁻²²	4,44.10 ⁻¹⁸	1,04.10 ⁻²⁰
Zr-93	0	0	0
Mo-93	3,16.10 ⁻²¹	2,52.10 ⁻¹⁷	5,92.10 ⁻²⁰
Nb-94	5,18.10 ⁻¹⁷	7,70.10 ⁻¹⁴	1,67.10 ⁻¹⁶
Tc-99	6,72.10 ⁻²²	1,62.10 ⁻¹⁸	3,14.10 ⁻²¹
Pd-107	0	0	0
Ag-108m	5,16.10 ⁻¹⁷	7,80.10 ⁻¹⁴	1,69.10 ⁻¹⁶
Sn-126	7,89.10 ⁻¹⁹	2,11.10 ⁻¹⁵	4,76.10 ⁻¹⁸
I-129	6,93.10 ⁻²⁰	3,80.10 ⁻¹⁶	8,91.10 ⁻¹⁹
Cs-135	2,05.10 ⁻²²	5,65.10 ⁻¹⁹	1,10.10 ⁻²¹
Cs-137	4,02.10 ⁻²¹	7,74.10 ⁻¹⁸	1,49.10 ⁻²⁰
Sm-151	5,27.10 ⁻²⁴	3,61.10 ⁻²⁰	8,50.10 ⁻²³
Ho-166m	5,51.10 ⁻¹⁷	8,45.10 ⁻¹⁴	1,84.10 ⁻¹⁶
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

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]]
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. 44.

Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech jsou uvedeny v Tab. 45.

Tab. 44: 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. 45: 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
Kravné 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:

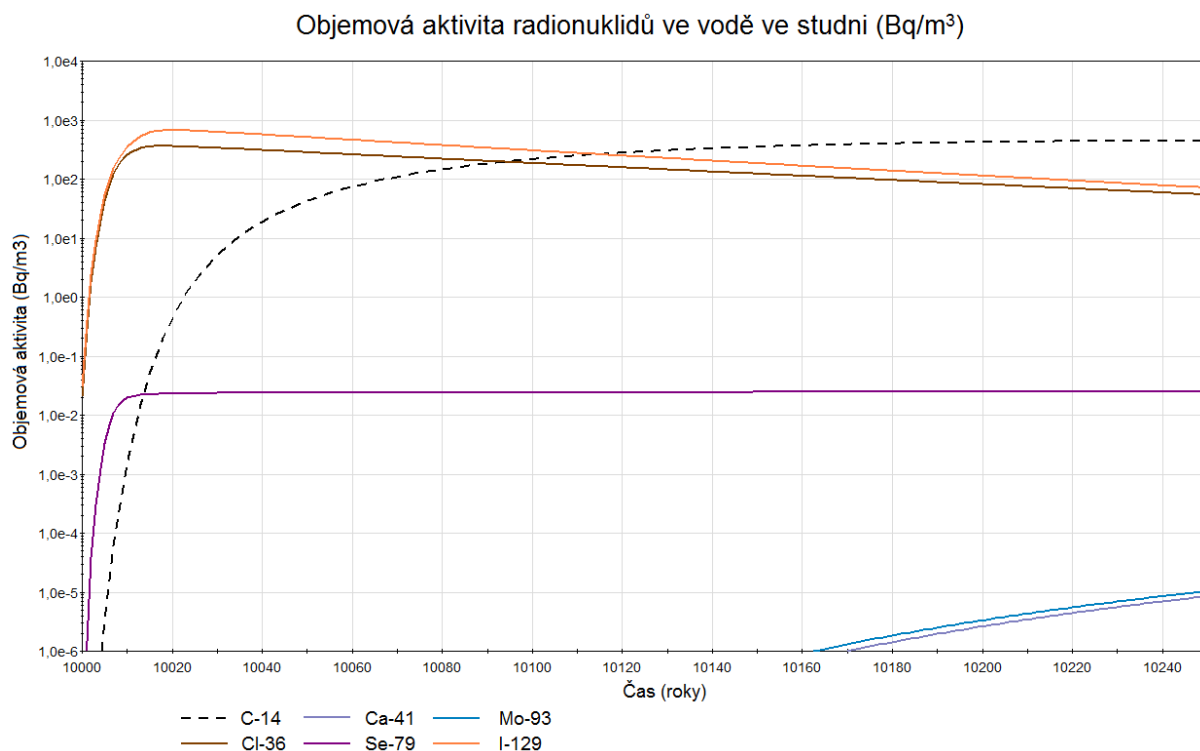
- roční efektivní dávku na reprezentativní osobu (pocházející z lidské komunity, žijící v místě, kde radionuklidy uvolněné z HÚ vstupují do biosféry; tato komunita je nejvíce zasažena),
- příspěvky jednotlivých radionuklidů k této dávce,
- příspěvky jednotlivých cest ozáření k této dávce (uvažovány jsou 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 geosféra/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

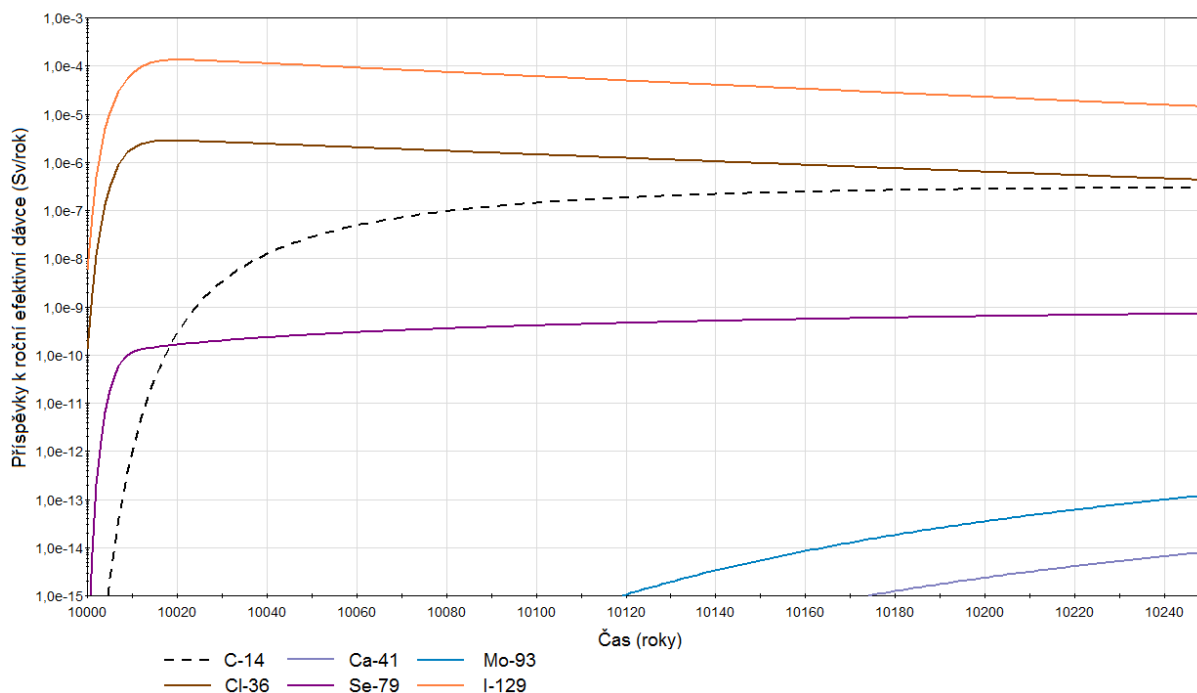
Grafy objemové na rozhraní horninové prostředí/biosféra při předpokladů poškození 10 UOS v době 10 000 let jsou uvedeny na Obr. 28.



Obr. 28: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m³) - (0-10250 let)

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce jsou uvedeny v grafu na Obr. 29 a celkové výsledky shrnuty v Tab. 46.

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



Obr. 29: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Tab. 46: 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

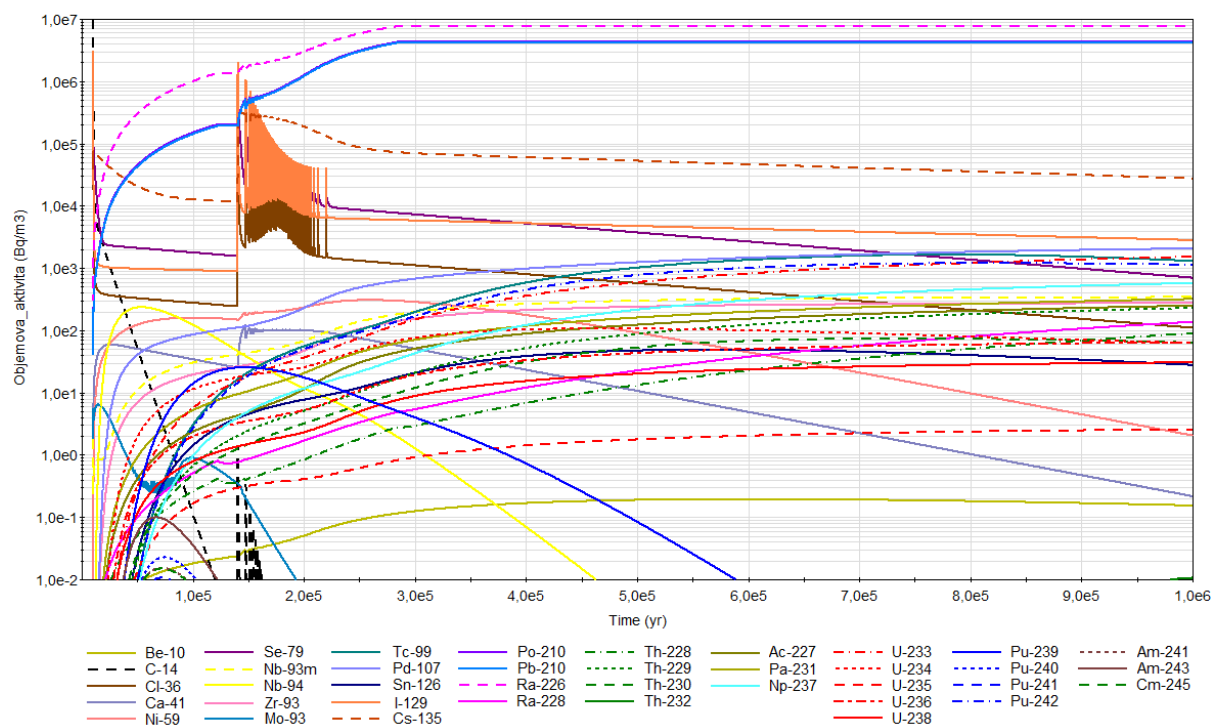
Deterministický výpočet Časový interval hodnocení 0 - 10 250 let	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
Hovězí maso	$1,55 \cdot 10^{-3}$	10 020
Mléko	$3,69 \cdot 10^{-2}$	10 020
Vepřové maso	$2,40 \cdot 10^{-3}$	10 022
Drůbeží maso	$9,91 \cdot 10^{-6}$	10 022
Vejce	$9,91 \cdot 10^{-6}$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

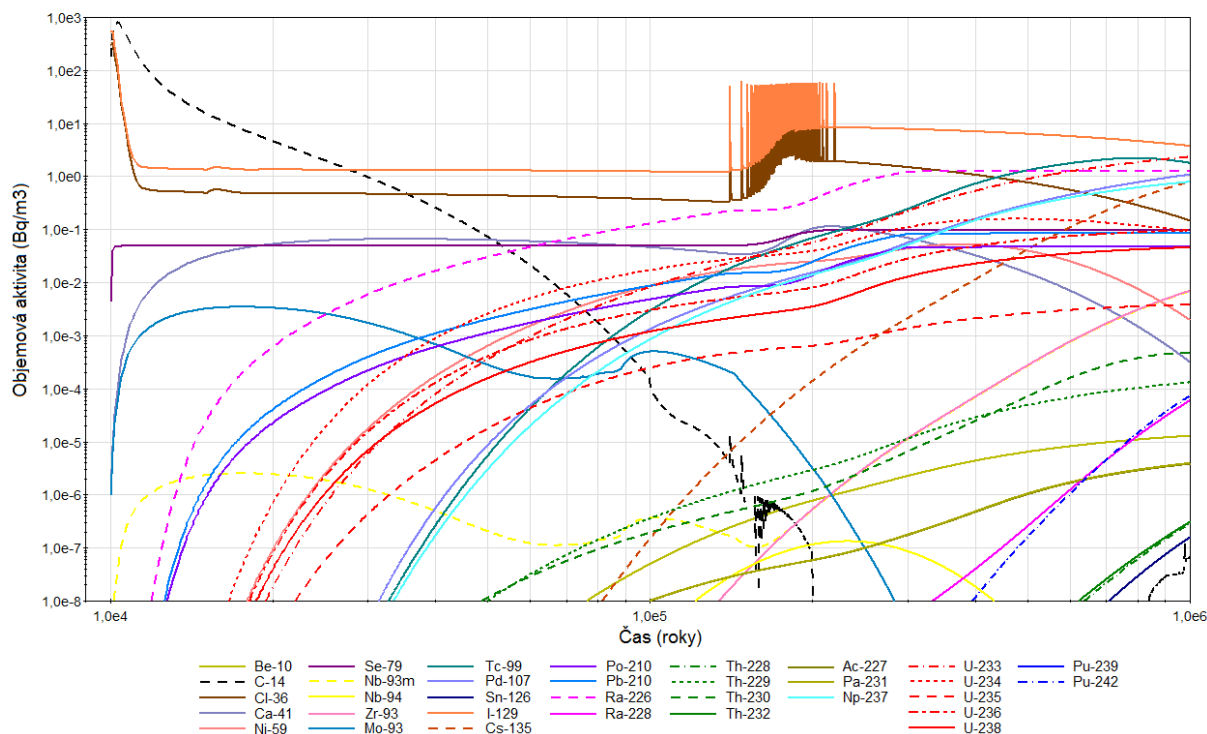
V časovém intervalu hodnocení 0 - 10 250 let maximum vypočtené roční efektivní dávky na reprezentativní osobu dosahuje hodnoty **0,136 mSv/rok** (54,4% dávkové optimalizační meze) v roce 10 020 (20 let po náhlém poškození 10 UOS současně v jednom roce). K výsledné hodnotě dávky nejvíce přispívají radionuklidy 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.

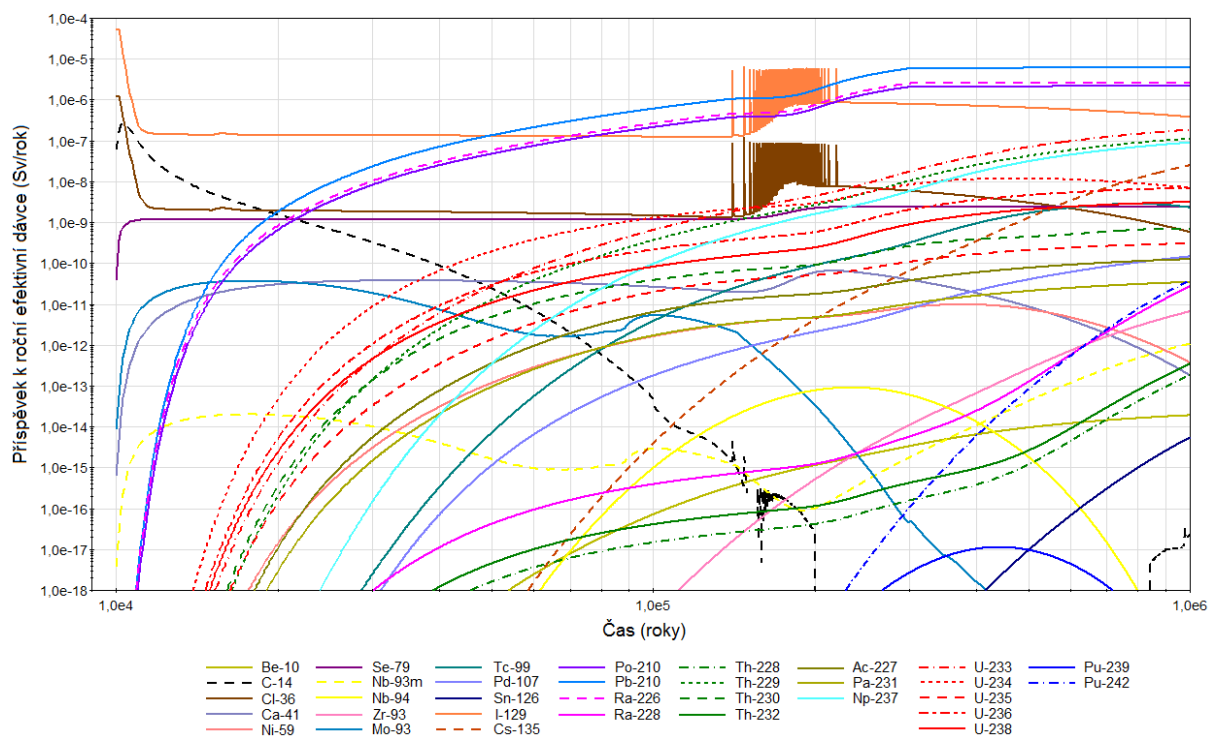
B.9.8.2 Časový interval hodnocení 0 - 1 000 000 let

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. 30 a Obr. 31.

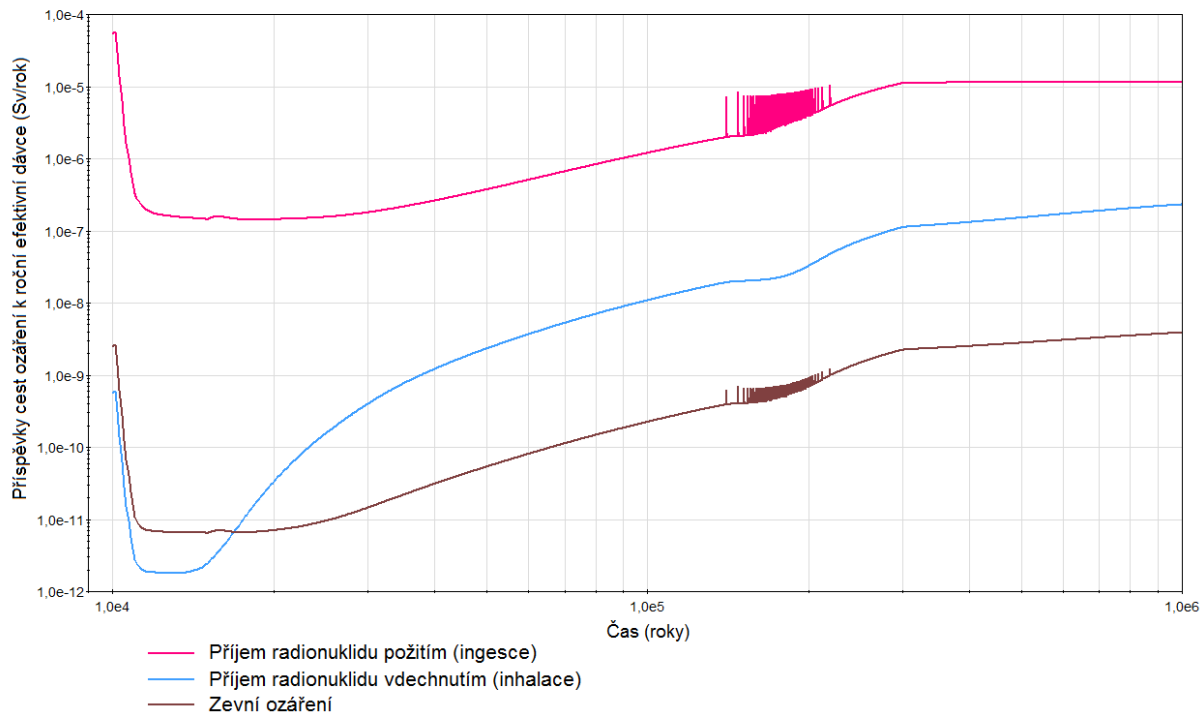
Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m³)

 Obr. 30: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m³)

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

 Obr. 31: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m³) - (0-1000000 let)

Na Obr. 32 jsou uvedeny příspěvky jednotlivých radionuklidů k čochní efektivní dávce, na Obr. 33 příspěvky jednotlivých expozičních cest na Obr. 34 maximální příspěvky radionuklidů k efektivní dávce.

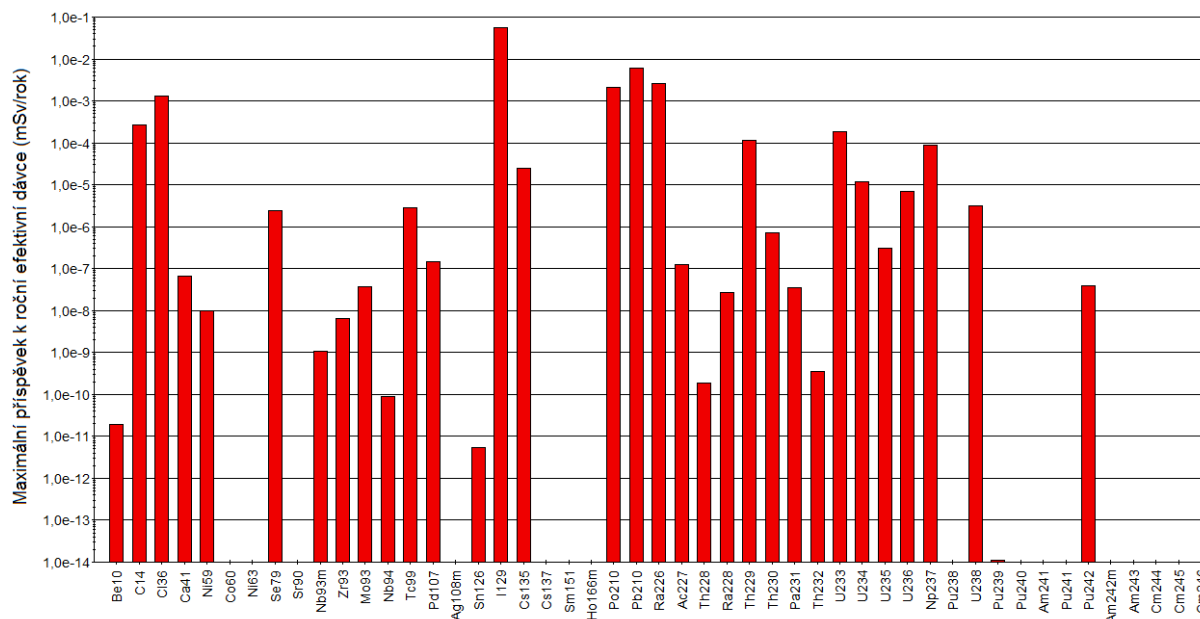
Příspěvy jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)


Obr. 32: Příspěvy jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Příspěvy jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok)


Obr. 33: 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. 34: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok)

Celkové výsledky jsou shrnuty v Tab. 47.

Tab. 47: 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 (viz Tab. 26). Všechny ostatní parametry byly převzaty z předchozí části výpočtu uvedeného ve zprávě Trpkošová 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 advekčně-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 horniny, 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 100 000 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 Na Skalním 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 10 000 m³/rok. Maximální aktivita ¹²⁹I na rozhraní geosféra/ biosféry při okamžitém, málo pravděpodobném, poškození všech 5153 obalových souborů směřujících do dominantní drenáže toky Rokytne byla spočítána na hodnotu 1,88 x 10⁸ Bq/rok zhruba za 5000 let po okamžitém poškození obalových souborů, což při výše uvedených předpokladech odpovídá hodnotě efektivní dávky 1,55 x 10⁻² mSv/rok, tj. více než 40 menší než je hodnota optimalizační meze 0,25 mSv/rok a 23 x menší než dávka spočítaná pomocí GoldSimu. Tento rozdíl je dán zejména zvolením průměrných hodnot místo konzervativních hodnot pro reprezentaci transportních cest v horninovém prostředí a zejména zředěním koncentrace kontaminované vody ve studni nekontaminovanou vodou (kapacitou studně 10 000 m³/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 (IAEA, SSR-5, 2011) 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 B3.a B.5). Je možno konstatovat, že na základě expertního hodnocení nebyly v lokalitě Na Skalném 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 navrhovat 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 nepřepracované VJP z provozovaných jaderných elektráren EDU1-4, ETE1-2, dále z plánovaných 3 nových bloků EDU a ETE a nepřepracované nízko-obohacené palivo z výzkumných reaktorů.

B.12.1.1 Základní parametry VJP

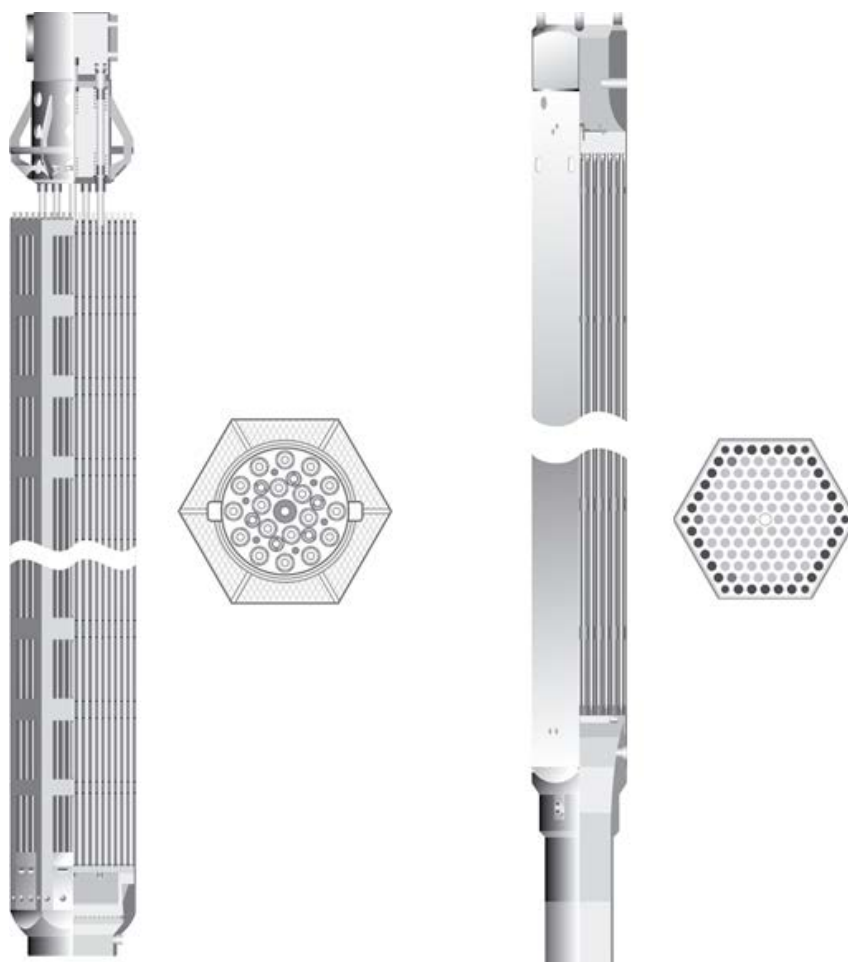
Přehled základních parametrů uvažovaného VJP je uveden v Tab. 48. U všech elektráren (i NJZ) se předpokládá doba provozu 60 let a doba mezi vyjmutím paliva z reaktoru a uložením do HÚ 65 let. Stávající jaderné bloky mají maximální vyhoření 60 MWd/kg. Pro NJZ se předpokládá vyšší maximální vyhoření a to 70 MWd/kg. Za uvedených předpokladů vychází celkový počet **UOS 7 600 ks**.

Tab. 48: 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. 35.



Obr. 35: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm)

Palivový proutek (Obr. 36) je nejdůležitější součástí jaderného paliva a také základní stavební jednotkou výpočetního modelu vyhoření paliva.



Obr. 36: 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.49. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů přepočítané na jeden UOS a na celkovou aktivitu všech palivových souborů z EDU, ETE a NJZ jsou uvedeny v Tab. 50.

Tab.49: Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP

Aktivační produkty	Aktinidy					Štěpné produkty
^3H						^{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
$^{108\text{m}}\text{Ag}$					$^{226}\text{Ra}^*$	^{151}Sm
$^{166\text{m}}\text{Ho}$						

*Ra nepatří mezi aktinidy, nepatří ani mezi štěpné produkty a aktivační produkty. ^{226}Ra vzniká jako dceřiný produkt při rozpadu aktinidů.

Tab. 50: 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

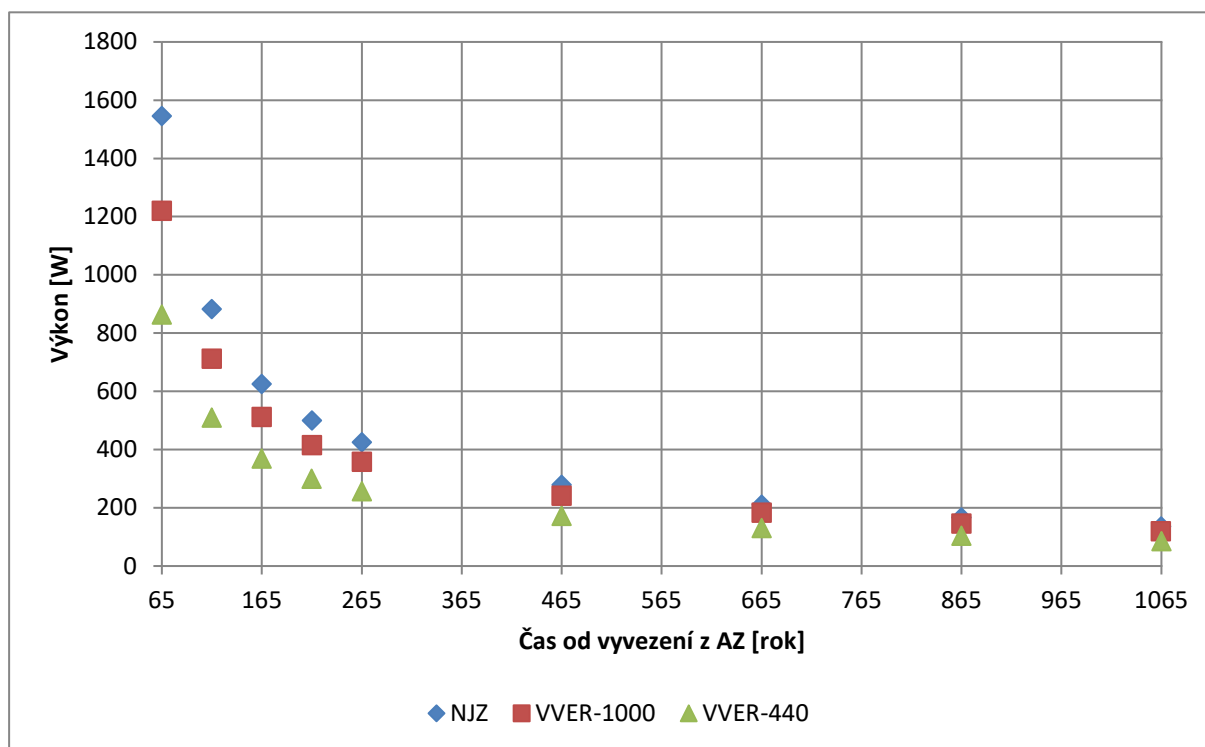
Zbytkový výkon pro jeden UOS s VJP byl spočítán pro následující varianty PS:

- 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. 51. Grafické znázornění zbytkového výkonu pro jeden UOS je na Obr. 37.

Tab. 51: 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. 37: 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 pouzdrům UOS. Zachována byla také tloušťka jednotlivých částí UOS. Rozměry konstrukcí obalových souborů použitých ve výpočetních modelech jsou uvedeny v Tab. 52.

Tab. 52: 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. 53.

Tab. 53: 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	neutrony
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:

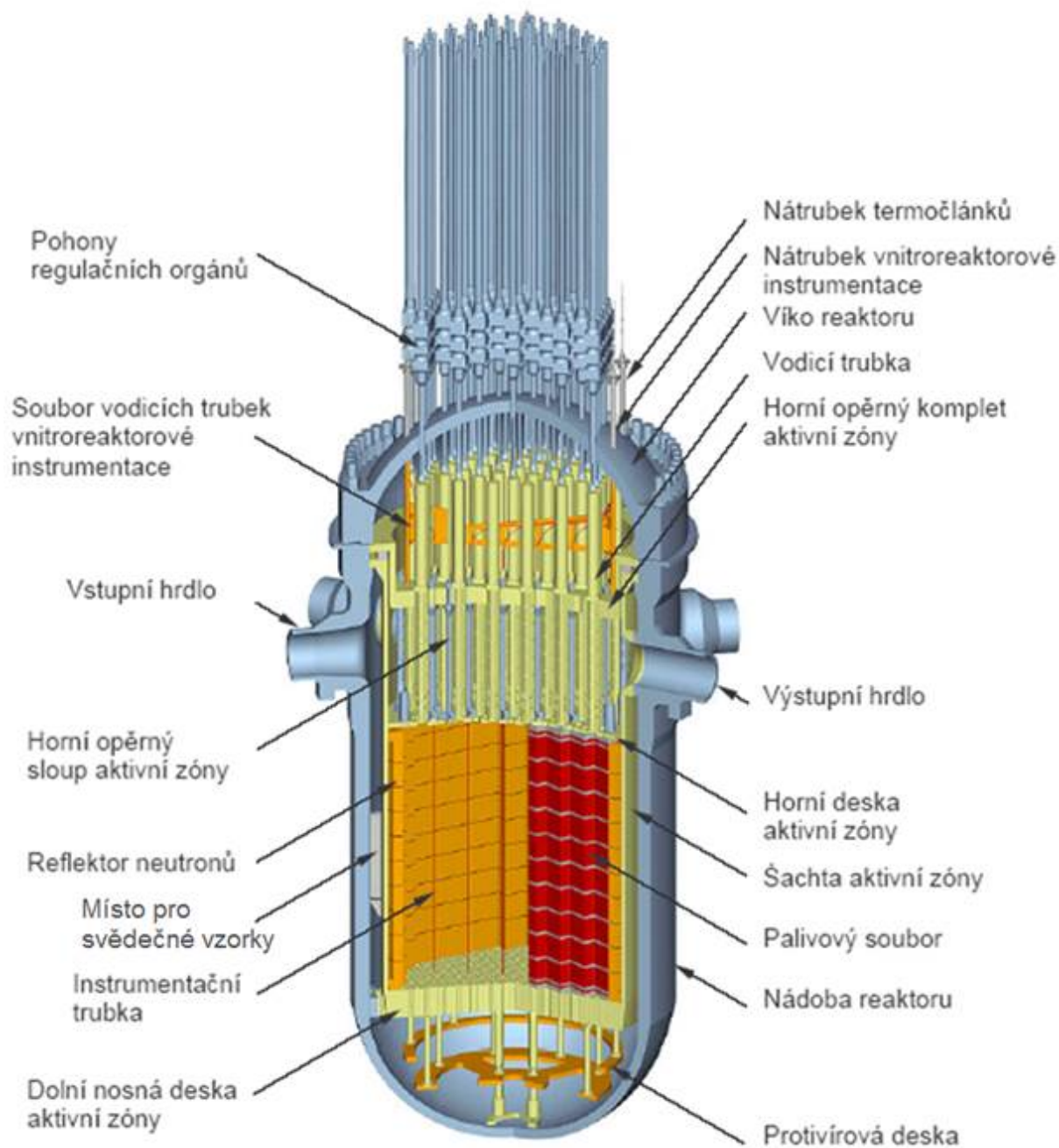
- aktivovanými částmi konstrukčních dílů (válcová část tlakové nádoby, koš aktivní zóny, šachta reaktoru, tepelné stínění)
- aktivovanými betony a zásypy (biologické stínění)
- provozními aktivními předměty (aktivovaná čidla, termočlánky, vložené tyče, kazety svědečných vzorků, absorbátory)

B.12.2.1 JE Temelín

V Tab. 54 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. 38.

Tab. 54 : 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. 38: Vertikální řez reaktoru VVER-1000

V Tab. 55 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 sníží a to přibližně o dva řády v závislosti na tom, který radionuklid převažuje v dané části reaktoru.

Tab. 55: 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. 56. V tabulce jsou současně uvedeny měrné aktivity těchto materiálů na konci provozu a v době ukládání.

Tab. 56: 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. 57 představují celkovou aktivitu sledovaných radionuklidů (pro oba bloky JE Temelín) v konstrukční oceli, nerezové oceli a betonu v době plánovaného ukládání do HÚ.

Tab. 57: 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. 58. Celková hmotnost a počet betonových kontejnerů je spočítán pro všechny 4 reaktory JE Dukovany.

Tab. 58: 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. 59 a Tab. 60 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. 59: 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. 60: 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. 61.

Tab. 61: 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. 62.

Tab. 62: 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. 63.

Tab. 63: 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.64. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů jsou shrnuty v Tab. 65.

Tab.64: 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. 65: 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. 66 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).

	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

Tab. 66: 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. 67 představuje přehled ZIZ podle radionuklidů s jejich celkovou aktivitou k datu 10. 12. 2015. V Tab.68 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. 67: 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.68: 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

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

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 následujících 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 vzdušin. 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 plyných 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)

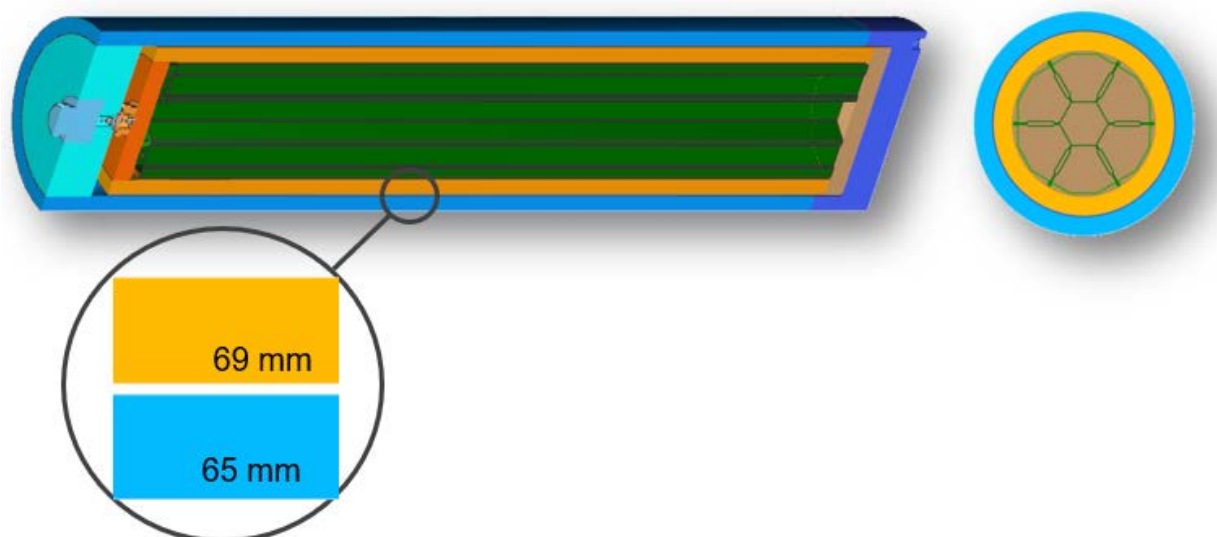
UOS pro VJP musí splnit rovněž požadavky uvedené ve vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SUJB 2016g), neboť jde o obalový soubor typu D, který podléhá typovému schvalování.

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 795/65mm – z materiálu X65MS (1.8767), vnitřní pouzdro – průměr/tloušťka 658/67mm z materiálu 1.4404) je uveden na následujícím obrázku.

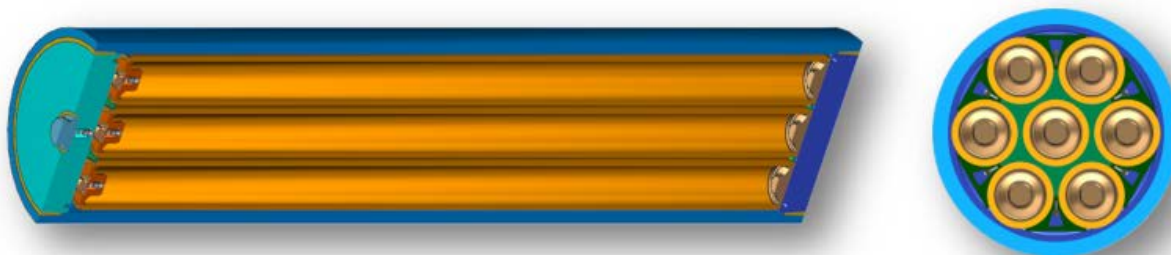


Obr. 39: Varianta UOS č. 2 (pro 7 PK VVER 440, s vnějším obalem z uhlíkové oceli, vnitřní pouzdro z nerezové oceli a vnitřní vestavby z nerezové oceli)

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

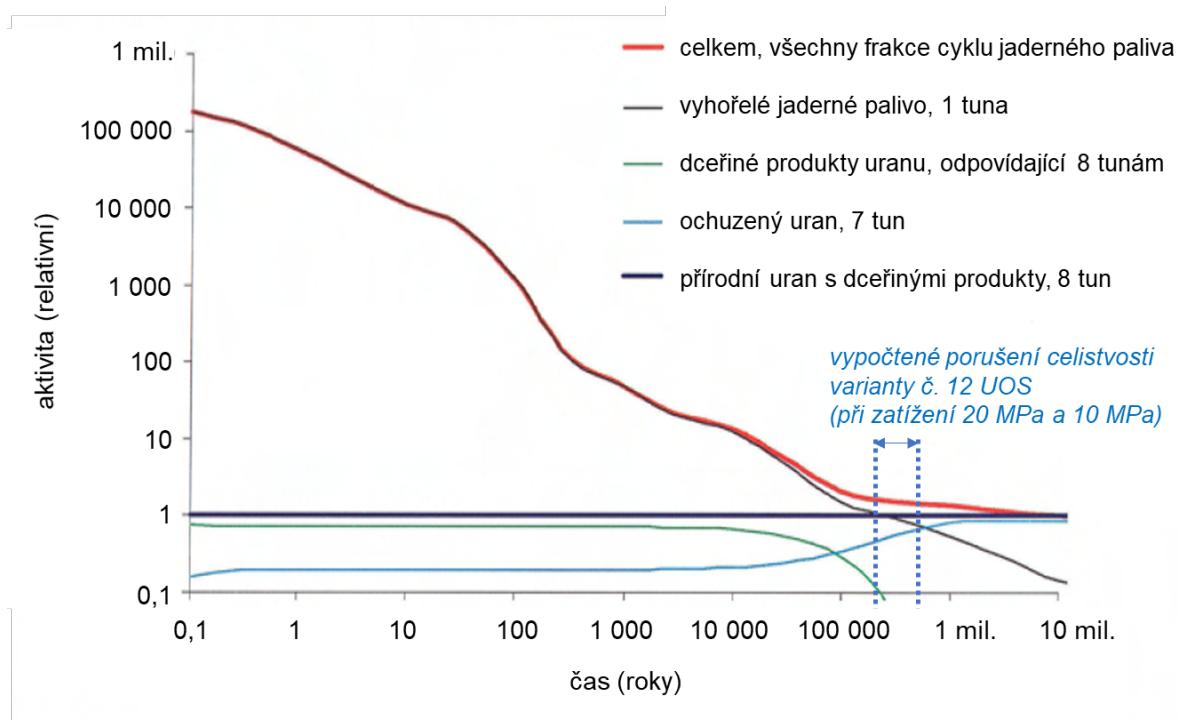
V současné době nejvíce perspektivní se jeví varianta UOS, která uvažuje se samostatnými pouzdry pro každou palivovou kazetu (u paliva pro VVER 440) viz následující obrázek, respektive pro každý palivový soubor (u paliva pro VVER 1000).



Obr. 40: 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 (1997) (obdobu Obr. 21) 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. 41: 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 Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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).

Ostatní inženýrské bariéry a vlastnosti horninového bloku a lokality HÚ lze tak chápat jako ochranu do hloubky (defence in depth) při nepředvídaném chování UOS.

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).

V souladu s bezpečnostním cílem uvedeným v kapitole 5.1 pod písmenem e) položka 2. se SÚRAO podílí na mezinárodním projektu MaCoTe Material Corrossion Test (MaCoTe), který zkoumá materiály vhodné k výrobě UOS in-situ, tedy v podmínkách obdobných, jaké očekáváme v hlubinném úložišti. Experiment je zaměřen na dlouhodobé hodnocení rychlosti a mechanismu koroze materiálů obalových souborů a je instalován ve švýcarské podzemní laboratoři Grimsel. V rámci tohoto projektu probíhají dva typy experimentů. První typ experimentů simuluje podmínky v počátcích přechodu z aerobní do anaerobní fáze hlubinného úložiště, tj. po cca 1 roce až 3 letech po uložení VJP, to znamená v prostředí bez přítomnosti kyslíku a při zvýšené teplotě. Vzorky vybraných materiálů (měď, ocel s povrchovou úpravou mědí, uhlíková a nerezová ocel) jsou umístěny v jednotlivých modulech a obklopeny buď sodným bentonitem, nebo vápenato-hořečnatým bentonitem české provenience. Jednotlivé moduly budou vyjímány po určitém časovém intervalu – po 1, 2, 5 a 7 letech, aby bylo možné sledovat časovou závislost koroze vybraných materiálů. Druhý typ experimentů simuluje podmínky časově vzdálenějšího období vývoje hlubinného úložiště, tedy opět v anaerobním prostředí, ale za teploty odpovídající okolnímu prostředí. Plánovaný termín dokončení projektu je rok 2022.

C.3.2 Tlumící bariéra

Tlumící 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.

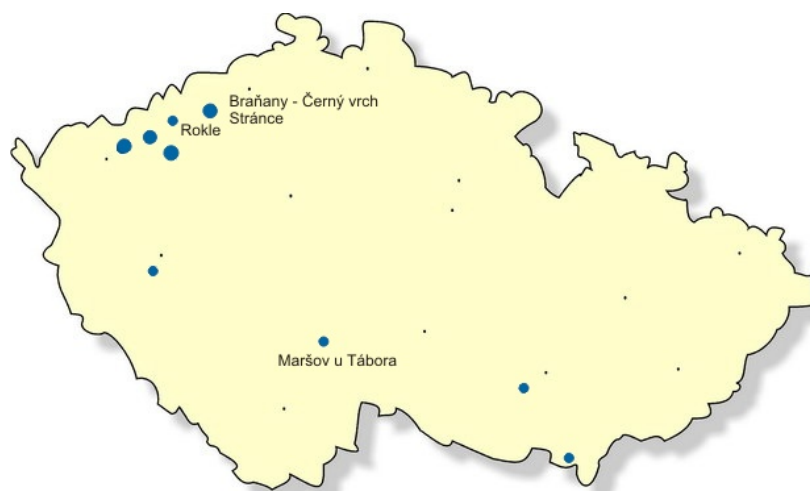
Referenčním materiálem jsou prefabrikované tvárnice z bentonitu zhutněné na objemovou hmotnost 1550 – 1750 kg/m³. Zároveň se řeší alternativa v podobě bentonitových pelet, jejichž výhodou je snadná výroba a manipulace.

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 těžených. 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 těžené) a v karpatském neogénu na jižní Moravě (Ivančice – Réna, Poštorná). (Woller, 2017)



Obr. 42: 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 dodávaný 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 (Štástka a kol. 2016), EPSP–DOPAS (Vašíček et al., 2016) a CEBAMA (Večerník et al, 2016).

Silikátová analýza bentonitu B75 je uvedena v následující tabulce.

Tab. 69: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karlund, 2010)

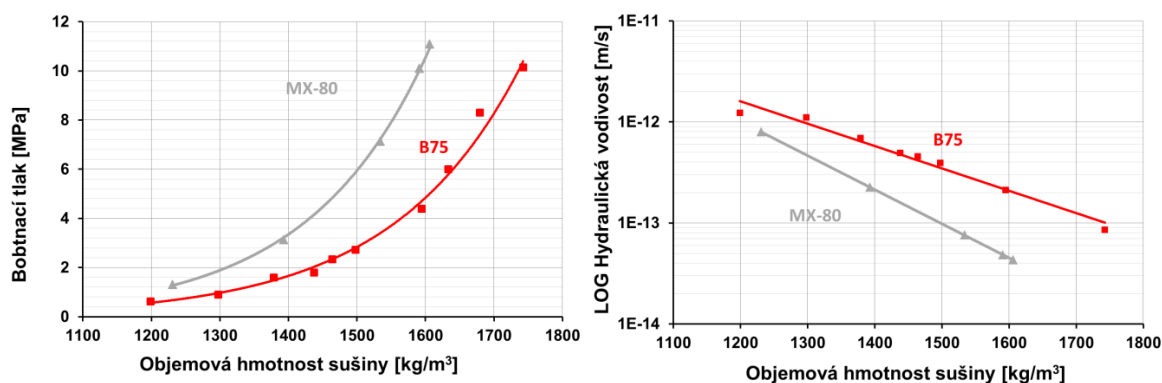
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂
B75 [hm%]	49,83	15,35	2,82	10,9	3,74	0,09	2,88	2,01	0,67	1,05	0,63	3,66
MX-80 [hm%]	65,9	21,5	0,24	4,46	-	-	2,82	1,63	2,69	0,56	0,06	-

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. 43), který vykazuje lepší těsnicí vlastnosti. Lepších těsnicích vlastností lze také dosáhnout větším zhutněním vzorku – navýšením objemové hmotnosti sušiny (viz Obr. 43).

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.



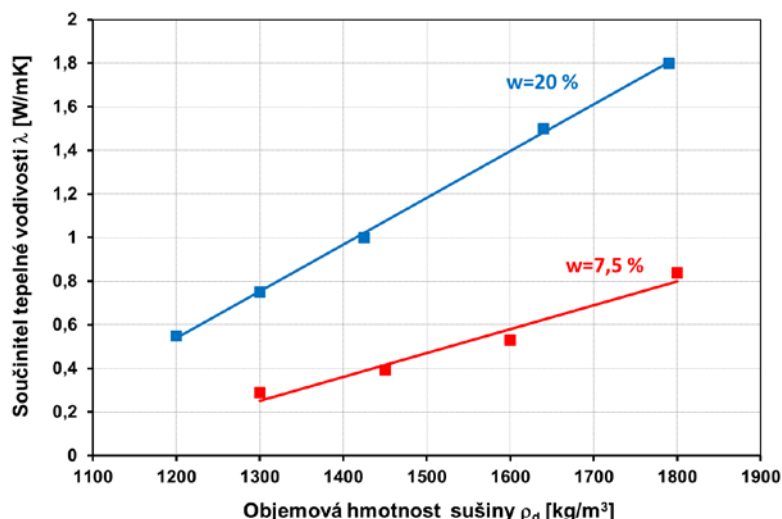
Obr. 43: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).

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. 44: 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 ($w=7,5\%$)

C.3.2.2 Parametry pro bezpečnostní hodnocení

Vstupní parametry pro bezpečnostní výpočty jsou zatím stanoveny na základě švédského a finského výzkumu (Posiva SKB report 01, 2017), i když se předpokládá použití českého Ca-Mg bentonitu B75. Je důležité zdůraznit, že ač český koncept vychází ze švédského a finského KBS-3 konceptu, tak jsou zásadní rozdíly v materiálech inženýrských bariér a tím i požadavky mohou být rozdílné.

Shrnutí základních požadavků uvedených v reportu (Posiva SKB report 01, 2017) pro Na bentonit (MX-80):

- hydraulická vodivost nižší než 10^{-12} m/s
- bobtnací tlak vyšší než 3 MPa a nižší než 10 MPa
- šířka bariéry při vertikálním uložení min. 30 cm (mezi UOS a stěnou studny) a 50 cm (mezi UOS a dnem studny či horním okrajem studny)
- objemová hmotnost sušiny větší než 1000 kg/m^3

Z těchto základních požadavků vyplývá, že by český Ca-Mg bentonit musel být zhutněn tak, aby jeho průměrná objemová hmotnost sušiny po nabobtnání do všech spár byla vyšší než 1550 kg/m^3 a menší než 1750 kg/m^3 .

V souladu s bezpečnostním cílem uvedeným v kapitole 5.1 pod písmenem e) položka 2. se SÚRAO účastní mezinárodního projektu FEBEX (Full-Scale Engineered Barrier Experiment in Crystalline Host Rock). Cílem projektu je především určit klíčové vlastnosti bentonitu, sledovat změny v bentonitu při dlouhodobém kontaktu s okolní horninou a podzemní vodou a korozní procesy při kontaktu bentonitu s materiály ukládacího obalového souboru. Úkolem projektu je testování zejména bentonitu typu FEBEX. Experiment byl umístěn do podzemní výzkumné laboratoře v Grimselu ve Švýcarsku.

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

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.

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 zavázacích 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 zhutnění 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.

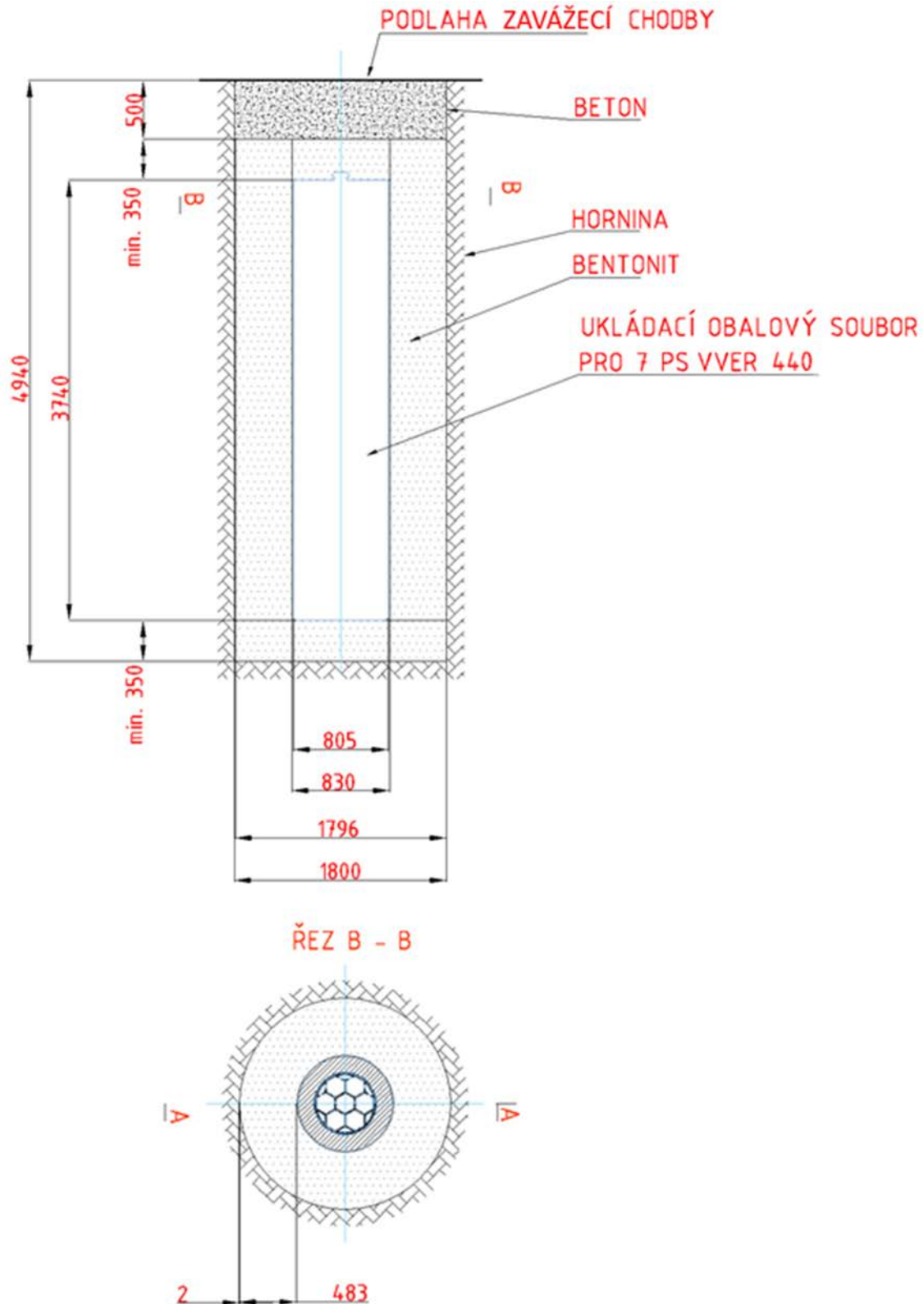
Ve finském výzkumu podle zprávy (Pacovský et al., 2017) byly zkoušené různé způsoby zaplnění spáry (písek, bentonitová pasta - tekutá směs bentonitu s vodou, různé druhy bentonitových pelet). Nejlepší výsledky, dle finského referenčního návrhu HÚ, byly prokázány pro bentonitové pelety. Bentonitové pelety 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.

Předpokládá se ražba vrtů výlučně za pomoci plnoprofilových vrtných strojních sestav. Ukládací vertikální vrty budou raženy svisle z horizontální pracovní roviny ze zavážecí chodby. Na následujícím obrázku je uvedeno uložení UOS VVER 440 (Grünwald et al. 2017).



Obr. 45: Vertikální uložení UOS (VVER 440) (Grünwald et al. 2017)

C.4 Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu

C.4.1 Umístění povrchového areálu

Povrchový areál je umístěn severovýchodně od obce Boňov viz výkres „Celková situace“ (Příloha D.2 této studie). Situace řešení povrchového areálu je zřetelná z výkresu „Povrchový areál 485 m n.m.“ (Příloha D.3 této studie). Na tomto výkresu je uvedeno umístění stavebních objektů povrchového areálu i samostatných areálů vtažné jámy a výdušných jam. Dále je z výkresu patrné dopravní řešení uvnitř areálu a jeho napojení na dopravní infrastrukturu, železniční dopravu RAO a VJP do povrchového areálu, umístění střežených prostorů a návazností na podzemní část HÚ.

Hlavní příjezdy do povrchového areálu pro pěší, automobilovou a železniční dopravu se nacházejí na západní straně PA a jsou opatřeny vrátnicí (SO 50). Uvnitř areálu se pak při vjezdu do střeženého prostoru nacházejí vrátnice pro pěší a automobilovou dopravu (SO 45) a pro železniční dopravu (SO 47). 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 musí plnit požadavky vyhlášky č. 361/2016 Sb. (SUJB 2016e).

V severní části areálu mimo střežený prostor je situován portál s dvojicí jednosměrných těžebních tunelů, ve východní části PA ve střeženém prostoru zavážecí tunel.

Vstup pro zaměstnance je situován skrze vrátnici v objektu SO 50. Tímto způsobem je umožněn vstup i veřejnosti, která má však přístup pouze do prostor infocentra, které je v objektu SO 74.

Mimo povrchový areál se nacházejí oddělené objekty vtažné a výdušné jámy, odběrný objekt technologické vody s čerpací stanicí a výústní 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 PA, avšak v jeho těsné blízkosti se bude nacházet samostatně oplocený objekt vnějšího parkoviště.

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 příslušejícím 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 media 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.

C.4.2.2 Stavební objekty

Stavební část fyzické ochrany je součástí SO 48. Fyzická ochrana v projektu HÚ bude odpovídat požadavkům k eliminaci projektové hrozby stanovené SÚJB. V příloze D.3 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 stavebních objektů

SO	Název
SO 05	Centrální trafostanice a rozvodna, náhrad. 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 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	Čistírna důlních vod
SO 20	Stanice báňské záchranné služby a požární zbrojnice
SO 21	Železniční vlečka
SO 22	Podzemní odběrový zásobník
SO 23	Meziskládka
SO 24	Podzemní dopravníková chodba
SO 25	Sušící zařízení
SO 26	Výroba a sklad bentonitových polotovarů
SO 27	Míchárna bentonitové směsi
SO 28	Zásobníky vody
SO 29	Krytý sklad
SO 30	Výroba bentonitových prefabrikátů
SO 31	Zpevněná skládka
SO 32	Mostní váha
SO 41	Provozní budova aktivních provozů

SO	Název
SO 42	Centrální čistírna odpadních vod
SO 43	Garáž lokotraktoru
SO 44	Vnitřní komunikace
SO 45	Vrátnice aktivních provozů
SO 46	Mezisklad prázdných přepravních obalových souborů
SO 47	Železniční vrátnice aktivních provozů
SO 48	Oplocení střeženého prostoru
SO 49	Železniční vrátnice areálu
SO 50	Vrátnice, ostraha
SO 51	Centrální administrativní objekt
SO 52	Centrální kuchyně, jídelna a bufet
SO 53	Požární nádrž
SO 54	Heliport
SO 55	Oplocení areálu
SO 56	Vnější parkoviště
SO 57	Objekty výdušných jam VJ-1, VJ-2
SO 58	Objekt vtažné jámy VTJ-1
SO 59	Portál tunelu
SO 60	Objekt měření odpadních vod
SO 61	Přívodní komora VZT
SO 72	Opěrná stěna
SO 73	Odfuk z tunelů
SO 74	Informační centrum,
SO 75	Přístupová komunikace k D 74
SO 90-99	Prostor pro zacházení s rubaninou

Umístění SO viz výkres „Povrchový areál 485 m n.m.“ uvedený v Příloze D.3 této studie. Podrobnější popis modulů a SO a jejich vybavení jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2018).

C.4.2.3 Napojení na infrastrukturu

Místo a délka silničního napojení

Pro silniční spojení povrchového areálu Na Skalním je navržena komunikace napojená na silnici II. Třídy č. 152 nově zbudovanou křižovatkou v prostoru mezi obcí Jaroměřice nad Rokytnou a odbočkou na obec Příložany.

Ze silnice II. třídy č. 401 mezi obcemi Boňov a Lipník jsou zřízeny dvě odbočky pro komunikace pro automobily pro napojení areálu vtažné jámy VTJ-1 a areálu výdušné jámy VJ-1.

Napojení vlečky na železniční trať

Železniční vlečka propojuje areál Na Skalním s tratí č. 241 s napojením na nádraží v Jaroměřicích nad Rokytnou, alternativně s vlečkou v areálu JE Dukovany..

Zásobování elektrickou energií

Napojení povrchového areálu Na Skalním na elektrickou energii je uvažováno ze stávající trafostanice, která je situována při jižním okraji rybníka Ostrý. Napojení areálů tažné jámy VTJ-1 a výdušné jámy VJ-2 bude řešeno z trafostanice poblíž obce Boňov, alternativně z trafostanice v obci Lipník.

Pitná voda - přípojka

Zásobování vodou bude řešeno buď vybudováním vlastního zdroje vody (studny) v blízkosti areálu Na Skalním, nebo napojením na kapacitní zdroj vody v EDU. Dále budou v maximální možné míře využity přečištěné důlní vody a jímána srážková voda.

Kanalizace dešťová

Dešťové vody budou sváděny do požární nádrže, která bude sloužit zároveň jako retence těchto vod. Přebytek vod bude odveden do retenční nádrže užitkové vody, případně vsakován na pozemku areálu.

Odvedení dešťových vod parkoviště je navrhováno do dešťových vpustí nebo do liniových odvodňovacích žlabů napojených přes odlučovač ropných látek do dešťové kanalizace.

Kanalizace splašková

Splaškový kanalizační systém v areálu je sveden do areálové ČOV. Vyčištěná voda bude odvedena do retenční nádrže užitkové vody, ze které bude voda využita pro další užití, zejména jako voda technologická pro provoz těžního stroje TBM. Případné přebytky budou odvedeny mimo areál do nejbližší vodoteče, tj. do Ostrého potoka. Na hranici areálu bude měření odváděné vody.

Důlní vody

Důlní vody budou částečně spotřebovávány důlními stroji. Zbylá část důlních vod bude po vyčištění buď použita pro plnění požární nádrže, nebo retenční nádrže užitkové vody, přebytečná voda bude vypuštěna do nejbližší vodoteče, tj. do Ostrého potoka.

Kanalizace aktivních provozů

Aktivní provozy představují pracovní procesy odehrávající se v objektu DuSO 41. 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. Nevyhovující odpadní vody z aktivních provozů budou ještě v rámci kontrolovaného pásma odvedeny zpět do úpravny (odparka, cementace koncentrátu z odparky, uložení RAO v HÚ).

Zemní plyn

Do HÚ bude přiveden zemní plyn STL plynovodní přípojkou z nejbližší možné lokality, tj. z STL plynovodu jižně od obce Zárubice, alternativně je možné napojení z STL plynovodu zásobující plynem obec Lipník. Zemní plyn bude v areálu použit pouze v centrálním zdroji tepla k výrobě páry, horké topné vody a elektřiny.

Napojení na telekomunikační síť

Povrchový areál bude připojen na telekomunikační síť optickými kabely uloženými v zemi. Předpokládá se využití telefonního a datového připojení. Pro přenos hlasu, obrazu a dat bude v areálu HÚ použit univerzální kabelážní systém (UKS) s rozvodným uzlem areálu v centrálním administrativním objektu a páteřními kabely k rozvodným uzlům jednotlivých budov.

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
16.PS 01	Centrální zdroj tepla – plynová kotelna 9 MW
16.PS 02	Vodní hospodářství a úpravna 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

PS	Název
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
30.PS 01	Zařízení betonárky (výroba bentonitových prefabrikátů)
32.PS 01	Zařízení mostní váhy
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	Výměňíková 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
43.PS 01	Transportní zařízení – lokotraktor
52.PS 01	Gastro provoz

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

PS	Název
74.PS 01	Informační centrum - zařízení a vybavení

Podrobnější informace o PS jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al., 2010a).

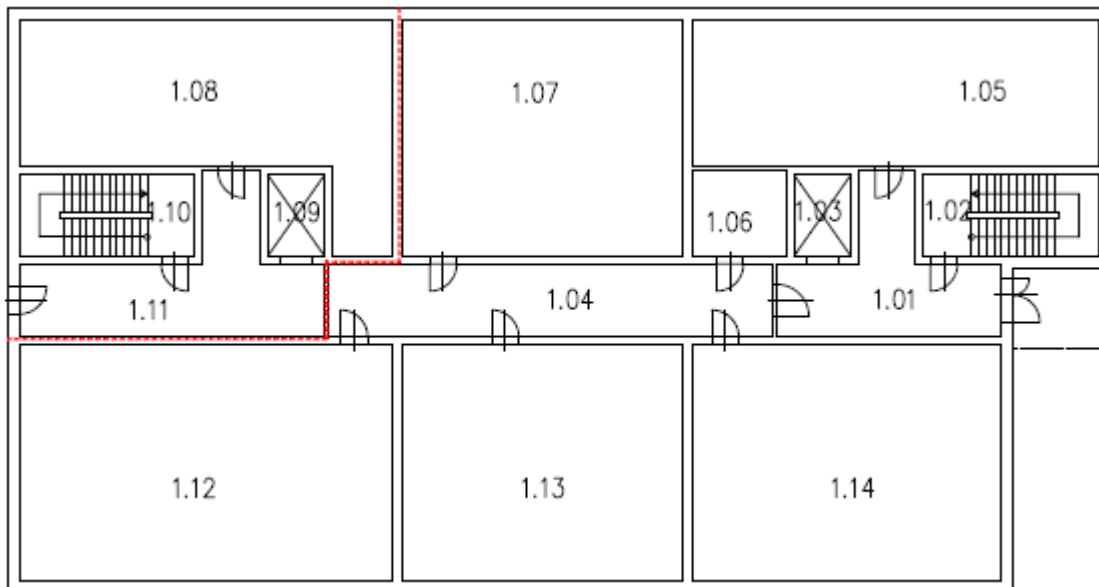
C.4.2.5 Dispoziční uspořádání a technologické vybavení provozní budovy aktivních provozů

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 radiální 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.

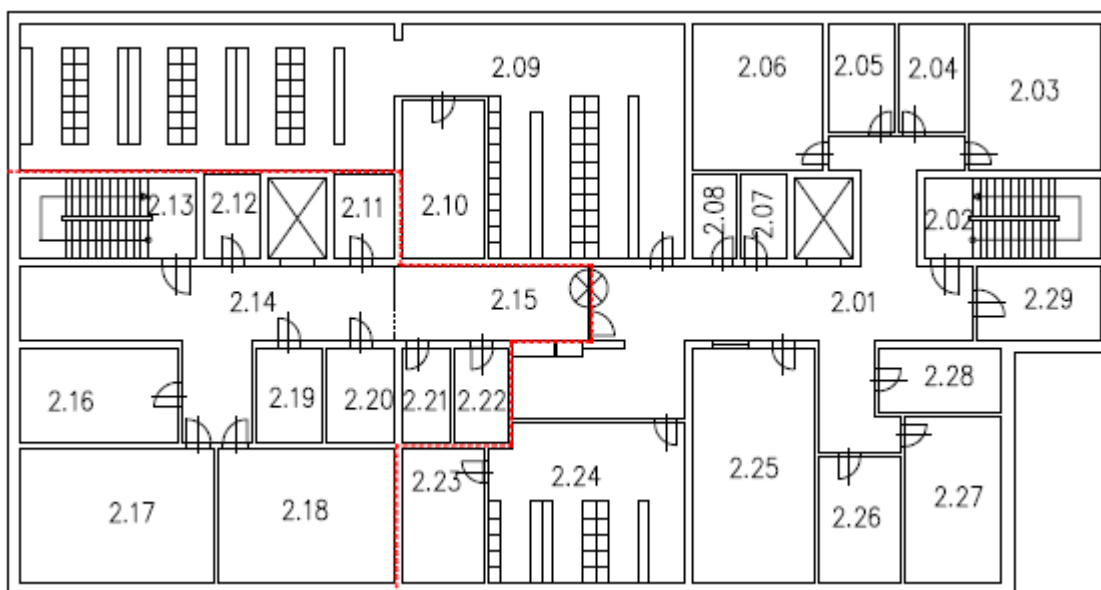
V 1. nadzemním podlaží jsou následující místnosti: 1.01 Vstupní hala, 1.02 Schodiště, 1.03 Výtah, 1.04 chodba, 1.05 Výměňiková stanice, 1.06 Kompresorovna, 1.07 El. rozvodna, 1.08 Místnost sběrné nádrže odpadních vod (KP), 1.09 Výtah (KP), 1.10 Schodiště (KP), 1.11 Chodba (KP), 1.12 Náhradní zdroj, 1.13 Hlavní rozvodna, 1.14 Trafostanice. Červenou čarou je označena hranice kontrolovaného pásma.



Obr. 46: 1. nadzemní podlaží SO 41

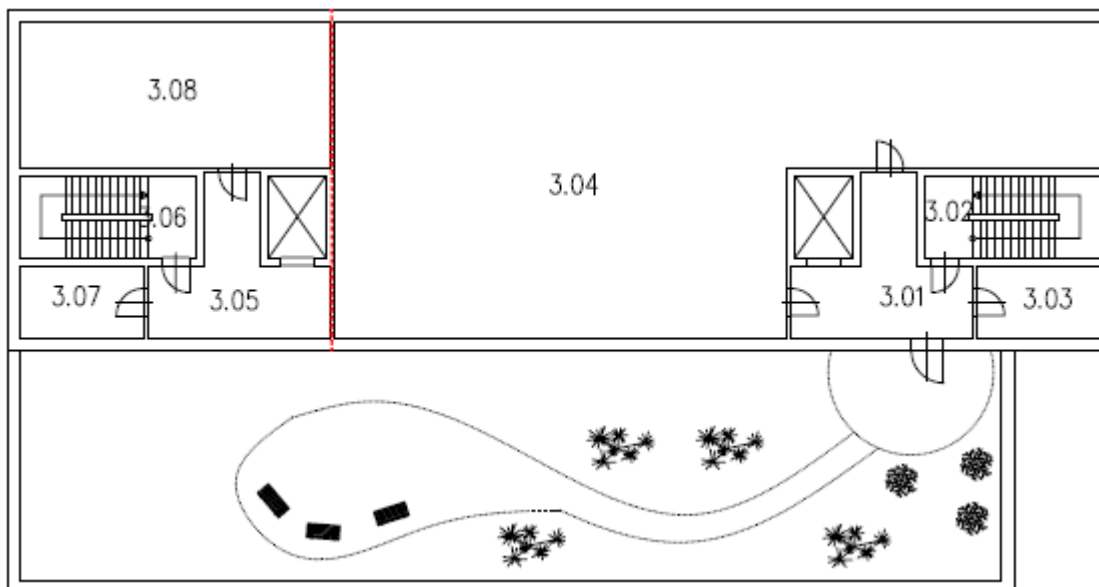
V 2. NP bude umístěno především sociální zázemí pro pracovníky zajišťující přípravu a ukládání RAO a VJP a dále několik laboratoří a kanceláří. Na tomto podlaží bude dále umístěn přechod mezi MKP (mimo kontrolované pásmo) a KP. V části MKP budou umístěny komunikační prostory chodba (místnost 2.01), výtah, 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 dozorna 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. 47: 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. 48: 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, ohřivače 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 (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.

Podrobnější informace o 41.PS 15 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al., 2010a).

C.4.2.6.5 41.PS 16 - Výměňiková stanice

Výměňiková 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.

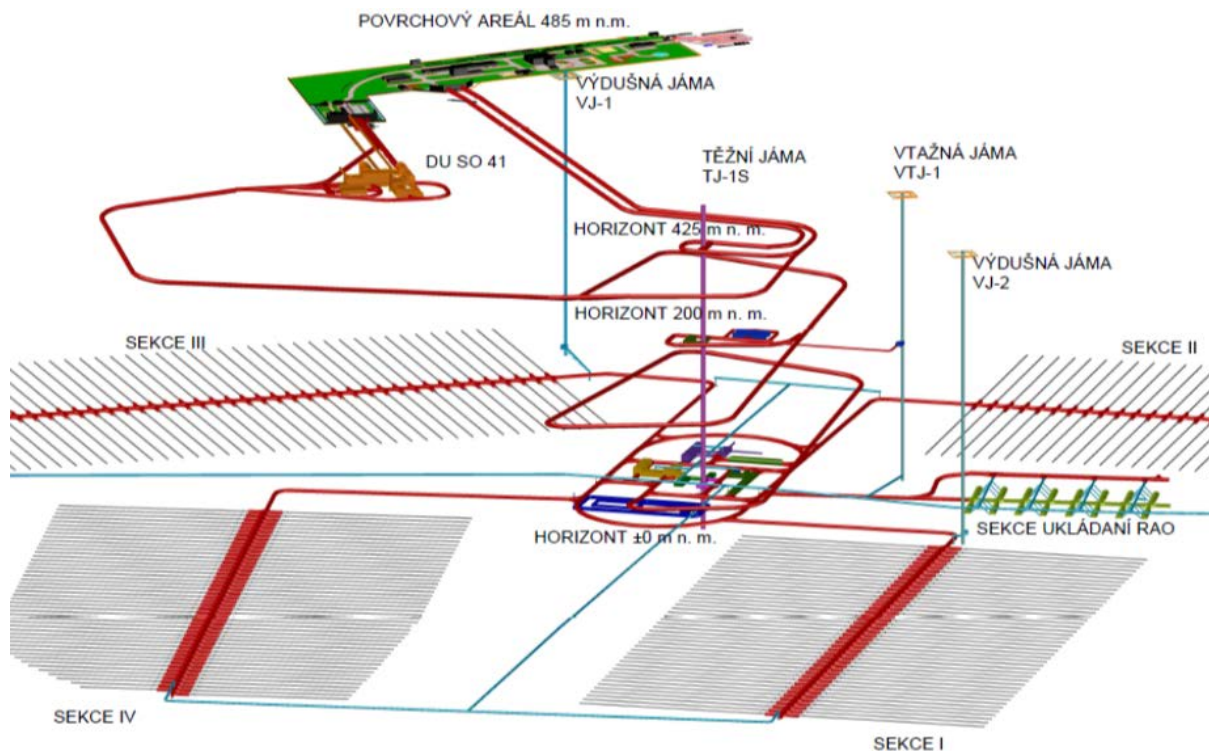
Podrobnější informace o 41.PS 21 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al., 2010a).

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.



Obr. 49: Schéma horizontů podzemní části HÚ včetně napojení na povrchový areál

Horizont 485 m n.m. - Objekt přípravy VJP a RAO pro uložení (DuSO 41)

Umístění objektů využívá morfologii terénu k vytvoření zářezu vlečky a portálu pro přímý vjezd vagónu s POS z PA až do objektu DuSO 41, který je celý vystaven v podzemí. DuSO 41 je napojen na další stavby v podzemí úklonnou dopravní chodbou. Stavba má samostatný vstup čistých větrů a výduch použitých vzdušnin s filtroventilačním zařízením.

Těžní horizont (425 m n.m.)

Na horizontu 425 m n.m. je zhlaví těžní jámy TJ-1S (nevede až na povrch). Horizont je s PA spojen pomocí dvou jednosměrných těžních (technických) tunelů TT-1 a TT-2. Těžní tunely mají délku cca 1 250 m, při klesání max. 6,0 %. Těžní tunely jsou průjezdné pro automobily a jsou větrány pomocí větracích komínů z kolektoru, který je vyražen nad těmito tunely.

Na úrovni 425 m n. m. je rovněž napojení vtažných větrů na TJ-1S z větrací jámy VTJ-1.

Laboratorní horizont (200 m n. m.)

Na tomto horizontu je umístěna podzemní laboratoř DuSO 42. Dále horizont slouží k přečerpávání důlních vod na povrch. Horizont je přístupný z jámy TJ-1S a ze spojovací úpadnice.

Ukládací horizont (±0 m n. m.)

Na tomto horizontu jsou situovány celkem čtyři sekce pro ukládání VJP a dále je uvažováno i s případným rezervním prostorem (sekcí), který může být vyražen jako náhrada (pokud budou zjištěny) za v tuto chvíli nepředvídatelné poruchy v homogenitě horninového masivu. Dále je zde 2 x 8 komor pro ukládání betonkontejnerů s RAO ve dvou řadách, konfirmační laboratoř a technické zázemí pro úsek výstavby HÚ i úsek ukládání. Na daný horizont je možno se dopravit úklonnou chodbou (spojovací úpadnicí) z objektu DuSO 41.

Čerpací horizont (-30 m n. m.)

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

Horizont je vybudován pro čerpání vod z hlubinného úložiště. Na horizontu je zbudována čerpací stanice, trafostanice a čerpací jímky (žumpy). Horizont je přístupný jen z jámy TJ-1S.

Volná hloubka jámy TJ-1S

Na jámě TJ-1S se počítá s volnou hloubkou, která by měla být maximálně 50 m, jáma tedy bude zahloubena ještě pod horizont -30 m n. m. Předpokládaná volná hloubka pod posledním horizontem je 40 m. Volná hloubka je na výškové úrovni – 70 m n. m.

C.5.2 Uspořádání a technologické vybavení objektů

Podzemní areál je rozdělen na dvě základní části a funkční moduly:

- úsek ražeb a výstavby (moduly M10 - část, M14, M15, M16 - část, M17),
- úsek přípravy a ukládání (moduly M2b, M10 - část, M11, M12, M13, M16 - část)

Podzemní areál je dále rozdělen na jednotlivé moduly lišící se svou funkcí, kterou plní v rámci hlubinného úložiště.

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.

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 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.

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.

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 důlního stavebního objektu	Modul
DuSO 01	Těžní jáma TJ-1S	M15
DuSO 02	Spojovací dopravní chodby na horizontech 485 m n. m. a 425 m n. m., těžní tunely na horizontu 485/425 m n. m.	M10
DuSO 03	Větrací jámy – vtažná jáma VTJ-1 výdušné jámy VJ-1, VJ-2. Všechny jámy jsou dovedeny až na ukládací horizont ± 0 m n. m. Jámy dosahují až na povrch. DU SO 3 obsahuje také větrací chodby.	M16
DuSO 04	Úklonná spojovací zavážecí chodba (úpadnice)	M10
DuSO 05	Spojovací chodby na úseku výstavby (horizont ± 0 m n. m.)	M10
DuSO 06	Spojovací chodby na úseku ukládání (horizont ± 0 m n. m.)	M10
DuSO 07	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont ± 0 m n. m.)	M14
DuSO 08	Spojovací chodba s turniketem (horizont ± 0 m n. m.)	M14
DuSO 09	Násyp do skipostanice s dozornou (horizont ± 0 m n. m.)	M15
DuSO 10	Dílny a opravní dopravních mechanismů, sklad náhradních dílů (horizont ± 0 m n. m.)	M14

DuSO	Název důlního stavebního objektu	Modul
DuSO 11	Remíza a odstavná plocha dopravních mechanismů (horizont ±0 m n. m.)	M14
DuSO 12	Sklad PHM a mazadel (horizont ±0 m n. m.)	M14
DuSO 13	Rozvodna (horizont ±0 m n. m.)	M14
DuSO 14	Shromaždiště osob a stanice první pomoci (horizont ±0 m n. m.)	M14
DuSO 15	Zkušebna (horizont ±0 m n. m.)	M14
DuSO 16	Okružní chodba (horizont ±0 m n. m.)	M10
DuSO 17	Zavážecí chodba ukládací sekce I	M10
DuSO 19	Zavážecí chodba ukládací sekce II	M10
DuSO 20	Násyp do skipostanice s dozornou (horizont -30 m n. m.)	M15
DuSO 21	Zavážecí chodba ukládací sekce III	M10
DuSO 23	Zavážecí chodba ukládací sekce IV	M10
DuSO 24	Odvod upotřebeného vzduchu, výdušné chodby a komíny	M16
DuSO 25	Zavážecí chodba ukládací sekce RAO	M10
DuSO 26	Ukládací komory RAO (DuSO 26.1 – 26.16)	M12
DuSO 27	Větrací komíny (±0 m n. m./25 m n. m.)	M16
DuSO 28	Větrací chodby (horizont 25 m n. m.)	M16
DuSO 29	Hlavní a sběrné větrací chodby komor ukládání RAO	M16
DuSO 30	Větrací vrtý komor ukládání RAO	M16
DuSO 31	Větrací chodby a komíny provozních objektů (horizont 25 m n. m.)	M16
DuSO 32	Větrací stanice (větrací horizont 25 m n. m.)	M16
DuSO 33	Chodba plnicích čerpadel výplňového materiálu (komory RAO)	M10
DuSO 34	Remíza soupravy TBM (vrtací souprava velkého profilu)	M14
DuSO 35	Remíza dopravních mechanismů pro úsek ukládání (horizont ±0 m n. m.)	M2b
DuSO 36	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont 200 m n. m.)	M14
DuSO 37	Rozvodna (horizont 200 m n. m.)	M14
DuSO 38	Přečerpávací stanice důlních vod (horizont 200 m n. m.)	M17
DuSO 39	Spojovací chodby na horizontu 200 m n. m.	M10
DuSO 40	Větrací stanice (horizont 200 m n. m.)	M16
DuSO 41	Příprava VJP a RAO pro uložení včetně překládacího uzlu, horké komory a souvisejících aktivních provozů (horizont 485 m n. m.)	M2b
DuSO 42	Podzemní laboratoř (horizont 200 m n. m.)	M13
DuSO 44	Technické zázemí úseku ukládání (horizont ±0 m n. m.)	M2
DuSO 45	Konfirmační laboratoř (horizont ±0 m n. m.)	M13

DuSO	Název důlního stavebního objektu	Modul
DuSO 46	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont -30 m n. m.)	M14
DuSO 47	Trafostanice a rozvodna (horizont -30 m n. m.)	M14
DuSO 48	Čerpací stanice důlních vod (horizont -30 m n. m.)	M17
DuSO 49	Žumpové chodby (horizont -30 m n. m.)	M17
DuSO 50	Spojovací chodby na horizontu -30 m n. m.	M10
DuSO 51	Výsyp ze skipa s dozornou (horizont 425 m n. m.)	M15
DuSO 52	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont 425 m n. m.)	M14
DuSO 53	Přívod čerstvého vzduchu a odvod použitého vzduchu z objektu přípravy VJP k ukládání + klimatizace, eventuálně čištění vzduchu	M16
DuSO 54	Čištění vod RAO z objektu „Příprava vyhořelého jaderného paliva k ukládání“ (horizont 485 m n. m.)	M17
DuSO 56	Garáže na úrovni 485 m n. m. + dílny	M2b
DuSO 58	Zavážecí tunel (horizont 485 m n. m.)	M10

C.5.2.3 Důlní provozní soubory

Důlní provozní celky mají značení DuPS. Jejich přehled je uveden v následující tabulce.

Tab. 73: Seznam důlních provozních celků

DuPS	Název	Zařízení
DuPS 01	Těžní zařízení těžní jámy (425 m n. m.)	DuPS obsahuje těžní stroj pro těžbu rubaniny, dopravu osob a materiálů. DuPS dále zajišťuje manipulaci s dopravními nádobami, zařízení pro dopravu rubaniny a překládku technologických zařízení pro ražbu
DuPS 02	Náraziště těžní jámy (200 m n. m.)	DuPS zajišťuje manipulaci s dopravními nádobami pro dopravu rubaniny, tj. jejich narážení a vyrážení a jejich nucený posun. Rovněž zajišťuje překládku technologických zařízení pro ražbu a provoz.
DuPS 03	Náraziště těžní jámy (± 0 m n. m.)	Obdoba DuPS 02, ale pro větší vytížení.
DuPS 04	Náraziště těžní jámy (-30 m n. m.)	Obdoba DuPS 02, navíc technologie vybavení čerpací stanice, čerpání z jámové tůně a omezení propadu.
DuPS 05	Těžní zařízení pro výdušné jámy a vtažnou jámu	DuPS obsahuje těžní zařízení pro havarijní jízdu osob z podzemí.
DuPS 06	Zařízení opravny dopravních mechanismů	DuPS obsahuje technologické vybavení pro běžné a střední opravy dopravních mechanismů.

DuPS	Název	Zařízení
DuPS 07	Zařízení remízy dopravních mechanismů	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou kontrolu dopravních mechanismů (tlakovzdušnou přípojku s možností huštění pneumatik, agregát mytí techniky včetně zachycování kalů atp.).
DuPS 08	Důlní mechanizmy	Je uvažována klasická ražba horizontálních důlních děl pomocí trhačí práce. Pro razičí práce se uvažuje s použitím vrtacích vozů se dvěma až třemi lafetami a nakládacími bagry. Doprava rubaniny se uvažuje převážně kolejová. Zařízení pro vrtání ukládacích vrtů je v DuPS 13.
DuPS 09	Trafostanice a rozvodna (± 0 m n. m.)	DuPS zajišťuje napájení elektrozařízení na horizontu ± 0 m n. m. Hlavními spotřebiči zde jsou: větrací stanice na horizontu 25 m n. m. a čerpací stanice na horizontu -30 m n. m. Silové rozvody budou přivedeny těžní jámou TJ-1S a zokruhovány jámou výdušnou VJ-1.
DuPS 10	Zařízení zkušebny	Zkušebna bude vybavena přístroji a nástroji potřebnými k zajištění projektovaných úkolů.
DuPS 11	Větrací stanice (25 m n. m.)	DuPS 11 soustrojí ventilátoru a elektromotoru včetně regulačních zařízení. Předpokládá se sací způsob větrání s použitím axiálního ventilátoru.
DuPS 12	Zařízení remízy TBM	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou údržbu a očistu vrtacího zařízení. Předpokládá se vybavení základním potřebným nářadím a rozvodem stlačeného vzduchu.
DuPS 13	Souprava TBM	DuPS obsahuje komplet soustrojí na zřizování ukládacích vrtů.
DuPS 14	Zařízení remízy dopravních mechanismů úseku ukládání	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou kontrolu dopravních mechanismů.
DuPS 15	Dopravní prostředky pro přepravu UOS a betonkontejnerů	DuPS obsahuje speciální dopravní prostředky uzpůsobené pro přepravu UOS a betonkontejnerů.
DuPS 16	Rozvodna (200 m n. m.)	DuPS zajišťuje napájení přečerpávací stanice a větrací stanice. Silové kabely jsou přivedeny těžní jámou TJ-1S a zokruhovány jámou větrací VJ-1.
DuPS 17	Přečerpávací stanice (200 m n. m.)	DuPS zajišťuje přečerpání důlních vod z horizontu 200 m n. m. na povrch. Předpokládá se osazení přečerpávací stanice třemi agregáty (provoz, rezerva).

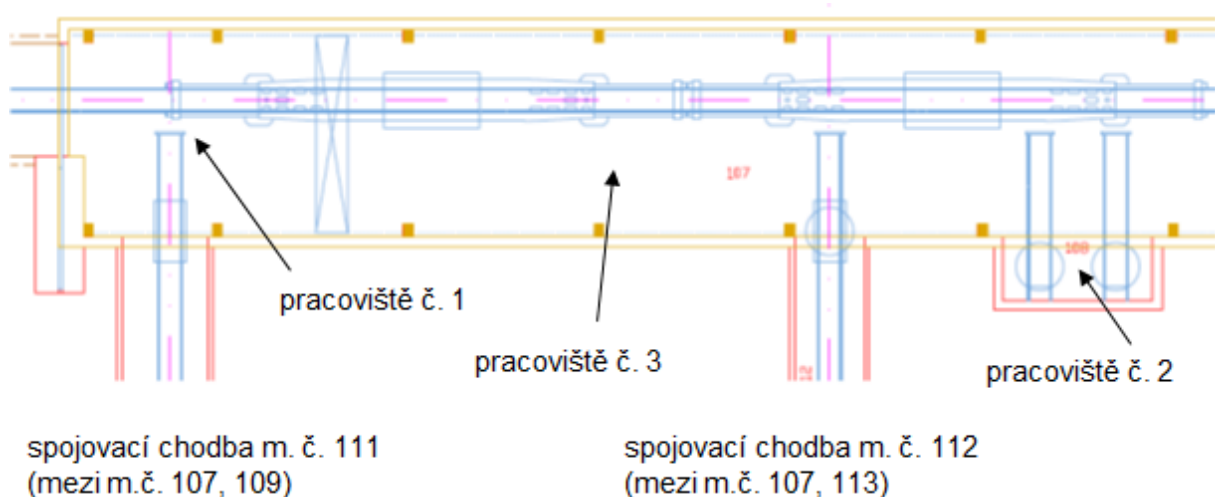
DuPS	Název	Zařízení
DuPS 18	Větrací stanice (200 m n. m.)	DuPS zajišťuje větrání horizontu. Předpokládá se, že z vtažného větrního proudu vedeného vtažnou jámou.
DuPS 19	Zařízení podzemní laboratoře	Prozatím není specifikováno (horizont 200 m n. m.).
DuPS 20	Dopravní, zvedací a manipulační zařízení v hale přípravy SC	Neobsazeno (netýká se vertikálního způsobu ukládání).
DuPS 21	Zařízení konfirmační laboratoře	Prozatím není specifikováno.
DuPS 22	Čerpací stanice (-30 m n. m.)	DuPS zajišťuje čerpání důlních vod z horizontu -30 m n. m. do přečerpávací stanice (DuPS 17).
DuPS 23	Čerpání z jámové tůně	DuPS zajišťuje čerpání důlních vod z jámové tůně těžní jámy do úroňových žumpových chodeb na horizontu -30 m n. m.
DuPS 24	Trubní řady čerpání vod	DuPS zahrnuje řady čerpání z jámové tůně, z čerpací stanice na horizontu -30 m n. m. do přečerpávací stanice na horizontu 200 m n. m. a odtud na povrch do čistírny důlních vod.
DuPS 25	Rozvody 6 kV	DuPS zahrnuje silové rozvody jámami na horizonty do trafostanice a dále k největším spotřebičům (ventilátory, čerpadla).
DuPS 26	Rozvody NN	DuPS zahrnuje nízkonapěťové rozvody z trafostanic v podzemí k jednotlivým odběrním místům.
DuPS 27	Rozvody slaboproudu	DuPS řeší rozvody v jednotlivých objektech (jedná se o rozvody k řídicím a kontrolním prvkům).
DuPS 28	Trubní rozvody požární vody	DuPS zajišťuje na nárazištích jednotlivých horizontů stálou možnost odběru vody v množství nejméně 400 l/min. při hydraulickém přetlaku 0,25 MPa.
DuPS 29	Trubní rozvody stlačeného vzduchu	DuPS zahrnuje trubní rozvody od kompresorovny na povrchu na jednotlivé horizonty včetně horizontálních rozvodů k místům spotřeby. Hlavní rozvod bude veden těžní jámou TJ-1S a zokruhován jámou VJ-1.
DuPS 30	Osvětlení	DuPS zahrnuje osvětlení podzemních důlních děl a komor.

C.5.2.4 Umístění horké komory

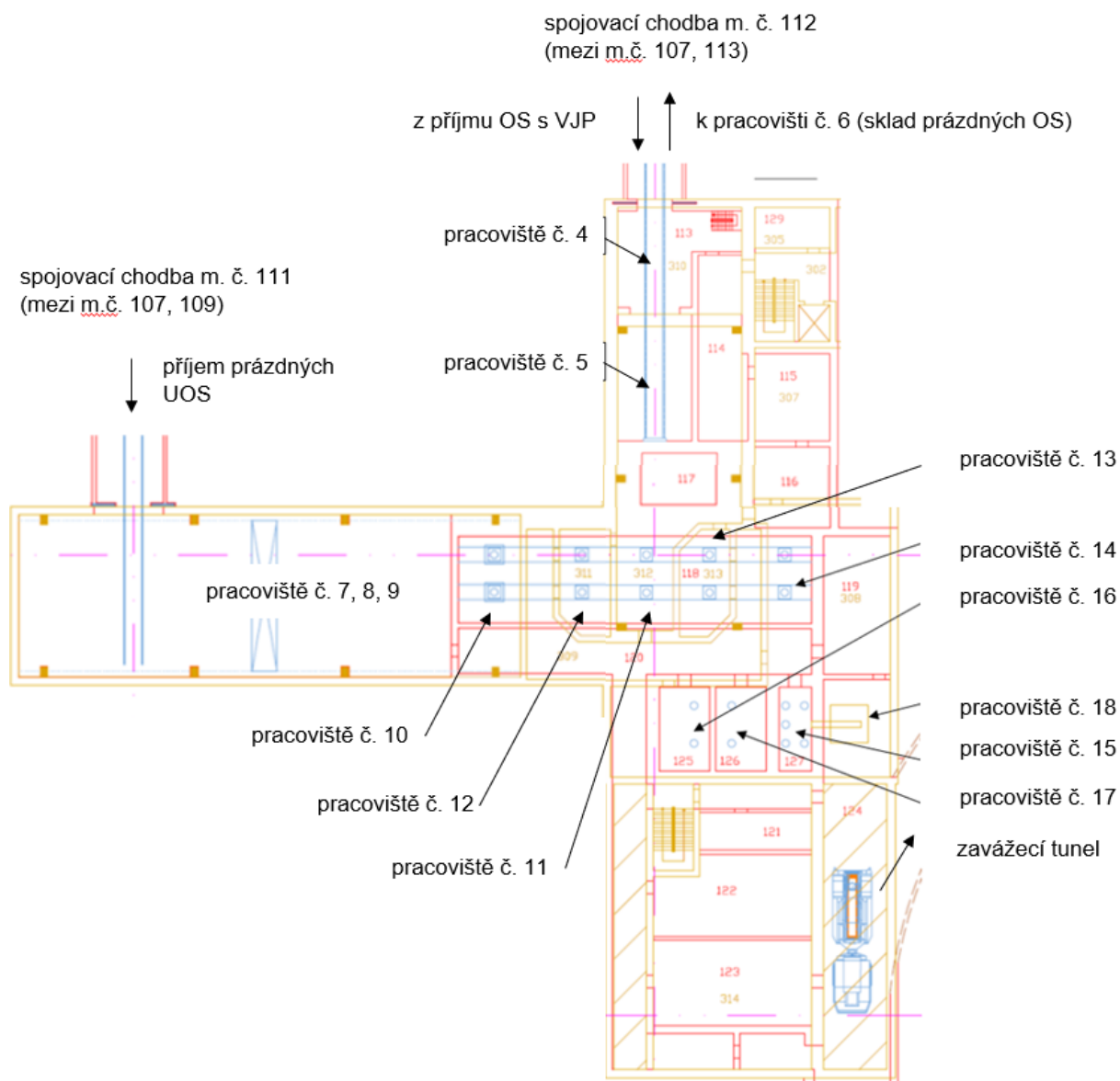
Horká komora je zařízení překládacího uzlu, hermeticky oddělené od ostatního prostoru, ve kterém bude prováděno přeložení VJP z POS do UOS. Horká komora je součástí objektu aktivních provozů (Modul M2b, DuSO 41) na úrovni 485 m n.m.

Přístup k horké komoře je zajištěn halou příjmu (m.č. 107), do které vede ze střeženého prostoru PA vlečka).

Hala příjmu (m.č. 107) 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 následujících obrázcích.



Obr. 50: Hala příjmu s vlečkou a meziskladem POS s VJP (pracoviště č. 2, m.č. 108)



Obr. 51: Schéma pracovišť č. 4 až 18

Popis manipulací s POS a UOS na jednotlivých pracovištích jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště, podrobnější informace ve zprávách (Grünwald et al., 2017) a (Fiedler et al. 2018).

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

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

- 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 Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</i>

- 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 Na Skalním (viz Obr. 2).

V důsledku absence sítě hlubinných vrtů, které by poskytly dostatečně kvalitní data především z hlediska geomechanických a petrofyzikálních dat a vzhledem k tomu, že vzorky hornin byly odebrány z povrchu, jsou veškeré informace o zájmovém území relevantní pouze pro hloubky prvních metrů.

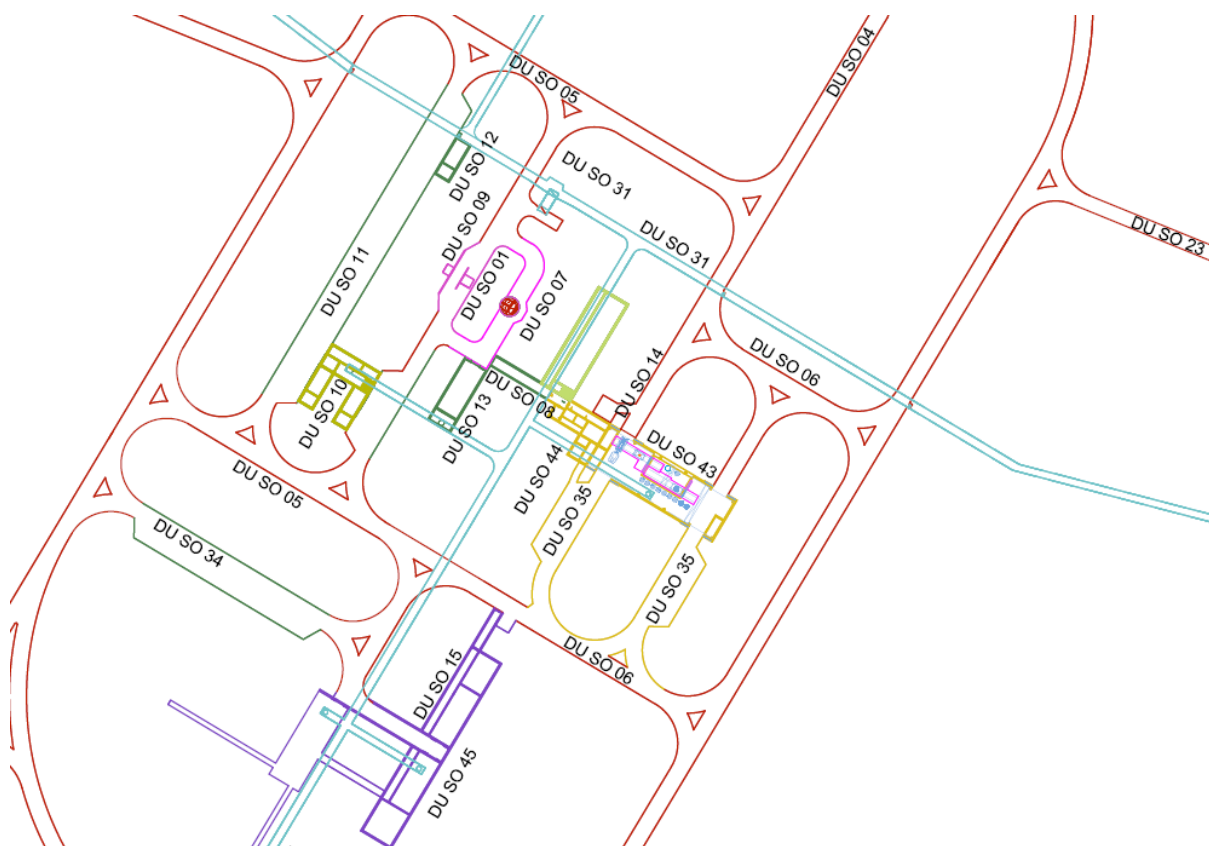
V databázi vrtné prozkoumanosti ČGS na území polygonu Na Skalním nebo v bezprostřední blízkosti jeho hranice je registrováno pouze celkem 44 vrtaných nebo kopaných sond do hloubky max. několika metrů, ze kterých byly odebrány vzorky zemin za účelem zjištění jejich inženýrskogeologických vlastností (Hanžl et al., 2017).

Tab. 74: Srovnání průměrných hodnot nově získaných fyzikálních a mechanických vlastností jednotlivých hornin rajonů vysoko metamorfovaných hornin a magmatických intruzivních hornin

veličina	sym.	jedn.	aplit	durbachit		granit		granulit	rula granu- litová	rula navětralá	migmatit mírně navětralý
				na- větralý	mírně zvětralý	na- větralý	mírně zvětralý	mírně navětralý			
nasákavost	n_s	%	0,58	0,53	1,37	0,98	0,65	0,59	0,72	0,35	0,66
objemová hmotnost po vysušení	ρ_n	kg.m ⁻³	2540	2640	2509	2507	2561	2568,00	2552,00	2595,00	2571,33
objemová hmotnost po nasycení	ρ_{ns}	kg.m ⁻³	2555	2654	2543	2532	2577	2583,20	2570,37	2604,08	2588,29
měrná hmotnost	ρ_s	kg.m ⁻³	2660	2732	2733	2636	2690	2657,14	2650,00	2660,00	2663,33
pórovitost	n	%	4,51	3,36	8,20	4,90	4,80	3,36	3,70	2,44	3,46
pevnost v prostém tlaku po vysušení	$\sigma_{c,s}$	MPa	137,5	50,2	28,7	82,4	48,3	127,50	151,30	160,90	83,67
pevnost v prostém tlaku po nasycení	$\sigma_{c,N}$	MPa	120,1	47,6	13,3	77,9	33,4	93,84	86,20	126,40	60,93
pevnost v příčném tahu po vysušení	$\sigma_{Ptp,s}$	MPa	10,6	9,7	3,6	7,3	7,4	12,38	10,95	17,90	11,05
pevnost v příčném tahu po nasycení	$\sigma_{Ptp,N}$	MPa	9,8	4,0	1,3	4,2	6,1	6,20	5,85	7,50	5,47
parametry smykové pevnosti vysušeného vzorku	$T_{0,s}$	MPa	35,56	15,86	8,29	21,79	14,58	35,21	38,55	45,25	21,98
	φ_s	°	35,30	25,93	29,56	34,77	27,76	32,96	35,93	31,28	29,12
parametry smykové pevnosti nasyceného vzorku	$T_{0,N}$	MPa	31,47	12,47	3,67	18,39	10,47	23,21	21,64	30,75	16,21
	φ_N	°	34,68	35,43	31,97	40,03	25,83	36,49	36,54	38,12	34,37
modul přetvárnosti po vysušení	$E_{def,s}$	MPa	37161	18889	3666	9298	19679	34849	30846	40178	33629
modul pružnosti po vysušení	E_s	MPa	43043	25869	6635	13937	25538	47355	39691	49259	51299
Poissonovo číslo po vysušení	ν_s	1	0,23	0,16	0,20	0,16	0,12	0,200	0,23	0,17	0,21

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.



Obr. 52: Schéma technického zázemí na horizontu $\pm 0,00$ m n.m.

(názyv jednotlivých DU SO viz. Tab. 72; DuSO 43 nebude u vertikálního ukládání realizován)

C.5.3 Přístupová a technologická díla

C.5.3.1 Větrání

Přívod čerstvých větrů k horizontu +425 m n. m., kde bude založena těžní jáma TJ-1S, k horizontu +200 m n.m. a k horizontu ± 0 m n. m. (ukládacímu horizontu) bude zajištěn vtažnou jámou VTJ-1. Rozvod větrů zajišťují větrací chodby a komíny. Vzhledem k plošné rozsáhlosti hlubinného úložiště budou vystavěny dvě výdušné jámy.

Těžní tunely budou ventilovány samostatným větracím proudem (i samostatným větracím systémem).

Modul větrání obsahuje následující důlní objekty:

- DuSO 03 – Vtažná jáma VTJ-1, výdušné jámy VJ-1 a VJ-2,
- DuSO 24 - Odvod upotřebeného vzduchu, výdušné chodby a komíny,
- DuSO 27 - Větrací komíny (± 0 , m n. m./25 m n. m.),
- DuSO 28 - Větrací chodby (horizont 25 m n. m.),
- DuSO 29 - Hlavní a sběrné větrací chodby komor ukládání RAO,
- DuSO 30 - Větrací vrty komor ukládání RAO,
- DuSO 31 - Větrací chodby a komíny provozních objektů (horizont 25 m n. m.),
- DuSO 32 - Větrací stanice (větrací horizont 25 m n. m.),

DuSO 40 - Větrací stanice (horizont 200 m n. m.),

DuSO 53 - Přívod čerstvého vzduchu a odvod použitého vzduchu z objektu přípravy VJP k ukládání + klimatizace, eventuálně čištění vzduchu.

Modul větrání obsahuje následující důlní provozní soubory:

DuPS 11 – Větrací stanice (25 m n. m.)

DuPS 18 - Větrací stanice (200 m n. m.)

Podrobnější informace, které se týkají větrání podzemních prostor jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2018).

Objekt DuSO 41 Příprava VJP a RAO pro uložení včetně překládacího uzlu, horké komory a souvisejících aktivních provozů (horizont 485 m n. m.) je větrán separátně se vzduchotechnickými zařízeními provozně nezávislými na zbývajících částech HÚ.

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.

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.5.3.1 (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. Žumpové chodby slouží ke shromažďování důlních vod z úseku výstavby i provozu HÚ. Chodby budou realizovány jako úroňové na horizontu -30 m n. m. Do žumpových chodeb bude též přečerpávána důlní voda zachycená v jámové tůni těžní jámy TJ-1S. Chodby mají šířku 4,5 m a výšku 2,6 m. V DuSO 38 jsou umístěna čerpadla, která slouží k čerpání důlních vod na horizont 200 m n. m., do přečerpávací stanice. Jde o komoru o ražené délce 26,3 m, šířce 10,7 m a výšce 7,7 m.

Součástí modulu jsou následující DuSO:

DuSO 38 Přečerpávací stanice důlních vod (horizont 200 m n. m.),

DuSO 48 Čerpací stanice důlních vod (horizont -30 m n. m.),

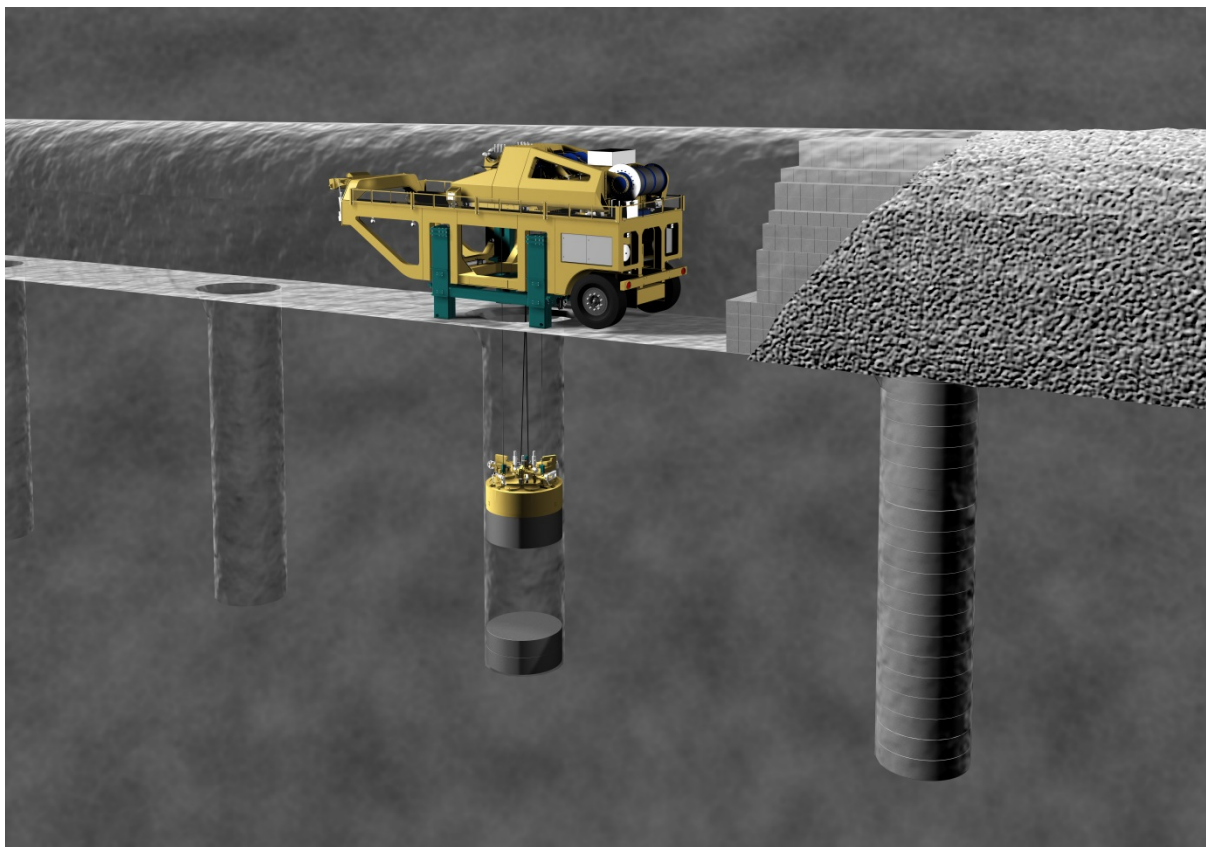
DuSO 49 Žumpovní chodby (horizont -30 m n. m.).

Podrobnější informace, které se týkají modulu M17 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2018).

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. 53: Manipulace s bentonitem, Finsko



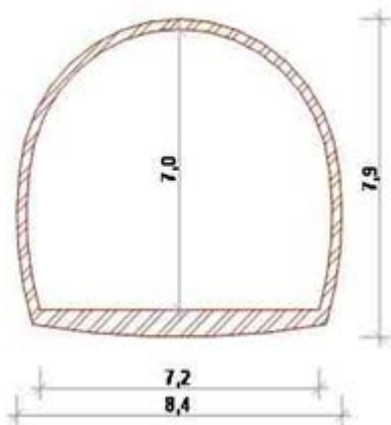
Obr. 54: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko

Podrobnější informace, které se týkají technologie ukládání včetně porovnání horizontálního a vertikálního způsobu ukládání z pohledu technického a realizačního jsou uvedeny ve zprávách (Fiedler et al. 2018 a Grünwald et al., 2017).

C.5.3.4 Geometrie úklonné zavážecí chodby a chodeb spojovacích

Úklonná zavážecí chodba bude sloužit především k dopravě UOS a RAO na ukládací horizont, dále bude sloužit k dopravě komponent na výrobu superkontejneru, bentonitových bloků do ukládacích vrtů, výplňových materiálů chodeb a rozměrných částí zařízení pro ražbu. .

Zavážecí chodba je navržena v čisté šířce 7,2 m a výšce 7,0 m. Klesání chodby maximálně povolené je 10 %, délka je na cca 5,3 km,. Chodba bude vybavena odvodňovacím žlábkem.



Obr. 55: Příčný řez úklonnou zavážecí chodbou

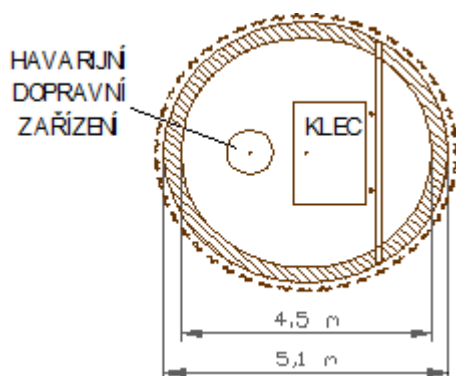
Spojovací chodby a okružní chodba na horizontu $\pm 0,00$ m n.m. budou obousměrné a budou mít stejný profil jako úklonná zavážecí chodba.

Podrobnější informace, které se týkají úklonné zavážecí chodby a dalších chodeb, jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2018)

C.5.3.5 Geometrie vtažné jámy, včetně jejího vstrojení

Vtažná jáma je důlním stavebním objektem sloužícím k přivádění čerstvých větrů do podzemních prostor hlubinného úložiště a k nouzovému úniku. V jámě bude také umístěno havarijní těžní zařízení.

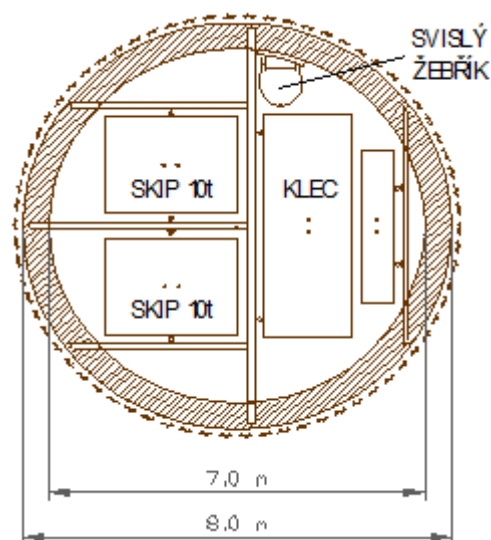
Příčný profil vtažné jámy má kruhový průřez o vnitřním průměru 4,5 m.



Obr. 56: Příčný řez vtažnou jámou

Výdušné jámy mají stejný profil a vybavení jako vtažná jáma.

Těžní jáma bude hloubena z nadmořské výšky 425 m n. m. Bude mít věž v podzemí, která bude sahat do výšky 475 m n. m. Jáma bude vybavena dvojím těžním zařízením; pro jízdu lidí a spouštění materiálů na horizonty 200 m n. m. a ± 0 m n. m. dvouetážovou klecí s protizávažím a pro těžbu rubaniny z ukládacího horizontu (± 0 m n. m.) dvojčinným skipovým zařízením o užitečném objemu dopravní nádoby minimálně 10 tun.



Obr. 57: Příčný řez těžní jámou

Podrobnější informace, které se týkají jam, jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al. 2018).

C.5.3.6 Konfirmační laboratoře

Modul M13 konfirmační laboratoře je objektivě rozdělen na dvě části podzemní laboratoř (DuSO 42) a konfirmační laboratoř (DuSO 45). Obě části zajišťují výzkumnou podporu a verifikaci postupů ukládání VJP a RAO. Konfirmační laboratoř je zřízena na horizontu +200 m n.m. v kaverně nebo v rozšířených a zvýšených chodbách. V současné době není známa její přesná velikost ani dispozice jednotlivých místností. Podzemní laboratoř je zřízena na horizontu $\pm 0,00$ m n.m. také v kaverně nebo v rozšířených a zvýšených chodbách. V současné době není rovněž známa její přesná velikost ani dispozice jednotlivých místností. Vybudování laboratoří 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

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.

RAO a VJP budou do areálu HÚ přepravovány v typově schválených POS na speciálních, v pro tyto účely vyrobených vagonech.

Přeprava bude ukončena před vstupní branou do střeženého prostoru na rozřadišti, kde bude odpojována lokomotiva a další manipulace budou prováděny již lokotraktorem, který je součástí vybavení hlubinného úložiště.

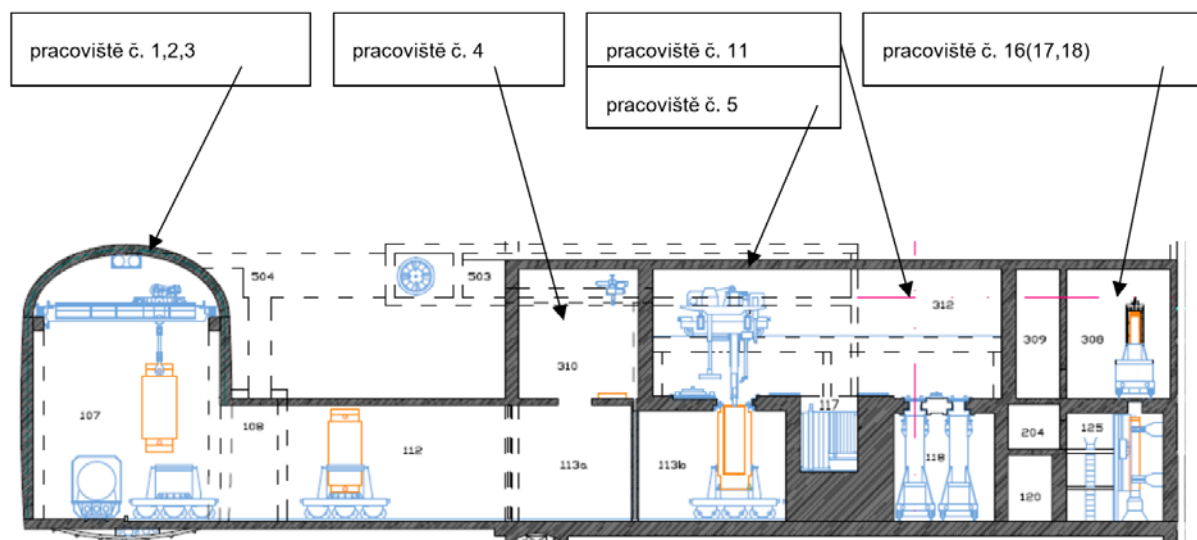
Podle zpráv (Pospíšková et al., 2012) a (Fiedler et al. 2018) budou prováděny dále uvedené činnosti.

C.6.1.1 Příjem POS s VJP

První z vagónů s POS bude vtlačena lokotraktorem do haly příjmu (m.č. 107 v DuSO 41). Tato hala 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 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 následně bude nad tlumičem zabudovaným do podlahy spuštěn z vagónu 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. 58: 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 na pracovišti č. 3 se přeloží na samohybný el. vůz pro transport POS, který jezdí kyvadlově po kolejové dráze spojovací chodbou m.č. 112 mezi halou příjmu a překládky (m.č.107) a místností příjmu POS (m.č.113), a převez se nastanoviště pro demontáž sekundárního víka (pracoviště č. 4 viz obr. Schéma pracovišť, kapitola C.5.2.4 Umístění horké komory).

Na tomto pracovišti, které je obsluhováno jeřábem 16/5t instalovaným v m.č. 310 nad m.č. 113a, 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 přistýkování 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 zbyvající části 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 haly příjmu a na vagónu do SO 46 (mezisklad prázdných POS).

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. 51 na standu 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

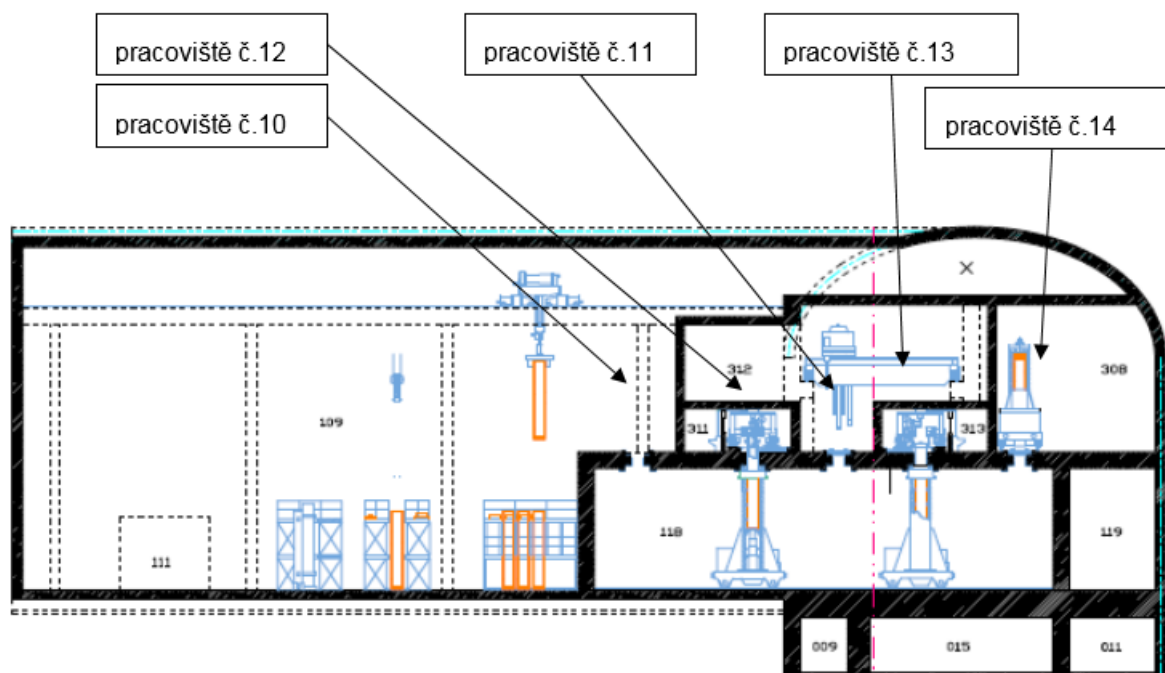
Zavážení VJP do UOS a všechny technologické operace na plných UOS se provádí na dvou paralelních linkách, které mohou pracovat souběžně. Jedna linka je trvale nastavená pro práci s UOS 440 a druhá pro UOS 1000. Zařízení obou linek je téměř totožné a v případě potřeby je možné linku provozovat i pro druhý 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. 59: Pracoviště zavážení VJP

C.6.1.6 Přivaření primárního víka UOS, kontrola přivaření

Vozík se navede na souřadnice osy otvoru. Na vozíku se zdvihne přídavné 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 pouzdru. 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 stínicího 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 zavážecí chodby, stínící válec kolové soupravy se překloupí 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 překloupí do vodorovné přepravní polohy. Mobilní kolová souprava sjede zavážecím tunelem na úroveň ukládacího horizontu ($\pm 0,00$ m n.m.).

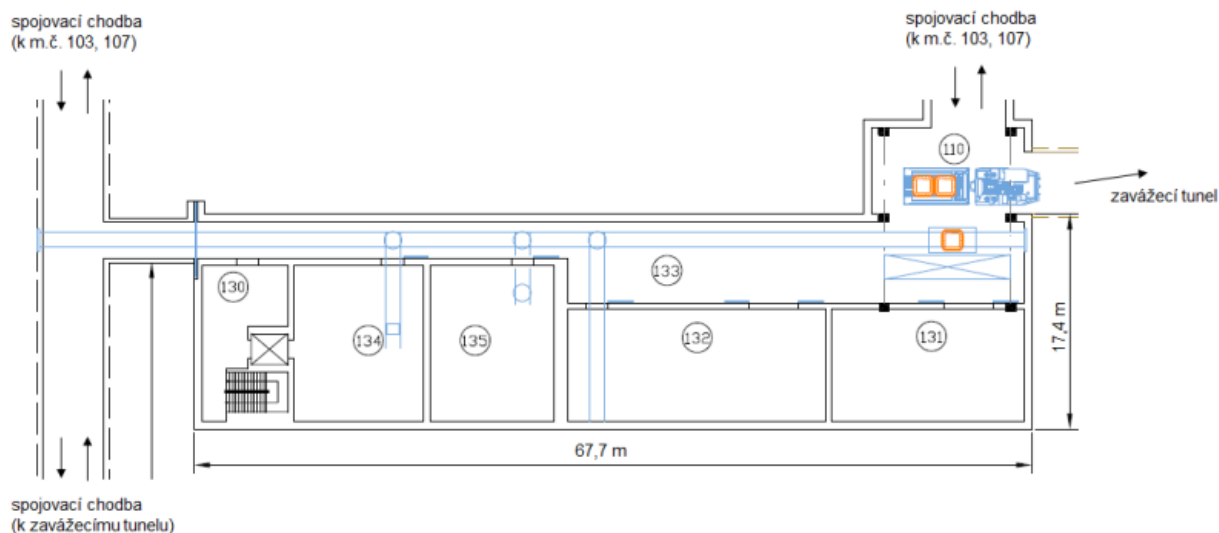
V případě vertikálního ukládání se dále používá technologie uvedená v kapitole C.5.3.3.

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 41.



Obr. 60: 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 (Fiedler et al. 2018), (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 anomálie, 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.

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 Na Skalním	Evidenční označení:
		<i>TZ 305/2018</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 Na Skalním a blízkého okolí	30
Obr. 2: Horizontální řez detailním 3D strukturně geologickým modelem lokality Na Skalním na úrovni cca 500 m hloubky (tj. cca 0 m n. m.) a lokalizace předpokládaných homogenních bloků.	32
Obr. 3: Prověřované lokality pro umístění PA v rámci polygonu Na Skalním.	33
Obr. 4: Úrovně popisu lokality.....	37
Obr. 5: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Na Skalním.....	38
Obr. 6: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality lokality Na Skalním (Dukovany-západ)	39
Obr. 7: Schéma zlomů na lokalitě Na Skalním a v širším okolí v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu.....	41
Obr. 8: Klasifikované lineární indikace na lokalitě Na Skalním.....	43
Obr. 9: Mapa reliéfu lokality Na Skalním s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ.....	55
Obr. 10: Pozice lokality Na Skalním, homogenních bloků a hydrogeologických údajů v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS.	56
Obr. 11: Rozdíl modelové hydraulické výšky v přípovrchové vrstvě a v úrovni HÚ	58
Obr. 12: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ	59
Obr. 13: Schématické řezy se znázorněním horizontální a vertikální vzdálenosti drenáže podzemní vody z prostoru projektovaného HÚ (fialové šipky) a homogenních bloků (modré šipky).....	60
Obr. 14: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón.....	62
Obr. 15: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok-1] z prostoru HÚ v modelu proudění.....	63
Obr. 16: Trajektorie proudění z prostoru HÚ, do drenážních oblastí, okamžité modelové rychlosti proudění.....	64
Obr. 17: Tepelná konduktivita durbachitů – lokalita Na Skalním	79
Obr. 18: Prostorové rozmístění lesních porostů v zájmovém území EDU-Z (dle ÚHÚL).....	90
Obr. 19: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince....	99
Obr. 20: 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).....	100
Obr. 21: Srovnání potencionální radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a jeho jednotlivých složek s potencionální radiotoxicitou 1 t uranové rudy.....	104

Obr. 22: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu	110
Obr. 23 Schéma transportní cesty od HÚ do životního prostředí včetně detailu řešení pole blízkých interakcí.....	111
Obr. 24 Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim	116
Obr. 25 Schéma DFN konceptu.....	117
Obr. 26 Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	119
Obr. 27: Konceptní model výpočtu dávek na reprezentativní osobu z uvažovaných cest ozáření	120
Obr. 28: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m ³) - (0-10250 let)	143
Obr. 29: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok).....	144
Obr. 30: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m ³)	146
Obr. 31: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m ³) - (0-1000000 let).....	146
Obr. 32: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok).....	147
Obr. 33: Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok) - (0-1 milion let) (0 -1000000 let).....	147
Obr. 34: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok) .148	
Obr. 35: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm).....	155
Obr. 36: Schéma palivového proutku.....	155
Obr. 37: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ:.....	158
Obr. 38: Vertikální řez reaktoru VVER-1000.....	161
Obr. 39: 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).....	171
Obr. 40: 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) 172	
Obr. 41: Relativní aktivita přírodního uranu a všech frakcí, které vznikají při použití stejného množství přírodního uranu v jaderném palivovém cyklu	172
Obr. 42: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online).....	174
Obr. 43: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).....	175
Obr. 44: 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 %)	176

Obr. 45: Vertikální uložení UOS (VVER 440) (Grünwald et al. 2017).....	179
Obr. 46: 1. nadzemní podlaží SO 41	187
Obr. 47: 2. nadzemní podlaží SO 41	188
Obr. 48: 3. nadzemní podlaží SO 41	189
Obr. 49: Schéma horizontů podzemní části HÚ včetně napojení na povrchový areál	191
Obr. 50: Hala příjmu s vlečkou a meziskladem POS s VJP (pracoviště č. 2, m.č. 108).....	198
Obr. 51: Schéma pracovišť č. 4 až 18	199
Obr. 52: Schéma technického zázemí na horizontu ±0,00 m n.m.	204
Obr. 53: Manipulace s bentonitem, Finsko.....	206
Obr. 54: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko	207
Obr. 55: Příčný řez úklonnou zavážecí chodbou.....	207
Obr. 56: Příčný řez vtažnou jámou	208
Obr. 57: Příčný řez těžní jámou	208
Obr. 58: Přeprava POS z Haly příjmu k HK	210
Obr. 59: Pracoviště zavážení VJP	212
Obr. 60: Příprava RAO pro uložení.....	214

Seznam tabulek

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ	16
Tab. 2: Požadavky na posuzované vlastnosti podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	18
Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1.....	23
Tab. 4: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení	53
Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Na Skalním	65
Tab. 6: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení – povodí Rokytné.	67
Tab.7: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení – povodí Rouhovanky	67
Tab. 8: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů pro granitické horniny Českého masivu.....	68
Tab. 9: Rozpustnosti screeningových radionuklidů ve vodě Na Skalním	69
Tab. 10: Hodnoty ředění pro jednotlivá povodí drenáže.....	69
Tab. 11: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality Na Skalním (Havlová et al., 2018)	70
Tab. 12: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení	77

Tab. 13: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností durbachitů	80
Tab. 14: Vybrané geochemické indikátory pro lokalitu Na Skalním.....	82
Tab.15: Podíl lesů ve vybraných k. ú. v lokalitě Na Skalním a v blízkém okolí (ČÚZK, 2017)	89
Tab. 16: Velikostní struktura osídlení do 30 km od PA (www.czso.cz).....	95
Tab.17: Počet obyvatel v obcích polygonu Na Skalním (www.czso.cz)	95
Tab. 18: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku.....	97
Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivity POS se započtením filtrace (99,9999 %).....	98
Tab. 20: Omezená kolektivní efektivní dávka	99
Tab. 21: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %)	100
Tabulka 22: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu	101
Tabulka 23: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatnými rozptylovými podmínkami – 16 úniků do všech směrů větrné růžice.....	102
Tab. 24: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti	103
Tab. 25: Bezpečnostní funkce bariér hlubinného úložiště	106
Tab. 26: Transportní parametry potenciálních lokalit pro umístění HÚ.....	112
Tab. 27: 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.....	113
Tab. 28: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech.....	122
Tab. 29: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu.....	124
Tab. 30: Hodnoty referenčních difuzivit D_w (m^2s^{-1}) a meze rozpustnosti pro blízké pole SLbent 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.....	125
Tab. 31: 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).	126
Tab. 32: 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 odhadu z dalších literárních zdrojů.....	127
Tab. 33: Sorpční parametry granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu (Havlová et al. 2018).....	128
Tab. 34: Difúzní koeficienty D_e granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu.	129
Tab. 35: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu	131

Tab. 36: Přenosové faktory půda - rostlina	132
Tab. 37: Výnosy zemědělských plodin.....	133
Tab. 38: Přenosové faktory pro přestup přijaté aktivity do živočišného produktu	135
Tab. 39: Parametry použité pro hospodářská zvířata	136
Tab. 40: Spotřební koš (reprezentativní osoba, dospělý, centrální scénář).....	136
Tab. 41: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby	138
Tab. 42: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím	138
Tab. 43: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody	140
Tab. 44: Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin)	141
Tab. 45: Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech	142
Tab. 46: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let.....	144
Tab. 47: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let).....	148
Tab. 48: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ	154
Tab.49:Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP	156
Tab. 50: Celková aktivita klíčových radionuklidů pro EDU, ETE i NJZ a aktivita přepočítaná na jeden UOS.....	157
Tab. 51: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro všechny typy JE	158
Tab. 52: Rozměry UOS použité ve výpočetních modelech pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ	159
Tab. 53: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS	159
Tab. 54 : Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí reaktoru pro postupné vyřazování z provozu doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Temelín	160
Tab. 55: 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	162
Tab. 56: Měrné aktivity a hmotnosti různých materiálů na konci ozařování a pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín.....	162
Tab. 57: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín	162
Tab. 58: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany	163
Tab. 59: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (šachta reaktoru, koš AZ, návar TNR a TNR) pro JE Dukovany	163

Tab. 60: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru (tepelná izolace, dno koše AZ a serpentinitový beton) pro JE Dukovany	164
Tab. 61: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany	164
Tab. 62: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro všechny plánované bloky a pro okamžité vyřazování z provozu NJZ.....	164
Tab. 63: Odhad počtu betonových kontejnerů pro konstrukční a technologické části výzkumného reaktoru LVR-15 pro postupné vyřazování.....	165
Tab.64: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy.....	166
Tab. 65: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů z 1. a 2. přepravy vitrifikovaného VJP z výzkumného reaktoru LVR-15	166
Tab. 66: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard	167
Tab. 67: Přehled ZIZ používaných na území ČR podle obsažených radionuklidů a jejich sumární aktivity k referenčnímu datu 10. 12. 2015	167
Tab.68: Přehled ZIZ užívaných na území ČR podle jejich klasifikace (Databáze ZIZ, SÚJB)	167
Tab. 69: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karnland, 2010).....	174
Tab. 70: Seznam stavebních objektů.....	182
Tab. 71: Seznam provozních souborů	185
Tab. 72: Seznam důlních stavebních objektů	193
Tab. 73: Seznam důlních provozních celků	195
Tab. 73: Srovnání průměrných hodnot nově získaných fyzikálních a mechanických vlastností jednotlivých hornin rajonů vysoko metamorfovaných hornin a magmatických intruzivních hornin	203

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.

- BALATKA B., PŘIBYL V., VILÍMEK V. (2000): Morfotektonické rysy reliéfu v povodí horní Jihlavy. – Sborník ČGS, 105, 276–285.
- 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.
- COX K. G., BELL J. D., PANKHURST R. J. (1979): The Interpretation of Igneous Rocks. – George Allen & Unwin., Londýn, 450 s.
- ČERMÁK V. (1979): Geothermal studies and heat flow map of Czechoslovakia. – Čermák V. (ed): Geodynamic investigations in Czechoslovakia. – Final Report, Věda, Bratislava, 129–132.
- 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., Příprava geochemického modelu – geochemické výpočty a model reakčního transport, Technická zpráva SÚRAO, 2018
- DEBON F., LE FORT P. (1983): A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. – Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth Sci. 73, 135–149.
- DĚDEČEK P. (2017) Stanovení tepelných vlastností horninových vzorků pro akci Moldanubikum, vodnost umístění podzemního úložiště, dokument 3310-př/17-22, 2017

- 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. (2010): 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.
- FIEDLER, F., FIEDLER J., NOHEJL J. (2018): Předběžná studie proveditelnosti HÚ v lokalitě na Skalním, Technická zpráva SÚRAO, číslo ZZ219/2018, ÚJV Řež, a.s., Divize ENERGOPROJEKT PRAHA.
- FOLEY S. F., VENTURELL G., GREEN D. H., TOSCANI L. (1987): The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. – *Earth-Sci.Rev.* 2, 81–134.
- 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.
- FRANKE, W. (2000): The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. Geological Society, London, Special Publications, 179: 35–61.
- FRIEDL G., FINGER F., MC NAUGHTON N. J., FLETCHER I. R. (2000): Deducing the ancestry of terranes: SHRIMP evidence for South America-derived Gondwana fragments in central Europe. – *Geology*, 28, 1035–1038.
- FUCHS G. (1976): Zur Diskussion um den Deckenbau der Böhmischen Masse. – *Jb. Geol. B-A*, 129, 41–49.
- GOLDSIM (2017): GoldSim Contaminant Transport Module - User's Guide. - GoldSim Technology Group, version 7.0, Washington, USA, 2017
- GOLDSIM (2014): GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide, Version 6.4. Washington, USA, 2014
- GONDOLLI J., DOBREV D., KLAJMON M., ČERNOUŠEK T., KOUŘIL M. (2018): 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. (2018) Příprava databáze VUP, Technická zpráva SÚRAO, v přípravě
- GRÜNWALD 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
- HANŽL P., AUE M., ČOUPEK P., FIEDLER F., FRANĚK J., HRDLIČKOVÁ K., KAROUS M., KRAJÍČEK L., KRYŠTOFOVÁ E., PALEČEK M., PERTOLDOVÁ J., POŘÁDEK P., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., ŠVAGERA O. (2018): Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ – EDU Západ; Lokalita HÚ EDU západ – souhrnná závěrečná zpráva. – MS SÚRAO.
- HANŽL P., HRDLIČKOVÁ K., AUE M., BÁRTA F., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., ČOUPEK P., FRANĚK J., HROCH T., JANOUŠEK V., JELÍNEK J., KAROUS M., KRAJÍČEK L., KRYŠTOFOVÁ E., KUNCEOVÁ E., MAREČEK L., NOVOTNÁ J., PACHEROVÁ P., PALEČEK M., PERTOLDOVÁ J., POŘÁDEK P., RUKAVIČKOVÁ L., ŘEZNÍČEK P., SEDLÁČEK Z., SEDLÁČKOVÁ I., SKORŠEPA M., SOEJONO I., SVOJTKA M., ŠVAGERA O., VÍT J. (2017): Zpráva o provedení geologicko-výzkumných prací na lokalitě EDU-západ. TZ 116/2017, Česká geologická služba, Brno, 296 s
- HAVÍŘ J., PAZDÍRKOVÁ J., SKÁCELOVÁ Z., SÝKOROVÁ Z. (2001): Tektonická mikrozemětřesení registrovaná na Moravě a ve Slezsku v roce 2000. – Geol. Výzk. Mor. Slez. 2000, Brno.
- 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 – Lokalita Na Skalním, Technická zpráva SÚRAO, 279/2018
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., POLÁK M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BUKOVSKÁ Z. (2018c): Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění HÚ VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, Technická zpráva SÚRAO, xxx/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.
- HAVLOVÁ V., VIDENSKÁ K., GONDOLLI J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., RUKAVIČKOVÁ L. (2015): Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin českého masivu. Technická zpráva č. 13/2015. SÚRAO, Praha.
- HJERPE T., IKONEN A.T.K., BROED R. (2010), Biosphere Assessment report, Posiva 2010-03
- HOEK, E., BROWN, E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8): 1165–1186.
- HRDLIČKOVÁ K., PERTOLDOVÁ J., AUE M., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., ČOUPEK P., FRANĚK J., HANŽL P., HROCH T., JANOUŠEK V., JELÍNEK J., KLOMÍNSKÝ J., KOPAČKOVÁ V., KOUCKÁ L.,

- KRYŠTOFOVÁ E., PACHEROVÁ P., PALEČEK M., POŘÁDEK P., RUKAVIČKOVÁ, L., SEDLÁČKOVÁ I., SKÁCELOVÁ Z., SOEJONO I., VÍT J., GNOJEK I., KAROUS M., NIKL P., NOVOTNÁ J., PRACHAŘ I., ŘEZNÍČEK P., SEDLÁČEK Z., ZABADAL S., MAREČEK L. (2016): Zpráva o shromáždění, utřídění a vyhodnocení relevantních geovědních informací na lokalitě HÚ EDU – západ. Závěrečná zpráva. – MS SÚRAO, Praha, 195 str.
- Hušťáková 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 řez, 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.
- HROCH T. A PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. Závěrečná zpráva. – TZ 25/2015, SÚRAO. Praha.
- 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 Wastes 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
- JANOŮŠEK V., FINGER F., MALCOLM J. R., ROGERS G., FRÝDA J., PIN CH., DOLEJS D. (2004): Deciphering the petrogenesis of deeply buried granites; whole-rock geochemical constraints on the origin of largely undepleted felsic granulites from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif Fifth Hutton symposium on The origin of granites and related rocks. – Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sci., 95, 141–159.

- JANOŮŠEK V., HOLUB F. V. (2007): The causal link between HP-HT metamorphism and ultrapotassic magmatism in collisional orogens: case study from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. – Proc. Geol. Assoc, 118, 75-86.
- 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
- 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)
- KAROUS M., ALEMAN M., GURTNER R., HANÁK J., HANŽL P., CHALUPNÍK T., NIKL P., ONDRA J., SEDLÁK J., SKORŠEPA M. (2017): Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ, EDU západ (EDU-Z), Geofyzikální výzkum. – SÚRAO, Praha.
- 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. (2017): Inventarizace zdrojového členu a jeho charakteristiky – optimalizace vzdálenosti UOS, průběžná zpráva SÚRAO, 4Q, 2017
- 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, SURAO, Praha.
- KOŠLER J., KONOPÁSEK J., SLÁMA J., VRÁNA S. (2014): U–Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif. – J. Geol. Soc., 171, 83–95.
- KOTNOUR P. ČERMÁK J., DOBREV D., GONDOLLI J., KÁRNÍK D., KOUŘIL M., KRÁL L., KŘÍŽOVSKÝ M., LOVECKÝ M., MACÁK P., MATALO 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.
- KRAJÍČEK L., BRODECKÁ A., DANĚK T., CEJNAR P., CHLANOVÁ L., KAREL J., KUBEŠOVÁ A., VOLF O., WICHSOVÁ M. (2018): Studie vlivů HÚ v lokalitě „Na Skalním“ na životní prostředí (samostatná příloha k závěrečné zprávě ZZ219/2018). – SÚRAO, Praha.
- KRÁSNÝ, J., et al. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav. Praha.

- KRÖNER A., WENDT I., LIEW T. C., COMPSTON W. (1988): U-Pb zircon and Sm-Nd model ages of high-grade Moldanubian metasediments, Bohemian Massif, Czechoslovakia – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99, 257–266.
- 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.
- KUSBACH V., JANOUŠEK V., HASALOVÁ P., SCHULMANN K., FANNING M., ERBAN V., ULRICH S. (2015): Importance of crustal relamination in origin of the orogenic mantle peridotite–high-pressure granulite association: example from the Náměšť Granulite Massif (Bohemian Massif, Czech Republic). – *Journal of the Geological Society London* 172, 4, 465–478.
- 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.
- LEICHMANN J., GNOJEK I., NOVÁK M., SEDLÁK J., HOUZAR S. (2016): Durbachites from the Eastern Moldanubicum (Bohemian Massif): erosional relics of large, flat tabular intrusions of ultrapotassic melts – geophysical and petrological record. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 106, 59–77.
- LENHARDT W. A., ŠVANCARA J., MELICHAR P., PAZDÍRKOVÁ J., HAVÍŘ J., SÝKOROVÁ Z. (2007): Seismic activity of the Alpine-Carpathian-Bohemian Massif region with regard to geological and potential field data. – *Geol. Carpath.*, 58, 4, 397–421, Bratislava.
- 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 Magdalena – provozní bezpečnost, Technická zpráva SÚRAO, 2018
- MATĚJOVSKÁ O., MINAŘÍKOVÁ D. (1991): Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 24–33 Moravský Krumlov. – ČGÚ, Praha.
- 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
- MÍSAŘ Z., DUDEK A., HAVLENA V., WEISS J. (1983): Regionální geologie ČSSR I. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- MŽP (2016) Surovinové zdroje České republiky, Statistické údaje do roku 2016, 25. Vydání ČGS, 10/2017
- 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.

- ONDERKA R. A SAMEK J. (1966): Závěrečná zpráva. Velké Meziříčí – 512 331 209. Surovina: kámen. Etapa průzkumu: vyhledávací. Stav ke dni: 30.9.1966. Geoindustria, n.p. Praha, závod Jihlava. 16 s. + 17 příloh
- PACOVSKÝ J., ŠTÁSKA J. a kol. (2017):. Návrh a výroba směsi bentonitových pelet, 1. průběžná zpráva, SATRA, ÚJV Řež, ČVUT, Mott MacDonald CZ. xxx
- 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). Pálenský P. et al. (1994): Geologická mapa ČR 1 : 50 000 list 24–34 Ivančice. – ČGÚ, PRAHA.
- PAVLÍK, J. (1967): ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA O GEOTECHNICKÉM POSOUZENÍ ZÁKLADOVÝCH POMĚRŮ STAVENIŠTĚ VIADUKTU PŘES ÚDOLÍ ŘEKY JIHLAVY VE VELKÉM MEZIŘÍČÍ (DÁLNIČNICE PRAHA – BRNO, STAVBA Č. 16). INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ A HYDROGEOLOGICKÝ PRŮZKUM ŽILINA, ZÁVOD BRNO, 23 S. + 7 PŘÍLOH.
- 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. – J. GEOSCI., 59, 367–388.
- PETROVÁ P., VÍT J., ČTYROKÁ J. (2001): OKRAJOVÉ VÝVOJE SEDIMENTŮ KARPATSKÉ PŘEDHLUBNĚ NA LISTECH MAP 1 : 25 000 BLANSKO A TIŠNOV. – SCRIPTA FAC. SCI. NAT. UNIV. MASARYK. BRUN. GEOL., 31, 55–64.
- 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., ROŠTINSKÝ P., NOVÁKOVÁ E., WEIGEL J. (2017): Geodynamically risk zone at Northern part of the Boskovice furrow. – Acta Geodyn. Geomater., 14, , 113–129.
- 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, 3 (159), 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
- QuantiSci, PAGODA, Version 3.3, Technical Description, 1990
- QUITT E., et al. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV. Brno.
- RATAJ, J., FRÝBORT, J., FEJT, F., HERALTOVÁ, L. (2015): Databáze VJP pro bezpečnostní rozbor, Technická zpráva č. 11/2015. SÚRAO, 2015

- RECH S. (1978): Závěrečná zpráva o provedení inženýrskogeologického průzkumu pro založení televizní věže a přílehlého objektu řídicí budovy pro II. TV Třebíč na Klučovské hoře. Geotest, Brno, 41 s.
- REJL L. (1980): Vltavínové štěrky na Moravě a jejich vztah k regionálně geologické stavbě. – Přírodověd. Sbor. Západomor. Muz. Třebíč, 11, 235–242.
- ROŠTÍNSKÝ P., POSPÍŠIL L., ŠVÁBENSKÝ O. (2013): Recent geodynamic and geomorphological analyses of the Diendorf-Čebín Tectonic Zone, Czech Republic. – Tectonophysics, 599,
- SEDLÁK J., ZABADAL S., GNOJEK I., REJL L. (2017): Třebíčský masiv – tíhové řezy. – TZ127/2017. – MS SÚRAO.
- 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., KONOPÁSEK J., JANOUŠEK V., LEXA O., LARDEAUX J. M., EDEL J. B., ŠTÍPSKÁ P., ULRICH S. (2009): An Andean type Palaeozoic convergence in the Bohemian Massif. – C R Geosci 341, 266–286.
- 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
- 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
- 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 radiační 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 radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- SUJB (2017a): Vyhláška č. 329/2017 Sb. ze dne 26. září 2017 o požadavcích na projekt jaderného zařízení
- ŠTÁSTKA J., PACOVSKÝ A KOL. (2016): XI. Dílčí zpráva Mock-Up-Josef (prodloužení 2016), ČVUT, Praha
- TAJČMANOVÁ L., SOEJONO I., KONOPÁSEK J., KOŠLER J., KLÖTZLI U. (2010): Structural position of high-pressure felsic to intermediate granulites from NE Moldanubian zone (Bohemian Massif). – *Journal of the Geological Society London*, 167, 329–345.
- 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
- TRNKA M. (1981): Rezidua hornin moldanubika z. od Třebíče a jejich opály. MS diplomová práce. – UJEP, Brno, 104 str.
- TRPKOŠOVÁ, D., HAVLOVÁ, V., HUSTÁKOVÁ, 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., HUSTÁKOVÁ, 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., Bezpečnostní zpráva dlouhodobé bezpečnosti HÚ na lokalitě Kraví hora, Technická zpráva SÚRAO, /2018, v přípravě
- TYRÁČEK J. A RŮŽIČKA M. (1992): Kvartér. V: Chlupáč, I. – Štorch, P., ed.: Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky. – *Čas. Čes. geol. spol.*, 37, 4: 257–275. Praha.

- 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.
- VAŠÍČEK R. (2017): Laboratorní zkoušky na bentonitu BaM, zpráva k zakázce SÚRAO (č. obj. BAM OV2017-6132)
- 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>.
- 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., HAVLOVÁ V., HERCÍK M., LANDA J., LUKIN D., VEJSADA J. (2010): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, III. etapa, Studie zadávací bezpečnostní zprávy, C.2 Hodnocení dlouhodobé bezpečnosti HÚ, ÚJV řež, a. s., září 2010
- 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
- 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. (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).

 SÚRAO	Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Na Skalním	Evidenční označení:
		TZ 305/2018

ZANG A. A STEPHANSSON O. (2010): Stress Field of the Earth's Crust. Springer Netherlands, 324 pp.

ZEMAN A. (1973): Současný stav výzkumů pleistocénních fluvialních sedimentů Dyjsko-svrateckého úvalu a jejich problematika. – Stud. Geogr., 36, 41–61.

ZOUBEK V. (1988): Precambrian in Younger Fold Belts, European Variscides, the Carpathians and Balkans. – 485 p. New York. John Wiley & Sons.

ŽÁK J., VERNER K., FINGER F., FARYAD S. W., CHLUPÁČOVÁ M., VESELOVSKÝ M. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust – Lithos 121 (1–4), 25–40.

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.

„HAVAR-RP,“ Utia, [Online]. Available: <http://havarrp.utia.cas.cz>. [Přístup získán 23 3 2018].

Digitální zdroje

Databáze ČGS: Surovinový informační systém (SurIS) ČGS – Geofond [online]. Cit. 31. 1. 2017. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=5>

Jihočeský kraj (2018). Plán rozvoje vodovodů a kanalizací. Dostupné na: http://www.kraj-jihocesky.cz/1230/plan_rozvoje_vodovodu_a_kanalizaci_na_uzemi_jihoceskeho_kraje.htm

NERA project – zdroj dat o historických zemětřeseních do roku 1990 [online]. Dostupné z: <http://www.seismicportal.eu/>

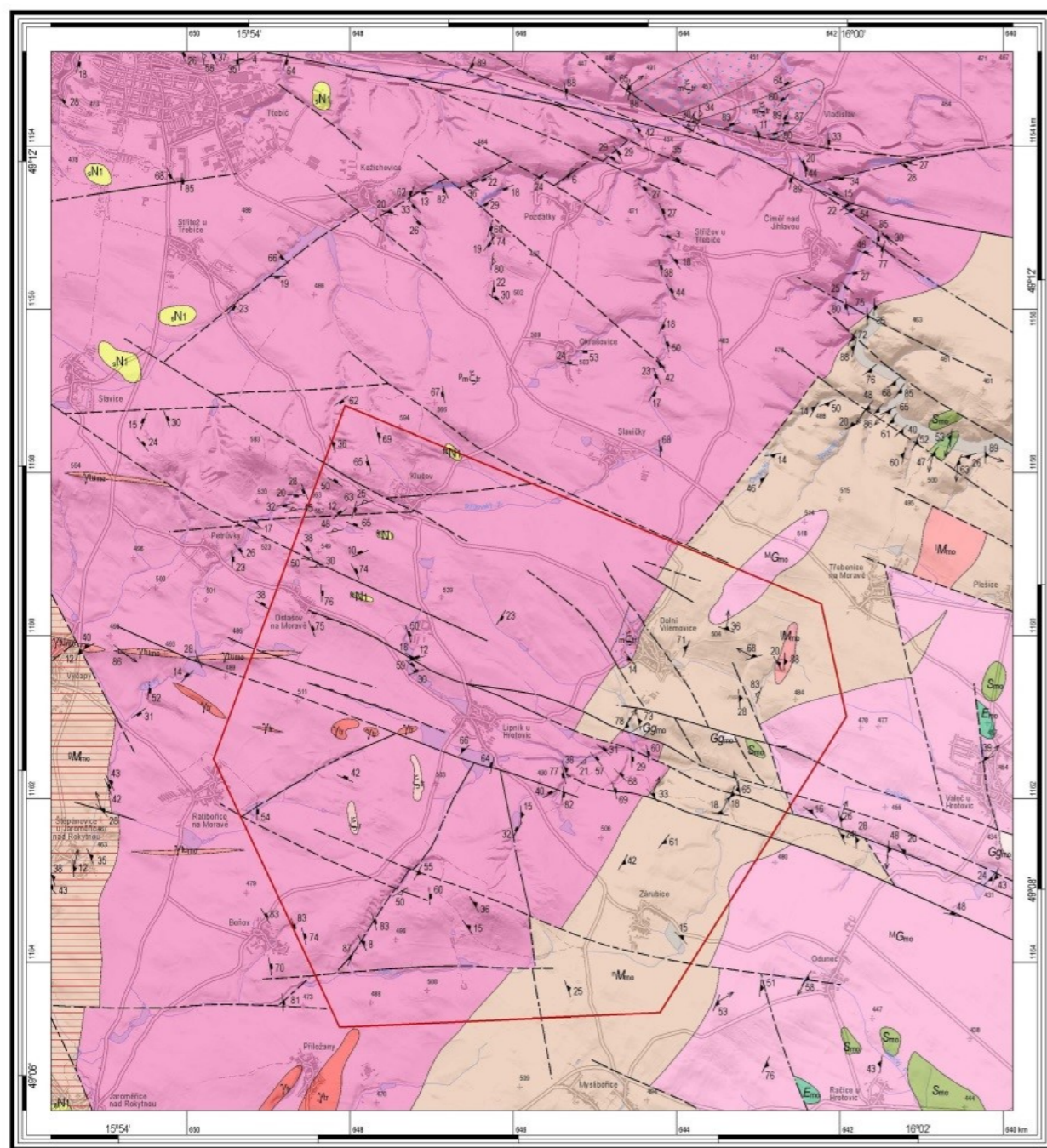
VÚV – zdroj dat pro ochranná pásma vodních zdrojů [online]. Dostupné z: [http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/opvz/HTML_ISVS\\$opvz\\$stazeni.asp?doc=full](http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/opvz/HTML_ISVS$opvz$stazeni.asp?doc=full), 2018

D PŘÍLOHY

D.1 Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Na Skalním 1:50 000, ČGS

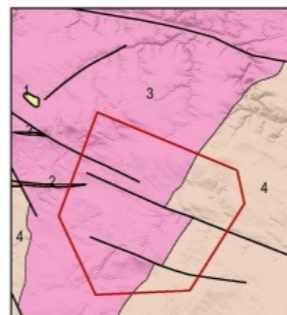
ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA

ÚČELOVÁ GEOLOGICKÁ MAPA KANDIDÁTSKÉ LOKALITY DUKOVANY-ZÁPAD 1 : 50 000



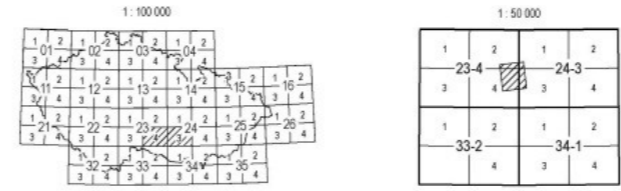
- TERCIÉR NA ČESKÉM MASIVU**
KENOZOIKUM
NEOGEN
miocén
spodní
- 1 N_{N1} křemenné pískovce s železitým tmelem
 - 2 N_1 blátky s polorhami jílu
- MOLDANUBIKUM**
žilné horniny v moldanubiku
PALEOZOIKUM
KARBON
- 3 Z_{mo} lumalnický granit
- ultradasečné plutony v moldanubiku**
trebičský pluton
- 4 γ_{tr} středně zrnitý biotický granit
 - 5 E_{tr} středně až hrubě zrnitý biotický (amfibový) granit až syenit, místy porfyritický
 - 6 M_{tr} středně až hrubě zrnitý biotický melagranit až melasyenit (krajová facie)
 - 7 M_{tr}^{hr} hrubě zrnitý porfyritický amfibol-biotický melagranit až melasyenit
- moldanubikum západní Moravy**
- 8 M_{mo} stromatolický až nebulický sillimanit-biotický migmatit, místy se sillimanitem místy s granátem
 - 9 M_{mo}^{st} stromatolický migmatit s polorhami leukokratických granitů
- 10 M_{no} středně zrnitý leukokratický migmatit až anatektický granit
 - 11 G_{no} biotický migmatit se sillimanitem, místy s granátem, lokálně až ortorubového vzhledu
 - 12 G_{no} granulitová rula s relikty granulitů
 - 13 E_{no} eklogit
 - 14 S_{no} serpentinit
- 15 ————— pravděpodobná, přesně nezjištěná hranice litostratigrafických jednotek a hornin
 - 16 ————— zlom zjevný
 - 17 - - - - - zlom předpokládaný
 - 18 - - - - - mylonitizace
 - 19 \rightarrow směr a sklon metamorfní foliace a lineace
 - 20 \rightarrow směr a sklon metamorfní křehce-duktilní foliace
 - 21 \rightarrow směr a sklon magmatické foliace
 - 22 hranice lokality Dukovany-západ

PŘEHLED GEOLOGICKÝCH JEDNOTEK



- 1 terciér Českého masivu
- 2 žilné horniny v moldanubiku
- 3 trebičský pluton
- 4 moldanubikum

KLAD LISTŮ

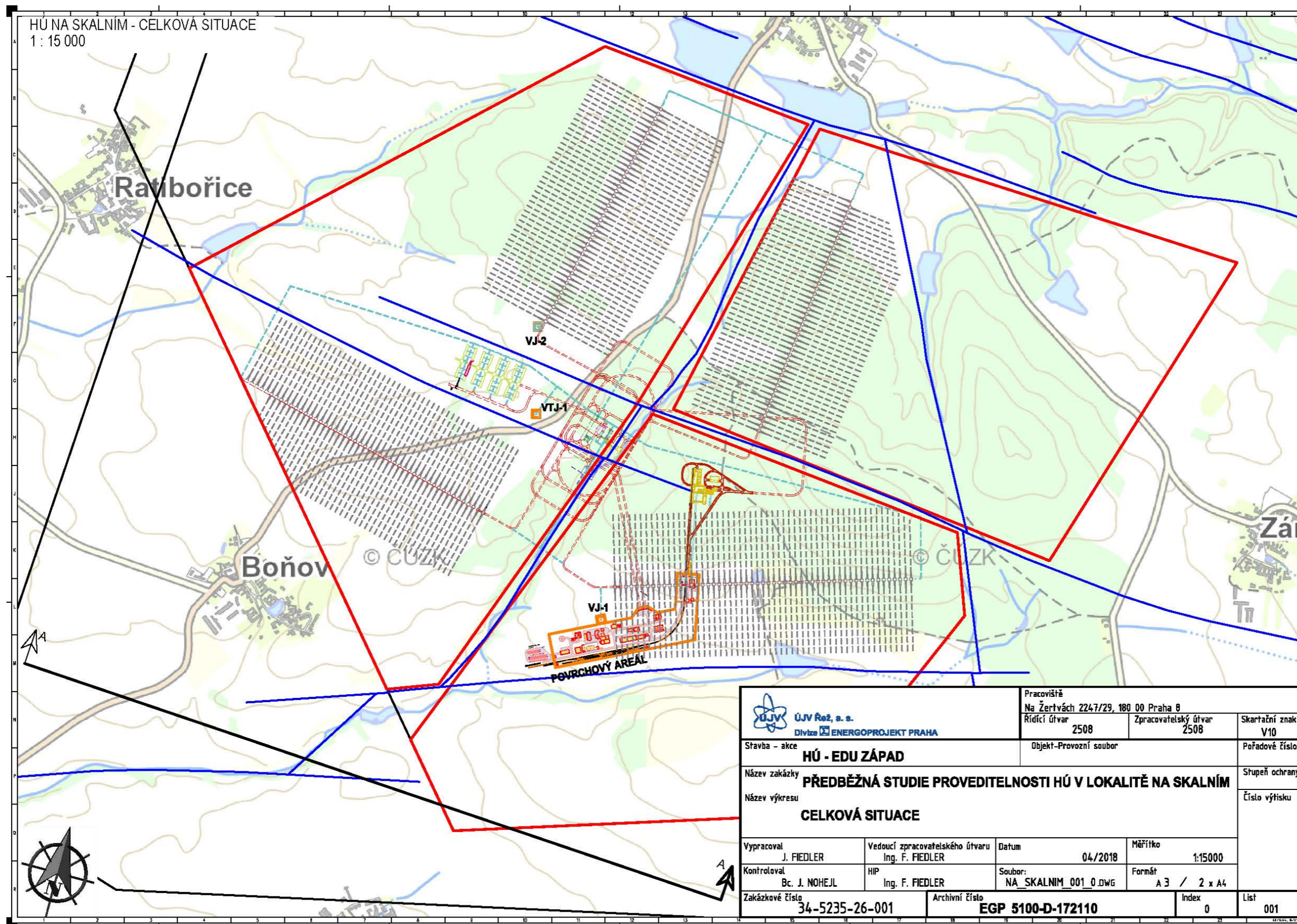


Účelová geologická mapa kandidátské lokality Dukovany-západ 1 : 50 000
Autorský tým: P. Hanzl, K. Hrdličková, M. Pakočík, I. Sojono
Technické zpracování: E. Kuncová



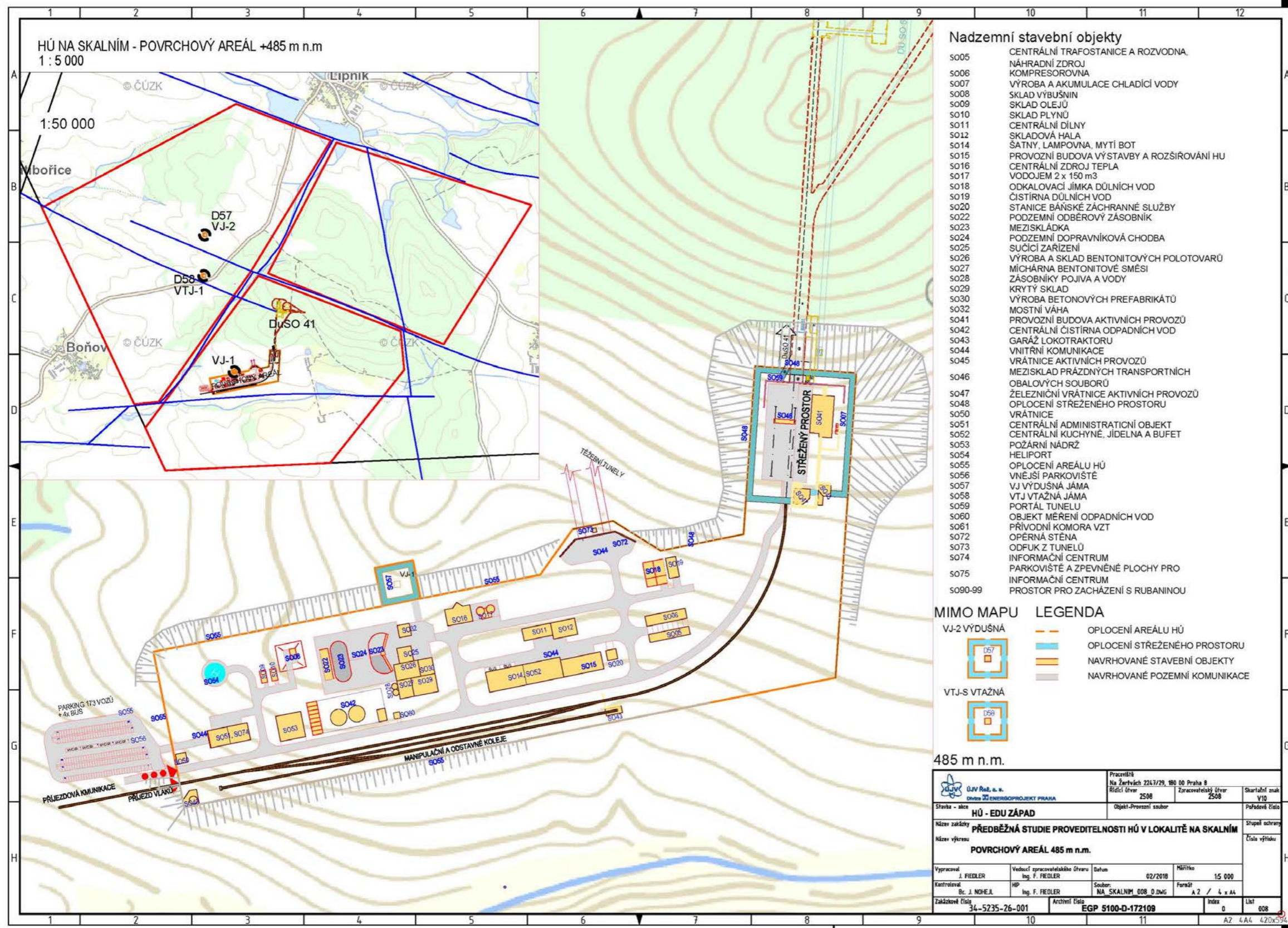
Souřadnicový systém S-JTSK, Křivákovo (obecně konformní kuželové)
zobrazení Besselova elipsoidu do roviny. Výškový systém baňský po vyrovnání.
Tato mapa je chráněna autorským právem. Veškeré reprodukce, přepracování
nebo digitalizace mapy nebo jejích částí jsou možné pouze s předchozím
písemným souhlasem SÚRAO.
Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, 2016
Tematický obsah © Česká geologická služba, 2016
Digitální zpracování a tisk: odbor informačních systémů ČGS

D.2 Výkres - Celková situace z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018)

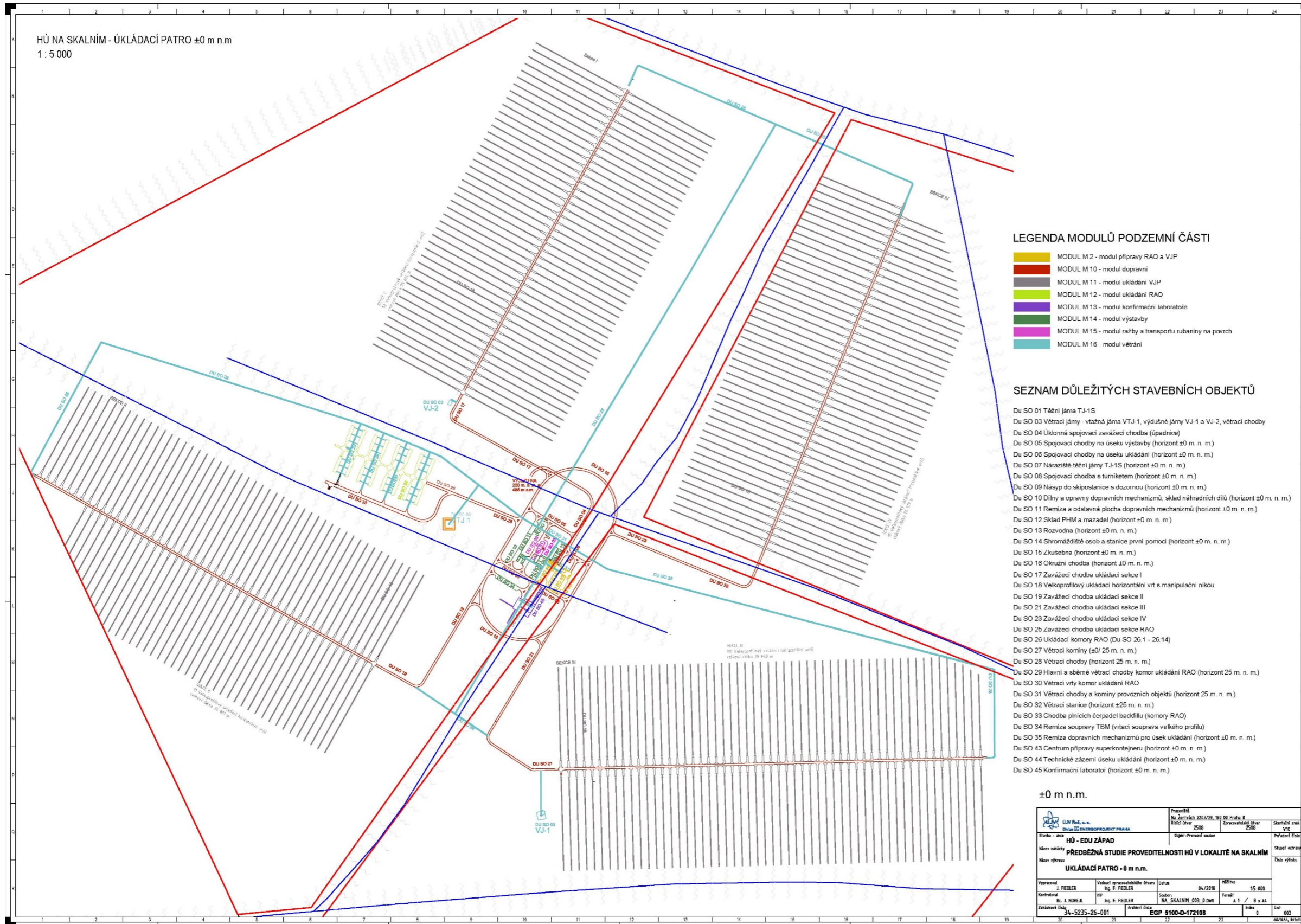


ÚJV Rež, a. s. Divize ENERGOPROJEKT PRAHA		Pracoviště Na Žertvách 2247/29, 180 00 Praha 8	
Stavba - akce HÚ - EDU ZÁPAD		Řídicí útvar 2508	Zpracovatelský útvar 2508
Název zakázky PŘEDBĚŽNÁ STUDIE PROVEDITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ NA SKALNÍM		Skartační znak V10	
Název výkresu CELKOVÁ SITUACE		Pořadové číslo Objekt-Provozní soubor	
Vypracoval J. FIEDLER	Vedoucí zpracovatelského útvaru Ing. F. FIEDLER	Datum 04/2018	Měřítko 1:15000
Kontroloval Bc. J. NOHEJL	HIP Ing. F. FIEDLER	Soubor: NA_SKALNIM_001_0.DWG	Formát A3 / 2 x A4
Zakázkové číslo 34-5235-26-001		Archivní číslo EGP 5100-D-172110	
		Index 0	List 001

D.3 Výkres - Povrchový areál 485 m n.m. z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018)



D.4 Výkres - Ukládací patro -0 m n.m. z Předběžné studie proveditelnosti HÚ v lokalitě Na skalním (Fiedler et al. 2018)



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