

Technická zpráva číslo 299/2018

---

**STUDIE ZADÁVACÍ  
BEZPEČNOSTNÍ ZPRÁVY PRO  
UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO  
ÚLOŽIŠTĚ V LOKALITĚ  
ČIHADLO**

---

Autoři: Ing. Antoním Vokál, CSc.

a kolektiv

SÚRAO

**Praha, září 2018**

## Studie zadávací bezpečnostní zprávy pro umístění hlubinného úložiště v lokalitě Čihadlo

ŘEŠITELÉ:

SÚRAO<sup>1</sup>, Pro Engineering, s.r.o.<sup>2</sup>

Autorský kolektiv (řazeno podle abecedy):

Jan Antoš<sup>2</sup>, Jaromír Augusta<sup>1</sup>, Karel Bárta<sup>2</sup>, Pavel Čech<sup>2</sup>, Kateřina Konopáčová<sup>1</sup>, Miloš Kováčik<sup>1</sup>, Zdena Lahodová<sup>1</sup>, Eva Popelová<sup>1</sup>, Ilona Pospíšková<sup>1</sup>, Antonín Vokál<sup>1</sup>, Lukáš Vondrovic<sup>1</sup>

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

## Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>3</b>
<b>Definice použitých pojmů</b> .....	<b>7</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstrakt</b> .....	<b>14</b>
<b>Klíčová slova</b> .....	<b>15</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>15</b>
<b>Keywords</b> .....	<b>15</b>
<b>Účel a kontext studie ZBZ</b> .....	<b>15</b>
<b>A Obecná část studie ZBZ</b> .....	<b>18</b>
A.1 Identifikační údaje o zpracovateli studie ZBZ .....	18
A.2 Legislativní požadavky .....	19
A.3 Obecné informace o vlastnostech území k umístění hlubinného úložiště .....	30
A.4 Výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací .....	35
<b>B Vlastní hodnocení vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik</b> .....	<b>37</b>
B.1 Geologické charakteristiky .....	37
B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků .....	38
B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností .....	46
B.1.3 Dostupnost dat .....	47
B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality .....	48
B.2 Hydrogeologické charakteristiky .....	51
B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště .....	52
B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu .....	54
B.2.3 Rychlost proudění podzemní vody v lokalitě Čihadlo .....	57
B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality .....	63
B.3 Transportní charakteristiky .....	65
B.3.1 Doba transportu radionuklidů .....	65
B.3.2 Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě .....	69
B.3.3 Hodnocení ředění .....	70
B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik .....	70

Dlážděná 6 | 110 00 Praha 1 | ČR

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

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

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

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

B.4	Stabilita lokality .....	72
B.4.1	Seismická stabilita.....	72
B.4.2	Geodynamická stabilita .....	74
B.4.3	Postvulkanické jevy .....	76
B.4.4	Klimatická stabilita.....	76
B.4.5	Celkové expertní zhodnocení lokality Čihadlo z hlediska stability území .....	77
B.5	Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami.....	79
B.5.1	Tepelné vlastnosti lokality .....	79
B.5.2	Hydraulické vlastnosti.....	81
B.5.3	Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí .....	81
B.5.4	Geochemické vlastnosti .....	85
B.5.5	Mikrobiologické vlastnosti.....	86
B.5.6	Plynopropustnost .....	88
B.5.7	Celkové expertní zhodnocení lokality Čihadlo z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami .....	88
B.6	Faktory ovlivňující možnost narušení úložiště budoucími aktivitami člověka.....	89
B.6.1	Ložiskové poměry na lokalitě .....	89
B.6.2	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla .....	90
B.6.3	Vrtná prozkoumanost .....	91
B.6.4	Zdroje podzemních vod.....	92
B.6.5	Potenciál geotermální energie.....	93
B.6.6	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů, které mohou narušit úložiště budoucími aktivitami člověka .....	93
B.7	Ostatní posuzované vlastnosti území jaderného zařízení umístěného na povrchu .	94
B.7.1	Seismicita.....	94
B.7.2	Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem .....	94
B.7.3	Povodně.....	94
B.7.4	Oběh podzemní vody z hlediska vlivu na povrchová zařízení.....	95
B.7.5	Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových púd	95
B.7.6	Klimatické a meteorologické jevy .....	95
B.7.7	Biologické jevy .....	95
B.7.8	Přírodní požáry.....	96



B.7.9	Pád letadla a jiných objektů.....	96
B.7.10	Výbuchy a požáry mající původ v činnosti člověka a jejich zplodiny .....	97
B.7.11	Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy .....	97
B.7.12	Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj.....	100
B.7.13	Současné využití území .....	101
B.7.14	Vliv jiného jaderného zařízení .....	102
B.7.15	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu .....	102
B.8	Vliv šíření radioaktivních látek z nadzemních prostor úložiště za provozu úložiště	103
B.9	Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ .....	109
B.9.1	Časový rámec hodnocení.....	110
B.9.2	Transportní cesty a cesty ozáření.....	111
B.9.3	Bezpečnostní funkce bariér úložiště .....	111
B.9.4	Odvození normálního scénáře a alternativních scénářů vývoje úložiště .....	114
B.9.5	Databáze vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost úložiště....	115
B.9.6	Koncepční modely normálního vývoje úložiště .....	115
B.9.7	Vstupní data do modelů .....	127
B.9.8	Výsledky výpočtů .....	148
B.10	Shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení .....	159
B.11	Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení .....	159
B.12	Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu	160
B.12.1	Vyhořelé jaderné palivo.....	160
B.12.2	Odpady z vyřazování jaderných zařízení.....	166
B.12.3	Ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť .....	172
<b>C</b>	<b>Popis projektu .....</b>	<b>175</b>
C.1	Bezpečnostní cíle projektu HÚ .....	175
C.2	Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie.....	175
C.3	Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy .....	176
C.3.1	Ukládací obalový soubor .....	176
C.3.2	Tlumící bariéra .....	179

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.....	182
C.3.4	Těsnící zátky.....	182
C.3.5	Těsnění a injektáže .....	182
C.3.6	Úložné prostory .....	183
C.4	Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu .....	186
C.4.1	Umístění povrchového areálu.....	186
C.4.2	Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů .....	186
C.5	Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu .....	199
C.5.1	Umístění podzemního areálu .....	199
C.5.2	Uspořádání a technologické vybavení objektů .....	200
C.5.3	Přístupová a technologická díla.....	209
C.6	Provozní režim hlubinného úložiště .....	216
C.6.1	Provoz úložiště.....	216
C.6.2	Uzavírání úložiště.....	223
C.7	Požadavky na institucionální kontrolu.....	224
<b>Seznam obrázků .....</b>		<b>225</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>		<b>228</b>
<b>Reference .....</b>		<b>231</b>
<b>D</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>240</b>
D.1	Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Čihadlo 1:50 000, ČGS....	240
D.2	Výkres - Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4) ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a) .....	241
D.3	Výkres – Střety zájmů ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a) .....	242
D.4	Výkres - Povrchový areál - objektová skladba, lokalita Čihadlo ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a) .....	243
D.5	Výkres - Situace – dispozice řešení D1 ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a) .....	244

## 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. (SÚJB 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



- 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. (SÚJB 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 umisťování, 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.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- 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. (SÚJB 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**

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

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

ASŘTP	automatický systém řízení technologického procesu
AZ	(podle kontextu) atomový zákon nebo aktivní zóna reaktoru
ČR	Česká republika
DFN	Discrete Fracture Network
DSS	systémy 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)
ECPM	Equivalent Continuous Porous Medium
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
EU	Evropská unie
EVL	evropsky významná lokalita
GAP	revize stavu („mezer“) dat a jejich potřeby
GIS	geografický informační systém
HK	horká komora
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
PA	povrchový areál
PIU	postulovaná iniciační událost
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 nebo palivový soubor (samostatná jednotka paliva)
PR	přírodní rezervace
PÚ ZZZK	Průzkumné území pro zvláštní zásah do zemské kůry
RAO	radioaktivní odpad(y)
RMU	radiační mimořádná událost
SO	stavební objekt
SSG	doporučení specifické bezpečnosti IAEA
SSR	specifické bezpečnostní požadavky IAEA
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SurlS	surovinový informační systém
TNR	tlaková nádoba reaktoru
UNESCO	Organizace OSN pro výchovu, vědu a kulturu ( <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> ),
UOS	ukládací obalový soubor (obalový soubor typově schválený pro ukládání VJP)
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VZT	vzduchotechnika
ZBZ	zadávací bezpečnostní zpráva
ZCHÚ	zvláště chráněná území
ZL	zadávací list (zadání dílčího projektu)
ZUPA	zájmové území povrchového areálu hlubinného úložiště
ŽP	životní prostředí

## Abstrakt

Tato zpráva shrnuje hodnocení lokality Čihadlo 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 Čihadlo 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 Čihadlo 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 Čihadlo site in terms of the SÚJB requirements and for the decision to include it in the next phase of selection of sites for the siting of the deep geological repository.

## Keywords

*deep repository, siting, site selection*

## Účel a kontext studie ZBZ

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

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



hloubka pro HÚ kolem 500 m, které by měla splňovat jak bezpečnostní kritéria, tak i kritéria proveditelnosti úložiště.

Po kritickém zhodnocení vytipovaných oblastí z hlediska splnění vylučujících kritérií pro umístění jaderných zařízení v souladu s vyhláškou č. 215/1997 Sb. a vlivu na přírodu, jak vyplývá ze zákona č. 114/1992 Sb., bylo v roce 2002 vybráno 11 potenciálních lokalit ve třech různých typech hornin.<sup>1</sup> SÚRAO z těchto navržených lokalit upřednostnilo 6 lokalit v granitovém horninovém prostředí. Po prověření archivních geologických informací byla do výběru přiřazena lokalita Kraví hora na Žďársku, kde se očekával pozitivní přístup obyvatelstva k průzkumným pracím pro HÚ vzhledem k dlouhodobým zkušenostem s těžbou uranu. Ze stejných důvodů bylo v roce 2016 iniciováno zpracování geologických a technických studií, zaměřených na nalezení dalších potenciálních lokalit na územích v blízkosti jaderných elektráren v Dukovanech a Temelíně. V současné době je uvažováno následujících 9 potenciálních lokalit pro umístění HÚ: Čertovka (Lubenec, Blatno - Ústecký kraj), Březový potok (Pačejov, Chanovice - Plzeňský kraj), Magdaléna (Jistebnice, Vlksice - Jihočeský kraj), Čihadlo (Pluhův Žďár, Lodhěřov - Jihočeský kraj), Hrádek (Nový Rychnov, Rohozná – Kraj Vysočina) a Horka (Budišov, Oslavička - Kraj Vysočina), Kraví hora (Kraj Vysočina), Na Skalním (Kraj Vysočina), Janoch (Jihočeský kraj).

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

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ

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

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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tato studie shrnuje podklady získané z lokality Čihadlo ve formě zadávací bezpečnostní zprávy podle požadavků uvedených v § 47 atomového zákona 263/2016 Sb. (AZ) a vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 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 způsobilosti ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, procesů a událostí, které se mohou vyskytnout v době nebezpečnosti odpadů.

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

## A OBECNÁ ČÁST STUDIE ZBZ

### A.1 Identifikační údaje o zpracovateli studie ZBZ

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

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

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

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

Zita Bukovská<sup>2</sup>, Matěj Černý<sup>3</sup>, Radek Červinka<sup>1</sup>, Barbora Dudíková Schulmannová<sup>2</sup>, Alena Dudková<sup>2</sup>, Karel Dušek<sup>2</sup>, Jan Franěk<sup>2</sup>, Jenny Gondolli<sup>1</sup>, Libor Gvoždík<sup>3</sup>, Václava Havlová<sup>1</sup>, Milan Hokr<sup>4</sup>, Jan Holeček<sup>2</sup>, Tomáš Hroch<sup>2</sup>, Hana Huščáková<sup>1</sup>, Jakub Jankovec<sup>3</sup>, Jan Jelének<sup>2</sup>, Jan Jelínek<sup>2</sup>, Renata Kachlíková<sup>2</sup>, Zdeněk Kaláb<sup>5</sup>, Martin Klajmon<sup>1</sup>, Josef Klomínský<sup>2</sup>, Kateřina Kolomá<sup>1</sup>, Milan Kouřil<sup>9</sup>, Jiřina Královcová<sup>4</sup>, Radek Kučera<sup>2</sup>, Eva Kuncová<sup>2</sup>, Markéta Lednická<sup>5</sup>, Jiří Maryška<sup>4</sup>, Martin Milický<sup>3</sup>, Daniel Nývlt<sup>2</sup>, Pavel Ondra<sup>2</sup>, Jaroslava Pertoldová<sup>2</sup>, Michal Polák<sup>3</sup>, Vladislav Rapprich<sup>2</sup>, Lenka Rukavičková<sup>2</sup>, Jakub Říha<sup>4</sup>, Jana Steinová<sup>4</sup>, Jiří Svoboda<sup>6</sup>, Pavel Šír<sup>2</sup>, Ondřej Švagera<sup>2</sup>, Dáša Trpkošová, Radek Vašíček<sup>6</sup>, Martin Vavro<sup>5</sup>, Aleš Vetešík<sup>7</sup>, Kryštof Verner<sup>2</sup>, Dušan Vopálka<sup>7</sup>, Josef Zeman<sup>8</sup>, Ondřej Zeman<sup>3</sup>

ÚJV Řež, a.s.<sup>1</sup>, ČGS<sup>2</sup>, PROGEO spol. s r.o.<sup>3</sup>, Technická univerzita v Liberci<sup>4</sup>, ÚGN AV ČR<sup>5</sup>, Centrum experimentální geotechniky FSv ČVUT<sup>6</sup>, FJFI ČVUT<sup>7</sup>, Masarykova univerzita<sup>8</sup>, VŠCHT v Praze<sup>9</sup>

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

Čechák Tomáš, Vrba Tomáš, Martinčík Jiří, Thinová Lenka, Průša Petr, Musílek Ladislav (ČVUT v Praze) Zahradník Ondřej (MottMcDonald), Louženský Tomáš (SATRA), Veverka Martin (MattMcDonald).

Hlavními autory zprávy (Bureš et al., 2017), na jejímž základě byla zpracována část c) studie ZBZ „Popis projektu“ jsou:

Bureš Pavel, Grünwald Lukáš, Pořízek Jan, Zahradník Ondřej, Veverka Aleš, Fiedler František a Nohejl Jaroslav.





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

## A.2 Legislativní požadavky

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

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

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



Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b)	Kapitola
	hodnotit	
§ 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 nestejnorodého horninového prostředí s petrograficky a mechanicky odlišnými typy hornin, které jsou postiženy hydrotermálními a jinými druhotnými přeměnami	B.1.2, Příloha D.1
§ 18 (2) g)	výskyt endogenních a exogenních jevů, které mohou v přírodní bariéře hlubinného úložiště vyvolat významné změny, zejména tektonických procesů, seismické aktivity, vulkanismu, diapirismu, deformací povrchu území a rychlosti eroze a sedimentace,	B.4.1, B.4.2, B.4.3
§ 18 (2) h)	oběh podzemních vod v území k umístění hlubinného úložiště z hlediska možné doby transportu, retardace, rozpustnosti a změny koncentrace radioaktivní látky v důsledku mísení s podzemními vodami,	B.2
§ 18 (2) i)	paleohydrogeologické procesy, klimatickou historii a předpokládaný dlouhodobý vývoj klimatu v regionálním a globálním měřítku,	B.4.4
§ 18 (2) j)	zranitelnost horninového prostředí a oběhu podzemních vod z hlediska dlouhodobých klimatických změn a jejich doprovodných jevů, zejména překrytí hlubinného úložiště ledem, permafrostem nebo vodou,	B.4.4
§ 18 (2) k)	fyzikálně chemické, geochemické a mikrobiologické vlastnosti geologického prostředí, zejména	Viz níže
§ 18 (2) k) 1.	zádržné vlastnosti horninového prostředí a uměle vytvořených překážek,	B.3, B.5, C.3
§ 18 (2) k) 2.	chemické složení podzemní vody,	B.5.4
§ 18 (2) k) 3.	redukční podmínky,	B.5.4
§ 18 (2) k) 4.	obsah kyslíku a	B.5.4
§ 18 (2) k) 5.	přítomnost mikroorganismů, koloidů a organických látek,	B.5.5
§ 18 (2) l)	geomechanické vlastnosti, zejména	Viz níže
§ 18 (2) l) 1.	pevnostní a deformační vlastnosti hornin a	B.5.3
§ 18 (2) l) 2.	napjatostní stav horninového prostředí,	B.5.3





Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b)	Kapitola
§ 18 (2) m)	plynopropustnost 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 úložiště.	B.1.1, B.2
§ 18 (3)	Hodnocení vlastností území k umístění hlubinného úložiště podle odstavce 2 musí zohlednit hloubku pod zemským povrchem, v níž se předpokládá umístění hlubinného úložiště.	B (údaje pro hloubku 500 m pod povrchem)
§ 18 (4)	Charakteristikou vlastností území k umístění jaderného zařízení, při jejímž dosažení je umístění hlubinného úložiště zakázáno, je	Viz níže
§ 18 (4) a)	Horninové prostředí, které umožňuje migraci radioaktivních, chemických a toxických látek, které se mohou uvolnit z uloženého radioaktivního odpadu tak, že při očekávaném vývoji hlubinného úložiště dojde k většímu ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí,	B.9
§ 18 (4) b)	nemožnost vytvoření	Viz níže
§ 18 (4) b) 1.	komplexního prostorového modelu geologické stavby z důvodu složité geologické stavby a tektonických poměrů,	B.1.4
§ 18 (4) b) 2.	hydrogeologického modelu v důsledku obtížné popsatelnosti a predikovatelnosti hydrogeologických poměrů území k umístění jaderného zařízení, nebo	B.2
§ 18 (4) b) 3.	geomechanických a geochemických modelů území k umístění jaderného zařízení, nebo	B.5.3, B.5.4
§ 18 (4) c)	přítomnost zdrojů geotermální energie.	B.6.5

Jedinými vylučujícími požadavky, které se týkají podzemní části hlubinného úložiště, jsou požadavky uvedené v § 18 pod bodem (4) a písmeny a) až c). Požadavek uvedený pod písmenem a) se vztahuje k výpočtu ozáření reprezentativní osoby, která nesmí být větší, než je optimalizační mez, která je stanovena v zákoně 263/2016 Sb., §82, odst. (1)) pro reprezentativní osobu na hodnotu 0,25 mSv za rok (definice - jednotlivec z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány - zákon 263/2016 Sb., §2, odst. (3), bod j)).



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

Požadavky jako je seismicita (§ 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. (SÚJB 2016b) pouze stanoví v § 20 požadavky na obsah zadávací bezpečnostní zprávy. Vyhláška č. 377/2016 Sb. (SÚJB 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. (SÚJB 2016f) v ZBZ musí být:

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

Dále podle odst. 6) § 9 vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SÚJB 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. (SÚJB 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. (SÚJB 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.<sup>2</sup> (SÚJB 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. (SÚJB 2016b) uvedené pod §18 písmeny a), b), c), d), e), f) a q). Hydrogeologické charakteristiky zahrnují požadavky vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b) uvedené pod § 18 písmeny h) a částečně j). Transportní charakteristiky zahrnují požadavky vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 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. (SÚJB 2016b) byly zohledněny i požadavky IAEA SSG 14 shrnuté v následující tabulce.

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



Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1

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



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	geologickém a geografickém prostředí, kde tyto geodynamické procesy nebo události nebudou pravděpodobně a nepovedou k nepřijatelným únikům radionuklidů.	
I.27	<p>Reakce geosféry na změny prostředí na povrchu má tendenci klesat s hloubkou. Faktory, které ovlivňují stabilitu geosféry, by měly být posouzeny. Informace nezbytné pro jakékoliv hodnocení obsahují:</p> <p>(A) klimatickou historii (místní a regionální) a očekávané dlouhodobé budoucí trendy v lokálním a globálním měřítku</p> <p>(B) historii tektonického vývoje, rámcové geologické členění na lokální i regionální úrovni a historii seizmického vývoje</p> <p>(C) evidence aktivních (kvartérních a pozdně tercierních) 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 seizmotektonických 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 (diapirové 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>	B.4
I.28	Hydrogeologické charakteristiky a charakteristika geologického prostředí by měly mít tendenci omezovat proudění podzemní vody v rámci úložiště a měly by podpořit bezpečné uzavření a izolaci odpadu s požadovanou věrohodností, že jakékoliv radionuklidy, které by mohly migrovat z prostředí úložiště, budou zpomaleny v důsledku omezené vodivosti nebo by byly rozptýleny v geosféře, což vede k dlouhým transportním časům, které sníží jejich koncentraci na povrchu.	B.2, B.3
I.29	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.	B.2
I.30	Možné důsledky pro hydrogeologii vyplývající z procesů způsobených hlubinným úložištěm (např. tepelné a radiální účinky, zvýšená	V této etapě neposuzováno





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



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	(b) sorpční kapacitě minerálů a hornin pro ionty důležitých radionuklidů (c) obsahu radionuklidů a chemickém složení podzemních vod, včetně pH a Eh (d) účincích záření a zbytkového tepla na horniny a na chemismus podzemních vod (e) vlivu organických, koloidních a mikrobiologických materiálů (f) charakteristika pórů a povrchu minerálů hornin (včetně trhlin) (g) efektivní difúzní rychlosti nuklidů v hornině (h) rozpustnosti a speciace radionuklidů	
I.36	Umístění hlubinného úložiště by mělo být provedeno s ohledem na současné i potenciální lidské činnosti v lokalitě nebo její blízkosti. Pravděpodobnost, že tyto činnosti by mohly mít vliv na uzavření a izolační schopnosti úložiště a způsobit nepřijatelné důsledky, by měla být minimalizována.	B.6
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 vrtnání 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



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
I.42	<p>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.</p> <p>Materiál z hloubení šachet, tunelů a chodeb může být uvažován, např. s ohledem na jeho použití jako zásyrový materiál v navrhovaném úložišti. Není-li to možné, měl by se tento materiál vzít v úvahu pro terénní úpravy ke zlepšení přírodního prostředí. Vzdálenost od vhodných zdrojů kameniva nebo vody pro stavební činnosti může být vzata v úvahu</p>	B.7.11, C
I.43	<p>Údaje nezbytné pro posouzení stavebních a inženýrských podmínek zahrnují:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) podrobné geologické a hydrogeologické údaje o hostitelské hornině a o jejím nadloží</li> <li>(b) topografie lokality a jejího okolí</li> <li>(c) povodňová (záplavová) historie oblasti</li> <li>(d) specifikace oblastí náchylných k sesuvům půdy, potenciálně nestabilních svahů nebo materiálů s nízkou únosností nebo s vysokým zkapalňovacím potenciálem</li> <li>(e) potenciálně nepříznivé podmínky, které se mohou vyskytnout během ražby (vysoká teplota horniny, vysoká koncentrace plynu, vysoký poměr napětí a pevnosti, výskyt smykových zón)</li> <li>(f) historické údaje o seizmicitě regionu;</li> <li>(g) geomechanické a tepelné vlastnosti hostitelské horniny</li> </ul>	B.7
I.44	<p>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.</p>	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"> <li>(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.</li> <li>(b) dopad na oblasti významných veřejných hodnot</li> <li>(c) zhoršení zásobování vodou</li> <li>(d) dopad na život rostlin a živočichů, zejména ohrožených druhů</li> </ul>	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"> <li>(a) územím národních parků, rezervacím divokých zvířat, územím zvláštních vědeckých nebo kulturních zájmů a historickým oblastem</li> <li>(b) stávajícím zdrojům povrchové i podzemní vody</li> </ul>	B.7.11, C, Studie EIA



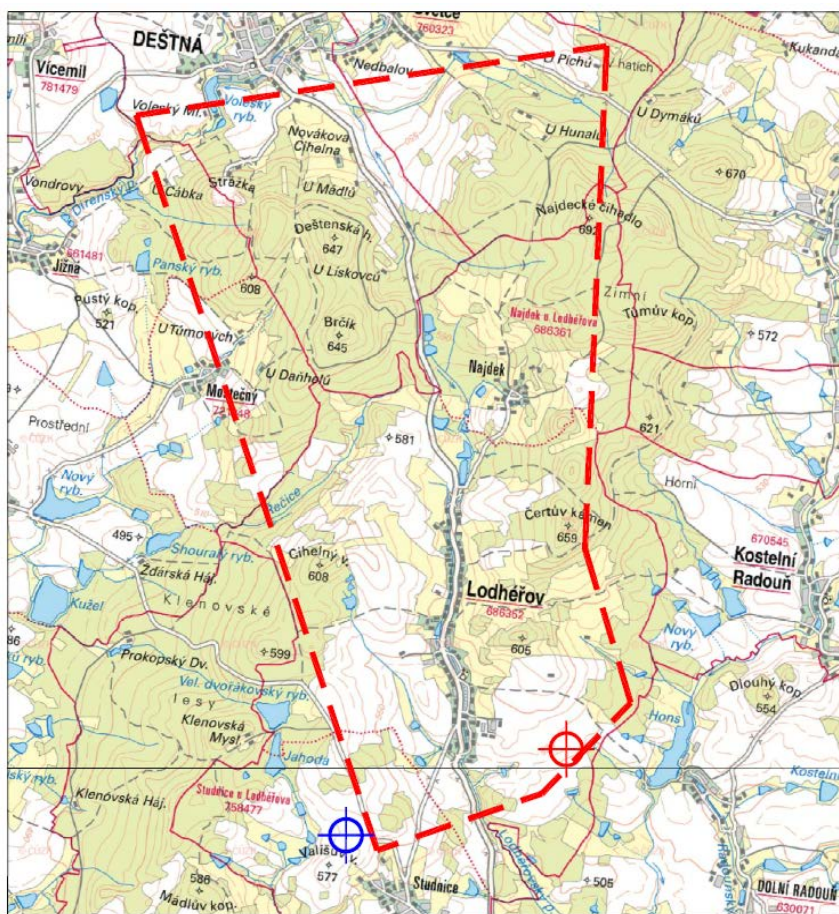


Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	(c) stávající suchozemské a vodní vegetaci a volně žijícím živočichům	
I.47	Při výběru vhodných lokalit, by mělo být zváženo využití půdy a vlastnické vztahy k půdě v souvislosti s možným budoucím rozvojem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

PÚ ZZZK Čihadlo má tvar nepravidelného šestiúhelníku o výměře 26,09454 km<sup>2</sup> (Obr. 1). Patří do katastrů čtyř obcí – Deštná, Světce, Pluhův Žďár a Lodhéřov. Většiny katastrů těchto obcí se rozkládají mimo samotné PÚ ZZZK. Tyto 4 obce, spolu s jejich podřízenými samostatnými sídelními celky čítají celkem 2199 obyvatel (rok 2016). Velká většina z nich (cca 70% obyvatel) trvale žije mimo vlastní PÚ ZZZK. V samotném průzkumném území trvale žije 680 - 690 lidí (rok 2016). Okresní město Jindřichův Hradec se nachází asi 7 km jihovýchodně od jižního okraje PÚ. Širší okolí PÚ ZZZK je poměrně hustě osídlené.



 PREFEROVANÉ UMÍSTĚNÍ PA

 ALTERNATIVNÍ UMÍSTĚNÍ PA

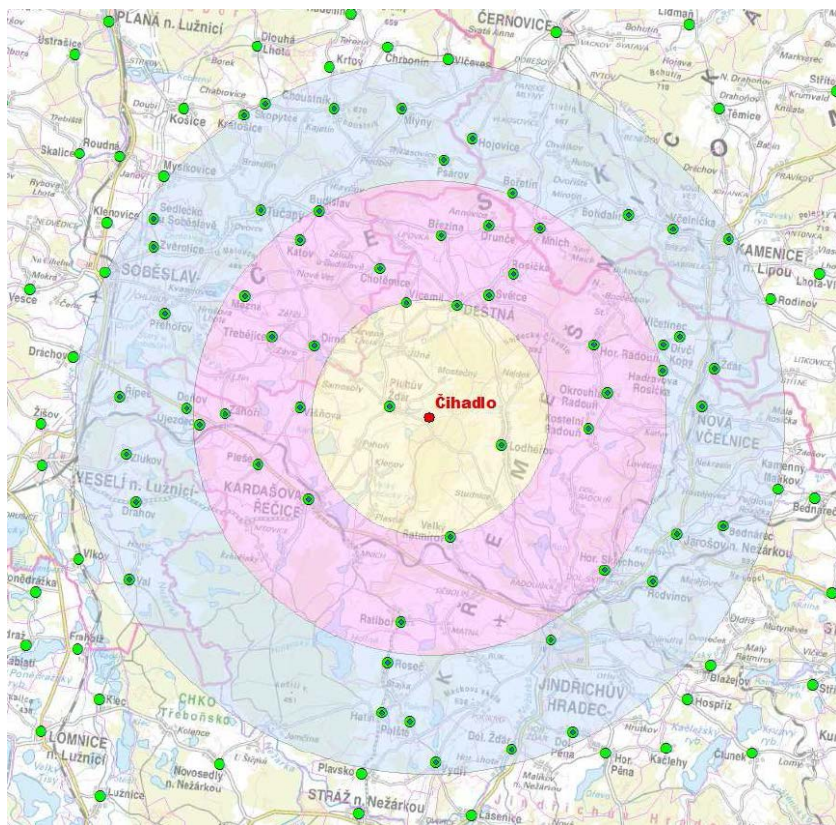
Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚ ZZZK Čihadlo a blízkého okolí včetně návrhů pro umístění povrchového areálu

Dle geomorfologického členění zájmové území Čihadlo náleží do Českomoravské soustavy, podsoustavy Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina, podcelku Pacovské pahorkatiny (severní větší část) a Jindřichohradecká pahorkatina (jižní menší část).





Na následujícím Obr. 2 jsou uvedeny obce v okruzích 5, 10 a 15 km od středu lokality. V okruhu 10 km od středu lokality je průměrná hustota osídlení 103 obyvatel/km<sup>2</sup>.



Obr. 2: Obce v okolí lokality Čihadlo

Celkově se v okruhu 10 km nachází 26 obcí. V okruhu 15 km od středu lokality je průměrná hustota osídlení 246 obyvatel/ km<sup>2</sup>. Tento podstatný nárůst je daný přítomností menších měst - Jindřichův Hradec, Veselí nad Lužnicí, Soběslav, Kardašova Řečice, Nová Včelnice a Kamenice nad Lipou. Celkově se v okruhu 15 km od středu PÚ ZZZK nachází 60 obcí.

Pro širší území lokality Čihadlo je charakteristický přírodní, tradiční ráz krajiny (lesy, rybníky). Jedná se převážně o zemědělský region. Občanská vybavenost a služby se soustřeďují hlavně v městě Deštná, v ostatních obcích je spíše základní vybavenost.

Dle geomorfologického členění zájmové území Čihadla náleží do Českomoravské soustavy, podsoustavy Českomoravská vrchovina, celku Křemešnická vrchovina, podcelku Pacovské pahorkatiny (severní větší část), Jindřichohradecká pahorkatina (jižní menší část). Zájmové území také zasahuje do více geomorfologických okrsků, zejména Božejovské pahorkatiny (která je charakterizovaná pahorkatinou tvořenou především biotit-silimanitickou a biotit-cordieritickou pararulou tzv. pestré série), a okrajově také Ratibořské pahorkatiny, Tučapské pahorkatiny a Jindřichohradecké kotliny.

Křemešnická vrchovina a její podcelek Pacovská hornatina je tvořena hlubinnými vyvřelinami centrálního moldanubického plutonu s metamorfovaným pláštěm. Jižní (menší) část území tvoří Jindřichohradecká pahorkatina. Jde o kotlinovou sníženinu s lalokovitými výběžky k severu tvořenou granitoidy, zbytky neogenních sedimentů a kvartérní terasové uložení Nežárky. Reliéf je tvořen dvěma paralelními hřbety přibližně severojižního směru oddělenými tektonicky podmíněným údolím Lodhěřovského potoka. Nejvyšší body leží v

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

severní části zájmového území: Nejdecké čihadlo (692 m), Pánův vrch (649 m) a Čertův Kámen (659 m).

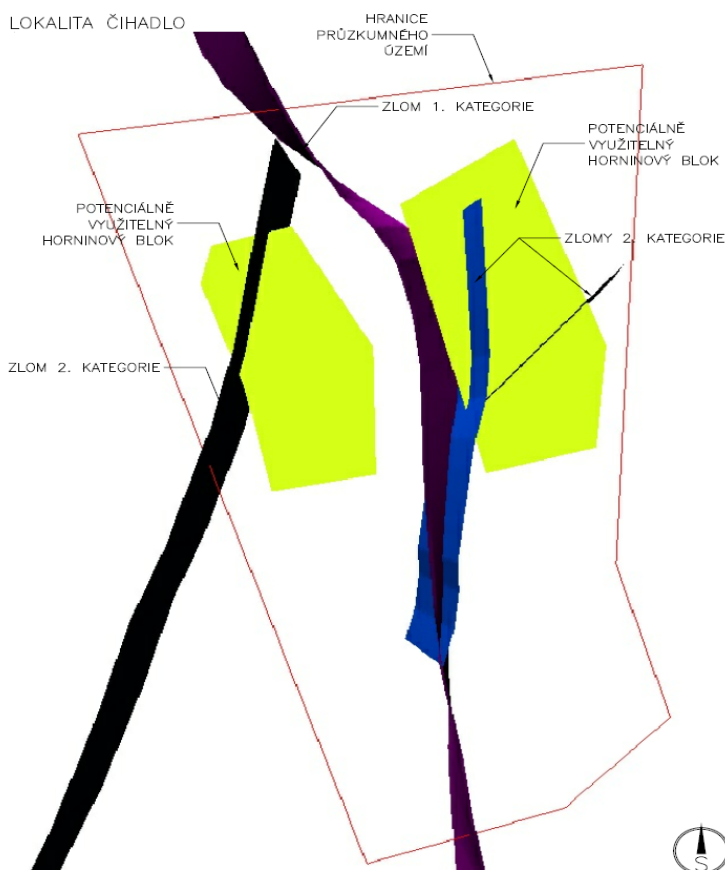
Jižní část zájmového území je charakteristická severojižně orientovaným údolím ve tvaru V, které se na jihu otevírá poblíž obce Studnice a částečně vyznívá severně od obce Najdek. Bází tohoto údolí protéká Lodhěřovský potok a nachází se v něm i severojižně protáhlá obec Lodhěřov. Nejvýše položené části v jižní části zájmové oblasti tvoří elevace ohraničující západní a východní omezení údolí. Jsou situovány na západním (Cihelný vrch 608 m n. m.) a východním (Čertův kámen 659 m n.m.) okraji území. Severojižní směr hlavního údolí udává převažující západní nebo naopak východní orientaci svahů. Relativní výškový rozdíl mezi dnem údolí a nejvyššími elevacemi zde činí 50-100 m.

Technické řešení hlubinné 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. Odborníky (viz zpráva Franěk et al., 2018) byly doporučeny jako vhodné dva bloky v severní části území regionálního 3D modelu na Z a na V od lodhěřovského zlomu v hloubce cca 500 m (Obr. 3). Tyto homogenní bloky byly navrženy dle následujících kritérií uvedených v dokumentu MP. 22.

- bloky musí ležet min. 100 m od zlomů 1. Kategorie (regionální zlomy o délce větší než 10 km);
- bloky musí ležet min. 50 m od vybraných zlomů 2. Kategorie (velké lokální zlomy o délce 1 až 10 km);

Těleso klenovského plutonu, ve kterém by měly být umístěny podzemní části úložiště, je z pohledu litologického složení poměrně homogenní v jeho severní části. Dominantně ho tvoří středně zrnitý muskovit-biotitický granit, místy s přítomností částečně asimilovaných xenolitů okolních metamorfovaných hornin, především ve střední a jižní části. Petrologická a geochemická variabilita granitů je z hlediska popsání a predikovatelnosti nevýznamná. V zájmovém polygonu je možné na základě expertního odhadu předpokládat mocnosti granitů okolo 2,5 km. Hloubkový dosah granitů je pravděpodobně největší podél severozápadního okraje plutonu, a to přibližně 4,5 km. Podrobněji jsou charakteristiky lokality důležité pro zhodnocení lokality zhodnoceny z hlediska jejich způsobilosti ovlivnit jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události v části B) této zprávy.



Obr. 3: Geologické schéma umístění využitelných horninových bloků v lokalitě Čihadlo

Umístění povrchového areálu v rámci kandidátní lokality (Obr. 1) 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.

Celková plocha povrchového areálu se předpokládá 12,48 ha. Plocha vyhrazená pro manipulace s radioaktivním materiálem a související provozy (střežené pásmo povrchového areálu) bude 4,12 ha. Zbývající plocha povrchového areálu bude využita pro neaktivní provoz (zázemí pro důlní provoz a související činnosti), část bude zabírat železniční vlečka. Celý areál bude oplocen.

Na základě dostupných znalostí o lokalitě představuje navržené umístění povrchového areálu alternativu s nejmenším množstvím environmentálních střetů. Tyto střety lze v navrženém umístění minimalizovat nebo kompenzovat. S ohledem na charakter posuzovaného území a rozložení environmentálních střetů je zřejmé, že severní část lokality je převážně souvisle zalesněná s regionálními prvky ÚSES a migračními koridory a s významnými vodními zdroji pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou.

Střední a jižní část území může být charakterizována jako převážně zemědělská s obytnou zástavbou obce Lodhěřov podél silnice II/128 v údolí Lodhěřovského potoka. Významná je zde i přítomnost tranzitního plynovodu.

Nejvhodnějším územím pro umístění povrchového areálu je tedy jižní část PÚ ZZZK na zemědělské půdě s nízkou třídou ochrany v maximální vzdálenosti od obytné zástavby s minimální vizuální intruzí. Na základě uvedeného posouzení byla vybrána dvě potenciálně nejvhodnější místa pro umístění povrchového areálu.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</i>

Preferovaná varianta umístění povrchového areálu je vymezena jihovýchodně od Lodhéřova, v mírně až středně sklonitém svahu jihovýchodní orientace (červená značka - Obr. 1). Plocha povrchového areálu je tvořena zemědělskou půdou, obhospodařována je jako pole. Alternativní varianta se nachází severozápadně od Studnice na severovýchodním mírném svahu Vališova vrchu. Toto území je v současnosti intenzivně zemědělsky obhospodařováno.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

## 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 podpurnými 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-daturní 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



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</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.





## 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. (SÚJB 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 popsátelnosti 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):

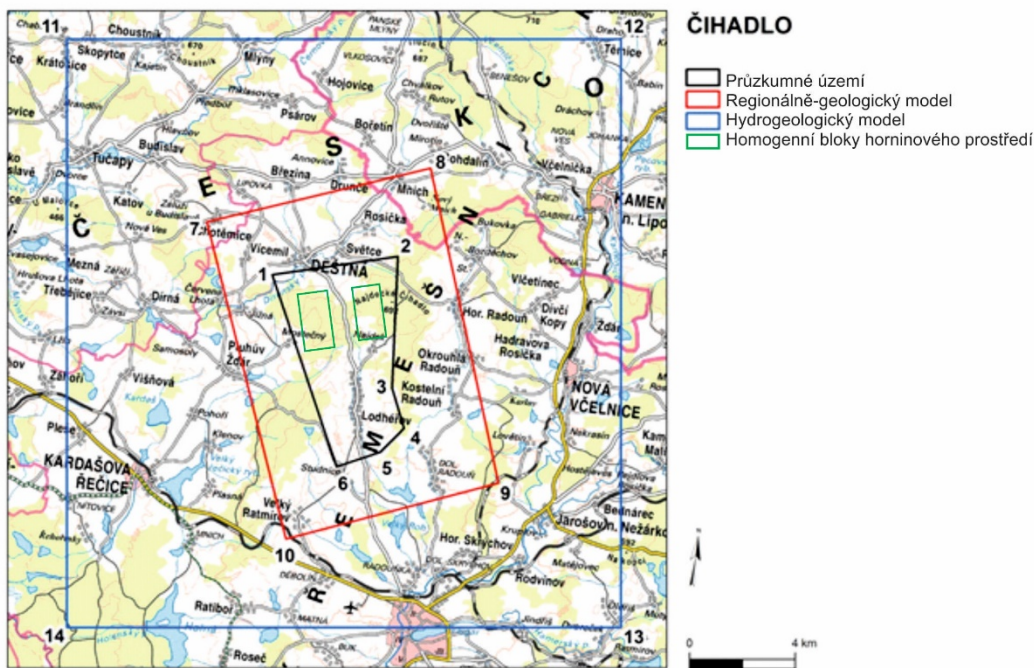
- 1) Popsatelnost a predikovatelnost
  - a. Regionální stavba území
  - b. Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury
  - c. Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové struktury
  - d. Stupeň duktilní deformace
  - e. Věrohodnost komplexního prostorového modelu geologické stavby
- 2) Variabilita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



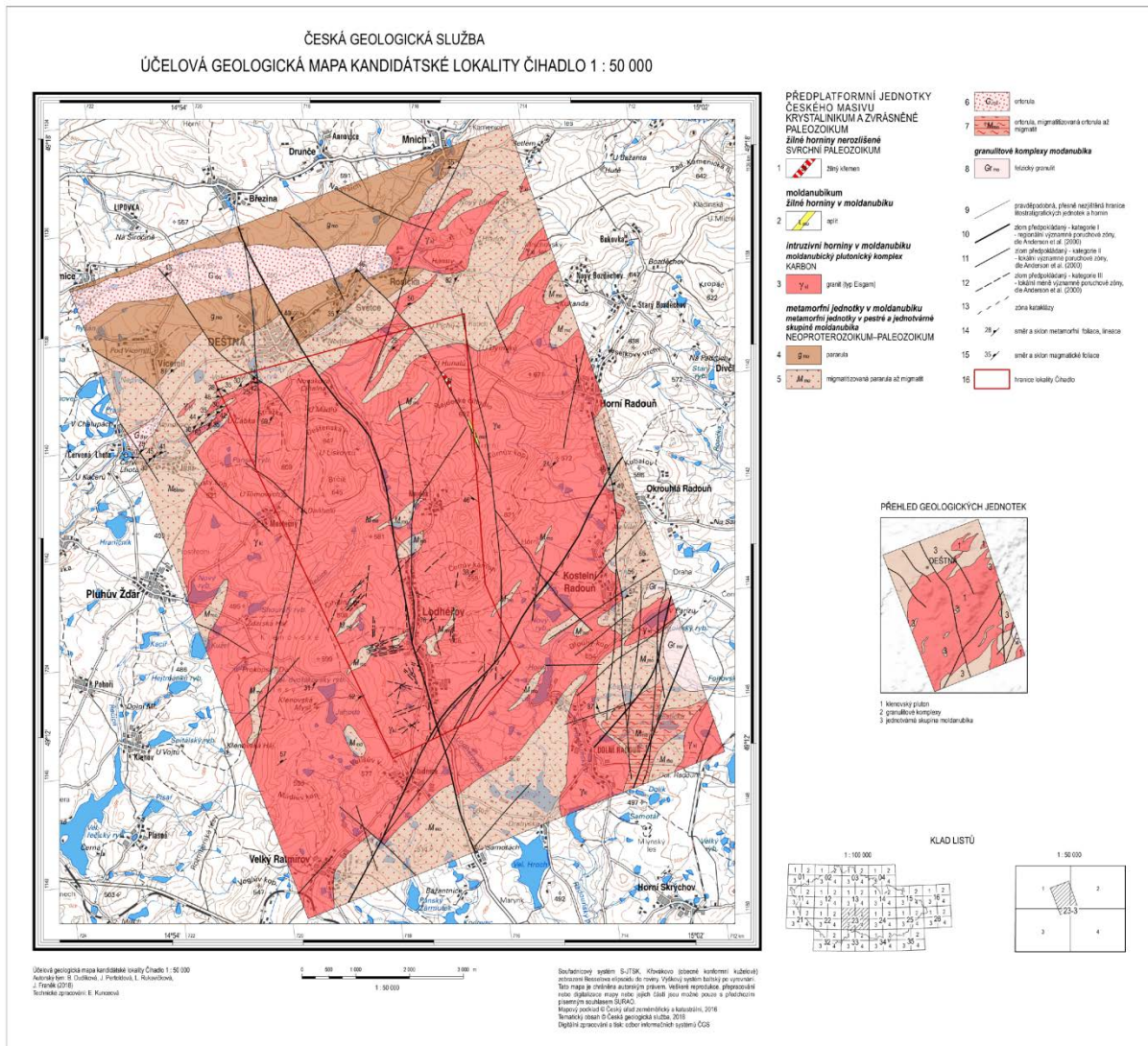
Obr. 4: Úrovně popisu lokality

## B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

### B.1.1.1 Regionální stavba území

Horniny okolí lokality Čihadlo jsou součástí regionální jednotky Českého masivu, konkrétně moldanubické zóny 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 Čihadla spadají do oblasti, která je označována jako variský orogenní kořen (Schulmann et al. 2005, 2008), tedy do oblasti vysoce metamorfovaných hornin, které byly polyfázově deformovány a intrudovány (např. Žák et al. 2012).

Na základě platného regionálně geologického členění Českého masivu (Mísař 1984) horninové komplexy lokality Čihadlo patří regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech (Obr. 5). Dominantním horninovým typem na lokalitě jsou granitoidy moldanubického plutonického komplexu (těleso klenovského plutonu), které intrudují do hornin jednotvárné skupiny moldanubika (migmatity, migmatitizované pararuly a pararuly s vložkami pestrých hornin. Nejmladší jednotku tvoří sedimenty pokryvných útvarů, mezi které patří reliktu sladkovodního neogénu a kvartérní uloženiny ve formě svahových a říčních sedimentů.



Obr. 5: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Čihadlo

Klenovský pluton, který tvoří většinu geologického podloží lokality Čihadlo, je součástí moldanubického plutonického komplexu a představují ho dvojslídne granity typu Eisgarn. Jsou to horniny s charakteristickým peraluminickým složením a relativně vysokými obsahy draslíku (granitoidy S-typu) při poměrně vysokém obsahu  $\text{SiO}_2$ . Kontakty klenovského plutonu vůči metamorfovaným horninám mají intruzivní charakter. Tyto kontakty tvoří prstovité průniky do okolních hornin a upadají na jihu území pod mírnými a středními úhly k Z a v severní části území až k SSZ. Mají tak subparalelní orientaci ve vztahu k regionální stavbě celého území. Z výrazné negativní gravimetrické anomálie korelující s plošným rozsahem klenovského plutonu, i ze dvou 2D gravimetrických modelů (Franěk a Bukovská 2016), vyplývá výrazný hlubkový dosah přítomných granitových těles, který pravděpodobně dosahuje v nehlubších partiích (to je v sz. části plutonu) 4,5 km.

**Muskovit-biotické granity typu Klenov** mají ekvigranulární, plošně-paralelní texturu magmatického až submagmatického charakteru s dobře vyvinutou planární přednostní orientací žilců a slíd (magmatickou foliací). Mezi základní minerální asociaci patří plagioklas, K-živce, křemen, biotit a muskovit. Objemově výrazně méně zastoupené horninotvorné





minerály jsou andalusit, granát, cordierit a sillimanit. Plagioklas o složení oligoklasu nabývá hypautomorfních tvarů o průměrné velikosti 1–2 mm a často vykazuje velmi malou oscilační zonalitu. Místy byly pozorovány procesy sekundární sericitizace. Draselný živec je často slabě perthitický a tvoří hypautomorfní až xenomorfní zrna o velikosti do 3 mm. Křemen je objemově zastoupen asi 25 %. Celkové zastoupení slíd v hornině kolísá v rozmezí 7–12 %. Objemově velmi mírně převládá muskovit nad biotitem, často dochází k jejich vzájemnému prorůstání.

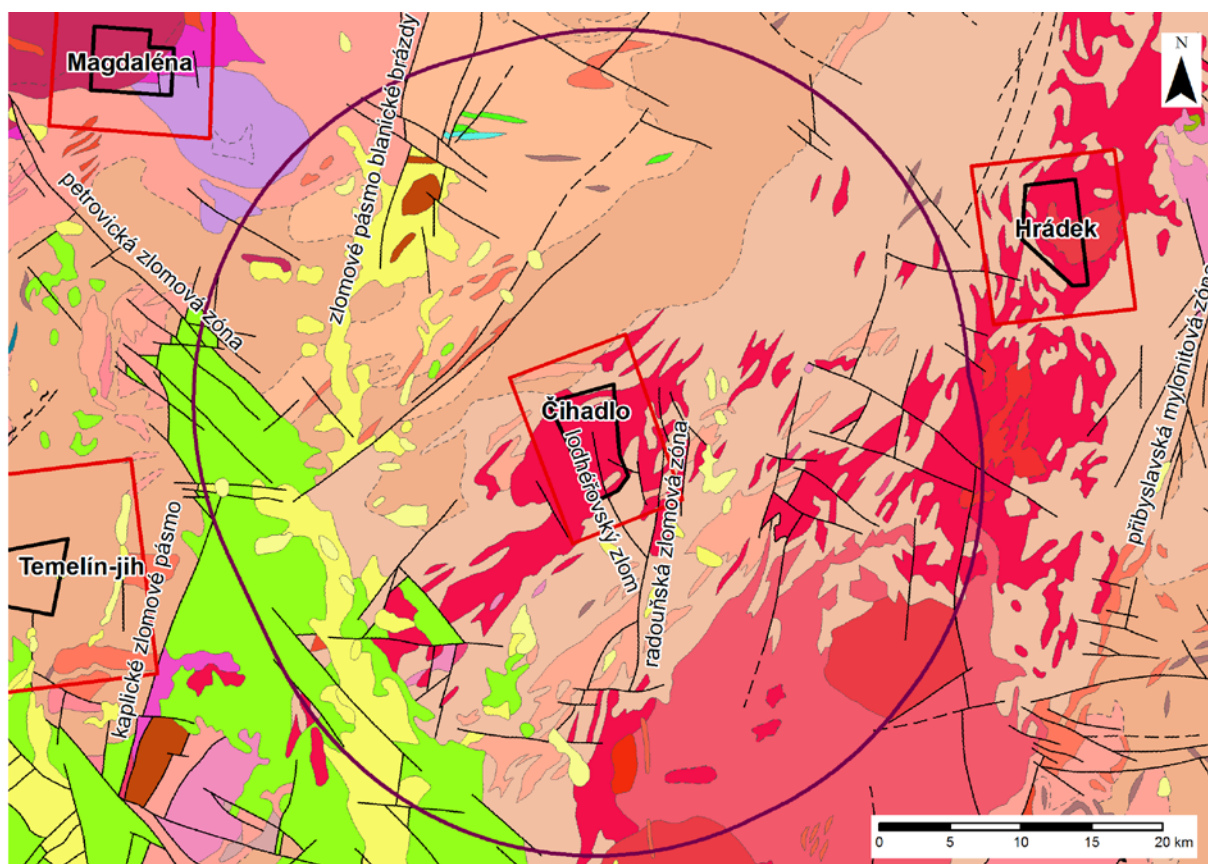
Přítomné metamorfované horniny jsou dominantně reprezentovány **migmatizovanými sillimanit-biotitickými pararulami až migmatity** s cordieritem, které lemují ze SZ i JV těleso klenovského granitu. Mají šedočernou barvu a většinou jsou středně zrnité s charakteristickým páskováním, kdy se střídají polohy bohaté na biotit, sillimanit a cordierit (melanosomy) a polohy s převahou křemene a živců (leukosomy). V základní minerální asociaci je cordierit, sillimanit, biotit (~35 %), plagioklas (25–35 %), draselný živec (20–30 %), křemen (20–25 %) a v malé míře se může vyskytovat muskovit. Ojedinele lze pozorovat drobné krystaloblasty granátu almandinového typu. Akcesoricky se vyskytují apatit, zirkon, ilmenit, spinel a pyrhotin.

Neogenní a kvartérní sedimenty mají na území malý rozsah a jsou zpravidla vázány na plošně omezené výskyty v podobě denudačních reliktů. Tato část Českého masivu totiž náleží k denudační oblasti, kde dnes převažují procesy eroze a transportu materiálu. Jedná se o fluvialní písky a štěrky, jejichž vznik byl pravděpodobně podmíněn mimo jiné změnami spádových křivek toků při vytváření umělých vodních nádrží.

#### B.1.1.2 Stupeň křehké tektoniky – zlomové struktury

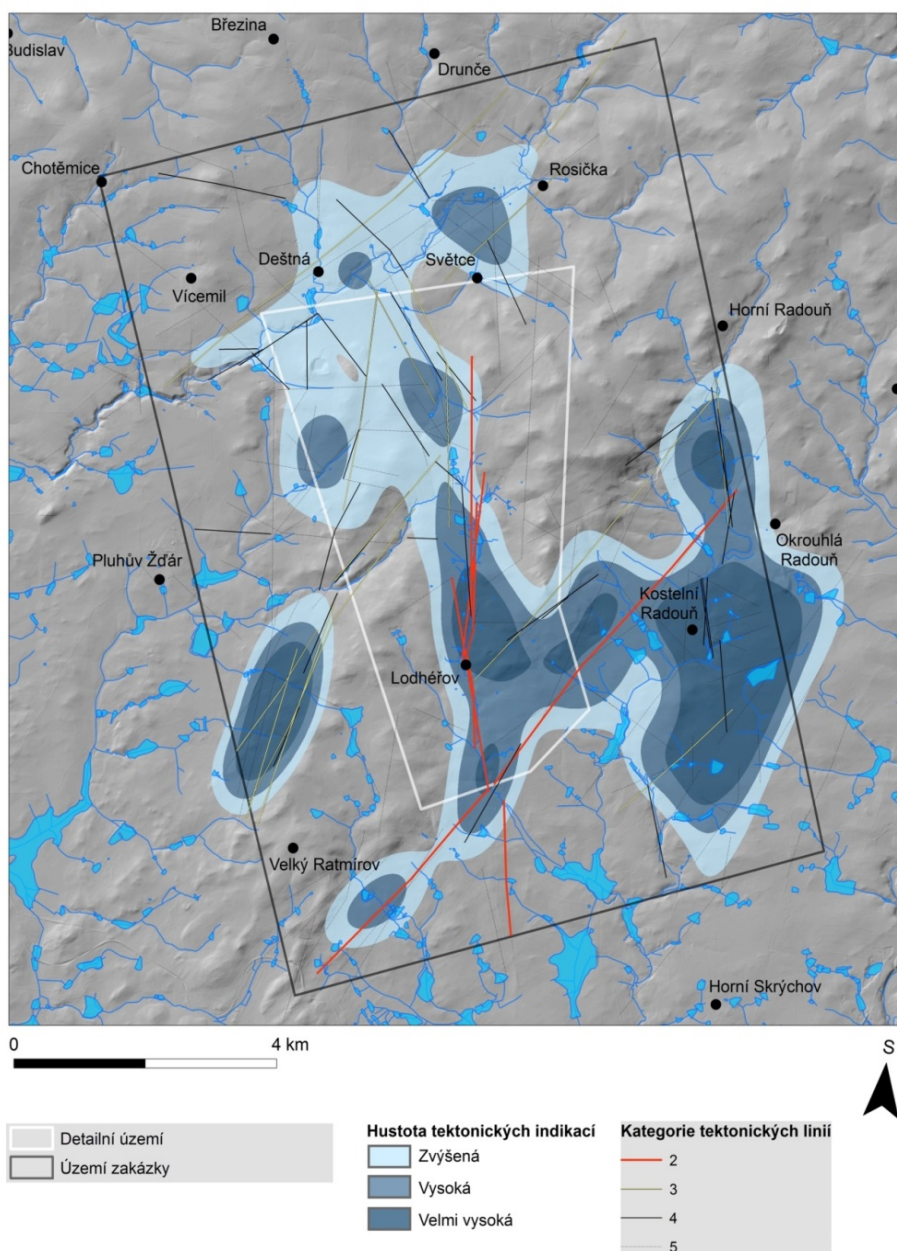
Charakteristika struktur duktilní a křehké deformace vychází z dříve provedeného geologického mapování v měřítku 1 : 25 000 (Dudíková, Schulmannová et al. 2011), komplexní strukturální analýzy širšího území (Verner et al. 2014), a nejnověji z projektu SÚRAO 3D strukturálně-geologické modely potenciálních lokalit HÚ (Franěk et al. 2018). Číslování zlomů v této zprávě bylo převzato ze zprávy Franěk et al. 2018.

V širším okolí lokality (okruh 25 km na základě vyhlášky 269/2016) se vyskytují křehké deformační zóny, které odrážejí lokalizovanou tektonickou aktivitu v závěrečném období variských orogenních procesů a v období mezozoika až terciéru během alpské orogeneze. Mezi nejvýraznější strukturu patří zlomy kaplického zlomového pásma (strmý sklon v průběhu ~SSV–JJZ), které se vyskytují podél západního okraje vymezeného okruhu 25 km (v linii Kaplice – Tábor – Mladá Vožice). Jedná se o pásmo zlomů s doprovodem nízkoteplotních mylonitů a kataklazitů v šířce několika desítek metrů. Druhou skupinou výrazného křehkého porušení jsou zlomy a zlomové zóny severovýchodního tektonického omezení třeboňské pánve (v průběhu SZ–JV), které se nacházejí v linii Veselí nad Lužnicí – Gmünd. Do této skupiny zlomových struktur dále patří zlomy ve východní části vymezeného okruhu v okolí Nové Včelnice a Žirovnice. V regionálním měřítku se jedná o pokračování petrovické zlomové zóny.



Obr. 6: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Čihadlo (okruh 25 km od lokalizace zájmového území)

Provedená analýza DPZ a DMR (Kopačková et al. 2017) indikovala největší hustotu strukturních lineárních indikací v j. a jv. části regionálně-geologického modelu lokality. Zjištění indikace vyššího řádu pak velmi dobře koresponduje s geologickými podklady (Obr. 7). Nejvýznamnějším zjištěným prvkem jsou pak dvě strukturní lineární indikace 2. kategorie, které odpovídají výrazným zlomovým strukturám (ID 1 a ID2).



Obr. 7: Klasifikované lineární indikace

(na podkladě hustotního rastru, který představuje změny v plošné distribuci tektonických lineárních indikací detekovaných pomocí metod analýzy DMR, radarových družicových dat, leteckých stereoskopických snímků a zlomové sítě)

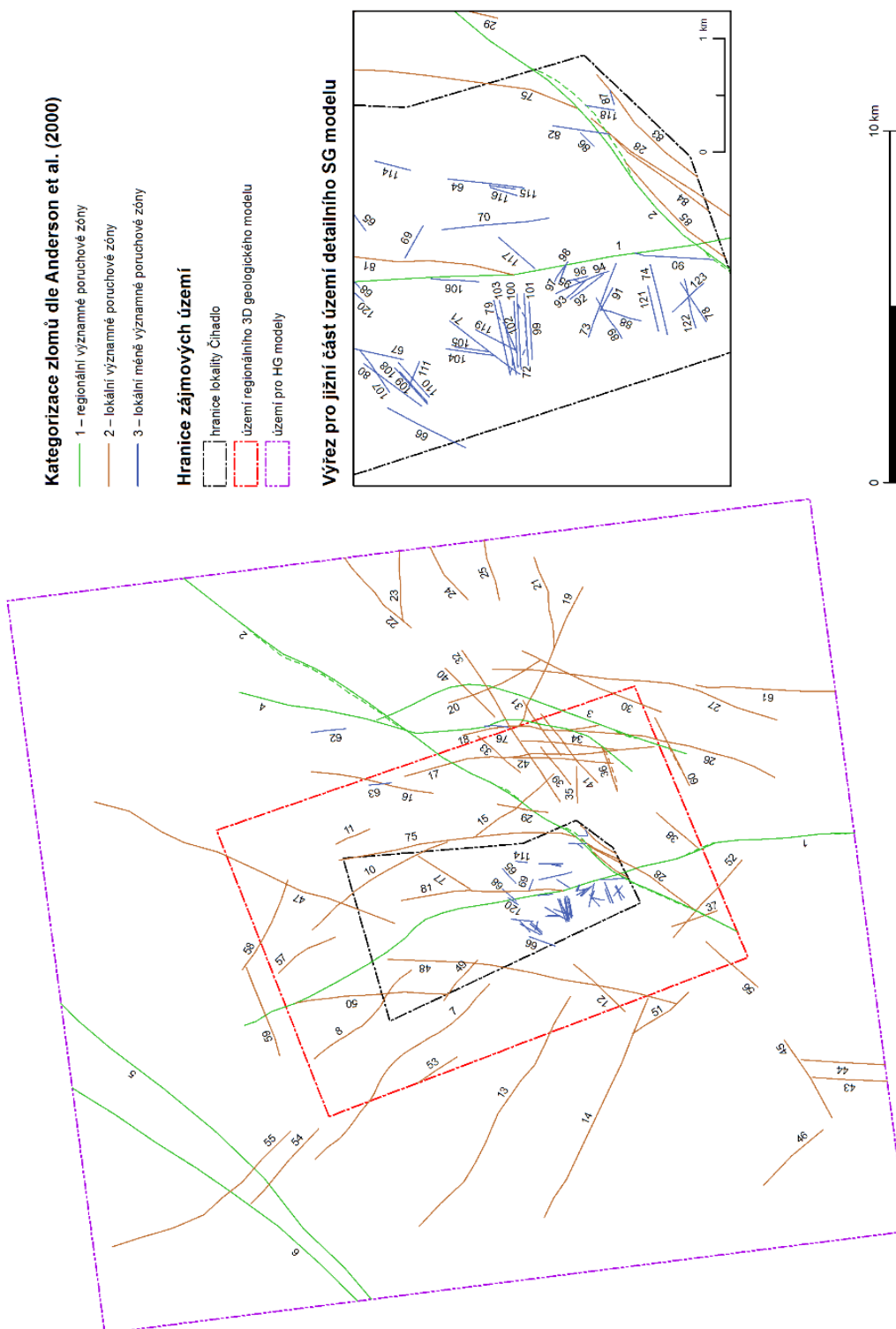
V oblasti lokality Čihadlo bylo na základě rešeršních prací a terénního ověření popsáno 123 zlomových struktur různého měřítka (Franěk et al. 2018). Tyto struktury byly vyhodnoceny do uniformní databáze a klasifikovány dle Vokál et al. (2017) a Andersson et al. (2003) viz. Obr. 7. Z hlediska orientace vykazují předpokládané zlomové struktury dobrou shodu na struktury regionálního měřítka v okruhu 25 km (viz výše). Prostorová distribuce těchto struktur je poměrně rovnoměrná s převažujícím výskytem ve východní části zájmového území. Zlomové struktury relativně četnějšího výskytu upadají pod strmými až středními úhly k ~SZ až Z nebo ~JV až V. Tyto zlomy často nesou striace (rýhování) strmé orientace, nejčastěji po spádnicí



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</i>

zlomových ploch s indikátory poklesové kinematiky. Do skupiny zlomů upadajících k ~SZ až Z (resp. ~JV až V) se směry SV–JZ (resp. S–J) náleží zlomy ID 48, 77 a 81, 50, 75). K této skupině je řazena jedna z nejvýraznějších struktur křehkého porušení lokality – lodhěřovský zlom (ID 1) (Obr. 8)

Druhou skupinu význačných zlomových struktur tvoří zlomy upadající pod strmými až středními úhly k ~JJZ až ZJZ se směry SSZ–JJV až SZ–JV, které v převaze nesou mírně ukloněné striace (rýhování) a variabilní indikátory kinematiky. Tyto zlomové struktury se vyskytují zejména v severozápadní části klenovského plutonu a přilehlých horninách moldanubika, kde částečně tektonicky modifikují původní intruzivní kontakty tělesa. Mezi důležité struktury, k této skupině patří zlomy ID 8, 10, 15 a 49 (Obr. 8).



Obr. 8: Zlomové struktury v lokalitě Čihadlo

### B.1.1.3 Stupeň křehkého porušení - puklinové struktury

Křehké struktury nižšího měřítka - puklinové systémy byly na lokalitě Čihadlo studovány v rámci dílčího projektu na tvorbu DFN modelů (Kabele et al. 2018). Jde o modely hodnotící stupeň křehkého porušení horninového masivu. Celkem bylo provedeno 444 strukturálních měření na 16 lokalitách v granitoidech moldanubického plutonu a metamorfovaných horninách jednotvárné skupiny moldanubika. Na základě získaných dat bylo dle jejich prostorové orientace identifikováno celkem 6 populací puklin. Nejčastěji se vyskytují relativně



strmé (sklon 70–90°) pukliny upadající k SZ, JV, SV, JZ, VSV a ZJZ. Pukliny se středními (sklon 60–40°), místy až subhorizontálními (sklon 30–0°) sklony upadají zejména k JV a Z. Z těchto populací byly vypočteny statistické parametry matematického DFN modelu. Z tohoto matematického modelu byl získán parametr P30, který určuje, kolik puklin se vyskytuje v jednotce objemu, tedy jejich hustotu (podrobněji popsáno v Kabele et al. 2018). Mimo prostorových parametrů puklinové sítě lze tedy zhodnotit i potenciální míru rozpuštění horninového masivu. Parametr P30 odráží míru křehkého porušení masivu, avšak nereflexuje odlišnosti mezi jednotlivými horninovými typy. Pro lokalitu Čihadlo je jeho hodnota 0,895 puklin na m<sup>3</sup>, což odpovídá 895 milionům puklinám v 1 km<sup>3</sup> horninového masivu.

#### B.1.1.4 Stupeň duktilní deformace

V horninovém komplexu migmatitů, migmatitizovaných pararul a ortorul byly identifikovány metamorfni foliace charakteru kompozičního páskování. Jedná se o nepravidelné střídání poloh separované taveniny a restitického materiálu (leukosomu a melanosomu). V tělese klenovského plutonu (cílové litologii pro HÚ) byly identifikovány magmatické foliace a lineace bez výrazného vlivu na anizotropii vlastností horninového prostředí (Dudíková et al. 2011).

#### B.1.1.5 Geologický vývoj

Horniny na území lokality Čihadlo prošly od svého vzniku třemi základními etapami geologického vývoje:

##### Období neoproterozoika až spodního paleozoika

Mezi relativně nejstarší a nepřímou zaznamenanou geodynamickou událostí v geologickém vývoji mapované oblasti patří geneze sedimentárního protolitu vysoce metamorfovaných hornin jednotvárné skupiny moldanubika jižních Čech. Pravděpodobně v období neoproterozoika, v časovém intervalu 580–550 Ma, tedy v závěrečných fázích kadomských orogenních procesů docházelo k ukládání relativně monotónní sekvence drobových a písčitých sedimentů spolu s relativně tenkými vrstvami křemenců, vápenců a produktů bazického vulkanismu. Představu neoproterozoického stáří protolitu jednotvárné skupiny dále podporuje hojný výskyt těles ortorulových hornin, jejichž protolit má převážně kadomská a kambro-ordovická krystalizační stáří (Košler et al. 1996; Klomínský et al. 2010).

##### Období svrchního paleozoika

V období svrchního proterozoika (380–300 Ma) probíhaly variské orogenní procesy spojené s teplotně-tlakovou aktivitou. Mezi nejstarší událostí patří vysokoteplotní-vysokotlaková metamorfóza, která je zaznamenána v felzických granulitech. Vznik těchto vysoce metamorfovaných hornin je časově spjatý s maximálním ztluštěním kůry během kontinentální kolize v období 350–340 Ma. V oblasti orogenního kořene v té době panovaly P-T podmínky okolo 900 °C a 15 kbar. V důsledku následných tektonických pohybů byly granulity poměrně rychle vyzdviženy do podmínek středních tlaků (např. Franěk et al. 2011). V souvislosti s vyzdvižením granulitů došlo k částečné reekvilibraci jejich primární minerální asociace, což se projeвило zejména vznikem biotitem bohatých pásků (granulitové ruly).

Horniny jednotvárné skupiny moldanubika jsou produktem střednětlakové metamorfózy. Jejich minerální asociace odráží zejména procesy související s rychlou exhumací hornin spojenou s jejich dekompresním tavením (Žák et al. 2011) v období 340–324 Ma. Iničiální fáze vyzdvižení je spojena s formováním relativně strmých metamorfni foliací (např. Schulmann et al. 2008), které byly později částečně nahrazeny mladšími, upadajícími pod mírnými úhly



k ~ZSZ až SZ. Tato mladší vývojová etapa zde probíhala v P-T podmínkách kolem 4 kbar a 700 °C. V jejích závěrečných fázích došlo v období kolem 327 Ma k syntektonickému vmístění a krystalizaci S-typových granitů klenovského plutonu (Verner et al. 2010; Žák et al. 2011). Zároveň probíhala synchronní deformace okolních hornin spojená se vznikem regionálních staveb a stoping (pohlcování bloků metamorfovaných hornin magmatem) ve svrchních částech granitové intruze.

Během závěrečných fází výzdvihu hornin v období svrchního karbonu dochází k lokalizaci deformace a přechodu od duktilního ke křehkému chování. Jedná se zejména o střížné zóny, zlomové a puklinové struktury SZ–JV a SV–JZ směrů, které byly spojeny s projevy lokální extenze vmístěním SSV–JJZ orientovaných žilných těles pegmatitů, aplitů a křemenné výplně.

### Období mezozoika až kenozoika

V důsledku alpínské orogeneze docházelo v období svrchní křídý podél poklesových zlomů k otevírání sedimentačního prostoru jihočeských pánví. Tento prostor je v období svrchní křídý a neogénu postupně vyplňován fluviálními a lakustrinními siliciklastickými sedimenty. Během neogénu docházelo v souvislosti s neotektonickou aktivitou k opětovným poklesům prostoru jihočeských pánví a ukládání fluviálních a lakustrinních sedimentů. Došlo také k vytvoření drenážní sítě odvodňující širší oblasti prostřednictvím fluviálních systémů. Tropické klima v období křídý a částečně i neogénu způsobilo, že v některých oblastech docházelo k intenzivnímu zvětrávání podloží a k vytvoření místy až první desítky metrů mocného zvětralinového pláště. Během kvartéru je území denudační oblastí, kde převládá transport a eroze materiálu. Současný charakter reliéfu a rozsah kvartérních sedimentů je výsledkem exodynamických procesů, klimatických oscilací během pleistocénu a antropogenní činnosti během holocénu.

## B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností

### B.1.2.1 Prostorová variabilita

Zájmové těleso klenovského plutonu je charakteristické svými intruzivními kontakty vůči okolním metamorfovaným horninám a četným výskytem drobných xenolitů pararul a migmatitů (velikosti jednotek až vyšších desítek metrů). Xenolity pararul a migmatitů vyskytující se v rámci plutonu převážně v jeho střední a jihovýchodní části mají charakter ker plovoucích v granitovém magmatu. Rozsah a četnost těchto ker není směrem do hloubky znám.

Z hlediska zlomových struktur lze na základě archivních dat velmi dobře charakterizovat mocnost a charakter výplně jednotlivých S–J orientovaných zlomových struktur s uranovým zrudněním situovaných východně a jihovýchodně od homogenních bloků horninového prostředí (zlom ID 1). Jejich průběh na zemském povrchu vychází ze syntézy archivních map (Franěk et al. 2018).

Prostorová variabilita horninového prostředí je středně složitá, neboť v rámci vymezeného území se sice vyskytují pouze dva hlavní horninové typy (granity a migmatity), jejich kontakty se ale mohou jevit jako problematické. Granity klenovského plutonu na SV území totiž prstovitě intrudují do metamorfitů, a rovněž prostorové vztahy migmatitových xenolitů asimilovaných v granitu v centrální části plutonu nejsou směrem do hloubky ověřené. Homogenita horninového prostředí může být také narušena žilami aplitů a křemene, jejichž hloubkový dosah není znám.

### **B.1.2.2 Petrologická variabilita**

#### **B.1.2.2.1 *Metamorfované horniny***

Metamorfované horniny jednotvárné skupiny moldanubika jsou reprezentovány migmatizovanými sillimanit-biotitickými pararulami až migmatity, sillimanit-biotitickými pararulami, leukokratickými sillimanit-cordieritickými migmatity (ortorulami), muskovit-biotitickými ortorulami a granulity (granulitovými rulami). Pestré vložky v podobě erlanů, amfibolitů a kvarcitů se objevují ojediněle..

#### **B.1.2.2.2 *Intruzivní horniny***

Geologické podloží převážné části území lokality Čihadlo je tvořeno granity klenovského plutonu, jehož kontakty vůči okolním metamorfovaným horninám jsou intruzivní. Jedná se o peraluminické dvojslídne granitoidy typu Eisgarn, které jsou produktem dekompresního tavení metasedimentárních hornin během exhumace vysoce metamorfovaných hornin moldanubika, krystalizační stáří se pohybuje okolo 327 Ma.

Na území převažují **muskovit-biotitické granity typu Klenov**. Z makroskopického pohledu mají tyto světle šedé horniny ekvigranulární, plošně-paralelní texturu magmatického až submagmatického charakteru s dobře vyvinutou planární přednostní orientací živců a slíd (magmatickou foliací). Mezi základní minerální asociaci patří plagioklas, K-živec, křemen, biotit a muskovit. Objemově výrazně méně zastoupené horninotvorné minerály jsou andalusit, granát, cordierit a sillimanit.

### **B.1.2.3 Geochemická variabilita**

Na území lokality Čihadlo převládají horniny acidního složení – granitoidy klenovského plutonu a částečně i ortoruly. Menší část vymezeného území je tvořena pararulami a migmatity se složením blízkým průměrné svrchní kontinentální kůře, proti nimž granity, kromě podstatně vyšší acidity a snížených obsahů oxidů Fe a zejména MgO, vynikají zejména svými vysokými obsahy draslíku a mezi stopovými prvky výrazně zvýšenými koncentracemi uranu.

#### **B.1.2.4 Stupeň alterace hornin a minerálů**

Běžně pozorované alterace u minerálů na blocích hornin v lokalitě Čihadlo, jako je chloritizace, sericitizace, pinitizace a limonitizace, nemají na jejich homogenitu vliv. Na zlomech v činném lomu Strážka a na výchozech v širším okolí byly pozorovány alterace v podobě jílové výplně, limonitizace nebo drcené zóny v granitech. Křemenné úlomky nacházené na tektonických liniích jsou často zabarvené oxidy Fe a Mn. Tyto faktory svědčí o snížené homogenitě prostředí (pozorováno jen na povrchu).

### **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 Čihadlo (Franěk-Bukovská 2016). Cílem rešerše je prostudovat možnosti různých geologických metod a postupů a posoudit jejich vhodnost k výzkumu lokality uvažované jako případné hlubinné úložiště. Pro lokalitu Čihadlo jsou k dispozici archivní materiály ČGS–Geofondu, Přírodovědecké fakulty UK, SÚRAO a DIAMO a jedná se zejména o:



- základní geologické mapy měřítek 1 : 10 000, 1 : 25 000 (v Křovákově i Gauss-Krügerově souřadnicovém systému) a 1 : 50 000;
- textové vysvětlivky, mapy dokumentačních bodů, výbrusový materiál;
- zprávy z průzkumu důlního díla Okrouhlá Radouň, vrty, rýhy, geologické profily, řezy;
- zprávy specializovaných oborů – geofyzika, ložisková geologie, petrografie, mineralogie, geochemie.

Pokrytí PÚZZZK dostupnými archivními daty je nerovnoměrné. Oblast východně a jihovýchodně od polygonu byla detailněji prozkoumána v rámci průzkumu a těžby zdejších uranových rud. Celý polygon byl zmapován Českou geologickou službou v roce 2011 (Dudíková et al. 2011) v měřítku 1 : 25 000 podle schválené certifikované směrnice Hanžl et al. (2009).

### B.1.3.2 Aplikovatelnost standardních geologických metod

Z hlediska praktické aplikovatelnosti standardních metod geologických charakterizačních metod se území jeví jako středně vhodné jak vzhledem k jeho geologické stavbě, tak k jeho stávajícím geomorfologickým podmínkám. Lokalita je přibližně na polovině své rozlohy pokryta lesy, druhou půlku tvoří orná půda s četnými rybníky v západní, jižní a jihovýchodní části. Jejich výskyt je příčinou snížené průjezdnosti terénního vozidla, Vedle menších obcí a usedlostí se na lokalitě vyskytuje město Deštná a co do rozlohy významnější obec Lodhéřov. Jižně od města Deštná se nachází činný kamenolom na drcené kamenivo. Lidská sídla i lom mohou rovněž představovat určité omezení v průchodnosti terénu. Ostatní území je však vcelku dobře přístupné s nepříliš vysokými středními výškami (cca 500 m n. m.). Nejsou zde patrné výrazné projevy hloubkové říční eroze, která je v rámci území hlavním erozivním činitelem, vyjma nejsvrchnějších úseků místních toků pramenících na strmějších kopcích. Četnost skalních výchozů není vysoká. Exogenní procesy způsobují zvětrávání krystalinických hornin. Zvětralá zóna obvykle nepřesahuje hloubku 20 m. Toto hluboké zvětrání mívá zcela nepravidelný průběh ve vertikálním i v horizontálním směru. Na vyšších strmých elevacích dochází ke svahovým gravitačním procesům, které způsobují přemísťování horninových hmot po svahu dolů za vzniku deluviálních sedimentů. Příkladem je kamenné moře pod vrcholem Čertova kamene (kóta 659 m n. m. východně od Lodhéřova), významné geologické lokality vedené v databázi ČGS. Rozsah svahových deformací na území je ale nevelký. Ojedinele se projevují svahové pohyby v podobě roztroušených bloků. S možnostmi vzniku svahových deformací lze místy počítat ve svahových sedimentech, zvětralinách a pokryvných útvarech, zejména v místech zasažených těžbou nerostných surovin a výstavbou, ačkoli recentní svahové pohyby nebyly na území v současnosti zaznamenány.

### B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality

Těleso klenovského plutonu je z pohledu litologického složení poměrně homogenní v jeho severní části. Dominantně ho tvoří středně zrnitý muskovit-biotitický granit, místy s přítomností částečně asimilovaných xenolitů okolních metamorfovaných hornin, především ve střední a jižní části. Petrologická a geochemická variabilita granitů je z hlediska popsání a predikovatelnosti nevýznamná.

V polygonu průzkumného území je možné na základě expertního odhadu předpokládat mocnosti granitů okolo 2,5 km. Hloubkový dosah granitů je pravděpodobně největší podél severozápadního okraje plutonu, a to přibližně 4,5 km.



Intruzivní kontakty plutonu mají prstovitý charakter a jsou převážně subparalelní s orientací regionální metamorfní foliace, jejíž plochy upadají pod mírnými až středními úhly k ZSZ až SSZ. Na dominantní vnitřní stavbou tělesa klenovského plutonu je planární přednostní prostorová orientace živců a biotitu (magmatická foliace). Plochy magmatické foliace v převaze upadají pod středními úhly k SZ.

Žíly aplitů a křemene o mocnostech několika desítek metrů se vyskytují ojediněle a z hlediska hodnocení jsou nevýznamné.

Z pohledu křehké tektoniky byly zjištěny dva hlavní systémy zlomových struktur. Zlomové struktury relativně čtenějšího výskytu upadají pod strmými až středními úhly k ~SZ až Z nebo ~JV až V. Prostorová distribuce těchto zlomů je poměrně rovnoměrná s mírně převažujícím výskytem ve východní části tělesa. Druhou skupinu tvoří zlomy s převažujícím sklonem pod strmými až středními úhly k ~JJZ až ZJZ s dominantním výskytem zejména v severozápadní části plutonu.

Z archivních a nových terénních dat byl sestaven detailní 3D strukturně-geologický model, který popisuje horninové prostředí do hloubky 1 km v různé míře podrobnosti pro různé účely (Obr. 3) ( Franěk et al. 2018).

Dominantním souborem extenzních puklin jsou subvertikální extenzní pukliny (módu I), převážně bez minerální výplně, které tvoří dvě hlavní orientační maxima v průběhu ~SZ–JV, ~JZ–SV.

Běžně pozorované alterace u minerálů a přípovrchové zvětrání hornin nemají na homogenitu horninových bloků vliv. 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)	5
Stupeň duktilní deformace (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Možnost vytvoření komplexního prostorového modelu geologické stavby (1 - nejlepší až 5 - nejhorší) (odhad celkové velikosti homogenních bloků v km <sup>2</sup> )	3



<b>Parametr indikátorů</b>	<b>Vyhodnocení</b>
Variabilita vlastností	
Prostorová variabilita horninového prostředí (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	3
Petrologická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
Geochemická variabilita hornin (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
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 (1 - nejlepší až 5 - nejhorší)	3



## 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. (SÚJB 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. (SÚJB 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:

- 1) Přítomnost zvodní v izolační části úložiště (vylučující kritérium)
- 2) Identifikace a umístění drenážních částí
  - a) vertikální a horizontální odlehlost drenážní báze
  - b) počet drenážních toků
  - c) plocha HÚ se sestupným gradientem proudění
- 3) Rychlost proudění vody
  - a) bilance průtoku podzemní vody v oblasti HÚ
  - b) propustnost horninového masivu v úrovni HÚ
  - c) vliv poruchových zón
  - d) Rychlost proudění vody v úrovni úložiště
  - e) Rychlost proudění vody mezi HÚ a biosférou
- 4) Obtížnost vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu

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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

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:

- úrovní 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:

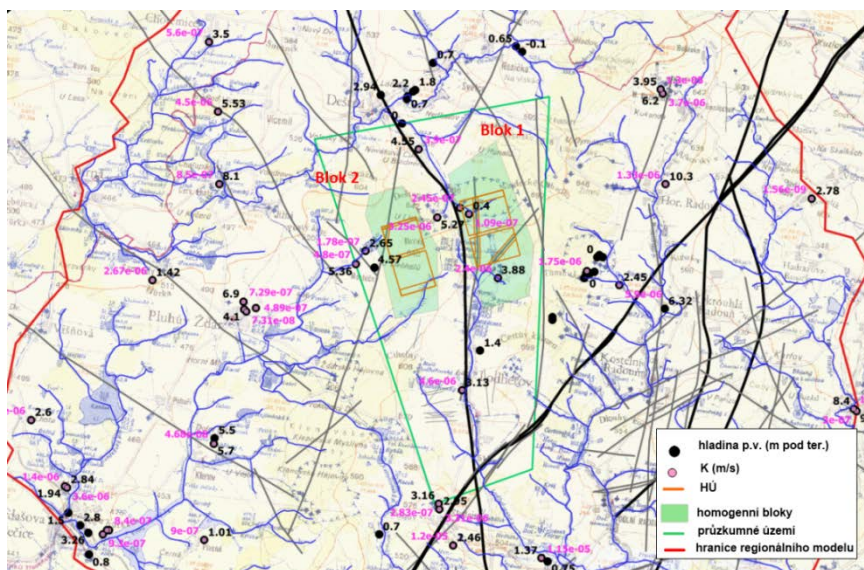
- techniky particle tracking (vypočtena je průměrná postupová doba nereagující nesorbující látky),
- 3D transportního modelu MODFLOW-USG, FEFFLOW a FLOW 123D

Regionální, hydrogeologický model lokality Čihadlo popisuje podrobně technická zpráva SÚRAO (Černý et al., 2017). Zpracování zprávy pro detailní, hydrogeologický model lokality Čihadlo bude dokončen v roce 2018. Výsledky detailního modelu však již byly využity pro hodnocení lokality. Homogenní bloky jsou na Obr. 9 označeny jako Blok 1 (východní blok s plochou 3,56 km<sup>2</sup>) a Blok 2 (západní blok s plochou 2,615 km<sup>2</sup>). HÚ je projektováno v obou vymezených blocích, v Bloku 1 je vymezena ukládací plocha cca 96 ha a v Bloku 2 cca 97 ha.

### **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 umístování 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.

Průzkumné území Čihadlo a oba stanovené homogenní bloky protíná rozvodnice mezi povodími 1-07-03 Kamenice a Nežárka po ústí do Lužnice a 1-07-04 Lužnice od Nežárky po ústí do Vltavy.



Obr. 9: Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS

Území lokality Čihadlo spadá do hydrogeologického rajonu 6510 Krystalinikum v povodí Lužnice (vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství č. 5/2011 Sb.). Krystalinikum je zde tvořeno granity klenovského plutonu a metamorfovanými komplexy hornin jednotvárné skupiny moldanubika.

Malému vodárenskému významu prostředí granitoidů klenovského plutonu krystalinika odpovídá nízká míra hydrogeologické prozkoumanosti území. Několik hydrogeologických zpráv a posudků lokálního charakteru shrnuje výsledky průzkumných prací zaměřených na získání či ověření zdrojů podzemní vody pro domovní či obecní zásobování. Pro širší zájmovou oblast granitoidního masivu jsou k dispozici pouze omezené bodové informace do hloubky max. prvních desítek metrů.

Připovrchovou zónu svahových sedimentů a zvětralinového pláště granitů a metamorfovaných hornin lze obecně označit jako prostředí se slabou průlinově-puklinovou propustností. Na tuto nejsvrchnější zónu, mocnou řádově jednotky až první desítky metrů, navazuje připovrchová část intenzivního rozpukání a rozpojení puklin hydrogeologického masivu charakteristická relativně nízkou puklinovou propustností. Tyto dvě části horninového profilu tvoří hlavní kolektor krystalinika. V tomto kolektoru se vytváří několik dílčích zvodní.

Svrchní zvoď rychlého mělkého lokálního proudění vzniká v prostředí kvartérních sedimentů a zvětralinového pláště. Hloubkový dosah zvodně je řádově do 10 až 20 metrů. Hydraulická vodivost hornin se zde pohybuje v rozsahu tří řádů od  $10^{-6}$  po  $10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup>. Podzemní vody v zalesněných částech lokality jsou typu Ca-SO<sub>4</sub>, v menší míře CaNa-SO<sub>4</sub> s celkovou mineralizací (TDS) do 150 mg.l<sup>-1</sup>. Mimo lesní porosty jsou podzemní vody silně ovlivněny antropogenní činností, mezi anionty převládají dusičnany. TDS těchto znečištěných vod je nejčastěji v rozmezí 200 až 250 mg.l<sup>-1</sup>.

Spodní hlubší zvoď je vázaná na puklinové prostředí pevných hornin. Její dosah je u migmatitů a rul do 40–50 m, u granitových masivů může dosahovat 100 až 120 m. K odvodnění hlubší zvodně dochází v úrovni hlavních erozních bází lokality (řeky Kamenice, Lužnice a Nežárka) většinou skrytě do kvartérních sedimentů. Častá je také drenáž prostřednictvím vodivých tektonických poruch. Hydraulická vodivost puklinového prostředí tohoto kolektoru je v rozmezí 3 řádů od  $10^{-7}$  po  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>. Podzemní vody puklinového



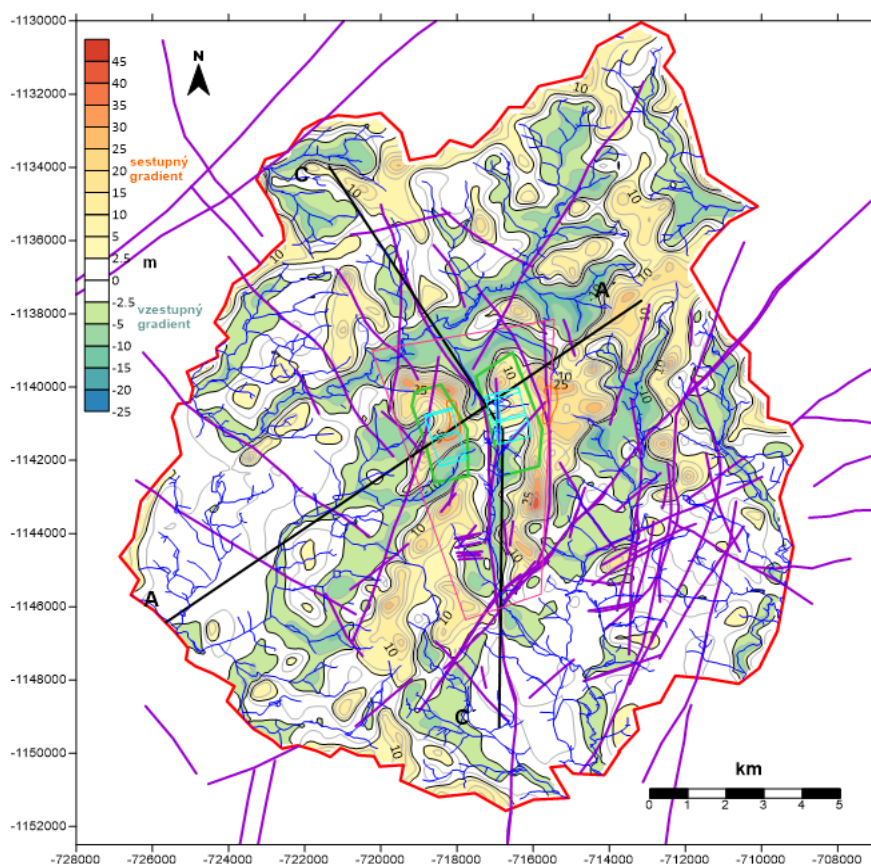
kolektoru jsou převážně typu  $\text{Ca-SO}_4$  a  $\text{Ca-HCO}_3$ , poměrné zastoupení síranů a uhličitánů odráží hloubku oběhu podzemní vody, sírany převažují u mělkého oběhu v oxidační zóně. Ojedinele se zde vyskytují typy s relativním zastoupením sodíku a hořčíku nad 40 meq%. TDS je do  $250 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Podle archivních dat odporových parametrů lze předpokládat, že akumulační možnosti svrchního kolektoru jsou značně omezené a že zde nedochází k tvorbě významnějších zdrojů podzemní vody.

**Je možné předpokládat, že v hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma o tři až pět řádů nižší než v připovrchové zóně rozvolnění puklin a nebude zde vytvořena souvislá zvoďeň.**

### B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu

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

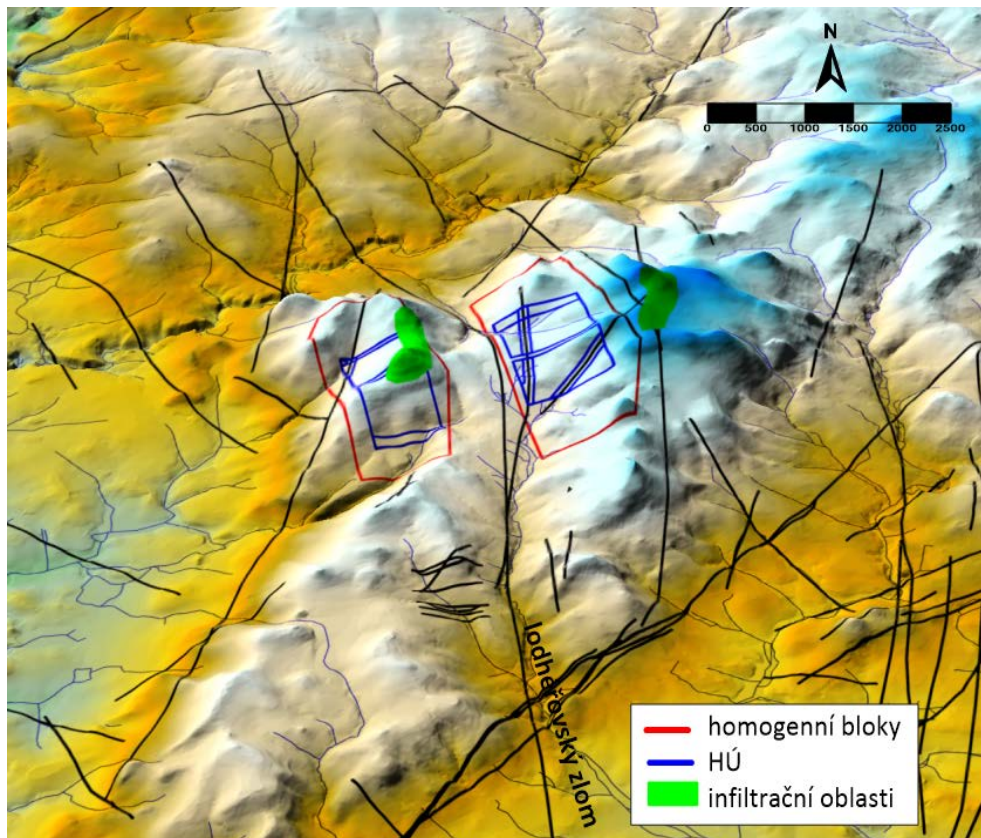


Obr. 10: Rozdíl modelové hladiny v připovrchové vrstvě a hladiny v úrovni HÚ (8 m n.m.), linie řezů A-A a C-C





Na Obr. 10 je dokumentován rozdíl modelové hladiny v přípovrchové vrstvě a hladiny v úrovni HÚ. Z obrázku je patrné, že zóny sestupného proudění (kladný rozdíl hladin na cca 74.5 % plochy HÚ) jsou lokalizovány do vrcholových partií území. Oblasti s největším záporným vertikálním tlakovým gradientem (a složkou vzestupného proudění) jsou soustředěny do hlouběji zaříznutých údolí v oblastech s výrazným reliéfem. Obecně lze usuzovat, že severní části obou homogenních bloků jsou součástí spíše infiltračních oblastí.



Obr. 11: Mapa reliéfu lokality Čihadlo s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ

Jižní části obou bloků, kde jsou na povrchu pramenní oblasti Lodhéřovského potoka a Řečice, jsou spíše oblasti drenážní.

Oba vymezené homogenní bloky se nachází z hlediska reliéfu ve vrcholových partiích zájmového území. Infiltrační oblasti pro plochu HÚ v hloubce cca 500 m pod terémem (úroveň 8 m n. m.) se tak nachází v bezprostřední blízkosti polygonů vymežujících návrh úkládacích ploch. Pravděpodobné infiltrační oblasti, stanovené hydraulickým modelem pomocí metody particle tracking, jsou vyznačeny v mapě reliéfu (Obr. 11).

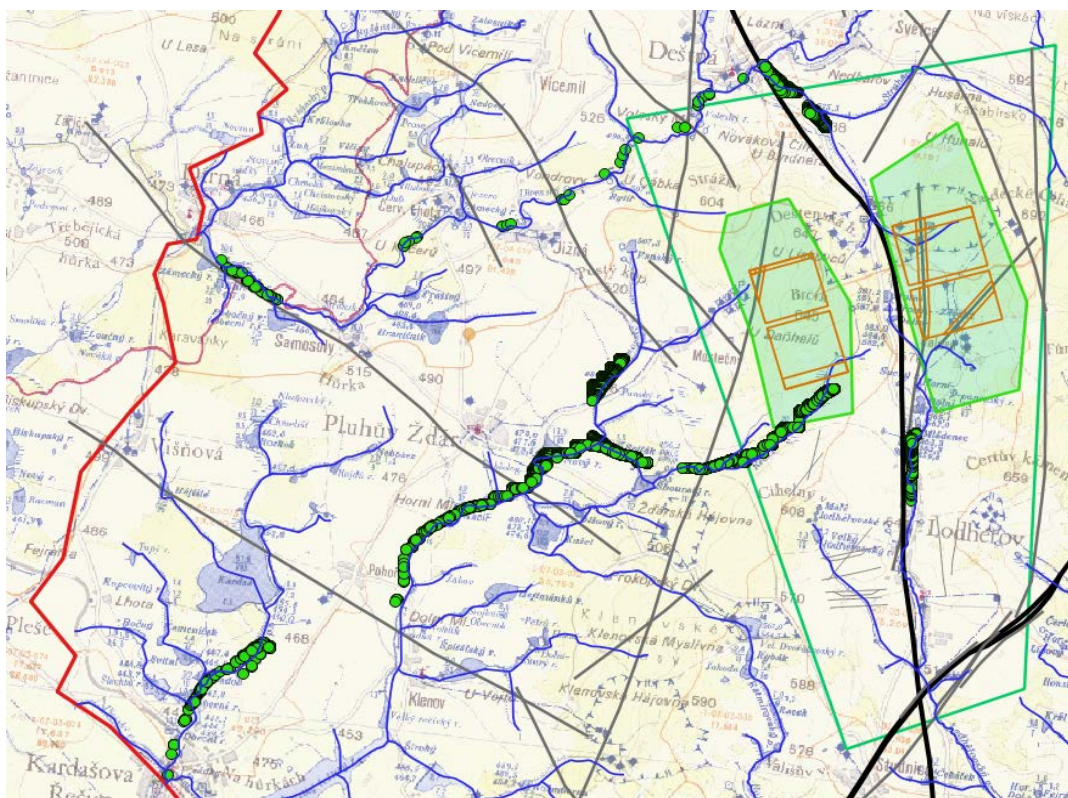
Prostor HÚ v Bloku 1 má infiltrační oblast na hřbetu, který se táhne od vrcholu Najdecké Čihadlo k jihu. Pro část HÚ v Bloku 2 je infiltrační oblast lokalizována v oblasti elevace Brčík a hřbetu, který se z Brčíku táhne na sever k Deštenské hoře. Pravděpodobné infiltrační oblasti potenciálního HÚ se tak nachází mimo vodohospodářsky využívaná území. Lze ale předpokládat, že místní odběry mají infiltrační oblasti shodné. Při dobrém hydraulickém propojení infiltračních oblastí s úrovní HÚ může při jeho hloubení a provozu před uzavřením dojít k omezení jejich vydatnosti.

Drenáž podzemní vody z horninového masivu je zprostředkován 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. Drenážní oblasti hlubší zóny lze očekávat v korytech tektonicky predisponovaných vodních toků, na křížení těchto toků a významných zlomových zón a v oblastech s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zóny a nízkým hydraulickým potenciálem.

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni -2 až 18 m n. m. byly stanoveny modelem proudění s využitím metody particle tracking. Místa drenáže z úrovně HÚ jsou znázorněna na Obr. 12.

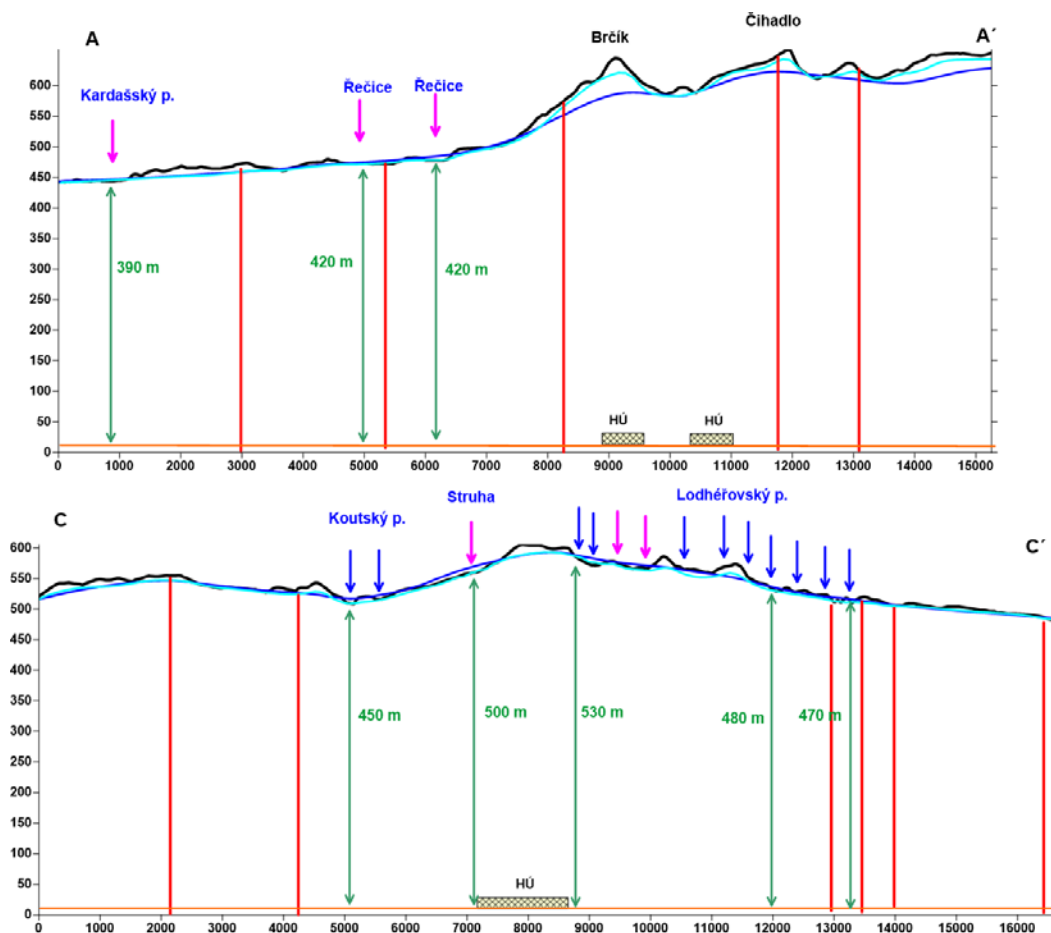


Obr. 12: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ

Z hlediska drenáže je největším recipientem podzemní vody z HÚ v lokalitě Čihadlo povodí toku Řečice (60 % plochy HÚ je drénováno v tomto povodí). Drenáž do toku Řečice a Kardašského potoka není soustředěná, je distribuována po delších úsecích linií toků v tomto povodí. Zbýlá část plochy HÚ se drénuje do povodí Dírenského potoka (cca 28 %) a Radouňského potoka (cca 12 %). Poměr drenáže ploch HÚ se může od výpočtu v rámci jednotek procent lišit v závislosti na skutečném průběhu hydrogeologických rozvodnic v úrovni HÚ. Samotná drenáž do konkrétního úseku toku je do značné míry ovlivněna lokálním charakterem přepovrchové vrstvy zvětralin a kvartérních sedimentů podél toků.

Drenáž je vypočtena v nadmořské úrovni cca 440 až 560 m n. m. ve vzdálenosti cca 0.1 až 8.3 km od hranice polygonů vymezujících ukládací plochy HÚ. Výškové úrovně a vzdálenosti drenáže homogenních bloků (označené modrými šipkami) a HÚ (označené fialovými šipkami) jsou dokumentovány ve schématických (10krát převýšených) řezech (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 proudění podzemní vody v lokalitě Čihadlo

Rychlost proudění podzemní vody v lokalitě je ovlivněna 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 lokalitu Čihadlo jsou stanoveny z hydrogeologického modelu, který je založen na plošném rozložení srážkového normálu (vyhodnocení ČHMÚ). Průměrná hodnota infiltrace v zájmové modelové oblasti Čihadlo je  $3,25 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ . Z celkově infiltrovaného množství  $823 \text{ l.s}^{-1}$  proudí 98 % podzemní vody pouze v přípovrchové vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Do prostředí izolační části masívu infiltruje (vzhledem k nízkým koeficientům hydraulické vodivosti) pouze  $16,2 \text{ l.s}^{-1}$ . Suma průtoků přes vymezené úložné prostory HÚ je modelem stanovena na  $5,02 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}$ , specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ je  $5,56 \cdot 10^{-2} \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ .



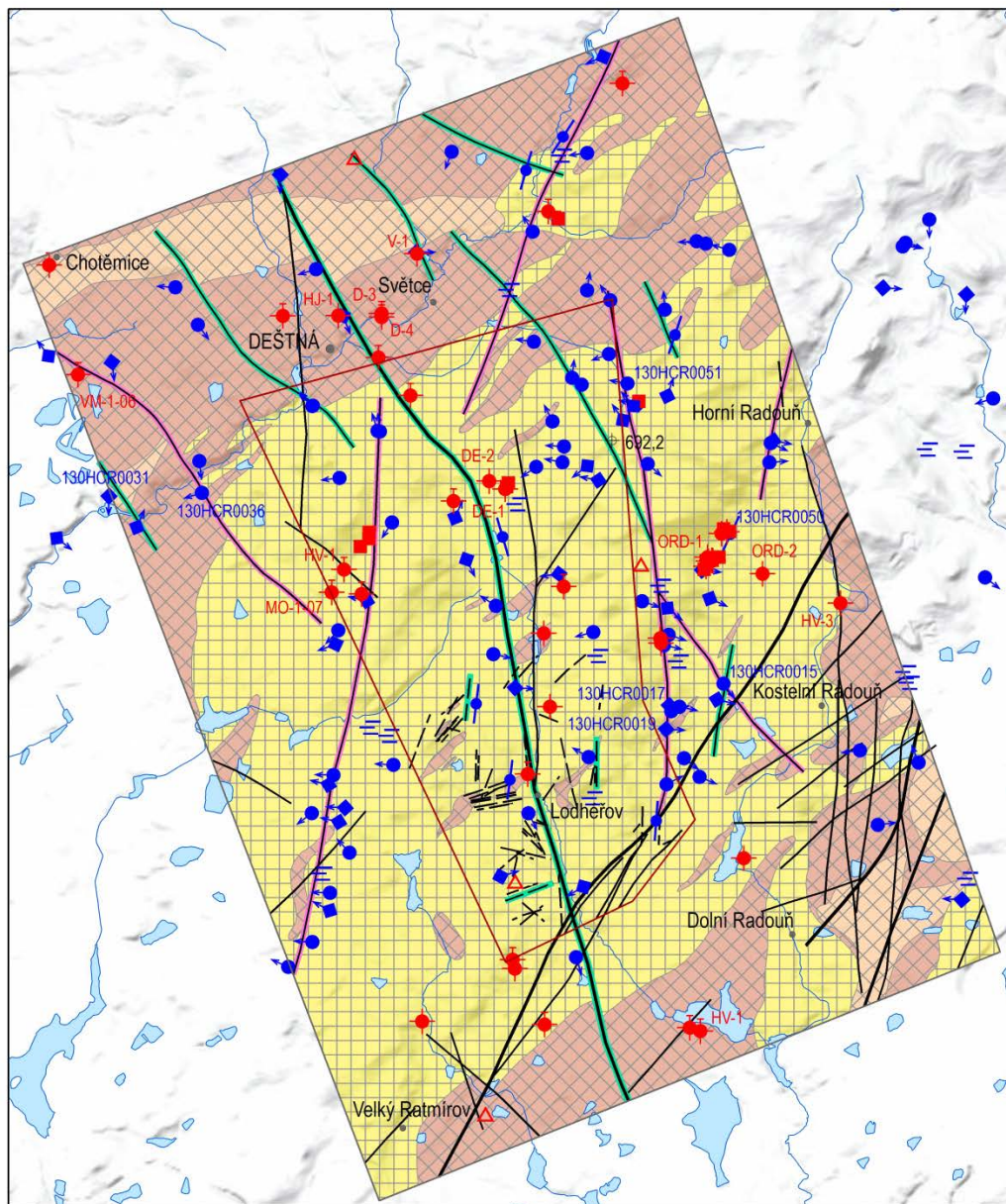
### B.2.3.2 Vliv poruchových zón na poměry proudění

Koncepce proudění podzemní vody v prostředí hydrogeologického masivu předpokládá existenci pásem zvýšených hydraulických vodivosti vázaných na tektonické poruchové zóny. V hlubších horizontech horninového prostředí má proudění podzemní vody dominantně puklinový charakter. Lze přitom předpokládat, že existence lépe propojené, konduktivní puklinové sítě, zprostředkovávající hydraulické propojení hlubších horizontů s drenážními bázemi na povrchu, je více pravděpodobná v poruchových zónách kolem významných zlomů s hlubinným dosahem.

Proudění podzemní vody mezi prostorem HÚ a stanovenými drenážními bázemi probíhá (a může být tedy ovlivněno) i prostřednictvím 10 vymapovaných puklinových zón. Pro území Čihadlo a zvolené homogenní bloky je z předpokládané zlomové sítě nejvýznamnější lodhéřovský zlom, který od sebe odděluje oba vymezené homogenní bloky i dílčí části HÚ. Zlom představuje potenciální preferenční cestu proudění z infiltrační oblasti ve vrcholových partiích masivu do drenážních partií jižně i severně od homogenních bloků a zároveň potenciálně propojuje hlubší a mělké partie masivu. Hydraulické vlastnosti tohoto pásma mají tedy pro lokalitu Čihadlo klíčový význam, obzvláště v kombinaci s dalším významným pásmem ohraničujícím masiv na jihovýchodě (který se s lodhéřovským zlomem kříží jižně od Lodhéřova) a dalšími poruchami probíhajícími v blízkém okolí HÚ. V geologickém modelu protínají poruchové zóny 2. řádu i prostor vymezený pro samotné HÚ, což je zohledněno v projektovém řešení HÚ (viz část c) této studie. Lze předpokládat, že síť současně uvažovaných poruchových zón není zcela kompletní a průběh a charakter zón v hloubce HÚ není možné v současnosti ověřit. Zlomová pásma mají, na základě přijaté koncepce poklesu hydraulické vodivosti porušených pásem s hloubkou, v úrovni projektovaného HÚ předpokládanou hydraulickou vodivost cca  $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$  pro pásma 1. řádu a  $6 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$  pro pásma 2. řádu.

Hydraulická vodivost zlomových pásem významně ovlivňuje tlakové poměry lokality i rozložení potenciální drenáže podzemní vody z prostoru uvažovaného pro vybudování HÚ. Z porovnání drenážních oblastí mezi oběma variantami je patrné, že vyšší propustnost zlomových zón má za následek lokálně větší koncentraci drenáže do prostoru křížení zlomových linií s drenážními toky a zároveň zvýšení a větší rozptýlení drenáže do toku Lodhéřovského potoka, které souvisí s vyšší preferencí proudění po linii lodhéřovského zlomu.

Modelové zvýšení vodivosti známých zlomových linií (ve variantě o jeden řád) má vliv i na vypočtené tlakové pole a proudění podzemní vody. Tektonické zóny lépe hydraulicky propojí infiltrační a drenážní oblasti, hlubokou a přípovrchovou zónu. Vzhledem k celkovému zvýšení hydraulické vodivosti izolační části masivu (z regionálního pohledu) tak dochází ke snížení hydraulického gradientu v oblasti.



0 1 2 km

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | granity - puklinový kolektor s převahou anizotropie, třída transmisivity nízká až střední                  |  | pramen prosté podzemní vody zachycený  |
|  | granulity a ortoruly - puklinový kolektor s převahou anizotropie, třída transmisivity nízká až střední     |  | pramenní linie prosté podzemní vody  |
|  | migmatity a pararuly - puklinový kolektor s převahou anizotropie, třída transmisivity velmi nízká až nízká |  | mokřina  |
|  | zlom předpokládáný - kategorie I - regionální významné poruchové zóny                                      |  | vrt s hydrogeologickými údaji s volnou hladinou prosté podzemní vody                         |
|  | zlom předpokládáný - kategorie II - lokální významné poruchové zóny  |  | vrt s hydrogeologickými údaji s napjatou hladinou prosté podzemní vody bez přetoku nad terén |
|  | zlom předpokládáný - kategorie III - lokální méně významné poruchové zóny                                  |  | výtok z drenáže  |
|  | zlom s ověřenou HG funkcí  |  | významná studna s prstou podzemní vodou  |
|  | zlom s předpokládanou HG funkcí  |  | hranice lokality Čihadlo   |
|  | pramen prosté podzemní vody nezachycený  |  | území regionálního 3D geologického modelu  |

Obr. 14: Hydrogeologické schéma lokality Čihadlo s vyznačením dokumentovaných pramenů, hydrogeologických vrtů, hydrogeologicky aktivních zlomů a klasifikace transmisivity podle Krásného (1986)





V rámci terénní rekognoskace (Franěk et al. 2018) proběhlo přibližné posouzení hydraulické funkce zlomových zón (Obr. 14) Do kategorií „zlomy s ověřenou HG funkcí“ a „zlomy s pravděpodobnou HG funkcí“ byly zařazeny zlomy, v jejichž blízkosti se ve větším počtu nacházejí drenáže podzemních vod v podobě pramenů, mokřin a pramenních linií. Celkem bylo mezi zlomy s ověřenou HG funkcí na lokalitě Čihadlo zařazeno 7 zlomů a do kategorie zlomy s pravděpodobnou HG funkcí 11 zlomů. Povrchovým hydrogeologickým výzkumem nelze s jistotou stanovit, zda zlom, který se projevuje řadou drenáží podzemních vod podél jeho průběhu, plní pro proudění podzemních vod funkci vodivého prvku nebo funkci izolační. V obou případech dochází k vývěrům podzemních vod v okolí zlomu. Na lokalitě Čihadlo dochází na zlomech, u kterých předpokládáme hydrogeologickou funkci, k pouze drobným drenážím podzemních vod s nízkou vydatností (maximálně desetin  $l.s^{-1}$ ). U žádného z pramenů nebyl prokázán hlubinný původ podzemní vody, jednalo se vesměs o síranové vody s nízkou mineralizací typické pro mělký oběh podzemních vod v oxidačním pásmu krystalinika.

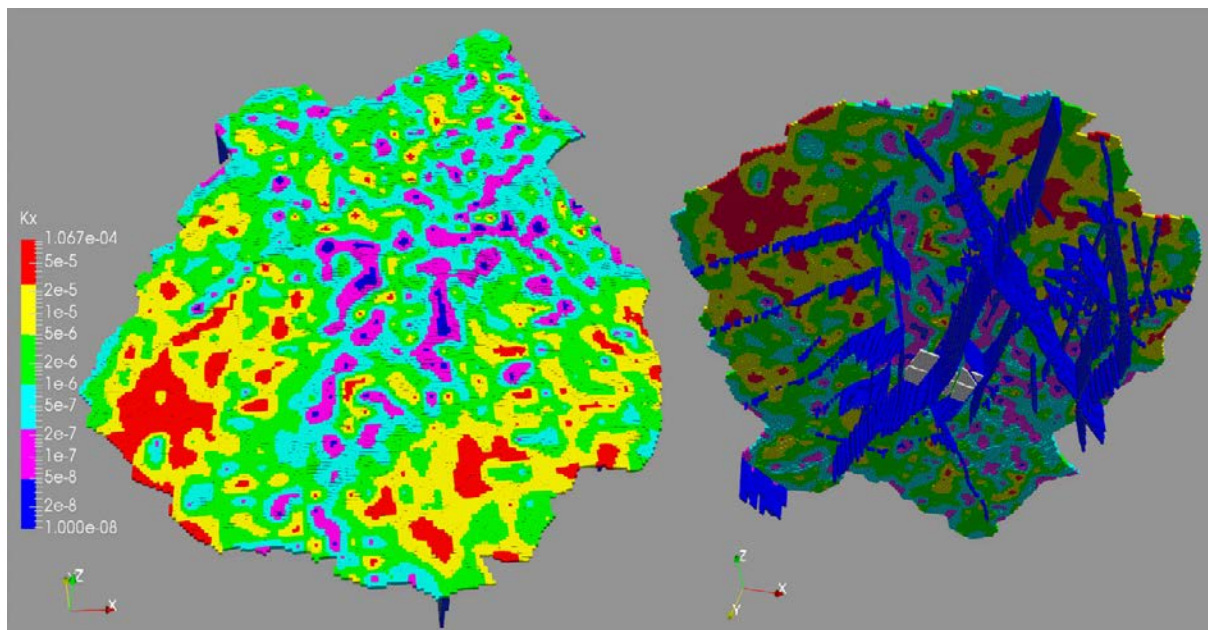
### B.2.3.3 Propustnost horninového masivu

V horninovém prostředí lokality Čihadlo jsou vymezeny dvě dílčí části s rozdílným charakterem propustnosti.

Svrchní část horninového profilu tvoří málo mocné sedimentární horniny, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masívu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Propustnost této části prostředí lze popsat jako puklinově - průlinovou. Hydraulická vodivost v přípovrchové vrstvě se v homogenních blocích pohybuje generelně v rozsahu  $1.10^{-7}$  až  $1.10^{-5}$   $m.s^{-1}$ , přičemž i v přípovrchové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou. Obecně lze zónu intenzivnějšího rozpukání odhadnout do 80 - 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. Pokles vodivosti je odvozen podle empirické rovnice tak, že k poklesu koeficientu hydraulické vodivosti o jeden řád dochází s nárůstem hloubky pod terénem o 675 m. Odhad vodivosti horniny (mimo poruchové zóny) v úrovni potenciálního HÚ je podle tohoto konceptu v rozsahu  $1.10^{-9}$   $m.s^{-1}$  -  $2.10^{-9}$   $m.s^{-1}$ . Rozložení hodnot koeficientu hydraulické vodivosti vyšších než  $1.10^{-8}$   $m.s^{-1}$  je vykresleno v Obr. 15 (pohledy na modelovou doménu od jihu - shora a zdola). Je patrné, že vyšší vodivost je v izolační části horninového masivu soustředěna pouze do poruchových zón.

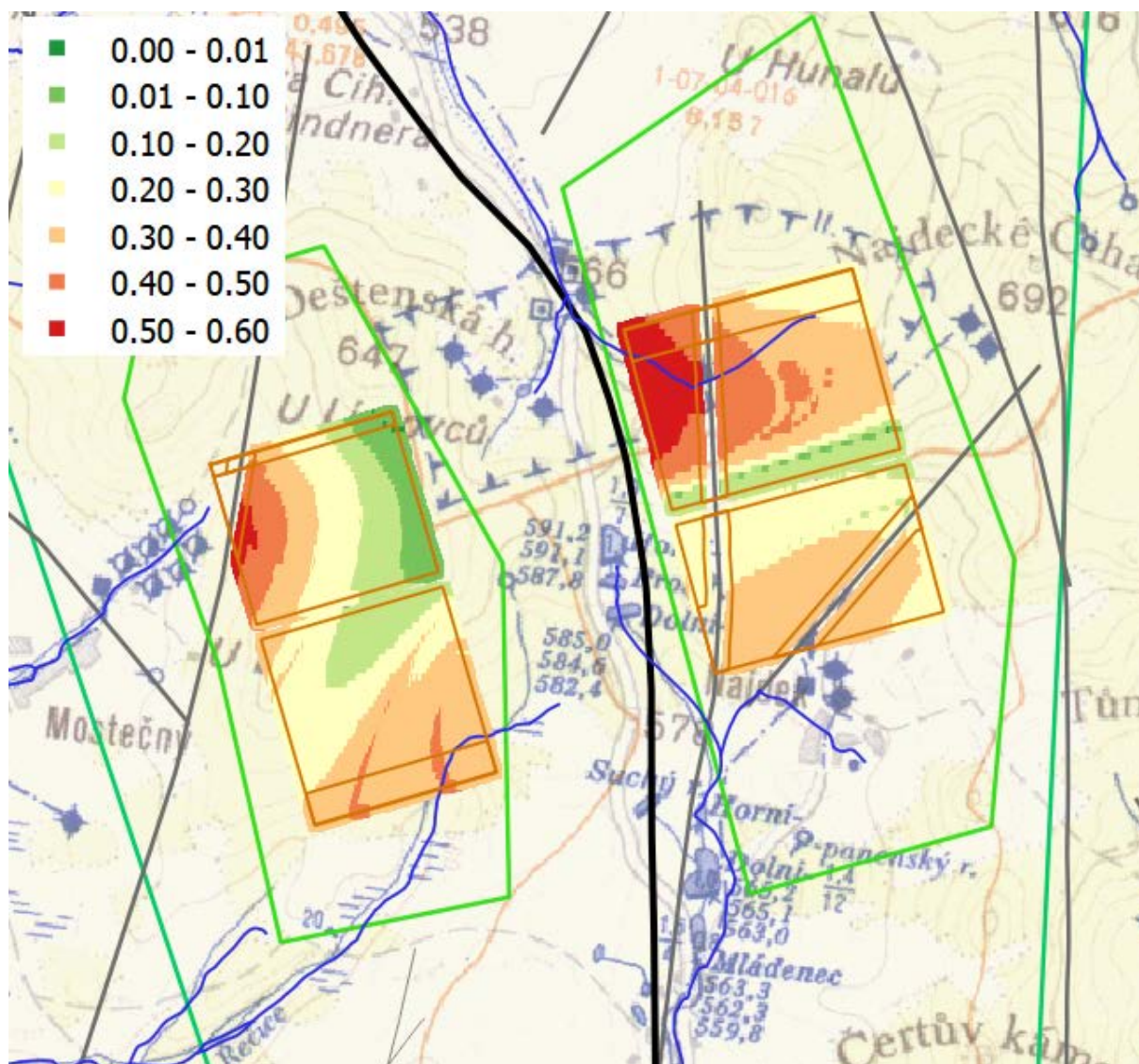




Obr. 15: Rozložení hodnot koeficientu hydraulické vodivosti vyšších než  $1 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$

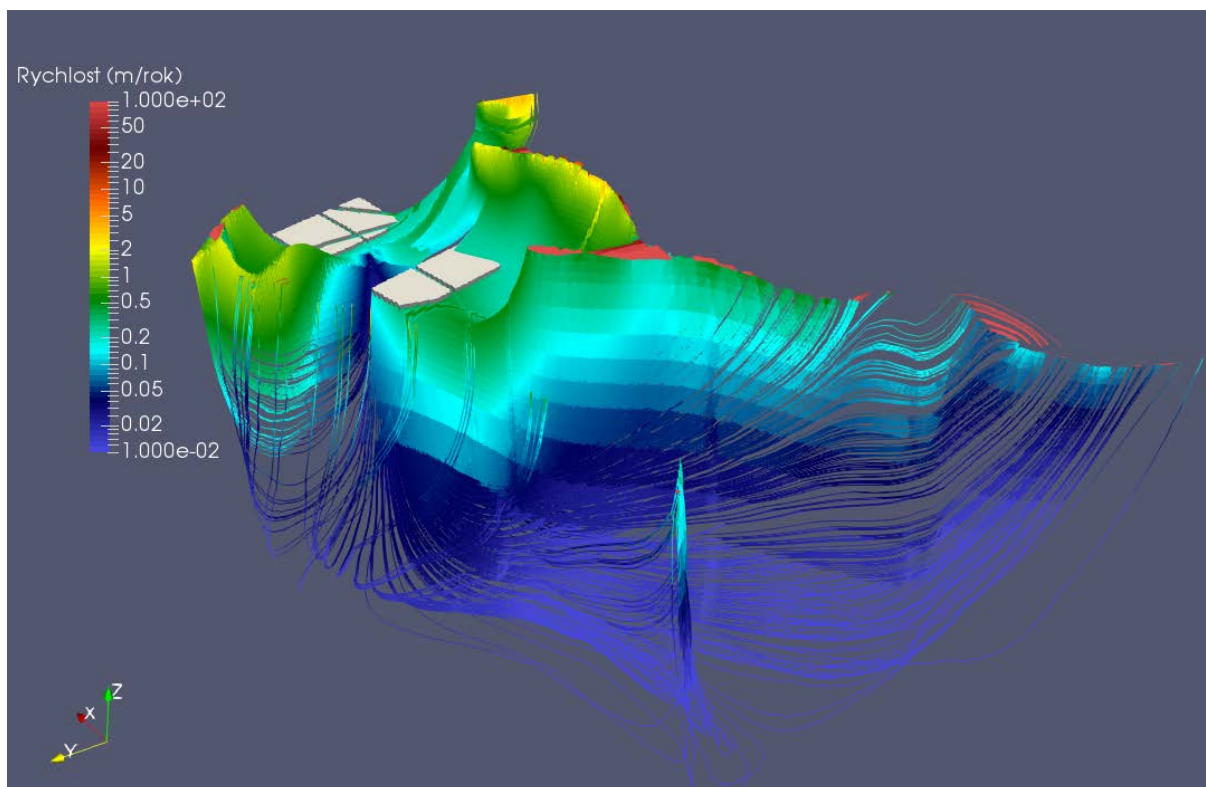
Rychlosti proudění v izolační části masivu lze v modelové simulaci proudění přibližně stanovit na základě výsledků výpočtu metodou particle tracking. Průměrnou rychlost proudění z prostoru potenciálního umístění úložiště do drenážních bází lze stanovit jako podíl celkové transportní dráhy a doby zdržení, kterou částice (reprezentující hmotný bod v podzemní vodě) v horninovém prostředí stráví.

Rozložení průměrných rychlostí proudění z prostoru HÚ v detailním modelu je uvedeno na Obr. 16. Průměrně nejvyšší rychlosti proudění jsou předpokládány pro severozápadní část HÚ v Bloku 1 (mezi  $0,5$  a  $0,6 \text{ m.rok}^{-1}$ ). Nejnižší průměrné rychlosti jsou pak stanoveny pro severovýchodní část HÚ v Bloku 2 a střední část HÚ v Bloku 1, řádově v jednotkách centimetrů za rok.



Obr. 16: 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. Na Obr. 17 jsou vykresleny trajektorie particle trackingu z oblastí homogenních bloků s barevným rozlišením podle okamžité vypočtené rychlosti (pohled od SZ). Z obrázku je patrné, že proudění v přípovrchové zóně může dosahovat rychlostí řádově stovek metrů za rok, zatímco částice, které sestupují do větších hloubek horninového masivu, se zde pohybují rychlostmi maximálně desítek centimetrů za rok. Na obrázku se jako zóny zvýšených rychlostí projevují ve svrchních vrstvách pod toky a v izolační části masivu v tektonicky predisponovaných zónách. Patrná je zóna zvýšené rychlosti proudění podél lodhéřovské poruchy.



Obr. 17: Trajektorie particle trackingu z oblasti homogenních bloků s barevným rozlišením podle okamžité vypočtené rychlosti

#### B.2.3.4 Zhodnocení obtížnosti vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu

Hydrogeologický model pro lokalitu Čihadlo 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 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 Čihadlo

	<b>Čihadlo</b>
<b>střední úroveň HÚ [m n.m.]</b>	<b>8</b>
<b>plocha HÚ [km<sup>2</sup>]</b>	<b>1,96</b>
<b>Tlakové poměry proudění</b>	
drenážní báze - horizontální vzdálenost od hranice HÚ [km]	0,1 - 8,3
drenážní báze - vertikální vzdálenost od úrovně HÚ [m]	432 - 554
počet drenážních toků	3
počet drenážních povodí	Řečice (45%)
dominantní drenážní tok [% plochy HÚ]	Řečice (60%)
dominantní drenážní povodí [% plochy HÚ]	75
sestupná vertikální složka proudění [% plochy HÚ]	
<b>Bilance množství podzemní vody</b>	<b>3,25</b>
průměrná infiltrace ze srážek [ $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ ]	$5,02 \cdot 10^{-2}$
průtok přes prostor HÚ [ $l \cdot s^{-1}$ ]	$2,56 \cdot 10^{-2}$
specifický průtok v prostoru HÚ [ $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ ]	
<b>Vliv poruchových zón</b>	<b><math>1,5 \cdot 10^{-8}</math></b>
maximální propustnost zón do 1 km od hranice HÚ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	1
počet zón 1. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	10
počet zón 2. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	10
počet zón ovlivňující proudění mezi HÚ a drenáží	
<b>Propustnost horninového masivu</b>	<b><math>1,3 \cdot 10^{-9} - 1,7 \cdot 10^{-9}</math></b>
v prostoru HÚ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	$4,6 \cdot 10^{-10} - 4,9 \cdot 10^{-9}$
izolační část masivu do vzdálenosti 300 m od HÚ [ $m \cdot s^{-1}$ ]	
<b>Rychlost proudění podzemní vody</b>	<b>0,1 - 0,5</b>
průměrná z prostoru HÚ k drenáži [ $m \cdot rok^{-1}$ ]	0,2-0,4

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 rychlost 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.

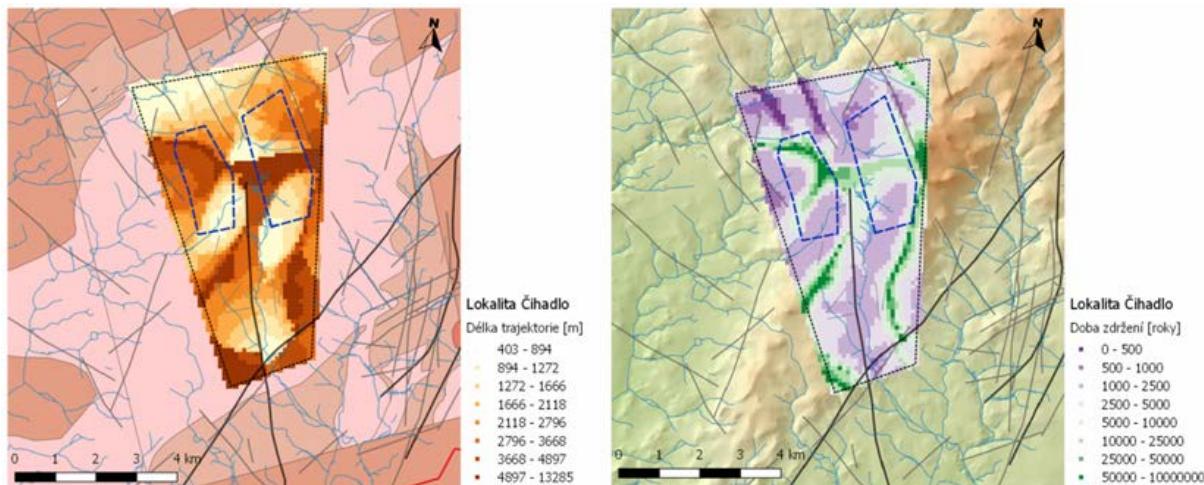
Doba transportu radionuklidů do životního prostředí je ovlivněna řadou retardačních procesů, jako je difúze do matrice horniny či sorpce jednak na povrchu stěn puklin, na výplních puklin či ve vlastní matici horniny. Kromě několika velmi mobilních prvků jako je jód, chlór či selen je doba transportu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

#### B.3.1.1 Doba toku nesorbujícího kontaminantu

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

Délky transportních cest a doby zdržení pro částice z prostoru vymezeného průzkumného území lokality Čihadlo z úrovně 50 m n.m. spočítané pomocí výpočetního kódu MoldFlow jsou uvedeny na následujícím Obr. 18.

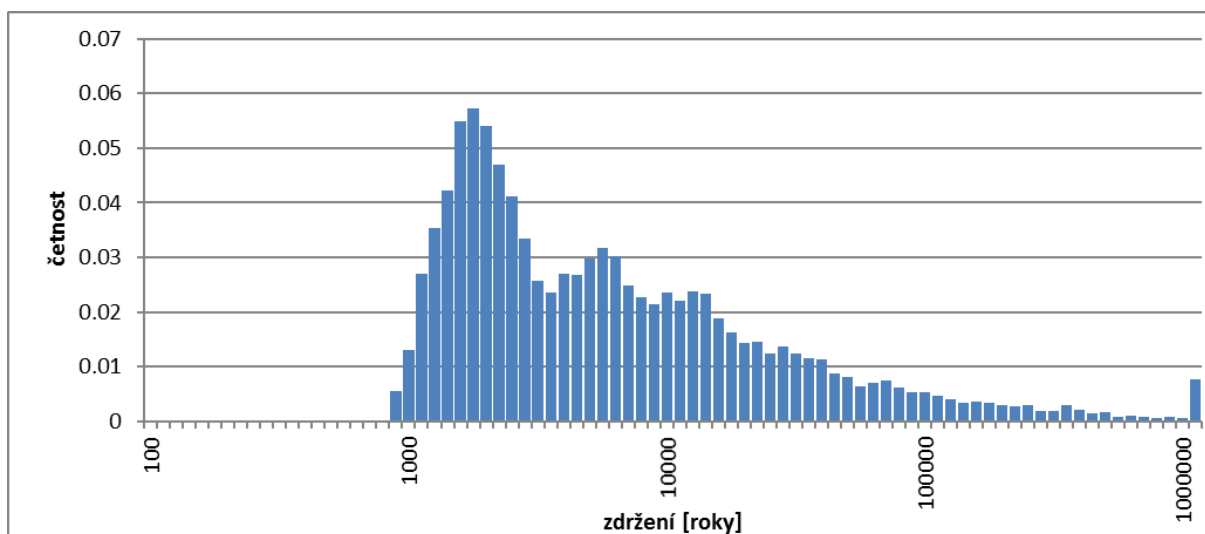




Obr. 18: Délky trajektorií a doby zdržení pro částice z prostoru vymezeného průzkumného území z úrovně 50 m n.m.

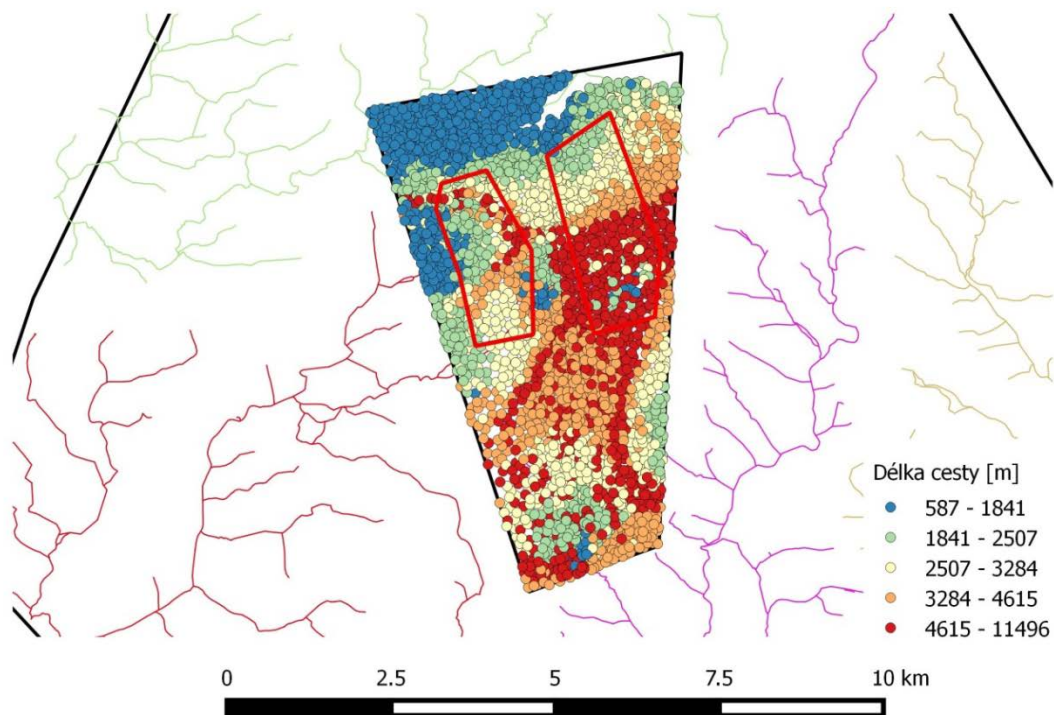
Vypočtené délky trajektorií se pohybují v kvantilovém rozpětí  $Q_{10}$ - $Q_{90}$  mezi 650 a 7 500 m, doby zdržení od 1000 po 105 000 let.

Příklad histogramu doby zdržení pro Blok 1 lokality Čihadlo spočítaný pomocí výpočetního kódu MoldFlow je uveden na Obr. 19.

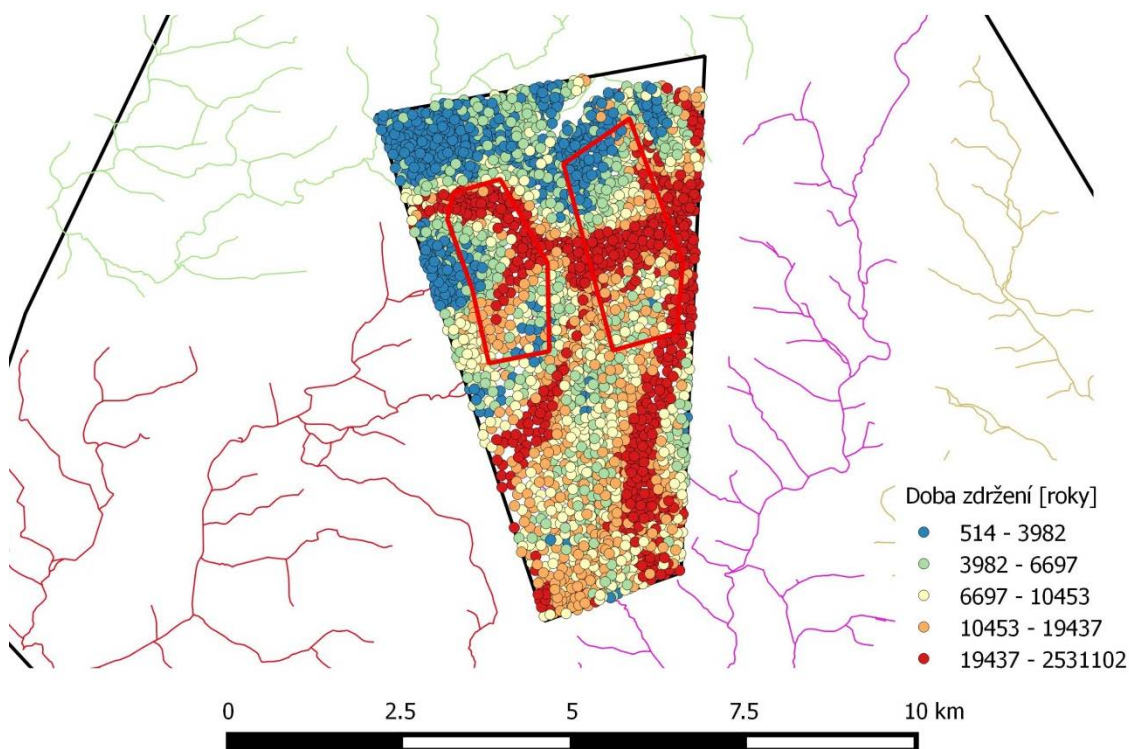


Obr. 19: Histogram doby zdržení částic v horninovém prostředí, homogenní blok západní, lokalita Čihadlo (MoldFlow)

Na následujících Obr. 20 a Obr. 21 jsou znázorněny délky jednotlivých transportních cest a doby zdržení. Nejdelší cesty se nacházejí na východě průzkumného území, především v jižní části polygonu Blok 2. Naopak nejkratší cesty jsou v severozápadní části průzkumného území. Nejvyšší doby zdržení jsou ve východní a centrální oblasti průzkumného území, především v místech rozvodí. Nejnižší pak především na severu. V obou dvou homogenních blocích se vyskytují shluky bodů s velkou dobou zdržení. U polygonu Blok 1 je to především v jeho severovýchodní části, u polygonu Blok 2 v jeho centrální části a při východním okraji.



Obr. 20: Délky transportních cest v lokalitě Čihadlo (Flow 123D)



Obr. 21: Doby zdržení pro jednotlivé transportní cesty (Flow 123D)

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

V Tab. 6 jsou uvedeny délky transportních cest a doby zdržení. Minimální délka cesty je 1559 m, její medián 4318 m. Minimální doba zdržení je 569 let, její medián 7 333 let.

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

	Délka cesty [m]	Doba zdržení [roky]
Minimum	1 559	569
Maximum	12 754	830 555
Q1	3 388	3 111
Q2 (medián)	4 318	7 333
Q3	5 538	15 435
Aritmetický průměr	4 625	13 086
1% kvantil	1 886	892
5% kvantil	2 149	1 515
95% kvantil	7 379	42 683
99% kvantil	10 153	63 877

Výsledky obou dvou týmů byly koordinovány a byla dosažena velmi dobrá shoda.

Žádná ze sledovaných veličin nemá stanovené meze, které by definovaly vylučující kritérium. To by ostatně v kontextu nejistot ve vstupních datech hydraulických modelů, ze kterých hodnocení transportních charakteristik vychází, nebylo ani na místě. Prezentované kvantily tak slouží ke srovnání jednotlivých lokalit.

### 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 -  $^3\text{H}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  a  $^{125}\text{I}$  (metodika průnikových difúzních experimentů v ÚJV Řež, a.s.). Experimentální výsledky stanovení hodnot  $D_e$  pro tyto screeningové radionuklidy jsou uvedeny v Tab. 7. Současně jsou v této tabulce uvedeny i hodnoty  $D_e$  doporučené pro použití v bezpečnostních výpočtech ve zprávě Havlové et al. (2017).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 7: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů pro granitické horniny Českého masivu (Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky z lokality Deštná (povrchový lom)

Radionuklid	Doporučené hodnoty $D_e$ $D_e$ [ $10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ]	Experimentální hodnoty $D_e$ $D_e$ [ $10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ]
	Havlová et al. (2017)	(průměr ze tří vzorků)
$^3\text{H}$	3,1	6,8
$^{36}\text{Cl}$	0,26	3,3
$^{125}\text{I}$	0,26	3,8

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

Doba transportu radionuklidů závisí výrazně maximální možné koncentraci forem radionuklidů v podzemní vodě. Na základě dostupných informací o lokalitě Čihadlo (Havlová et al. 2015; Červinka a Gondolli 2016) je možno předpokládat, že podzemní voda z lokality Čihadlo nemá extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek). Tento předpoklad je však zatížen značnou nejistotou, plynoucí z neznalosti složení chemismu podzemní vody pro větší hloubky lokality. Při hodnocení lokality na základě současných znalostí nelze proto posuzovat lokalitu Čihadlo, stejně jako i ostatní lokality, podle rozpustnosti kontaminantů v podzemní vodě.

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

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



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 8: Srovnání rozpustností screeningových radionuklidů ve vodě Čihadlo (DE-2))

Prvek	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l <sup>-1</sup> ]
U	UO <sub>2</sub> (am,hyd)	4,27 · 10 <sup>-7</sup>
Np	NpO <sub>2</sub> (am,hyd)	1,11 · 10 <sup>-9</sup>
Tc	TcO <sub>2</sub> :1.6 H <sub>2</sub> O(s)	4,46 · 10 <sup>-9</sup>
Se	Se(mono)	1,54 · 10 <sup>-11</sup>
Ni	Ni(OH) <sub>2</sub> (beta)	3,25 · 10 <sup>-3</sup>

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. Tento parametr byl vypočten zvlášť pro každé povodí, které funguje jako drenáž pro uvažovaný zdroj kontaminace umístěný v homogenních blocích ve vertikálním rozsahu minus 100 až plus 100 metrů nad mořem. Výsledky jsou uvedeny v následující Tab. 9.

Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí

Povodí	Ředění proti maximu [-]	Ředění proti průměru [-]
Řečice	4,40E-04	1,55E-03
Radouňský potok	5,55E-04	1,96E-03
Dírenský potok	3,16E-04	1,11E-03

### B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik

Transportní charakteristiky lokality Čihadlo 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 Čihadlo. V následující Tab. 10 jsou shrnuty vybrané parametry z lokality Čihadlo.

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

Parametr		Hodnota
<b>Délka transportních cest (medián)</b>	Pro polygon HÚ	4 318 m
	Pro část HÚ, jež je drénována do dílčího povodí	ŘE: 5 132 m; RP: 3 309 m; DP: 4 553 m
<b>Doba zdržení (medián)</b>	Pro polygon HÚ	7 333 let
<b>Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí (vztahena k maximální koncentraci)</b>	Řečice (ŘE)	4,40E-04





Parametr		Hodnota
	Radouňský potok (RP)	5,55E-04
	Dírenský potok (DP)	3,16E-04
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 ( $\times 10^{13}$ [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ])	$^3H$	6,8
	$^{36}Cl$	3,3
	$^{125}I$	3,8
Porozita [%]		0,59
Vyhodnocení míry sorpce pro vybrané RN*	U(VI)	Nízká (O) ( $12,3 \pm 1,8$ ml.g <sup>-1</sup> )
	Np	Vysoká (O)
	Tc	Nízká (O)
	Se	Nízká ( $12,3 \pm 1,8$ ml.g <sup>-1</sup> )
	$^{137}Cs$	Nízká ( $10,3 \pm 1,4$ ml.g <sup>-1</sup> )
	$^{90}Sr$	Nízká ( $5,9 \pm 1,1$ ml.g <sup>-1</sup> )
	Slídy	7 - 12 % (typ Klenov)(granit) až 35 % (pararula)
<b>Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě</b>	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l <sup>-1</sup> ]
U	UO <sub>2</sub> (am,hyd)	$4,27 \cdot 10^{-7}$
Np	NpO <sub>2</sub> (am,hyd)	$1,11 \cdot 10^{-9}$
Tc	TcO <sub>2</sub> :1.6H <sub>2</sub> O(s)	$4,46 \cdot 10^{-9}$
Se	Se(mono)	$1,54 \cdot 10^{-11}$
Ni	Ni(OH) <sub>2</sub> (beta)	$3,25 \cdot 10^{-3}$



## B.4 Stabilita lokality

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 (SÚJB 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 postižení 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. (SÚJB 2016b) je charakteristikou dalších geodynamických jevů a geotechnických parametrů základových půd, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno, výskyt vulkanických hornin pliocenního až holocenního stáří nebo projevů postvulkanické činnosti, zejména výronu plynů anebo minerálních vod, spojených s minulou vulkanickou aktivitou, do vzdálenosti 5 km.

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

### B.4.1 Seismická stabilita

Studie seismické stability, tj. rešerše historických a aktuálních zemětřesení a výsledky neo-deterministické analýzy, byla prezentována ve zprávě Kalába et al. (2015).

Nejintenzivnější historické zemětřesení je popsáno z 15. září 1590 z oblasti Niederösterreich (Rakousko) - magnitudo  $M_w = 6,06 \pm 0,47$ . Podle mapy byly na území dnešní ČR pozorovány projevy odpovídající hodnotě intenzity  $I_0$  až 7–8 (Jihlavsko), hodnoty  $I_0 = 6–7$  jsou uváděny východně od Prahy. Za hranicí 300 km je doloženo zemětřesení z 25. ledna 1348 (Carinzia, Itálie,  $M_w = 6,99 \pm 0,30$ , makroseismický projev na území ČR je nepravděpodobný). Nejintenzivnější zemětřesení na území ČR v letech 1900–1990 bylo zaznamenáno v oblasti Náchodska z 10. 1. 1901 (02:30) s magnitudem  $M_w = 5,1$ .

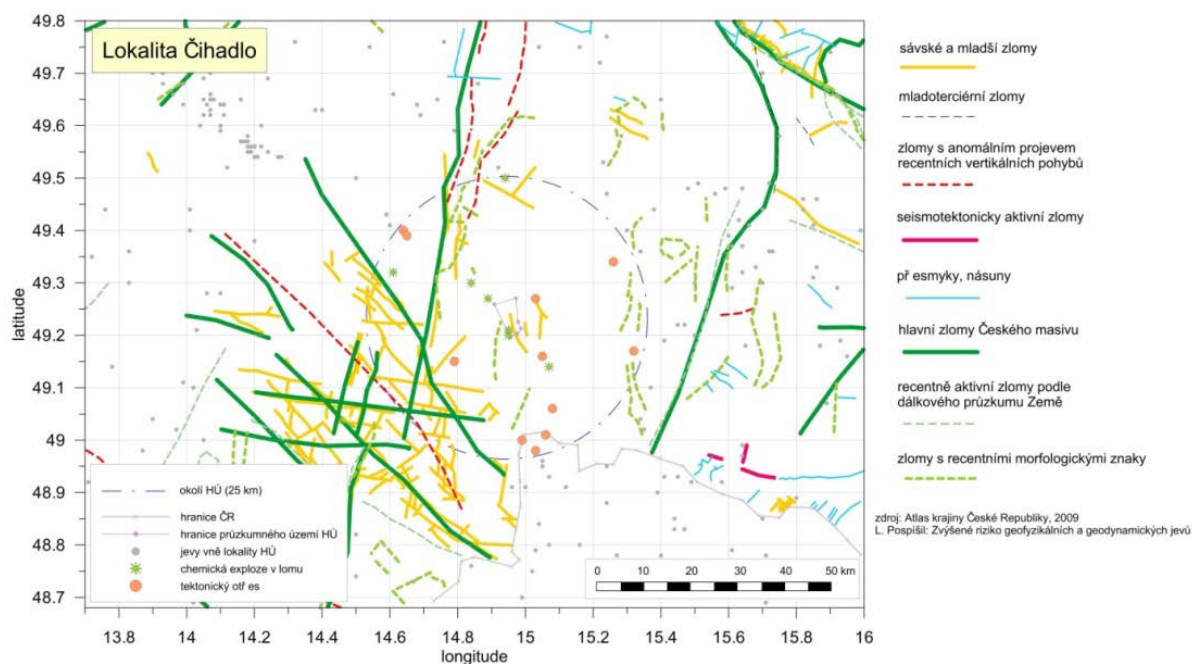
Výsledky studie zemětřesení v okolí potenciální lokality Čihadlo za období 1990–2016 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území jsou uvedeny na Obr. 22. Tektonický jev s maximálním lokálním magnitudem  $M_L = 2,1$  byl zaregistrován dne 2. 1. 1996 (5:05) cca 4 km od hranice polygonu průzkumného území Čihadlo. Jevy vzniklé mimo okolí HÚ jsou vyneseny malými šedými symboly, žádný z jevů nepřesáhl hodnotu lokálního magnituda 5,0.

Výsledek výpočtu neo-deterministickou metodou (Kaláb et al. 2015) pro lokalitu Čihadlo lze stručně shrnout následovně. Z období do roku 1900 mělo největší projev zemětřesení z Niederösterreichu (epicentrální vzdálenost cca 90 km). Vypočtená hodnota pro účinek na povrchu dosáhla maximálního horizontálního zrychlení  $0,103 \text{ m.s}^{-2}$  ( $0,0653 \text{ m.s}^{-2}$  přepočteno do hloubky 500 m). Tatáž veličina byla vypočtena také pro účinek dvou nejsilnějších lokálních

zemětřesení v okolí HÚ. Pro zemětřesení z 2. 1. 1996 byla získána hodnota  $0,518 \text{ m.s}^{-2}$  na povrchu ( $0,22 \text{ m.s}^{-2}$  pro přepočítání do hloubky 500 m), pro zemětřesení z 24. 3. 1999 byla získána hodnota  $0,000187 \text{ m.s}^{-2}$  na povrchu ( $0,000128 \text{ m.s}^{-2}$  pro přepočítání do hloubky 500 m). Výpočet byl realizován v roce 2014, proto není vypočten účinek pro zemětřesení z 19. 3. 2015, který by však byl srovnatelný s účinkem zemětřesení z 24. 3. 1999 (magnitudo srovnatelné, vzdálenost od hranice polygonu je pro zemětřesení z roku 2015 větší).

Souhrnné hodnocení pro lokalitu Čihadlo je založeno na výše uvedených poznátcích, tj. data z archivních materiálů a databáze ČRSS (nejsou k dispozici data z lokální seismické sítě s vysokou citlivostí). Existence zemětřesení s magnitudem nad 5 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území není doložena. Intenzity 8 stupně dle MSK-64 nebylo v daném místě dosaženo. Podle *Interpretace kritérií* z roku 2012 (SÚJB) nesmí být na lokalitě překročena hodnota horizontálního zrychlení 1,5 (až 2,5)  $\text{m.s}^{-2}$ . Výpočty neo-deterministickou metodou ukazují, že tato hodnota byla podkročena cca 3 krát ( $0,518 \text{ m.s}^{-2}$  pro zemětřesení 2. 1. 1996). Přítomnost seismicky aktivního zlomu do vzdálenosti 25 km od vymezeného území není doložena.

**Na základě dostupných dat není na lokalitě Čihadlo z hlediska seismicity překročeno žádné z vylučujících kritérií.**



Obr. 22: Výřez z mapy „Zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů“ (Hrnčiarová et al. 2009) s vyznačením potenciální lokality Čihadlo a okolí HÚ a seismickými jevy z databáze ČRSS

Tab. 11: Databáze zemětřesení v okolí potenciální lokality Čihadlo za období 1990–2016 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území –(podle katalogu ČRSS). Vysvětlení v textu a zprávě Kaláb et al. (2015)

Datum	Čas vzniku			Reg	Souřadnice		Hlo km	Mag	ML	Ty	I0	Centrum	Komentář
	h	m	s		lat	lon							
2.1.1996	5	5	18	547	49,27	15,03	0	0	2,1	T	0	GFU	Jindřichův Hradec
25.7.1996	16	18	41	547	49,39	14,65	0	0	0,9	T	0	GFU	
10.6.1997	16	52	10	547	49,40	14,64	0	0	0,8	T	0	GFU	

Datum	Čas vzniku			Reg	Souřadnice		Hlo km	Mag	ML	Ty	I0	Centrum	Komentář
	h	m	s		lat	lon							
24.3.1999	20	45	39	547	49,06	15,08	0	0	1	T	0	GFU	
29.10.1999	19	33	41	546	48,98	15,03	0	0	0	T	0	GFU	
26.6.2000	3	48	6,9	547	49,15	14,79	0	0	0	T	0	GFU	
13.9.2004	12	8	42	547	49,34	15,26	0	0	0	T		GFU	
27.12.2010	8	42	31	547	49,00	14,99	0	0	0	T	0	GFU	Tektonický jev Suchdol n. L
26.9.2011	18	23	45	547	49,16	15,05	2	0	0	T	0	IPE	Jindřichův Hradec
19.3.2015	19	21	50	546	49,01	15,06	1	0,5	1,2	T	0	IPE	Haugschlag
31.3.2015	21	37	6,9	547	49,17	15,32	2	0,6	0,4	T	0	IPE	u Telče

## B.4.2 Geodynamická stabilita

Zhodnocení lokality z hlediska geodynamické stability zahrnuje vliv geodynamických jevů na pozemek jaderného zařízení, jako je vliv eroze a akumulace sedimentů, možnost zaplavení pozemku a posouzení svahových pohybů snižující jadernou bezpečnost viz vyhláška č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b), § 5 a změn reliéfu, které by v dlouhodobém měřítku mohly vést k exhumaci potenciálního úložiště.

Zhodnocení geodynamické stability vychází ze studie erozní stability perspektivních lokalit HÚ VJP v ČR (Hroch a Pačes 2015). K vyhodnocení geodynamické charakteristiky zájmového území byla použita geomorfologická analýza území zahrnující přítomnost zarovnaných povrchů a jejich pozice k úrovni dnešní erozní báze, akumulací teras a jejich pozice k úrovni dnešní erozní báze, posouzení projevů „mladých“ cyklů zpětné eroze, vizuální interpretace zlomových struktur včetně vizuálního posouzení indikací aktivity pohybů (v součinnosti se seismickou stabilitou). Do hodnocení byla zahrnuta dostupná data o rychlosti eroze na základě historických chemických analýz a datování.

Území HÚ Čihadlo leží při rozvodí 4. řádu, od jihu je území odvodňováno do řeky Nežárky Kamenicí (Radouňský potok a Lodhéřovský potok) a Řečicí. Na území jsou vyvinuty 2 úrovně paleoreliéfu: vyšší úroveň okolo 600 m n. m. se zachovala na relativně rezistentnější poloze masívu monolitického granitu a nižší úroveň paleoreliéfu okolo 450–500 m n. m. a je vyvinuta především na povrchu tvořeným metamorfovanými horninami moldanubika. Místy jsou na této úrovni zarovnaného povrchu zachovány relikty písků a štěrků, jejichž stáří je neznámé, ale litologicky odpovídající zřejmě nejvyššímu členu výplně třeboňské pánve – ledenickému souvrství pliocenního stáří. Regionální erozní báze odpovídá úrovni toku Lužnice v třeboňské pánvi, tj nadmořské výšce cca 410 m n. m., což je cca 190 m pod úrovní vyšší úrovně zarovnaného povrchu a 40 až 90 m pod úrovní nižší zarovnaného povrchu.

Na základě geomorfologické charakteristiky většina území není postižena mladšími cykly zpětné eroze, která vytváří strmé erozní svahy s hlubokými erozními údolími. Erozní údolí mají charakter mírně zahloubených struktur tvaru U. Projevy dnes neaktivní hloubkové eroze jsou zřetelné pouze v údolí Dírenského potoka, který na území vytváří erozní údolí hluboké cca 20–25 m, zařízlé do nižší úrovně zarovnaného povrchu. Říční systém Dírenského potoka má v současnosti meandrující charakter s převahou laterální složky eroze, tzn., že nedochází k prohlubování údolí a zahlubování říčního systému. V přilehlých svazích jsou vyvinuty erozní strže hluboké v řádu prvních metrů. V těchto stržích také nejsou zřejmé

projevy aktivní hloubkové eroze, uzávěry erozních strží nemají vyvinuta výrazná čela zpětné eroze a jejich dna jsou vyplněna aluviálními sedimenty. Celková plocha území pokrývající reliéf přetvářen zpětnou erozí činí cca 11 % celkového území.

O nízkých rychlostech zahloubení drenážního systému vypovídá také zachování reliktů štěrkových akumulací, které se nalézají max. 20–25 m nad úrovní hladiny dnešních toků. Pokud tyto akumulace jsou skutečně pliocenního stáří, pak rychlosti eroze a zahloubení říčního systému odpovídají hodnotám v řádu setin milimetrů za rok, **což je hodnota nepřekračující limit vylučujícího kritéria.**

Archivní údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému na základě výškového rozdílu peneplenizovaných povrchů a zachovalých fluviálních sedimentů jsou dostupné pouze v regionálním měřítku a vztahují se na celé povodí Labe a Vltavy. Na základě analýzy literárních dat v průběhu pleistocénu se pohybovaly 0,02–0,86 mm/rok s tím, že nejvyšší rychlosti byly zaznamenány v průběhu středního pleistocénu a na základě korelace labských a vltavských teras se odhaduje průměrná rychlost výzdvihu centrální části Českého masivu 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  $^{10}\text{Be}$  a  $^{26}\text{Al}$  jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masivu. Z jihozápadního okraje Českého masivu jsou odhady rychlosti eroze 0,023–0,027 mm/rok, z oblasti Šluknovského výběžku jsou v 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.**

Dalším údaje o pohybech zemského povrchu pocházejí z přímého měření pomocí velmi citlivých GPS a 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 masivu udáván údaj 1,1 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.

Na území HÚ Čihadlo jsou geomorfologické prvky, které vykazují vazbu na křehkou tektoniku: přímé svahy s přímým průběhem, přímé úseky toků nebo celých údolí (Hroch a Pačes 2015, Kopačková et al. 2017). Nejvýraznějšími lineárními prvky jsou přímé průběhy ústupových svahů ve směru JZ\_SV východně od Klenova. Totožné směry se také odrážejí přímých úseků drenážní sítě, konkrétně v údolích Dírné a Radouňského potoka. Lineární prvky s orientací SZ-JV se odrážejí v průběhu nevýrazného ústupového svahu jižně od Velkého Ratmýrova nebo v paralelní síti údolí pravobřežních přítoků Radouňského potoka. Významný S-J lineární prvek vázaný na lodhěřovský zlom vytváří přímý úsek erozního Lodhěřovského potoka v centrální části území. Identické směry vykazují vybrané přímé úseky údolí Radouňského potoka na východě území. Tyto geomorfologické formy nevykazují zřetelné



indikace mladých pohybů, jako jsou výrazné hrany a vysoký sklon svahů se systémem krátkých drenážních struktur. Geometrie svahů je modifikována dlouhodobými denudačními procesy, které mění původní geometrii zlomových svahů. Sklony svahů jsou většinou poměrně nízké v důsledku ústupu svahu a procesů dlouhodobé denudace (Hroch a Pačes 2015, Kopačková et al. 2017).

Litologická charakteristika se částečně odráží v charakteru reliéfu. Výskyty granitů a ortorul jsou převážně vázány vyšší úrovní zarovnaného povrchu a přilehlé ústupové svahy, okolní migmatity na nižší úroveň zarovnaného povrchu. Avšak průběh litologického rozhraní mezi oběma jednotkami se v reliéfu výrazně neprojevuje. Podobně ani drobné enklávy metamorfovaných jednotek uvnitř granitu nejsou v charakteru reliéfu zřejmé.

**Na území ani v okolí HÚ nebyly zjištěny svahové deformace ohrožující budoucí HÚ.**

### B.4.3 Postvulkanické jevy

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

### B.4.4 Klimatická stabilita

Studie klimatické stability je založená na rešerši a interpretaci dostupné publikované literatury i nepublikovaných dat ve smyslu cíle projektu, kterým je zhodnocení klimatické stability území lokality HÚ Čihadlo po dobu budoucích 100 tisíc let a vychází ze studie. 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 Čihadlo 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. Současná koncentrace CO<sub>2</sub> v troposféře >400 ppm 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 CO<sub>2</sub> >500 ppm i vyššími. Pokud budou antropogenně zvýšené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> (>300 ppm) 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 CO<sub>2</sub> v troposféře na předindustriální úroveň (<280 ppm). V glaciálních podmínkách by se v nezaledněných oblastech střední Evropy vytvořil permafrost dosahující na lokalitě Čihadlo 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 Čihadlo 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, pokud se koncentrace CO<sub>2</sub> v troposféře sníží na 280–300 ppm, 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 připovrchových kolektorů. Avšak vliv klimatických podmínek na hydrogeologický režim HÚ Čihadlo zůstane obdobný dnešním podmínkám.

#### B.4.5 Celkové expertní zhodnocení lokality Čihadlo z hlediska stability území

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

- Studie seismoaktivních zlomů v okolí potenciálních lokalit HÚ byla zpracována na základě jediné dostupné mapy; pravděpodobně tato mapa není postačující a bylo by nutno realizovat podrobné tektonické mapování a případně i monitoring v potenciální lokalitě HÚ místní seismickou sítí
- Údaje o vertikálních pohybech z GPS měření jsou velmi heterogenní, jelikož použitá metodika je do značné míry závislá na citlivosti a umístění jednotlivých zařízení, krátkém intervalu měření, který lze těžko aproximovat na stovky tisíc let. Data z tohoto zdroje nejsou v souladu s údaji získané jinými metodami (datování stáří



povrchů pomocí izotopů a archivních datech o rychlosti zahlubování drenážního systému na základě výškového rozdílu penepřenizovaných povrchů a zachovalých fluvialních sedimentů).

- Údaje o rychlosti zahlubování drenážního systému na základě výškového rozdílu penepřenizovaných povrchů pochází ze studie terasových systémů Vltavy a Labe a vztažené na celý region. Také studie vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů  $^{10}\text{Be}$  a  $^{26}\text{Al}$  jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masivu. Chybí detailnější analýzy vývoje drenážních systémů v příslušných povodí Nežárky a Lužnice včetně datování povrchů (terasových systémů).

Shrnutí vybraných parametrů indikátorů pro oblast Stabilita lokality Čihadlo 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	0,103 m.s <sup>-2</sup> (0,0653 m.s <sup>-2</sup> přepočít do hloubky 500 m)
Minimální vzdálenost lokality k seismicky aktivnímu zlomu.	VJV směr, ve vzdálenosti cca 50 km od polygonu
Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria).	20–25 m
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).	Cca 11 %
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	Nebyly zjištěny
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. (SÚJB 2016b) posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí hodnotit izolační a zádržné vlastnosti horninového prostředí b kombinaci s uměle vytvořenými překážkami (inženýrskými bariérami). Podle doporučení IAEA (SSR 5], požadavek 16, SSG ) inženýrské bariéry musí být fyzikálně i chemicky kompatibilní s hostitelským horninovým prostředím a celkové projektové řešení úložiště musí být navrženo tak, aby zajistilo bezpečnost po celou dobu životnosti úložiště. Posuzování lokalit z hlediska bezpečnosti je proto třeba vždy vztahovat k navrženému projektovému řešení úložiště a systému inženýrských bariér, který je v českém konceptu tvořen:

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

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

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

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

### B.5.1 Tepelné vlastnosti lokality

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

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

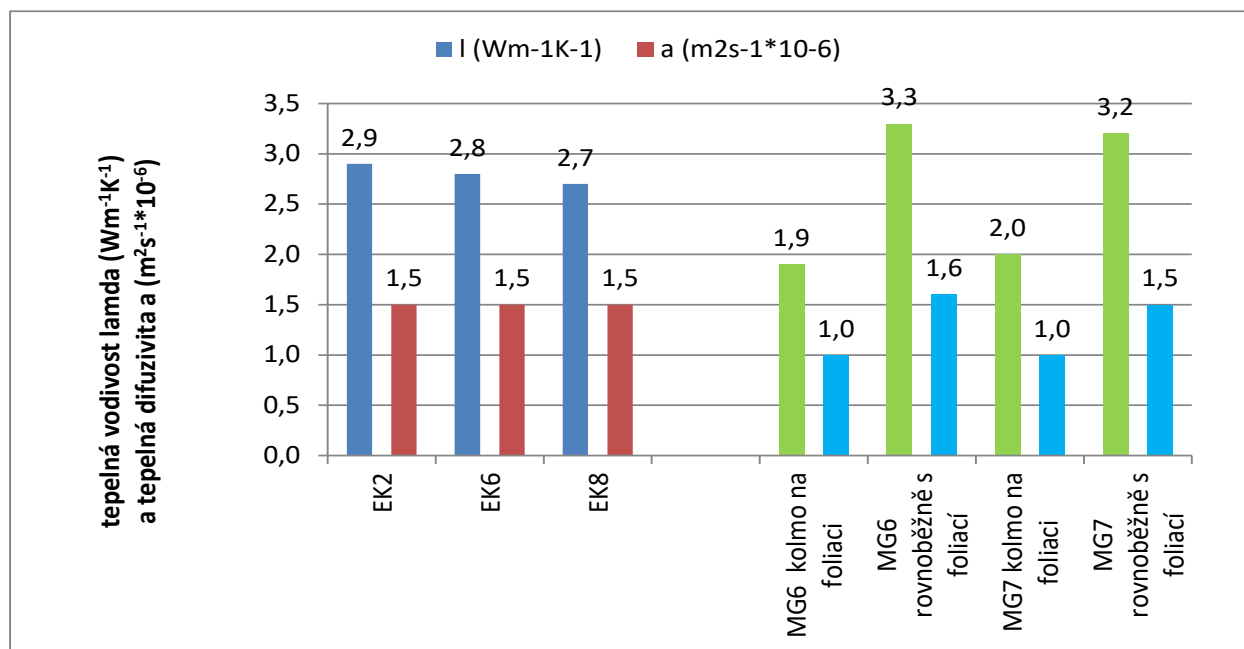
Za kritickou hodnotu bývá považována teplota na rozhraní ukládací obalový soubor/bentonit, která by neměla překročit 100 °C z důvodů snížení rychlosti degradace inženýrských bariér, zejména bentonitu a rovněž z důvodu komplikovanosti hodnocení procesů probíhajících v úložišti při teplotách nad 100 °C.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

V prvních letech provozu HÚ jsou určující pro teplotu na rozhraní UOS/tlumící materiál tepelné vlastnosti bentonitu a tloušťka bentonitové vrstvy obklopující UOS, avšak z dlouhodobého hlediska je rozhodující geometrie úložiště a tepelné vlastnosti horniny (Kobyłka 2016). Tepelné vlastnosti horninového prostředí jsou tak jedním z kritických vstupů pro dimenzování a hodnocení HÚ. Nejdůležitějším parametrem je pak součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ). 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 Čihadlo jsou uvedeny na Obr. 23.



Obr. 23: Tepelná vodivost a tepelná difuzivita u granitů typu Klenov (EK) a migmatitů (MG) – lokalita Čihadlo

Parametry tepelné vodivosti a tepelné difuzivity u granitů klenovského typu (EK) jsou téměř stejné (vodivost ca 2,8  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ , difuzivita 1,5  $m^2 \cdot s^{-1} \cdot 10^{-6}$ ). U jednotlivých vzorků migmatitů (MG) byly tepelné vlastnosti měřeny stejně jako rychlosti a elektrické vlastnosti ve



dvou směrech, kolmo a rovnoběžně s foliací, a to na stejném vzorku, jako předchozí parametry. Rozdíly v hodnotách jsou z grafu dobře patrné. Ve směrech rovnoběžně s foliací jsou hodnoty vyšší, než ve směrech kolmo  $W \cdot m^{-1} K^{-1}$ , kolmo na foliaci pak 1,9, resp. 2,0  $W \cdot m^{-1} K^{-1}$ .

### B.5.2 Hydraulické vlastnosti

Funkčnost inženýrských bariér (IB) ovlivňuje proudění podzemní vody a její chemismus. Směry a rychlosti proudění podzemní vody v granitovém masivu jsou závislé na puklinových systémech v okolí HÚ – rozevření, konektivitě a transmisivitě puklin. Vliv rychlého proudění vody přes úložné vrty má především vliv na rychlost eroze tlumícího 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

Požadavek na hodnocení geomechanických vlastností horninového prostředí, který je uveden v § 18, odst. 2, písm. l) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b) je důležitý zejména z hlediska proveditelnosti úložiště. Může však mít důležitý význam pro hodnocení bezpečnosti úložiště, zejména z důvodu možné poškození úložných míst vlivem odprysku v prostředí vysoké horizontálního napětí v hornině a nízké pevnosti horniny.

Při mechanickém hodnocení horninového prostředí je třeba v zásadě rozlišovat dva jeho podsystémy, a to: samotnou neporušenou horninu a diskontinuity, tj. prvky porušující horninový masiv (pukliny, zlomy, drcená pásma apod.).

V horninovém masivu, nezávisle na něm, existuje primární napjatostní stav horninového masivu. Ten bývá v různých směrech rozdílný. Ve vertikálním směru v hloubce 500 m je litostatický tlak, v závislosti na objemové hmotnosti nadložních hornin, cca 13-15 MPa. S doposud provedených lokálních měření in situ je patrné, že maximální složka horizontálního napětí je v podobných hloubkách obvykle vyšší a může se pohybovat v rozpětí cca 10-70 MPa. Horninový masiv je mechanický systém, který je v konsolidovaných podmínkách v rovnovážném stavu. Změny v napjatostním stavu a jejich anizotropie však vedou k nestabilitě horninového masívu, a to zejména ve výrubech (tunely, vrty).

Jednotlivé typy hornin mají rozdílné fyzikální, mechanické a deformační vlastnosti. Stejně i vlastnosti v rámci jednoho litologického typu vykazují jistou variability vlastností. Při posuzování různých horninových prostředí budou sledovány následující charakteristiky:

- 1) Pevnostní a deformační vlastnosti horniny, které by měly být „standardní“, tj. měly by odpovídat parametrům běžných krystalinických hornin Českého masívu.
- 2) Geomechanické (geotechnické) vlastnosti litologických typů hornin tvořících hostitelské prostředí (potenciálně využitelný blok) by měly být pokud možno co nejvíce homogenní.
- 3) Horninový masiv by měl vykazovat co možná nejmenší tektonické postižení, projevující se křehkými a duktilními deformacemi horniny a stupněm přeměny.
- 4) Napjatostní stav by neměl dosahovat „extrémních“, hodnot a měl by být co možná nejvíc izotropní. V úložných prostorách nesmí dosahovat hodnot, které by mohly způsobit excesivní deformace stěn výrubů („spalling“, porušení pevnosti stěn apod.).



Velmi nepříznivé mechanické vlastnosti horninového prostředí mohou mít hodnoty vylučující umístění úložiště v lokalitě či jeho vybudování může vyžadovat jiné technické řešení, například řešení chodeb a úložných prostor vzhledem ke směru maximální složky horizontálního napětí.

Výčet jednotlivých parametrů definovaných v rámci kritéria mechanických vlastností hornin spolu s uvedením jejich vlivu a případnou kvantifikací je uveden v následujících tabulkách.

Tab. 13: Mechanické vlastnosti horninového prostředí s uvedením hlavních vlivů na stabilitu úložiště

Posuzovaný parametr	Vliv parametru
Pevnost intaktní horniny v prostém tlaku	Vliv na stabilitu horninového masivu jakožto přírodní bariéry úložiště.  Vliv na rozsah a charakter zóny ovlivnění vyvolané razícími pracemi.
Modul přetvárnosti intaktní horniny v prostém tlaku	
Poissonovo číslo intaktní horniny v prostém tlaku	
Napěťový stav horninového masivu	

Tab. 14: Hodnotící kritéria mechanických vlastností horninového prostředí s uvedením trendu a kvantifikace vhodnosti

Popis kritéria	Kvantifikace / trend kritéria
Pevnost intaktní horniny v prostém tlaku	Horniny s vyššími pevnostmi budou obecně lépe odolávat nepříznivým napěťovým stavům, projevujícím se koncentracemi napětí v blízkosti líce výrubu a následným poškozením samotné horniny, která je v těchto oblastech k porušování náchylnější.  Obecně rovněž platí, že čím je pevnost hornin, v nichž je raženo důlní dílo, vyšší, tím je rozsah zóny ovlivnění vyvolané vlastní ražbou menší.  Extrémně vysoké hodnoty pevností průvodních hornin mohou, na druhé straně, mít vliv na vysoké hodnoty abrazivnosti, tj. na výrazné mechanické opotřebení rozpojovacích nástrojů během razících prací.  Průměrná hodnota pevnosti intaktních vzorků horniny v prostém tlaku by měla být vyšší než 100 MPa.
Modul přetvárnosti intaktní horniny v prostém tlaku	Trend kritéria je v úzkém vztahu s trendy definovanými pro pevnost intaktní horniny v prostém tlaku.  Limitní hodnoty parametru by měly být v souladu s kvantifikací provedenou pro pevnost intaktní horniny v prostém tlaku a odpovídat přetvárným parametrům běžných krystalinických hornin Českého masivu. Interval vhodnosti lze zhruba definovat hodnotami 10 - 80 GPa.
Poissonovo číslo intaktní horniny v prostém tlaku	Trend kritéria je v úzkém vztahu s trendy definovanými pro pevnost intaktní horniny v prostém tlaku.  Limitní hodnoty parametru by měly být v souladu s



Popis kritéria	Kvantifikace / trend kritéria
	kvantifikací provedenou pro pevnost intaktní horniny v prostém tlaku a odpovídat přetvárným parametrům běžných krystalinických hornin Českého masivu. Interval vhodnosti lze zhruba definovat hodnotami 0,10 - 0,30.
Napěťový stav horninového masivu	<p>Napěťový stav v horninovém masivu by neměl dosahovat „extrémních“ hodnot a měl by být pokud možno co nejvíce izotropní. V úložných prostorách nesmí napětí dosahovat hodnot, které by mohly způsobit deformace stěn (např. spalling) výrubů nebo vývrtů.</p> <p>V oblasti Českého masivu bylo dosud provedeno minimum měření orientace a velikosti napětí horninového masivu in situ. V souladu s některými publikovanými zahraničními doporučeními (Andersson et al. 2000) by se velikost většího z horizontálních napětí měla pohybovat výrazně pod hodnotou 70 MPa.</p>

Klenovský masiv, kde je lokalita Čihadlo, je dílčím intruzivním tělesem moldanubického plutonického komplexu, má přibližně oválný tvar a je protažen ve směru SV-JZ v délce přibližně 25 - 30 km a největší šířce zhruba 6 - 8 km. Petrograficky se jedná o poměrně homogenní těleso, budované dvojslídny, muskoviticko-biotitickými granity eisgarnského typu s./.

Hodnocení mechanických vlastností hornin kandidátní lokality Čihadlo bylo provedeno na základě definovaných a přijatých kritérií vhodnosti, které zahrnují:

- Pevnost intaktní horniny v prostém tlaku,
- Fyzikální a technologické 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 údaji z archivu vlastností hornin ÚGN AV ČR, v. v. i. Na průzkumném území kandidátní lokality Čihadlo se nachází jediné těžené ložisko stavebního kamene, lom Deštná, ve kterém probíhá těžba nepřetržitě od počátku 50. let 20. století. Současným vlastníkem lomu je společnost Kamenolomy ČR, s.r.o., Ostrava – Svinov, těžená hornina slouží pro výrobu drceného kameniva. Veškeré níže uvedené materiálové parametry dvojslídnych granitů byly získány na vzorcích, odebraných v různých časových obdobích v tomto lomu.

Tab. 15: Přehled základních fyzikálních a mechanických vlastností dvojslídnych granitů z lomu Deštná

Vlastnost	Rybařík et al. (1964)	databáze ÚGN	Petružálek (2017)	Hanák et al. (2017)
Měrná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	2648	není stanoveno	2676	2637
Směrodatná odchylka [kg.m <sup>-3</sup> ]	6		-	2
Počet měření	20		3	9
Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	2625	2618	2618	není stanoveno

Vlastnost	Rybařík et al. (1964)	databáze ÚGN	Petružálek (2017)	Hanák et al. (2017)
Směrodatná odchylka [kg.m <sup>-3</sup> ]	8	11	8	
Počet měření	20	49	10	
<b>Celková pórovitost [%]</b>	<b>0,86</b>	není stanoveno	<b>2,17</b>	<b>0,65</b>
Směrodatná odchylka [%]	0,23		-	0,01
Počet měření	20		3	9
<b>Nasákavost [%]</b>	<b>0,27</b>	<b>0,24</b>	není stanoveno	není stanoveno
Směrodatná odchylka [%]	0,08	0,08		
Počet měření	20	15		
<b>Rychlost šíření podélných ultrazvukových vln [m.s<sup>-1</sup>]</b>	není stanoveno	<b>5260</b>	<b>4799</b>	<b>5771</b>
Směrodatná odchylka [%]		200	32	41
Počet měření		18	10	3
<b>Abrazivnost [mg.m<sup>-1</sup>]</b>	není stanoveno	<b>11,46</b>	není stanoveno	není stanoveno
Směrodatná odchylka [mg.m <sup>-1</sup> ]		0,89		
Počet měření		12		
<b>Pevnost v prostém tlaku [MPa]</b>	<b>182</b>	<b>191</b>	<b>227</b>	není stanoveno
Směrodatná odchylka [MPa]	22	29	50	
Počet měření	30	18	5	
<b>Modul přetvárnosti [MPa]</b>	není stanoveno	<b>44550</b>	<b>61400</b>	není stanoveno
Směrodatná odchylka [MPa]		4072	2600	
Počet měření		18	5	
<b>Poissonovo číslo [-]</b>	není stanoveno	<b>0,20</b>	<b>0,19</b>	není stanoveno
Směrodatná odchylka [-]		0,03	0,03	
Počet měření		18	5	

Na základě dosavadních znalostí mechaniky hornin a představ o geotektonickém vývoji Českého masivu během variské orogeneze lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že primární, izotropní litostatické napěťové pole horninového masivu ( $S_v=S_H=S_h$ ) může být výrazně ovlivněno a deformováno tektonickými, popřípadě reziduálními silami. Tento předpoklad však je možno, bohužel, ověřit pouze přímými měřeními napětí horninového masivu in situ. Kvalifikovaným způsobem lze odhadnout pouze velikost vertikální složky napětí, která při objemové hmotnosti nadložních granitoidů přibližně 2620 kg.m<sup>-3</sup> bude v předpokládané úložné hloubce 500 m pod povrchem činit cca 13 MPa. Přestože v rámci Českého masivu bylo dosud provedeno minimální množství měření napěťových poměrů horninového masivu, lze dle světové databáze napětí očekávat generální trend působení maximální složky horizontálního napětí přibližně ve směru S-J. Tuto předpokládanou



orientaci maximálního horizontálního napětí pak také potvrzují měření napěťového stavu horninového masivu in situ, provedená v poslední době (např. Souček et al. 2017).

Celkově tedy lze konstatovat, že granitoidní horniny lokality Čihadlo, vyznačující se fyzikálními, mechanickými a přetvárnými vlastnostmi výše uvedenými, mohou představovat dostatečně vhodné prostředí pro zajištění dlouhodobé stability přírodní bariéry úložiště. Je však třeba důrazně upozornit, že vlastnosti hornin stanovené laboratorně na intaktních (neporušených) vzorcích nelze prostým způsobem zevšeobecnit a vztáhnout na vlastnosti celého horninového masívu. Vlastnosti horninového masívu jsou totiž, kromě vlastností samotné horninové materie, výrazně ovlivňovány i strukturně-tektonickou stavbou masívu, litologickou rozmanitostí, hydrogeologickými poměry apod.

#### B.5.4 Geochemické vlastnosti

Podle § 18, odst. 2, písm. k) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 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 3018).

Na základě dostupných informací o lokalitě Čihadlo (Havlová et al. 2015) bylo provedeno zhodnocení dle vybraných kritérií v následující tabulce. Jediným relevantním zástupcem vod hlubšího oběhu na lokalitě Čihadlo byl vytipován vrt DE-2 (hloubka 80 m, analýza z roku 1985). Tato jediná analýza byla použita pro hodnocení lokality Čihadlo a poukazuje na naprostý nedostatek dat.

Tab. 16: Vybraná geochemická indikátory lokality Čihadlo

Popis indikátoru	Hodnocení
Hodnota pH	pH = 6,9
Hodnota Eh	Nejsou dostupná data, kritérium nelze hodnotit





Rozpuštěný kyslík	Nejsou dostupná data, kritérium nelze hodnotit
Rozpuštěný CO <sub>2</sub> (TIC)	pCO <sub>2</sub> = 10 <sup>-1.85</sup>
Celkové rozpuštěné látky (TDS)	Hodnota TDS = 213 mg·l <sup>-1</sup>
Koncentrace K <sup>+</sup> a Fe <sub>total</sub>	Hodnoty K <sup>+</sup> = 1,5 mg·l <sup>-1</sup> a Fe <sub>tot</sub> = 0,31 mg·l <sup>-1</sup>
Koncentrace agresivního (volného) oxidu uhličitého v kombinaci s nízkým pH podzemní vody	CO <sub>2</sub> = 9,2 mg·l <sup>-1</sup> a pH = 6,9
Suma molární koncentrace dvojmocných iontů	suma Ca <sup>2+</sup> a Mg <sup>2+</sup> = 2,2 mmol·l <sup>-1</sup>
Celková koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC)	Nejsou dostupná data, kritérium nelze hodnotit

### B.5.5 Mikrobiologické vlastnosti

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

Tab. 17: Mikrobiologické parametry a jejich vliv

Mikrobiologický parametr	Negativní vliv
Přítomnost mikroorganismů (obecně)	Produkce plynů a změny tlaků, urychlení koroze UOS
Přítomnost síran-redukujících bakterií (SRB)	Především mikrobiálně indukovaná koroze UOS, produkce plynů a změny tlaků
Přítomnost železo-redukujících bakterií (IRB)	Mikrobiálně indukovaná koroze UOS, destabilizace montmorillonitu, produkce plynů a změny tlaků
Přítomnost mangan-redukujících bakterií	Mikrobiálně indukovaná koroze UOS, produkce plynů a změny tlaků
Přítomnost denitrifikačních bakterií	Produkce plynů a změny tlaků
Přítomnost metanogenních organismů	Produkce plynů a změny tlaků; vznikající metan může být donorem elektronů pro SRB, IRB či další skupiny bakterií

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Přítomnost acetogenních bakterií	Produkce plynů a změny tlaků, koroze mědi; vznikající acetát může být donorem elektronů pro SRB, IRB či další skupiny bakterií
----------------------------------	--

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.

Tab. 18: Hodnotící kritéria (přímá a nepřímá) pro zhodnocení vlivu mikrobiálních vlastností na slučitelnost lokality s inženýrskými bariérami

<b>Hodnotící kritéria – přímá</b>	
<b>Popis kritéria</b>	<b>Kvantifikace / trend kritéria</b>
Přítomnost mikroorganismů	Přítomnost mikroorganismů je obecně nežádoucí. Čím menší je jejich zastoupení v hornině a podzemní vodě, tím je ohrožení inženýrských bariér nižší. Limitní množství (vylučovací parametr) však nelze stanovit.
Zastoupení SRB, IRB, mangan-redukujících, metanogenních a acetogenních bakterií	Zastoupení těchto skupin mikroorganismů musí být natolik nízké, aby nebyla výrazně ovlivněna korozní rychlost materiálů UOS a narušena struktura bentonitu. Limitní množství nelze stanovit.
<b>Hodnotící kritéria – nepřímá</b>	
<b>Popis kritéria</b>	<b>Kvantifikace / trend kritéria</b>
Koncentrace rozpuštěného kyslíku	Optimálně žádný rozpuštěný kyslík.
Přítomnost podzemních plynů, zejména H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Optimálně velmi nízké koncentrace plynů. Pro stanovení limitního množství chybí relevantní údaje.
Koncentrace TOC (resp. DOC)	Koncentrace musí být natolik nízké, aby nedocházelo k rozvoji mikrobiální aktivity. Pro stanovení limitního množství chybí relevantní údaje.
Koncentrace NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S <sub>total</sub> , Fe <sub>total</sub> a Mn v podzemní vodě	Koncentrace musí být natolik nízké, aby nedocházelo k rozvoji mikrobiální aktivity. Pro stanovení limitního množství chybí relevantní údaje.
Přítomnost minerálů obsahujících Fe, Mn a S	Zastoupení takovýchto minerálů by mělo být co nejnižší, aby nedocházelo k rozvoji SRB, IRB a mangan-redukujících bakterií.
Rychlost průtoku podzemní vody	Čím nižší rychlost průtoku podzemní vody, tím lepší, jelikož nebude docházet k dotaci systému donory a terminálními akceptory elektronů. Přesnou hodnotu nelze stanovit.
Míra heterogenity prostředí	Čím méně bude okolní prostředí (hornina a podzemní voda) heterogenní, tím nižší pravděpodobnost mikrobiální aktivity.



Hodnocení lokality Čihadlo je provedeno na základě dostupných hydrochemických, geochemických a mineralogických informací. Reálná data pro vlastní prostor budoucího HÚ nejsou, bohužel, dostupná a tak jsou údaje extrapolovány z dostupných dat. Je však třeba vzít v potaz, že se podmínky v plánovaném prostoru budoucího HÚ mohou od dostupných dat výrazně lišit.

### **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).

### **B.5.7 Celkové expertní zhodnocení lokality Čihadlo z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami**

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

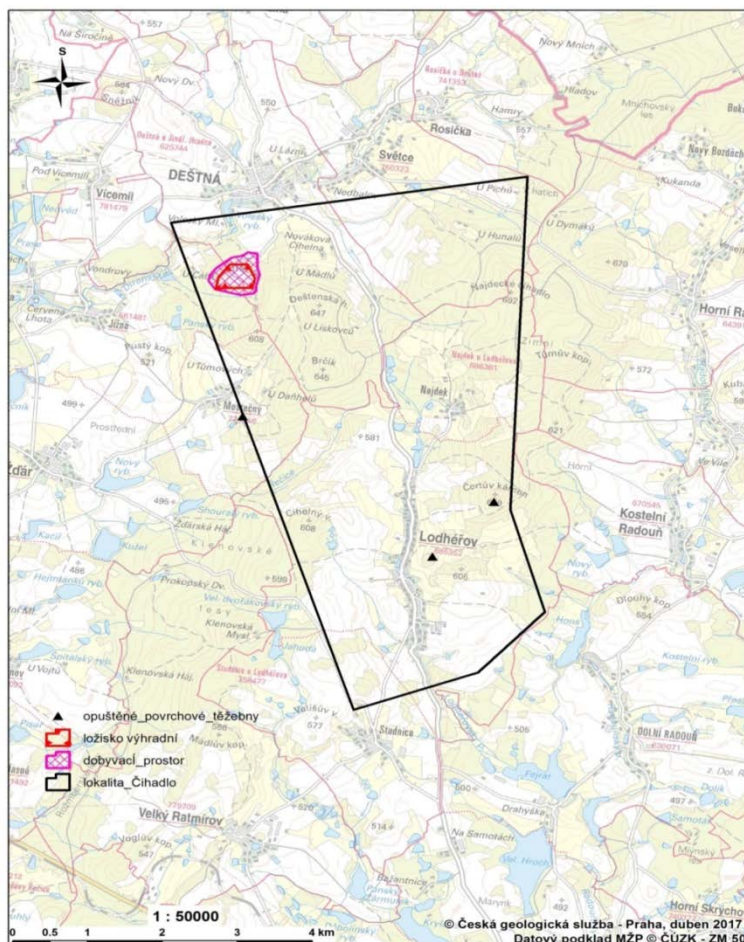
### B.6.1 Ložiskové poměry na lokalitě

Geologickým a ložiskovým průzkumem docházelo v průběhu doby k vymezení ložisek a prognózních zdrojů nerostných surovin. Stanovení kontur kategorizovaných zásob a ložisek, případně prognózních zdrojů nerostných surovin, bylo pak závislé na jejich potřebě, kvalitě, dostupnosti a na technických možnostech těžby. Některé zásoby a ložiska byly později přehodnoceny (zrušeny) nebo odepsány. Zásoby a prognózní zdroje nerostných surovin jsou na lokalitě Čihadlo přítomny v jednom ložisku a ve třech prognózních zdrojích. Jde pouze o suroviny stavební – kámen/drcené kamenivo a kámen pro hrubou a ušlechtilou kamenickou výrobu. K sestavení ložiskové části kapitoly byly využity údaje SurIS a elaboráty geologického průzkumu.

#### Ložisko Deštná (surovina stavební kámen)

Podle § 15 odst. 1 písm. g) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b) dobývací prostory (DP). Při sz. okraji lokality, asi 230 m od z. ohraničení a 560 m od jeho s. ohraničení je situován DP 70845 Deštná. Rozkládá se na k. ú. 625 744 Deštná u Jindřichova Hradce a k. ú. 661

481 Jižná. Dobývací prostor byl stanoven pro výhradní ložisko stavebního kamene B 3157100 Deštná. Obrys DP má podle údajů v SurlS generelně trojúhelníkový tvar. Jeho max. rozměr ve směru V-Z činí cca 660 m, ve směru S-J cca 610 m. Centrální část DP leží na přibližných souřadnicích  $X = 1\,139\,800$ ,  $Y = 719\,330$ . Výměra DP podle údajů v SurlS činí  $0,3083735\text{ km}^2$ . Uvnitř DP jsou vymezeny zásoby výhradního ložiska B 3157100 Deštná, které jsou v současné době rozpojovány za použití trhavin.



Obr. 24: Situace ložiskových objektů v průzkumném polygonu lokality Čihadlo a v jeho okolí

## B.6.2 Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla

Na lokalitě Čihadlo se nalézají tři dávno opuštěné stěnové lomy v granitoidech. Jejich délky jsou 20–100 m, výšky stěn činí 7–12 m. Jejich ložiskové poměry se příliš neliší od ložiska Deštná. Dvě lokality jsou při V a Z hranici lokality a jedna je v. u obce Lodhěřov v j. polovině území. Lokality byly sledovány při geologickém průzkumu a došlo na nich k odhadu prognózních zásob (Samek 1972; Tichý 1970), s nimiž se v současnosti nepočítá. V rámci zpracování této zprávy nebyl současný stav těchto těžeb zjišťován. Nutno též dodat, že nelze vyloučit budoucí snahy o ověření a využití známých míst s bývalou těžbou kamene, popř. nových míst k tomuto záměru geologicky a morfologicky vhodných.

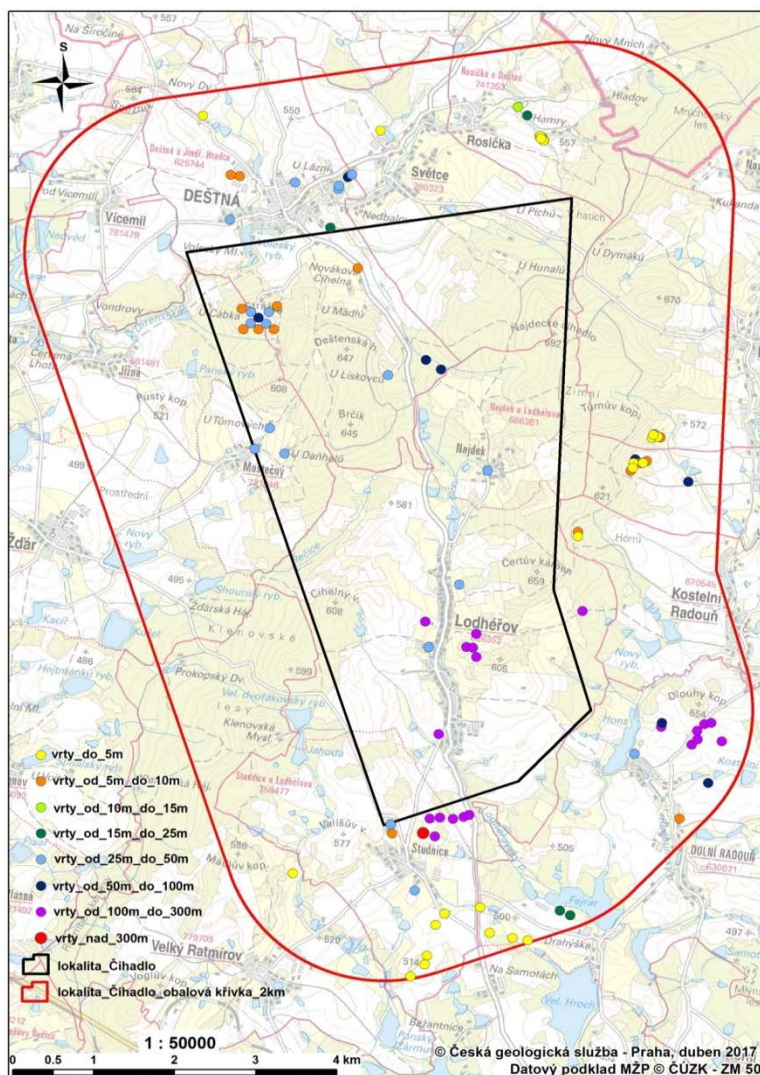
Pro území V od polygonu Čihadlo existují ložiskové, geofyzikální a geologické mapy, které charakterizují pásmo výskytů uranové mineralizace v okolí bývalého uranového ložiska u Okrouhlé Radouň. Doposud indikované mineralizace sledují především severojižní a SSV-JJZ poruchové zóny směřující převážně mimo vytýčený polygon. Další průzkumy byly zaměřeny na drobné výskyt Sn-W mineralizací.



Na lokalitě Čihadlo nejsou registrována žádná stará (SDD) ani opuštěná (ODD) důlní díla a nehrozí tedy střet s vylučujícími podmínkami vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b).

### B.6.3 Vrtná prozkoumanost

Zájmové území vymezené polygonem a obalovou křivkou ve vzdálenosti 2 km, ve kterém je zanesena situace průzkumných a účelových vrtů s barevným odlišením podle hloubky je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 25: Přehled vrtů v širším okolí lokality Čihadlo rozlišených podle hloubky

Ve vzdálenosti větší než 2 km od východní hranice polygonu leží oblast s řadou hlubokých objektů provedených v rámci ložiskového průzkumu.

Výčet všech vrtů pouze z polygonu lokality Čihadlo je podán v následující tabulce. V oblasti vymezené určeným polygonem je evidováno 26 průzkumných sond. Jediný objekt hlubší než 300 m leží mimo polygon v těsné blízkosti jeho jižního okraje.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 19: Přehled vrtů z polygonu rozdělených podle dosažené hloubky

Hloubka [m]	Počet
5–10	6
15–25	2
25–50	9
50–100	3
100–300	6
300–1000	0

Rozmístění vrtů na sledovaném území je silně nerovnoměrné, hlubší vrtý jsou koncentrovány do okolí Studnice.

#### B.6.4 Zdroje podzemních vod

V průzkumném polygonu lokality Čihadlo je evidováno celkem 10 hydrogeologických vrtů a vrtů s dokumentací využitelnou v sumarizaci zdrojů podzemních vod (především vrtý s karotážním měřením).

Tab. 20: Stav, současné využívání a vybrané parametry využívaných hydrogeologických objektů evidovaných v oblasti vymezené průzkumným polygonem Čihadlo

klíč gdo	původ ozn	lokalita	hloubka [m]	stav	využití	čerp	chem
406742	HJ-1	Lodhěřov	27,5	využíván	průzkumný objekt	x	x
406761	DE-1	Deštná u J. Hradce	80	využíván	odběr vody pro vodárenské zásobování	x	x
406762	DE-2	Deštná u J. Hradce	80	využíván	odběr vody pro vodárenské zásobování	x	x
684568	MO-1-07	Mostečný	49	využíván	odběr vody pro individuální zásobování	x	
686381	HV-1	Deštná u J. Hradce	25	využíván	odběr vody pro individuální zásobování	x	x
687861	NV-1	Najdek u Lodhěřova	30	využíván	odběr užitkové vody	x	
692894	Ld-1-08	Lodhěřov	25	využíván	odběr vody pro individuální zásobování	x	
705337	HV-1	Mostečný	33	využíván	rezervní vodní zdroj	x	x
709616	MS-1	Mostečný	30	využíván	odběr vody pro individuální zásobování	x	x

Zvodnění hlavního kolektoru krystalinika není dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, vyskytují se zde jen lokální zdroje podzemních vod. Využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují 1 l.s<sup>-1</sup>. Zásobování obyvatel pitnou vodou zajišťují v naprosté většině obecní vodovody. Zdrojem podzemních vod jsou převážně pramenní jímky a mělké studny umístěné v místech přirozených vývěřů vod (prameniště). Tyto zdroje jímají podzemní vodu mělkého oběhu ze svahových sedimentů, zvětralinového

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

pláště a svrchní části zóny přípovrchového rozpojení puklin. Hloubkový dosah těchto zdrojů je první desítky metrů, do hlubších částí klenovského plutonu nezasahují.

### **B.6.5 Potenciál geotermální energie**

Pro lokalitu Čihadlo je možné za základní pozadí považovat teplotu okolo 17 °C v hloubce 500 m a tepelný tok na povrchu v intervalu 50–60 mW/m<sup>2</sup>. To jsou hodnoty v rámci území České republiky průměrné, z čehož lze usuzovat, že riziko konfliktu s využíváním geotermální energie pro průmyslové využití je na této lokalitě minimální.

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

Z analýzy plyne, že území lokality Čihadlo a její ložiskové parametry v současném pojetí ochrany nerostných surovin nepředstavují střety s kritérii pro umístění hlubinného úložiště, větší pravděpodobnost střetu může nastat při případné změně či novému vymezení chráněných ložiskových území a změně hloubkového dosahu ložiska Deštná.

Nejistotu představuje velikost a význam vodních zdrojů a hloubkový i směrný dosah jejich zdrojových území. V lokalitě jsou indikována ochranná pásma podzemních vod, což může indikovat překážku ke splnění kritéria vhodnosti lokality uvedenou v § 8 odst. 2) vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b), která zakazuje umístění jaderného zařízení při existenci významných útvarů podzemních vod. Zvodnění hlavního kolektoru krystalinika však není dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, vyskytují se zde jen lokální zdroje podzemních vod. Využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují 1 l.s<sup>-1</sup>. Zásobování obyvatel pitnou vodou zajišťují v naprosté většině obecní vodovody.

Určitou nejistotu v kritériu geotermální energie lze spatřovat v nedostatečné legislativní definici zdroje geotermální energie pro naše území, neboť současné technologie umožňují získávání energie i z nízkoteplotních geotermálních zdrojů bez vazby na přirozené geotermální anomálie, pro něž je lokalita Čihadlo bez rizika.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

## 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. (SÚJB 2016b). Podrobně jsou všechny vlastnosti lokality související s provozní bezpečností hodnoceny ve technické zprávě SÚRAO (Čechák et al., 2018).

### B.7.1 Seismicita

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

### B.7.2 Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem

V okruhu 25 km nebyl nalezen žádný potenciálně aktivní zlom.

### B.7.3 Povodně

Záplavová území Q100 včetně aktivních jsou stanovena na Dírenském potoce v severozápadním cípu zájmové lokality. Povrchový areál se nachází zhruba na rozvodnici Lodhěřovského a Radouňského potoka. Záplavové území Q100 stanovené na Radouňském potoce se v nejbližším místě k povrchovému areálu na rybníku Hons nachází v nadmořské výšce cca 504 m n.m. Výškový rozdíl oproti povrchovému areálu činí cca 14 m. Umístění povrchového areálu, větrací šachty i oblast podzemního areálu leží mimo stanovená záplavová území.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

#### **B.7.4 Oběh podzemní vody z hlediska vlivu na povrchová zařízení**

V přípovrchových vrstvách lokality Čihadlo převažuje průlinová pórovitost. Hloubkový dosah lze na základě archivních podkladů v zájmové oblasti odhadovat na 5-10 m pod terénem. Tato mělká podzemní voda je zadržována na relativně méně propustném granitoidním podkladu a byla využívána kopanými studněmi hloubky 5-6 m. Oběh podzemní vody má většinou lokální charakter. Propustnost této zóny je ovlivněna zejména různou intenzitou zvětrání.

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

Zájmové území je z velké části překryto málo mocnými kvartérními uloženinami. Zejména se jedná o deluviální sedimenty, které jsou nehomogenní, s různou zrnitostí. Nejhrubší deluvia jsou kamenité a kamenito balvanité sutě vyskytující se v okolí některých vrcholů. Směrem do nižších pozic terénu, kde se nachází i užší zájmové území povrchového areálu, lze obecně předpokládat postupné zjemňování deluvií. Na základě archivních podkladů lze očekávat, že se bude mocnost deluvií pohybovat v rozmezí 1 – 2 m.

Případné zjištění nevhodných vlastností základových půd pod povrchovým areálem HÚ v další etapě prací neovlivní využitelnost lokality, neboť areál může být umístěn do jiného místa vzdáleného do cca 5 km od homogenních bloků.

#### **B.7.6 Klimatické a meteorologické jevy**

Území lokality Čihadlo náleží do mírně teplého klimatického regionu charakterizovaného normálním až krátkým létem, mírným až mírně chladným, suchým až mírně suchým, 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. Převládající směr větru je západní až severozápadní. Podrobnosti o klimatických meteorologických vlastnostech území jsou uvedeny ve zprávách: Nývlt a Dobrovolný (2015) a Quitt et al. (1971).

#### **B.7.7 Biologické jevy**

Území zájmové lokality tvořeno zejména obdělávanou zemědělskou půdou a lesními porosty. Jeho ekologická stabilita je celkově dobrá. V území se nachází četné rybníky, kolem vodotečí liniová zeleň.

V zájmové lokalitě se vyskytují zvláště chráněné druhy rostlin a živočichů, které jsou z velké části vázány na vodní prostředí a vlhké až podmáčené půdy a mokřady. V lesních porostech hnízdí ptáci. Napříč územím vede dálkový migrační koridor savců, zhruba kopírující vymezený regionální ÚSES. Lokality soustavy Natura 2000 ani zvláště chráněná území v oblasti nejsou zastoupeny.

Povrchový areál se nachází na zemědělské půdě, na jihovýchodě se nachází lesní porosty. Druhová diverzita lokality Čihadlo je vcelku spíše podprůměrná a odpovídá poměrům v kulturní zemědělské krajině.

Biologické jevy v lokalitě jsou zásadním způsobem ovlivněny zemědělským hospodařením. Z tohoto hlediska lze předpokládat, že intenzivní hnojení, a zejména hnojení organické, a

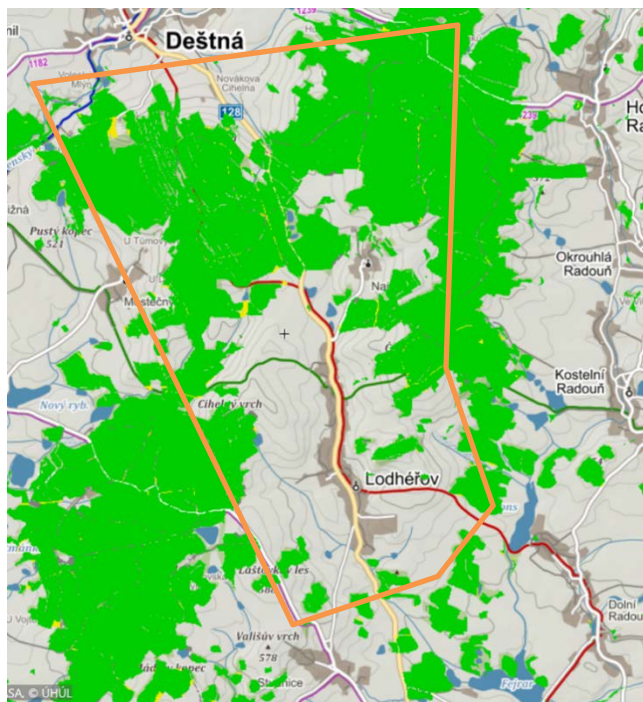




pesticidy mají výrazný vliv na mikrobiální aktivity v půdě, v přípovrchové zvodni i v povrchových vodách a také na jejich chemické složení (např. ionty  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ) s následným vstupem do potravinových řetězců.

### B.7.8 Přírodní požáry

Z celkové plochy zájmové lokality činí plochy lesních porostů 48,02 %, což odpovídá 12,279  $\text{km}^2$ .



Obr. 26: Rozsah a rozložení pozemků určených k plnění funkce lesa v lokalitě Čihadlo

Navrhované umístění pozemního areálu do lesa v malé míře zasahuje. Z důvodu provedení volného prostoru v šířce 15 m vně oplocení pozemního areálu dojde k částečnému kácení tohoto lesa na hranici se stávajícími polními pozemky. Ke kácení je určeno cca 670  $\text{m}^2$ . Předpokládá se náhradní výsadba za vykácené stromy.

Ohrožení provozu HÚ se tak i v případě požáru nejbližšího lesa nepředpokládá.

### B.7.9 Pád letadla a jiných objektů

Posuzování území k umístění jaderného zařízení z hlediska pádu letadla a jiných objektů musí být provedeno stanovením pravděpodobnosti pádu letadla a jiných objektů, jehož důsledky překonají projektem jaderného zařízení předpokládanou odolnost systémů, konstrukcí a komponent s vlivem na jadernou bezpečnost (§ 13 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b)). Nad zájmovým územím prochází v jeho severní části dva letové koridory, a to: letová trasa T709, typ tratě ATS a letová trasa Z21, typ tratě ATS. Nad předpokládaným povrchovým areálem lokality Čihadlo nevede žádný letecký koridor horního vzdušného prostoru. Na podkladě výše zmíněného shrnutí lze hodnotit riziko dopadu místních letadel v kategorii méně než  $10^{-7}$  a dodatečné podrobné analýzy musí být provedeny pouze v případě závažných změn stávající situace během příštích desetiletí.



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

V okolí povrchového areálu je provozováno několik menších zemědělských výroben a drobná doplňující výrobní činnost v Lodhěřově, Dolní Radouni nebo Kostelní Radouni. Významnější z hlediska rizik výbuchů a požárů jsou přepravy výbušných nebo hořlavých látek po silnici č. 128 (vzdálené cca 1 km od povrchového areálu) nebo po silnici spojující Dolní Radouň a Kostelní Radouň (vzdálené cca 1,5 km od povrchového areálu). Přeprava výbušných nebo hořlavých látek po úzkorozchodné železniční trati č. 228 (vzdálené cca 4 km od povrchového areálu) se nepředpokládá. Vzdálenost od železniční tratě č. 225 je již 5 km.

Kamenolom Deštná je ve vzdálenosti cca 6,5 km od povrchového areálu, ale pouze cca 1 km od podzemního areálu.

Nejvýznamnějším rizikem je tak přeprava travin pro výstavbu HÚ po příjezdni komunikaci nebo vlečce do povrchového areálu.

Vzhledem k rizikům identifikovaným výše bude scénář požárů a výbuchů majících původ v činnosti člověka definován a analyzován v návaznosti na podrobnější plán přepravy travin a hořlavých látek potřebných pro výstavbu HÚ za provozu HÚ.

Ohrožení HÚ plynoucím z důlních otřesů se nepředpokládá, podrobnější analýzy mohou být předmětem dalších průzkumů.

### B.7.11 Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy

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

#### B.7.11.1 Silniční ochranná pásma

Průzkumným územím procházejí silnice II. a III. třídy. V severojižním směru je středem lokality vedena silnice II/128 Pacov - Jindřichův Hradec - Nová Bystřice. Lokalita je dále obsluhovaná silnicemi III/12840 Najdek - Lodhěřov, III/12841 Tučapy – Studnice, III/12842 Mostečný - Pluhův Žďár a z východní strany silnicí III/12812 Okrouhlá Radouň – Jindřichův Hradec. Napojení na silniční síť I. třídy zajišťuje silnice II/128 s návazností na silnici I/23 v Jindřichově Hradci (cca 5 km jižně od lokality).

Ochranné pásmo je 50 m od osy vozovky pro silnice I. třídy, 15 m od osy vozovky pro silnice II. a III. třídy.

#### B.7.11.2 Ochranná pásma dráhy

Průzkumným územím neprochází žádná železniční trať. Přibližně 5 km jižně od obce Lodhěřov je situována železniční trať č. 225 Veselí nad Lužnicí – Jihlava. Jde o traťovou třídu D4, je elektrifikovaná, 25 kV, s maximálním sklonem 14 ‰. Má jednu kolej a s maximální rychlostí 120 km/h. Východně od PÚ ZZZK je vedena úzkorozchodná regionální trať č. 228 Jindřichův Hradec - Obrataň.

Ochranné pásmo dráhy je 60 m od osy krajní koleje na obě strany.

#### B.7.11.3 Ochranná pásma plynovodu, ropovodu nebo jiného produktovodu

Významným liniovým prvkem v území je koridor tranzitního plynovodu (ve správě RWE Transgas, a.s.) procházející západně od Lodhěřova a dále mezi obcemi Pluhův Žďár

a Mostečný. Koridor je tvořen třemi vysokotlakovými plynovody s jedním dálkovým kabelem. Na trase tranzitního plynovodu se na západním okraji Lodhéřova nachází stanice katodové ochrany s elektrickými přípojkami a anodovým uzemněním.

Kromě popsaného tranzitního plynovodu procházejí řešeným územím 2 trasy vysokotlakých plynovodů. Jedna trasa probíhá jižně od Pluhova Žďáru k Novému rybníku, kde pak se stáčí paralelně s tranzitním plynovodem, s nímž pokračuje k Lodhéřovu. U Lodhéřova se tato trasa kříží s dalším vysokotlakým plynovodem procházejícím řešeným územím od jihu k severu.

Bezpečnostní pásmo plynovodního potrubí s tlakem nad 40 bar (tranzitní plynovod) je 160 m od osy potrubí, ochranné pásmo je 4 m na obě strany od půdorysu plynovodu.

#### **B.7.11.4 Ochranná pásma zařízení elektrizační soustavy**

V předmětném území jsou situovány tři trasy nadzemních rozvodů elektrické energie s ochrannými pásmy. Prvá trasa vysokého napětí 22 kV je vedena po východním okraji Lodhéřova a napájí trafostanice v Lodhéřově a Najdku. Další trasa vysokého napětí 22 kV připojuje obec Pluhův Žďár a pokračuje jižně od rybníka Kužel do lokality Prokopský dvůr. Třetí trasu tvoří přípojka k trafostanici v sídle Mostečný.

Východně od průzkumného území, probíhá trasa dvojitého vedení 22 kV, propojující obce Dolní Radouň, Kostelní Radouň, Okrouhlá Radouň a Horní Radouň a s ní paralelní trasa 2 x 22 kV, vedená kolem zastavěných území sídel z východní strany a ukončená v trafostanici severovýchodně od Okrouhlé Radouně.

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

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

#### **B.7.11.6 Ochranná pásma nadzemních a podzemních telekomunikačních vedení**

Telekomunikační rozvody jsou v předmětném území kabelizovány. Na kótě Najdecké Čihadlo je umístěna telekomunikační věž.

#### **B.7.11.7 Ochranná pásma letišť a leteckých staveb**

Nejbližší letiště – LKJH, aeroklub Jindřichův Hradec, vzdálenost cca 6,2 km vzdušnou čarou. Ochranné pásmo letiště LKJH je 150 m od přistávací dráhy na obě strany a 400 m od konce dráhy. Nad zájmovým územím prochází v jeho severní části dva letové koridory, a to: letová trasa T709, typ tratě ATS a letová trasa Z21, typ tratě ATS.

#### **B.7.11.8 Chráněné ložiskové území nebo dobývacího prostoru**

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

#### **B.7.11.9 Ochranná pásma zvláště chráněného území**

V lokalitě Čihadlo a jeho bezprostředním okolí se nenachází zvláště chráněné území.

#### **B.7.11.10 Ochranná pásma nemovité kulturní památky**

V dotčeném průzkumném území se nenachází žádná *krajinná památková zóna*. V rámci zastavěného území sídel se nevyskytuje ani městská či vesnická památková rezervace nebo

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

zóna. V obci Dolní Radouň (mimo PÚ ZZZK) je navrženo vyhlášení vesnické památkové zóny.

V lokalitě nejsou evidovány *národní kulturní památky*. V obci Lodhěřov se nachází kostel sv. Petra a Pavla, fara a venkovská usedlost; v obci Najdek kaple.

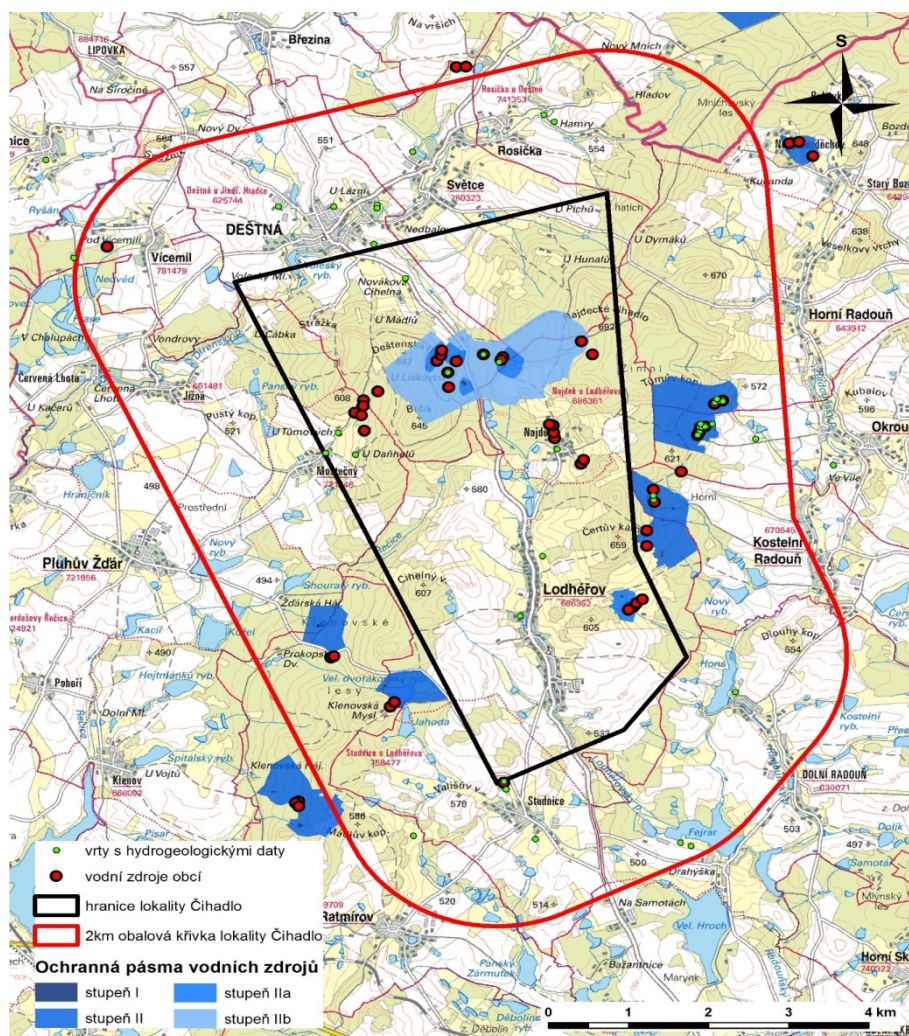
Mimo zastavěné území sídel jsou evidovány dvě *kulturní památky*, a to boží muka v katastrálním území Dolní Radouň, umístěná u rybníka v lokalitě Na Drahýšce. Druhou je kaple Svatého Jana Nepomuckého, situovaná při silnici na Bezděchov, v katastrálním území Horní Radouň (obě památky leží mimo samotnou lokalitu Čihadlo).

V lokalitě a ani bezprostředním okolí není evidována žádná *archeologická lokalita* zapsaná v ÚSKP.

#### **B.7.11.11 Ochranná pásma vodního zdroje**

V lokalitě Čihadlo se nacházejí 3 vodovodní systémy napájené z místních vodních zdrojů. Prvním je vodovod pro obec Pluhův Žďár, Mostečný a Jižnou se dvěma vodními zdroji (jedním pod hrází Velkého Dvořákovského rybníka, druhým v Klenovském lese jižně od Shouralého rybníka). Druhým je vodovod pro obec Deštná se zdroji v okolí Dešenské hory, třetím vodovod pro obce Najdek a Lodhěřov se zdroji severně od Najdeku. Tyto zdroje mají vyhlášená ochranná pásma II. stupně ( východně od PÚZZK Čihadlo se nacházejí ještě vodní zdroje, napájející vodovody pro obce Okrouhlá Radouň, Horní Radouň a Kostelní Radouň, na svazích Tůmova kopce a Čertova kamene a vodní zdroj pro obec Dolní Radouň východně od Lodhěřova s vyhlášenými ochrannými pásmy. V případě, že povrchový areál bude v jižní části lokality (viz Obr. 1), úložiště nemůže přímo ohrozit kvalitu využívaných vodních zdrojů.





Obr. 27: Schéma ochranných pásem zdrojů podzemních vod (<http://heis.vuv.cz>, VÚV 2018), vodních zdrojů (plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihočeského kraje, Jihočeský kraj 2018) a vrtů s hydrogeologickými daty v databázi ČGS–Geofond.

#### B.7.11.12 Ochranná pásma zdrojů léčivých minerálních vod

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

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

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

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

V lokalitě Čihadlo se nenacházejí ochranné pilíře jam, celíků a povrchové a důlní objekty. Nejbližší důlní objekty se nacházejí východně od obce Okrouhlá Radouň.

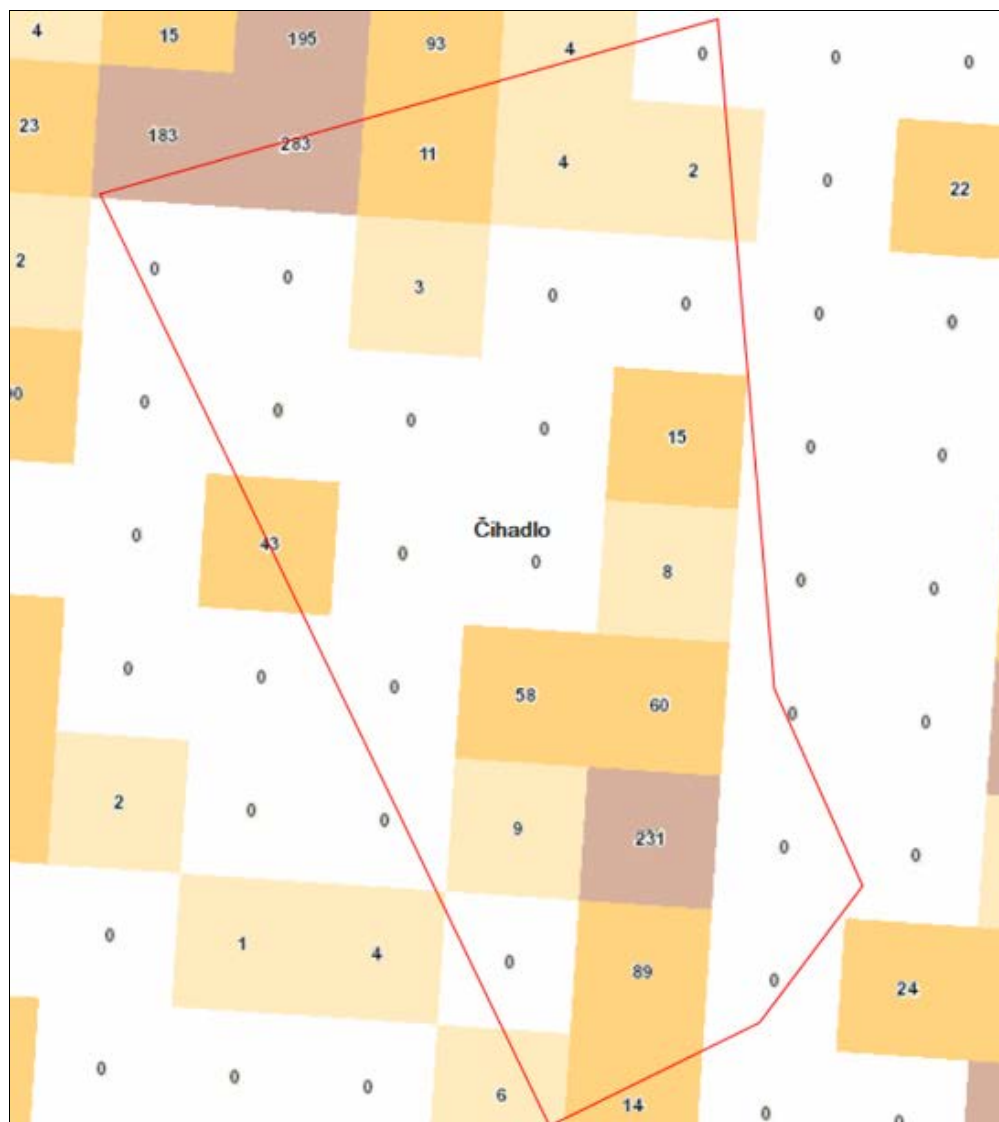
#### B.7.12 Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj

Obce, které jsou katastrálně zastoupeny na PÚZZK Čihadlo mají v součtu 2150 obyvatel. Samotný průzkumný polygon byl zvolen tak, aby do obcí zasahoval co nejméně. Uvnitř





polygonu se tak nacházejí pouze obce Lodhěřov, Najdek a Mostečný. Hustota zalidnění zájmové oblasti je patrná z Obr. 28.



INSPIRE/III\_10\_CSU\_rozlozeni\_obyvatelstva

TOT\_P

0

1 - 10

11 - 100

101 - 1000

1000 +

Obr. 28: Hustota obyvatelstva v síti 1x1km

Podrobnější údaje jsou i ve zprávě Bureš et al., 2018.

### B.7.13 Současné využití území

Z celkové plochy zájmové lokality činí plochy lesních porostů 48,02 %, což odpovídá 12,279 km<sup>2</sup>. V lokalitě Čihadlo se vyskytují zemědělské půdy ve všech třídách ochrany. Plošné zastoupení těchto tříd v zájmovém území je víceméně proporcionální. Podrobnější informace o stavu a využití území, které souvisejí s vlivem záměru na životní prostředí, jsou uvedeny

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</i>

v části c) této studie a zprávě (umístitelnost). Detailní využití nejbližšího okolí povrchového areálu podrobně popisují územní plány Lodhěřova, Kostelní Radouně a Jindřichova Hradce.

#### **B.7.14 Vliv jiného jaderného zařízení**

V zájmovém území, ani ve vzdálenějším okolí žádné jaderné zařízení není.

Přímá vzdálenost od ETE je cca 40 km.

Přímá vzdálenost od EDU je cca 90 km.

#### **B.7.15 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. (SÚJB 2016b) zakazovaly umístění hlubinného úložiště v lokalitě Čihadlo kromě ochranných pásem vodních zdrojů II. stupně. V lokalitě Čihadlo se nachází 3 vodovodní systémy napájené z místních vodních zdrojů. Zvodnění hlavního kolektoru krystalinika však není dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, vyskytují se zde jen lokální zdroje podzemních vod. Využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují  $1 \text{ l.s}^{-1}$ . Zásobování obyvatel pitnou vodou zajišťují v naprosté většině obecní vodovody.



## 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 (Čechák 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. 21.

Tab. 21: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku

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

### a) konzervativně navýšeno

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

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



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

Filtrační stanice bude vybraným zařízením podle vyhlášky č. 358/2016 Sb. (SÚJB 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. 22.

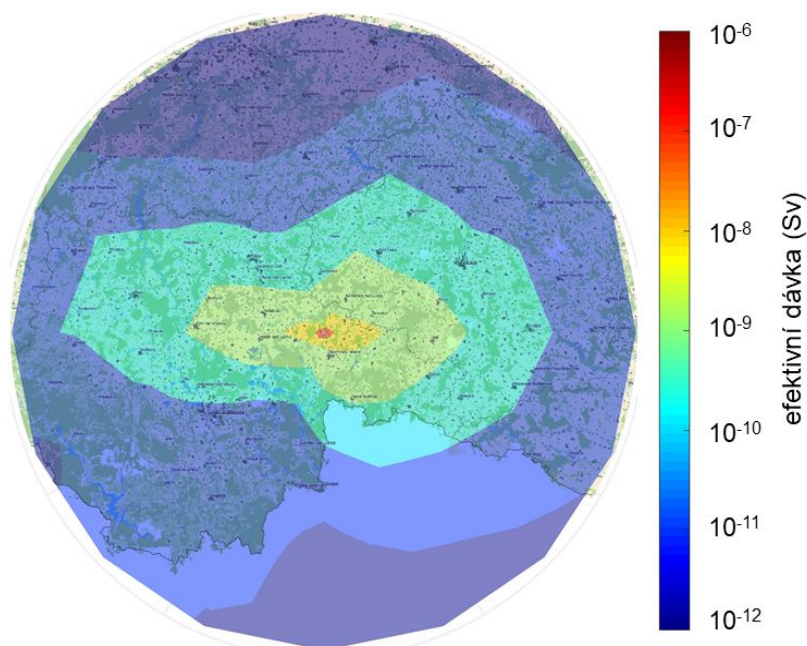
Tab. 22: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (99,9999 %)

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

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

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

K uvolnění aktivity při překládce v horké komoře může dojít buď v důsledku otevření POS, jehož palivo ztratilo těsnost v důsledku manipulace při přepravě (včetně uvažování pádu POS výše) nebo v důsledku pádu palivové kazety/palivového souboru při překládce. V případě otevření POS s netěsným palivem se předpokládá, že netěsností trpí maximálně 3% palivových proutků. Výpočet expozice reprezentativní osoby při dlouhodobé vypouštění je uveden na Obr. 29.



Obr. 29: 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 hustě zalidněných oblastech. Geometrické omezení počítalo s plochou vymezenou kružnicí o poloměru 10, 25 a 30 km a středem v místě vypouštění. Poloměr 25 km byl zvolen s ohledem na vzdálenost k hranicím ČR od výpustě. Hodnoty takto omezené kolektivní efektivní dávky udává Tab. 23.

Tab. 23: Omezená kolektivní efektivní dávka

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

Z analýzy scénářů expozičních situací vyplývá, že radiačně nejvýznamnější situací je selhání dvou filtrů kaskády, neboť při této situaci vzroste uvolňovaná aktivita radionuklidů v prachové formě 500krát. Proto je zde uveden pouze tento scénář. Zdrojový člen tohoto scénáře je uveden v Tab. 24.

Tab. 24: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %)

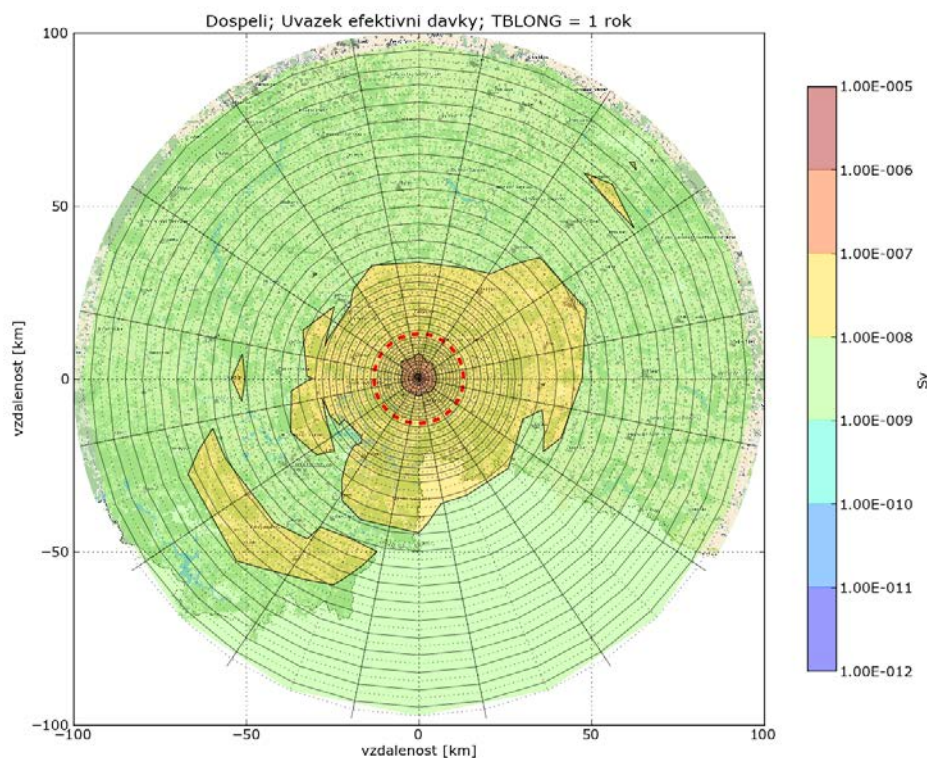
radionuklid	aktivita [Bq]	radionuklid	aktivita [Bq]
H-3	2,45E+11	Cs-137	9,50E+07
C-14	3,93E+03	Pu-238	2,44E+05
Kr-85	2,08E+12	Pu-239	1,40E+04





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

Výsledky výpočtu pro mimořádnou událost s velmi malou pravděpodobností výskytu jsou uvedeny na Obr. 30.



Obr. 30: 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 běžného ročního provozu a pro mimořádnou, jednorázovou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky jsou shrnuty v Tab. 25 a Tab. 26.

Tab. 25: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu

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



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

a) meteorologický směr větru

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

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

Tab. 26: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatné rozptylové podmínky – 16 úniků do všech směrů větrné růžice

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

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 6,2  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  u dospělého jedince a 7,8  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  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 3,5  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  respektive 4,2  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  pro nejvíce exponovaného dětského referenčního jedince.

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 6,2  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  u dospělého jedince a 7,8  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  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 3,5  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  respektive 4,2  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  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 podzemní prostor HÚ shrnutý v této zprávě je uveden v následující Tab. 27.

Tab. 27: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti

<b>Účel hodnocení</b>	Srovnání potenciálních lokalit ve fázi zúžení počtu lokalit
<b>Výstup hodnocení</b>	Hlavní - Individuální roční efektivní dávka na dospělého (reprezentativní osobu) Vedlejší - Koncentrace/distribuce radionuklidů v životním prostředí
<b>Filozofie hodnocení</b>	Konzervativní (parametry modelu transportu aktivity biosférou-normální/realistické předpoklady) Opatrná (definice reprezentativní osoby - parametry cest ozáření) - konzervativní předpoklady
<b>Typ úložiště</b>	HÚ pro vyhořelé jaderné palivo - dlouhodobé radionuklidy
<b>Kontext lokality</b>	Vnitrozemí Bez uvažování změn biosféry v čase
<b>Rozhraní geosféra-biosféra</b>	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
<b>Zdrojový člen</b>	Velmi konzervativní s uvažováním okamžitého poškození všech UOS směřujících do jednoho drenážního místa
<b>Časový rámec</b>	Až za případné maximum vypočtené dávky

**Sociální předpoklady**

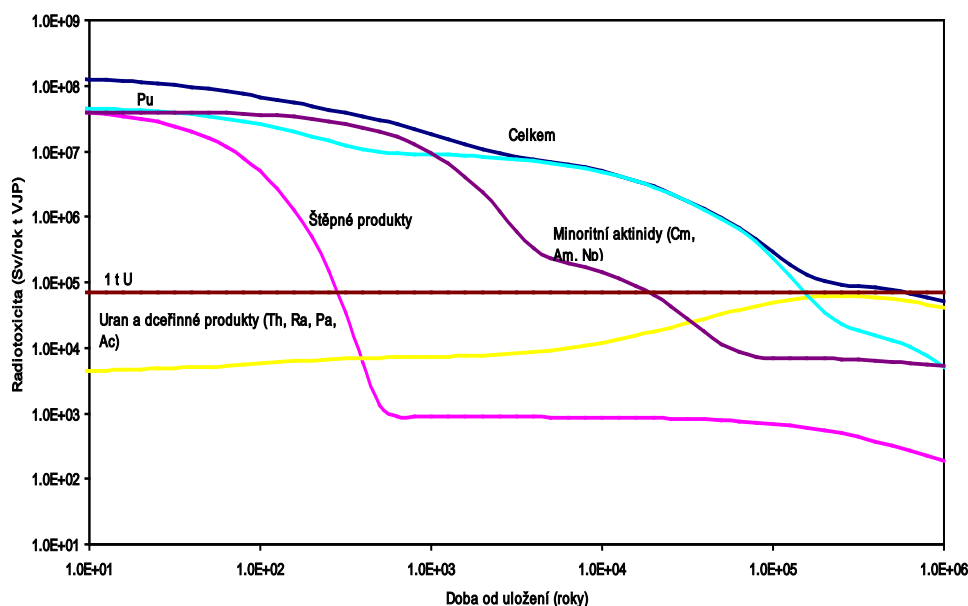
Zemědělská komunita

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. (SÚJB 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. 31), 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  $^{129}\text{I}$  s poločasem přeměny 1,5 miliónu let či  $^{36}\text{Cl}$  s poločasem přeměny 300 tisíc let).



Obr. 31: 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.



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

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

### B.9.2 Transportní cesty a cesty ozáření

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

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

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

Uvažované cesty ozáření (expozice) jsou obvykle následující:

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

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

### B.9.3 Bezpečnostní funkce bariér úložiště

Z hlediska zabránění uniku radionuklidů z úložiště a jejich šíření do biosféry se vychází z principů ochrany do hloubky popsanych ve vyhlášce č. 329/2017 Sb. (SÚJB 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:

- Zadržet radioaktivní odpady
- Izolovat odpad od přístupného životního prostředí a snížit pravděpodobnost kontaktu člověka s odpadem.
- 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:

- Ukládací obalové soubory s VJP (UOS)
- Tlumící bariéru obklopující UOS (T)
- Výplňové materiály úložných chodeb (V)
- Horninového prostředí (H)

Podrobněji jsou bezpečnostní funkce těchto komponent specifikovány v Tab. 28. Jde o předběžný seznam, který se bude dále rozšiřovat, modifikovat a upřesňovat na základě získávaných poznatků.

Tab. 28: 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 $1 \times 10^{-12}$ 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 3 MPa)
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 $1 \times 10^{-9}$ 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

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. 31), 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.

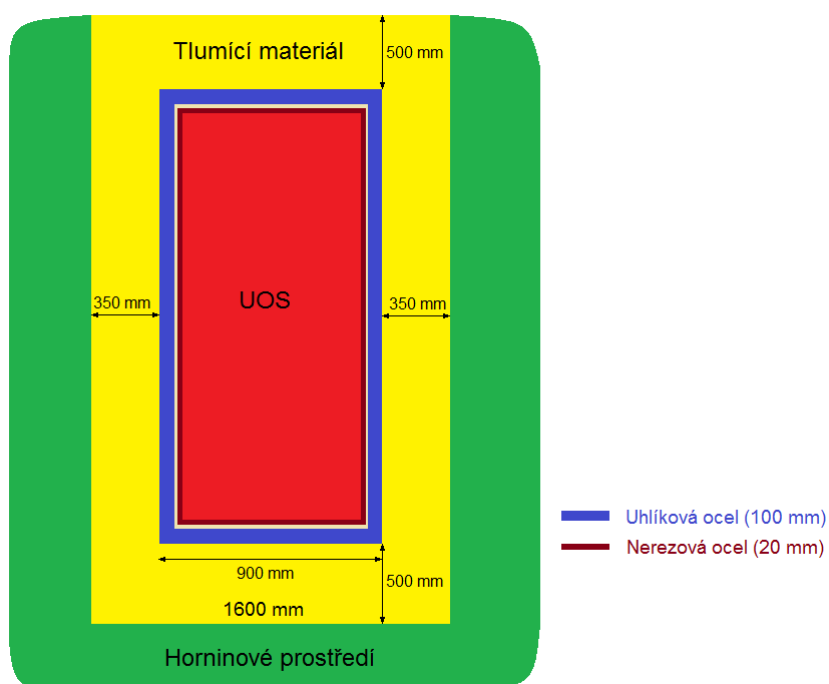
Seznam VUP, které mohou ovlivnit bezpečnost HÚ je uveden ve zprávě SÚRAO (Gondolli et al. 2018). V dalším kroku každá vlastnost, proces či událost bude analyzována a provedeno rozhodnutí o způsobu jejím vypořádání. Vyloučení VUP z dalšího rozhodování bude provedena na základě jeho posouzení z hlediska:

- 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 (viz kapitola B.9.8.2) je  $180\,000 \pm 33\,100$  let.





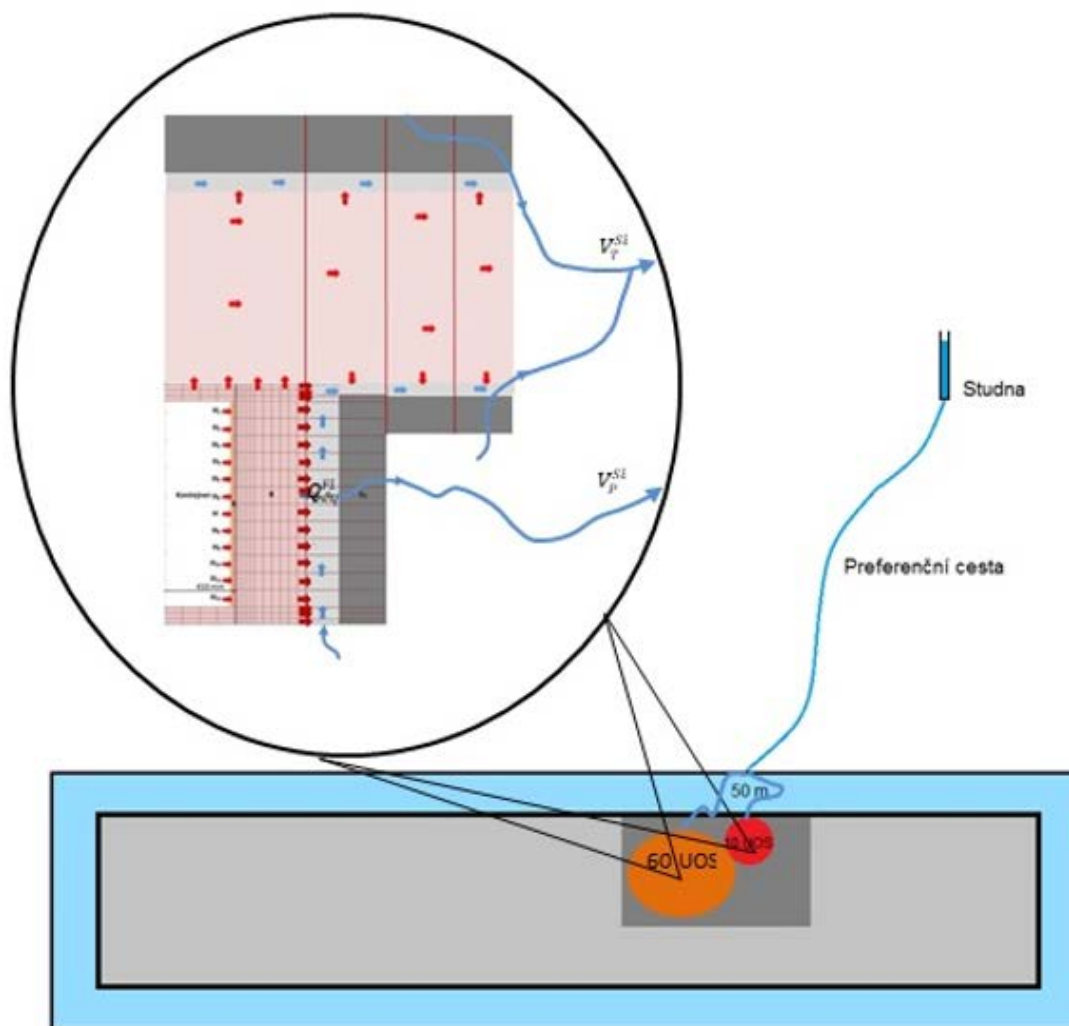
Obr. 32: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu

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/m<sup>3</sup>.

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. 33).



Obr. 33: 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/rozpouštěním 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 Čihadlo, 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. 29, 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. 29: 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 <sup>2</sup> ]
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	Bobrůvka	82	1456	3273	3,8e-2
Magdalena	Smutná	96,22	1128	1764	3,51e-2
EDU	Rokytná	67,8	3092	4843	2,52e-2
ETE	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. 33, 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. 30. 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. 33.

Tab. 30: 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 <sup>2</sup> ]	7,58.10 <sup>-5</sup>	Plocha [m <sup>2</sup> ]	7,58.10 <sup>-5</sup>
Smáčený obvod [m]	2	Smáčený obvod [m]	2
Tok [m <sup>3</sup> /s]	2,29.10 <sup>-8</sup>	Tok [m <sup>3</sup> /s]	2,29.10 <sup>-8</sup>
$Q_{eq}^{F1}$ [m <sup>3</sup> /s]	2,52.10 <sup>-10</sup>		



Druhá skupina UOS			
Puklina protínající úložný vrt		Puklina protínající EDZ	
Délka [m]	10	Délka [m]	10
Plocha [m <sup>2</sup> ]	7,58.10 <sup>-5</sup>	Plocha [m <sup>2</sup> ]	7,58.10 <sup>-5</sup>
Smáčený obvod [m]	2	Smáčený obvod [m]	2
Tok [m <sup>3</sup> /s]	3,81.10 <sup>-9</sup>	Tok [m <sup>3</sup> /s]	3,81.10 <sup>-9</sup>
$Q_{eq}^{F1}$ [m <sup>3</sup> /s]	1,03.10 <sup>-10</sup>		

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 Bobruvky. 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 diskrétních 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  $\delta$  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),  $\mu$  je dynamická viskozita vody ( $\mu = 1 \cdot 10^{-3} [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$ ),  $\rho$  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 mocninné závislosti se mění  $\delta$  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  $\delta$  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 kontejnerů reprezentuje deset UOS,  $N_1$ , které selžou okamžitě v čase  $T_f = 1 \cdot 10^4 [\text{a}]$ , druhá skupina šedesáti kontejnerů,  $N_2$ , (1% z celkového počtu 6000 UOS směřujících do uvažované drenážní báze Bobrůvky (do drenážní báze Bobrůvky 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,  $\delta$ , 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:

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

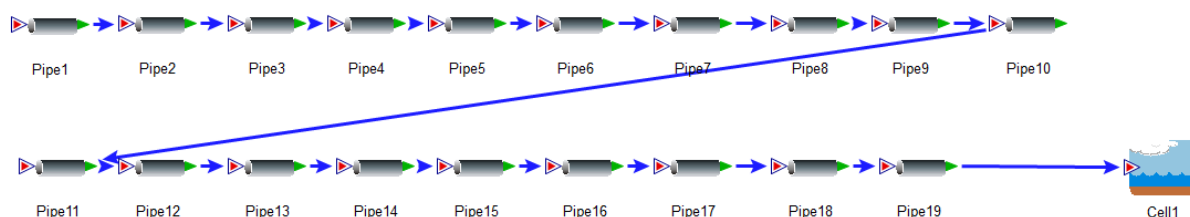
kde  $W$  je šířka pukliny rovna  $1 [\text{m}]$ .

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. 34).



Obr. 34: 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.

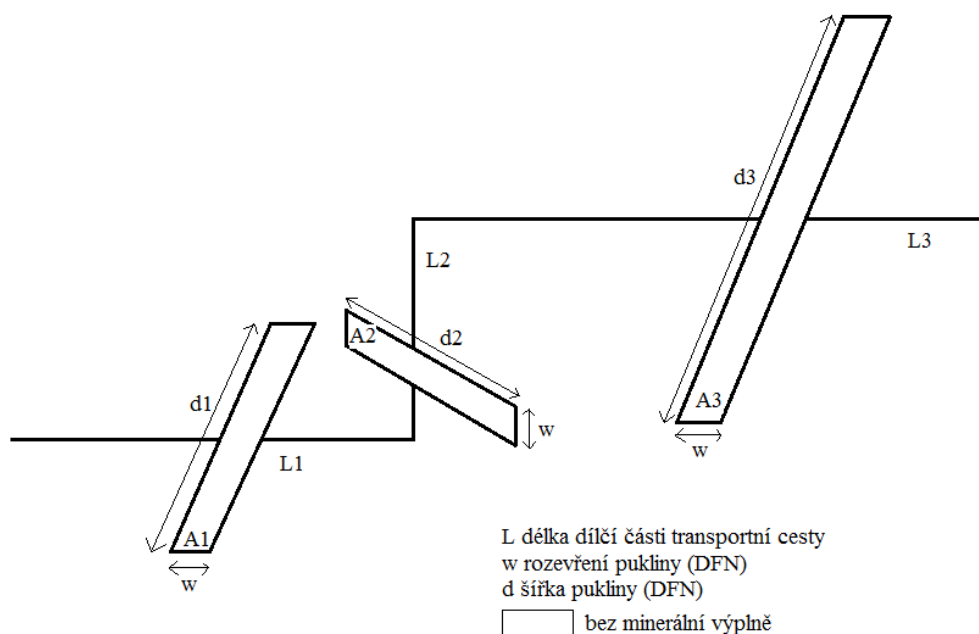
Transportní cesta je v modelu GoldSim charakterizována následujícími veličinami (Obr. 35):

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 advekcí 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. 35: 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  $1 \times 10^{-5}$  v úrovni úložiště a její lineární nárůst na hodnotu  $1 \times 10^{-4}$  v úrovni rozhraní geosféra/biosféra (Hjerne et al., 2010).

Průtočná plocha jednotlivých částí transportní cesty je dána vztahem:

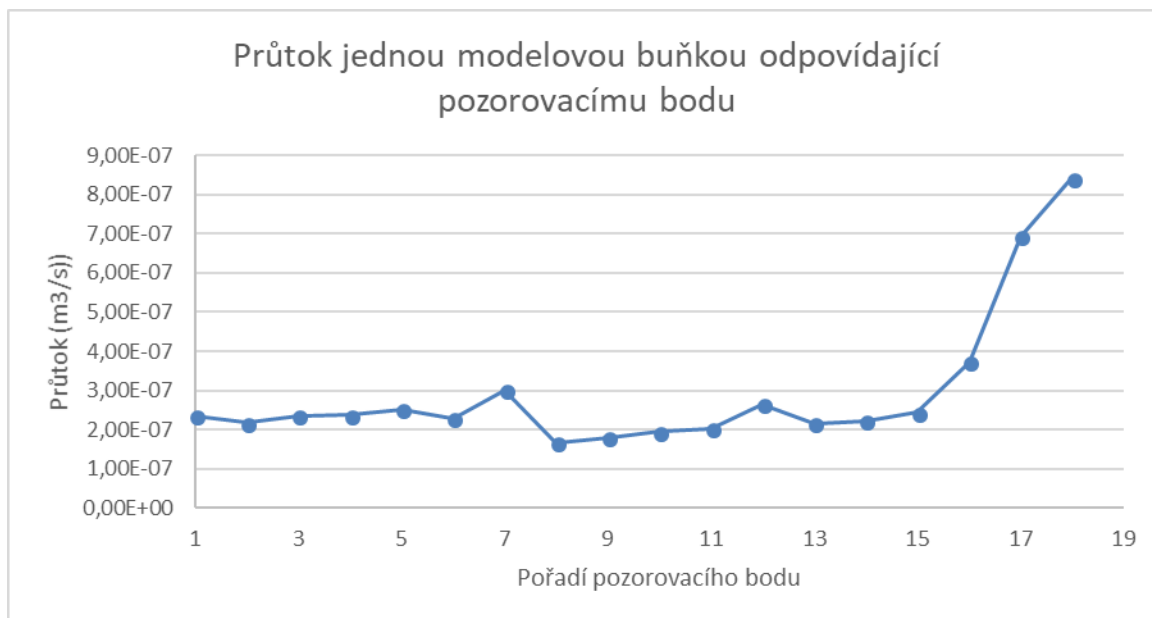
$$A_i = \frac{A_0 \cdot Q_i}{Q_0} \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{q_0}{q_i}, \quad (\text{B.4})$$

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,  $\varepsilon_i$  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  $q_o/q_i$  značí změnu rychlosti podél transportní cesty.

Z Obr. 36 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. 36: 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 plochy 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. 35 s konstantním rozevřením. V reálných podmínkách se rozevření puklin plynule i skokově (v místech protnutí) mění; v rámci puklin se ve vazbě na rozevření a výplň vytváří průtočné kanály. I velmi konektivní pukliny mohou být s okolním hydraulicky aktivním systémem propojeny puklinami s velmi malou konektivitou. Teprve takováto komplexní stavba puklinové sítě DFN modelu umožňuje alespoň se přiblížit pozorovaným parametrům průtoku (viz přítoky do důlních děl a současně stáří podzemní vody, které dosahuje minimálně tisíce let). Z toho je patrné, proč popis celé





transportní cesty jedinou puklinou vede k extrémnímu zkrácení doby průniku radionuklidů do biosféry. Současně je patrné, že tok radionuklidů bude podél hlavní transportní cesty reálně ředěn do dalších "odbočných" větví.

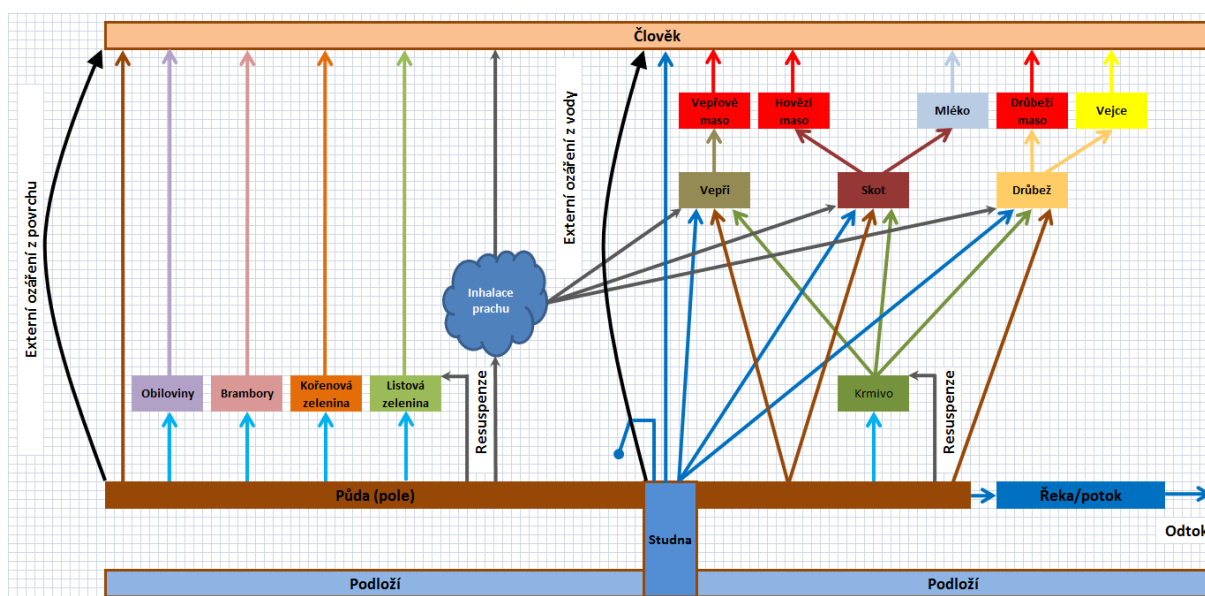
### B.9.6.1.3 Model biosféry

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

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

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

Schematicky je koncepční model transportu radionuklidů v biosféře a cesty ozáření reprezentativní osoby znázorněn na Obr. 37.



Obr. 37: 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

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 UOS (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 tématiky legislativy, hlavním poznatkem je dosavadní neexistence české specifické legislativy (ani návrhu anebo alespoň odborné diskuse o jejím obsahu) pro oblast hlubinného ukládání vyhořelého paliva a vysoce aktivních zbytků se již stává překážkou prací jak na technickém návrhu UOS, 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 UOS 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<sub>HM</sub>
- VVER-1000 TVSAT s průměrným obohacením 4,60 % a vyhořením 60 MWd/kg<sub>HM</sub>
- NJZ s průměrným obohacením 4,50 % a vyhořením 70 MWd/kg<sub>HM</sub>

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<sub>HM</sub> pro VVER-440, 464 kg<sub>HM</sub> pro VVER-1000 a 490<sup>3</sup> kg<sub>HM</sub> pro NJZ. Aktivita vybraných radionuklidů uvažovaných ve výpočtech je uvedena v Tab. 31.

Tab. 31: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech

Nuklid	Aktivita [Bq/PS]		
	NJZ	VVER-1000	VVER-440
<sup>10</sup> Be	1,199.10 <sup>+05</sup>	6,692.10 <sup>+04</sup>	2,365.10 <sup>+04</sup>
<sup>14</sup> C	2,540.10 <sup>+10</sup>	1,990.10 <sup>+10</sup>	6,272.10 <sup>+09</sup>
<sup>36</sup> Cl	4,435.10 <sup>+08</sup>	3,501.10 <sup>+08</sup>	1,040.10 <sup>+08</sup>
<sup>41</sup> Ca	1,034.10 <sup>+08</sup>	1,261.10 <sup>+08</sup>	3,857.10 <sup>+07</sup>
<sup>59</sup> Ni	1,029.10 <sup>+09</sup>	1,128.10 <sup>+09</sup>	3,337.10 <sup>+08</sup>
<sup>60</sup> Co	2,763.10 <sup>+07</sup>	2,259.10 <sup>+07</sup>	6,425.10 <sup>+06</sup>
<sup>63</sup> Ni	1,156.10 <sup>+11</sup>	1,222.10 <sup>+11</sup>	3,675.10 <sup>+10</sup>
<sup>79</sup> Se	2,480.10 <sup>+09</sup>	2,092.10 <sup>+09</sup>	6,116.10 <sup>+08</sup>
<sup>90</sup> Sr	5,100.10 <sup>+14</sup>	4,416.10 <sup>+14</sup>	1,248.10 <sup>+14</sup>
<sup>93</sup> Zr	6,891.10 <sup>+10</sup>	5,986.10 <sup>+10</sup>	1,751.10 <sup>+10</sup>
<sup>94</sup> Nb	2,295.10 <sup>+11</sup>	2,816.10 <sup>+11</sup>	1,100.10 <sup>+11</sup>
<sup>99</sup> Tc	4,661.10 <sup>+11</sup>	3,937.10 <sup>+11</sup>	1,142.10 <sup>+11</sup>
<sup>107</sup> Pd	5,232.10 <sup>+09</sup>	3,888.10 <sup>+09</sup>	1,179.10 <sup>+09</sup>
<sup>108m</sup> Ag	4,562.10 <sup>+08</sup>	2,750.10 <sup>+08</sup>	8,770.10 <sup>+07</sup>
<sup>126</sup> Sn	1,072.10 <sup>+10</sup>	8,272.10 <sup>+09</sup>	2,500.10 <sup>+09</sup>
<sup>129</sup> I	1,081.10 <sup>+09</sup>	9,039.10 <sup>+08</sup>	2,719.10 <sup>+08</sup>
<sup>135</sup> Cs	1,773.10 <sup>+10</sup>	1,492.10 <sup>+10</sup>	5,133.10 <sup>+09</sup>
<sup>137</sup> Cs	8,776.10 <sup>+14</sup>	7,176.10 <sup>+14</sup>	2,078.10 <sup>+14</sup>
<sup>151</sup> Sm	5,586.10 <sup>+12</sup>	4,860.10 <sup>+12</sup>	1,482.10 <sup>+12</sup>
<sup>166m</sup> Ho	1,992.10 <sup>+07</sup>	4,122.10 <sup>+07</sup>	1,543.10 <sup>+07</sup>
<sup>210</sup> Po	1,098.10 <sup>+05</sup>	1,061.10 <sup>+05</sup>	3,113.10 <sup>+04</sup>
<sup>210</sup> Pb	1,098.10 <sup>+05</sup>	1,061.10 <sup>+05</sup>	3,112.10 <sup>+04</sup>
<sup>226</sup> Ra	2,630.10 <sup>+05</sup>	2,488.10 <sup>+05</sup>	7,299.10 <sup>+04</sup>
<sup>229</sup> Th	4,600.10 <sup>+04</sup>	3,006.10 <sup>+04</sup>	1,210.10 <sup>+04</sup>
<sup>230</sup> Th	2,167.10 <sup>+07</sup>	1,953.10 <sup>+07</sup>	5,783.10 <sup>+06</sup>
<sup>231</sup> Pa	1,006.10 <sup>+06</sup>	1,068.10 <sup>+06</sup>	3,625.10 <sup>+05</sup>
<sup>232</sup> Th	3,984.10 <sup>+01</sup>	3,731.10 <sup>+01</sup>	1,065.10 <sup>+01</sup>

<sup>3</sup> Hodnota 490 kg<sub>HM</sub> vychází z daných rozměrů a hustoty paliva. Oficiální informace o hmotnostech ukazují na hodnotu kolem 470 kg<sub>HM</sub>.

Nuklid	Aktivita [Bq/PS]		
	NJZ	VVER-1000	VVER-440
<sup>233</sup> U	4,762.10 <sup>+06</sup>	4,033.10 <sup>+06</sup>	1,207.10 <sup>+06</sup>
<sup>234</sup> U	5,129.10 <sup>+10</sup>	4,253.10 <sup>+10</sup>	1,294.10 <sup>+10</sup>
<sup>235</sup> U	1,764.10 <sup>+08</sup>	2,583.10 <sup>+08</sup>	7,156.10 <sup>+07</sup>
<sup>236</sup> U	7,667.10 <sup>+09</sup>	7,321.10 <sup>+09</sup>	2,076.10 <sup>+09</sup>
<sup>237</sup> Np	1,522.10 <sup>+10</sup>	1,266.10 <sup>+10</sup>	3,786.10 <sup>+09</sup>
<sup>238</sup> Pu	1,454.10 <sup>+14</sup>	9,891.10 <sup>+13</sup>	3,286.10 <sup>+13</sup>
<sup>238</sup> U	5,497.10 <sup>+09</sup>	5,247.10 <sup>+09</sup>	1,545.10 <sup>+09</sup>
<sup>239</sup> Pu	7,829.10 <sup>+12</sup>	7,337.10 <sup>+12</sup>	2,340.10 <sup>+12</sup>
<sup>240</sup> Pu	1,540.10 <sup>+13</sup>	1,295.10 <sup>+13</sup>	3,974.10 <sup>+12</sup>
<sup>241</sup> Am	1,339.10 <sup>+14</sup>	1,172.10 <sup>+14</sup>	3,598.10 <sup>+13</sup>
<sup>241</sup> Pu	1,887.10 <sup>+14</sup>	1,650.10 <sup>+14</sup>	5,017.10 <sup>+13</sup>
<sup>242</sup> Pu	1,128.10 <sup>+11</sup>	8,135.10 <sup>+10</sup>	2,372.10 <sup>+10</sup>
<sup>242m</sup> Am	2,076.10 <sup>+11</sup>	1,788.10 <sup>+11</sup>	7,232.10 <sup>+10</sup>
<sup>243</sup> Am	1,623.10 <sup>+12</sup>	1,045.10 <sup>+12</sup>	3,192.10 <sup>+11</sup>
<sup>244</sup> Cm	3,932.10 <sup>+13</sup>	2,033.10 <sup>+13</sup>	6,778.10 <sup>+12</sup>
<sup>245</sup> Cm	1,004.10 <sup>+11</sup>	4,547.10 <sup>+10</sup>	1,676.10 <sup>+10</sup>
<sup>246</sup> Cm	2,983.10 <sup>+10</sup>	1,039.10 <sup>+10</sup>	4,036.10 <sup>+09</sup>

### 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. Z experimentálních výsledků, viz Kotnour et al. (2017), vyplývá, 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 na úrovni  $0,02 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

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. 32).

Tab. 32: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu

Nuklid	IRF
$^{14}\text{C}$	0,10
$^{36}\text{Cl}$	0,16
$^{79}\text{Se}$	0,07
$^{90}\text{Sr}$	0,07





Nuklid	IRF
<sup>99</sup> Tc	0,07
<sup>107</sup> Pd	0,07
<sup>126</sup> Sn	0,07
<sup>129</sup> I	0,10
<sup>135</sup> Cs	0,10
<sup>137</sup> 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. 33 a v Tab. 34 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  $\epsilon$ ), 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 údaji 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. 33: Hodnoty referenčních difuzivit  $D_w$  ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) a meze rozpustnosti pro blízké pole  $SL_{\text{bent}}$  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	$D_w$ [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]	$SL_{\text{bent}}$ [ $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	prvek	$D_w$ [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]	$SL_{\text{bent}}$ [ $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]
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	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-6}$



prvek	$D_w$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$SL_{bent}$ [mol·dm <sup>-3</sup> ]	prvek	$D_w$ [m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$SL_{bent}$ [mol·dm <sup>-3</sup> ]
Ag	1,70·10 <sup>-9</sup>	3,0·10 <sup>-6</sup>	Am	1,0·10 <sup>-9</sup>	3,0·10 <sup>-5</sup>
Sn	1,0·10 <sup>-9</sup>	1,0·10 <sup>-7</sup>	Cm	1,0·10 <sup>-9</sup>	3,0·10 <sup>-5</sup>

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

Tab. 34: 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 (Trpková et al. 2017b).

prvek	kompaktovaný bentonit (Backfill 1)			prvek	kompaktovaný bentonit (Backfill 1)		
	$K_d$ [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	$\varepsilon$ [-]	$G$ [-]		$K_d$ [m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	$\varepsilon$ [-]	$G$ [-]
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. 35).

Tab. 35: 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 <sup>-3</sup> ]		
	Doporučená hodnota	Horní limit	Spodní limit
Ac	1,06.10 <sup>-06</sup>	1,2.10 <sup>-03</sup>	2,4.10 <sup>-08</sup>
Ag	2,62.10 <sup>-06</sup>	5,6.10 <sup>-04</sup>	3,7.10 <sup>-13</sup>
Am	1,06.10 <sup>-06</sup>	1,2.10 <sup>-03</sup>	2,4.10 <sup>-08</sup>
Be	4,00.10 <sup>-15</sup>	4,0.10 <sup>-13</sup>	4,0.10 <sup>-17</sup>
C	8,96.10 <sup>-04</sup>	7,0.10 <sup>-03</sup>	1,0.10 <sup>-04</sup>
Ca	Nelimitováno rozpustností		
Cl	Nelimitováno rozpustností		
Cm	1,08.10 <sup>-06</sup>	1,2.10 <sup>-03</sup>	2,4.10 <sup>-08</sup>
Cs	Nelimitováno rozpustností		
Ho	4,13.10 <sup>-04</sup>	4,13.10 <sup>-04</sup>	9,9.10 <sup>-07</sup>
I	Nelimitováno rozpustností		
Mo	2,35.10 <sup>-05</sup>	2,35.10 <sup>-05</sup>	2,0.10 <sup>-13</sup>
Nb	1,40.10 <sup>-06</sup>	1,0.10 <sup>-03</sup>	1,0.10 <sup>-08</sup>
Ni	3,07.10 <sup>-05</sup>	3,4.10 <sup>-03</sup>	9,5.10 <sup>-09</sup>
Np	1,15.10 <sup>-09</sup>	1,7.10 <sup>-05</sup>	1,8.10 <sup>-18</sup>
Pa	1,00.10 <sup>-09</sup>	1,0.10 <sup>-05</sup>	1,0.10 <sup>-11</sup>
Pb	8,00.10 <sup>-05</sup>		
Pd	3,98.10 <sup>-06</sup>	4,0.10 <sup>-05</sup>	2,7.10 <sup>-06</sup>
Po	Nelimitováno rozpustností <sup>h,i</sup>		
Pu	2,00.10 <sup>-11</sup>	2,2.10 <sup>-04</sup>	2,6.10 <sup>-14</sup>
Ra	1,20.10 <sup>-04</sup>	1,2.10 <sup>-04</sup>	4,0.10 <sup>-08</sup>
Se	1,63.10 <sup>-12</sup>	2,4.10 <sup>-06</sup>	6,6.10 <sup>-14</sup>
Sm	2,41.10 <sup>-08</sup>	3,7.10 <sup>-04</sup>	2,2.10 <sup>-09</sup>
Sn	1,43.10 <sup>-07</sup>	3,3.10 <sup>-06</sup>	1,1.10 <sup>-08</sup>
Sr	4,53.10 <sup>-05</sup>	6,7.10 <sup>-04</sup>	4,7.10 <sup>-06</sup>
Tc	4,17.10 <sup>-09</sup>	4,6.10 <sup>-07</sup>	4,5.10 <sup>-13</sup>
Th	4,56.10 <sup>-07</sup>	6,1.10 <sup>-05</sup>	4,7.10 <sup>-13</sup>
U	5,14.10 <sup>-08</sup>	1,6.10 <sup>-03</sup>	4,5.10 <sup>-13</sup>



Prvek	Rozpustnost [ $\text{mol dm}^{-3}$ ]		
	Doporučená hodnota	Horní limit	Spodní limit
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. 36).

Tab. 36: 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. 37).

Tab. 37: 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. (SÚJB 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. m<sup>3</sup>/rok vody na 1 m<sup>2</sup> 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](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%** odeče přímým odtokem (kombinace povrchového a hypodermického odtoku) do povrchových vodních toků a zbytek **83,4%** se odpaří.

### Eroze

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

### Parametry zemědělské půdy

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

### Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu

Distribuční (sorpční) koeficienty pro jednotlivé prvky inventáře a pro zemědělskou půdu převzaté z IAEA (2010) jsou uvedeny v Tab. 38.

Tab. 38: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu

Prvek	$K_d$ [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ]
Be	0,99
C	0,003
Cl	0,0003

Prvek	$K_d$ [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ]
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 (vztahené na sušinu) jsou uvedeny v Tab. 39 (podrobnosti viz Husťáková, 2018).

Tab. 39: 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. 40).

Tab. 40: Výnosy zemědělských plodin

Rostlina (zemědělská plodina)	Crop	Výnos
		[kg/m <sup>2</sup> 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 krmivy 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<sup>-1</sup>** 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. 41.





Tab. 41: 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. 42.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 42: Parametry použité pro hospodářská zvířata

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

### Pobytové časy pro hospodářská zvířata

U hospodářských zvířat se konzervativně uvažuje celodenní pobyt (**24 h/den**) venku v prostředí s nejvyšší prašností uvažovanou pro zemědělské činnosti **5,0.10<sup>-6</sup> Bq/m<sup>3</sup>**.

### Spotřební koš

V §67 odst. (3) vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SÚJB 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. 43 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. 43: 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:

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- 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<sup>3</sup> je uvažována pro práci venku a rekreační aktivity rovna **1,0.10<sup>-7</sup> Bq/m<sup>3</sup>**, pro těžkou práci venku (orání a jiné prašné činnosti) **5,0.10<sup>-6</sup> Bq/m<sup>3</sup>** a pro pobyt uvnitř budovy (spánek, práce, koupání/sprchování) **3,0.10<sup>-8</sup> Bq/m<sup>3</sup>** (Husťáková, 2018)

### **Rychlost dýchání reprezentativní osoby**

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

- **0,385 m<sup>3</sup>/hod** - pro spánek,
- **1,07 m<sup>3</sup>/hod** - pro lehké pracovní aktivity uvnitř,
- **1,105 m<sup>3</sup>/hod** - pro lehké pracovní aktivity venku (včetně rekreačních),
- **1,69 m<sup>3</sup>/hod** - pro těžkou práci venku.

V §67 odst. (2) vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SÚJB 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 m<sup>3</sup>/rok**. Pokud sečteme množství nadýchaného vzduchu při různých aktivitách reprezentativní osobou, je celkové množství nadýchaného vzduchu **8 418 m<sup>3</sup>/rok**, což zhruba odpovídá doporučení výše zmíněné vyhlášky.



Pro větší přehlednost jsou v Tab. 44 pro každou aktivitu reprezentativní osoby uvedeny příslušné pobytové časy, prašnosti vzduchu, rychlosti dýchání a způsob výpočtu zevního ozáření.

Tab. 44: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby

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

### Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím

Vyhláška 422/2016 Sb. (SÚJB 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. 45) budou použity při výpočtu celkové roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu, konkrétně příspěvků z příjmu radionuklidů požitím (ingesce) a příjmu radionuklidů vdechnutím (inhalace).

Tab. 45: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím

Radionuklid	Požití (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]
Be-10	1,1.10 <sup>-09</sup>	3,5.10 <sup>-08</sup>
C-14	5,8.10 <sup>-10</sup>	5,8.10 <sup>-09</sup>
Cl-36	9,3.10 <sup>-10</sup>	7,3.10 <sup>-09</sup>
Ca-41	1,9.10 <sup>-10</sup>	1,8.10 <sup>-10</sup>
Ni-59	6,3.10 <sup>-11</sup>	4,4.10 <sup>-10</sup>
Co-60	3,4.10 <sup>-09</sup>	3,1.10 <sup>-08</sup>
Ni-63	1,5.10 <sup>-10</sup>	1,3.10 <sup>-09</sup>
Se-79	2,9.10 <sup>-09</sup>	6,8.10 <sup>-09</sup>
Sr-90	2,8.10 <sup>-08</sup>	1,6.10 <sup>-07</sup>
Nb-93m	1,2.10 <sup>-10</sup>	1,8.10 <sup>-09</sup>
Zr-93	1,1.10 <sup>-09</sup>	2,5.10 <sup>-08</sup>
Mo-93	3,1.10 <sup>-09</sup>	2,3.10 <sup>-09</sup>

Radionuklid	Požítí (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]
Nb-94	1,7.10 <sup>-09</sup>	4,9.10 <sup>-08</sup>
Tc-99	6,4.10 <sup>-10</sup>	1,3.10 <sup>-08</sup>
Pd-107	3,7.10 <sup>-11</sup>	5,9.10 <sup>-10</sup>
Ag-108m	2,3.10 <sup>-09</sup>	3,7.10 <sup>-08</sup>
Sn-126	4,7.10 <sup>-09</sup>	2,8.10 <sup>-08</sup>
I-129	1,1.10 <sup>-07</sup>	3,6.10 <sup>-08</sup>
Cs-135	2,0.10 <sup>-09</sup>	8,6.10 <sup>-09</sup>
Cs-137	1,3.10 <sup>-08</sup>	3,9.10 <sup>-08</sup>
Sm-151	9,8.10 <sup>-11</sup>	4,0.10 <sup>-09</sup>
Ho-166m	2,0.10 <sup>-09</sup>	1,2.10 <sup>-07</sup>
Po-210	1,2.10 <sup>-06</sup>	4,3.10 <sup>-06</sup>
Pb-210	6,9.10 <sup>-07</sup>	5,6.10 <sup>-06</sup>
Ra-226	2,8.10 <sup>-07</sup>	9,5.10 <sup>-06</sup>
Ac-227	1,1.10 <sup>-06</sup>	5,5.10 <sup>-04</sup>
Th-228	7,2.10 <sup>-08</sup>	4,0.10 <sup>-05</sup>
Ra-228	6,9.10 <sup>-07</sup>	1,6.10 <sup>-05</sup>
Th-229	4,9.10 <sup>-07</sup>	2,4.10 <sup>-04</sup>
Th-230	2,1.10 <sup>-07</sup>	1,0.10 <sup>-04</sup>
Pa-231	7,1.10 <sup>-07</sup>	1,4.10 <sup>-04</sup>
Th-232	2,3.10 <sup>-07</sup>	1,1.10 <sup>-04</sup>
U-233	5,1.10 <sup>-08</sup>	9,6.10 <sup>-06</sup>
U-234	4,9.10 <sup>-08</sup>	9,4.10 <sup>-06</sup>
U-235	4,7.10 <sup>-08</sup>	8,5.10 <sup>-06</sup>
U-236	4,7.10 <sup>-08</sup>	8,7.10 <sup>-06</sup>
Np-237	1,1.10 <sup>-07</sup>	5,0.10 <sup>-05</sup>
Pu-238	2,3.10 <sup>-07</sup>	1,1.10 <sup>-04</sup>
U-238	4,5.10 <sup>-08</sup>	8,0.10 <sup>-06</sup>
Pu-239	2,5.10 <sup>-07</sup>	1,2.10 <sup>-04</sup>
Pu-240	2,5.10 <sup>-07</sup>	1,2.10 <sup>-04</sup>
Am-241	2,0.10 <sup>-07</sup>	9,6.10 <sup>-05</sup>
Pu-241	4,8.10 <sup>-09</sup>	2,3.10 <sup>-06</sup>
Pu-242	2,4.10 <sup>-07</sup>	1,1.10 <sup>-04</sup>
Am-242m	1,9.10 <sup>-07</sup>	9,2.10 <sup>-05</sup>
Am-243	2,0.10 <sup>-07</sup>	9,6.10 <sup>-05</sup>
Cm-244	1,2.10 <sup>-07</sup>	5,7.10 <sup>-05</sup>
Cm-245	2,1.10 <sup>-07</sup>	9,9.10 <sup>-05</sup>
Cm-246	2,1.10 <sup>-07</sup>	9,8.10 <sup>-05</sup>



**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. 46. Pro výpočet ozáření z povrchu kontaminované půdy jsou konzervativně použity hodnoty faktorů pro nekonečnou hloubku půdy.

*Tab. 46: 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 <sub>s</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]	DCext <sub>a</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]	DCext <sub>w</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]
Be-10	5,76.10 <sup>-21</sup>	1,12.10 <sup>-17</sup>	2,17.10 <sup>-20</sup>
C-14	7,20.10 <sup>-23</sup>	2,24.10 <sup>-19</sup>	4,39.10 <sup>-22</sup>
Cl-36	1,28.10 <sup>-20</sup>	2,23.10 <sup>-17</sup>	4,48.10 <sup>-20</sup>
Ca-41	0	0	0
Ni-59	0	0	0
Co-60	8,68.10 <sup>-17</sup>	1,26.10 <sup>-13</sup>	2,74.10 <sup>-16</sup>
Ni-63	0	0	0
Se-79	9,96.10 <sup>-23</sup>	3,03.10 <sup>-19</sup>	5,93.10 <sup>-22</sup>
Sr-90	3,77.10 <sup>-21</sup>	7,53.10 <sup>-18</sup>	1,46.10 <sup>-20</sup>
Nb-93m	5,57.10 <sup>-22</sup>	4,44.10 <sup>-18</sup>	1,04.10 <sup>-20</sup>
Zr-93	0	0	0
Mo-93	3,16.10 <sup>-21</sup>	2,52.10 <sup>-17</sup>	5,92.10 <sup>-20</sup>
Nb-94	5,18.10 <sup>-17</sup>	7,70.10 <sup>-14</sup>	1,67.10 <sup>-16</sup>
Tc-99	6,72.10 <sup>-22</sup>	1,62.10 <sup>-18</sup>	3,14.10 <sup>-21</sup>
Pd-107	0	0	0
Ag-108m	5,16.10 <sup>-17</sup>	7,80.10 <sup>-14</sup>	1,69.10 <sup>-16</sup>
Sn-126	7,89.10 <sup>-19</sup>	2,11.10 <sup>-15</sup>	4,76.10 <sup>-18</sup>
I-129	6,93.10 <sup>-20</sup>	3,80.10 <sup>-16</sup>	8,91.10 <sup>-19</sup>
Cs-135	2,05.10 <sup>-22</sup>	5,65.10 <sup>-19</sup>	1,10.10 <sup>-21</sup>
Cs-137	4,02.10 <sup>-21</sup>	7,74.10 <sup>-18</sup>	1,49.10 <sup>-20</sup>
Sm-151	5,27.10 <sup>-24</sup>	3,61.10 <sup>-20</sup>	8,50.10 <sup>-23</sup>
Ho-166m	5,51.10 <sup>-17</sup>	8,45.10 <sup>-14</sup>	1,84.10 <sup>-16</sup>
Po-210	2,80.10 <sup>-22</sup>	4,16.10 <sup>-19</sup>	9,03.10 <sup>-22</sup>
Pb-210	1,31.10 <sup>-20</sup>	5,64.10 <sup>-17</sup>	1,31.10 <sup>-19</sup>
Ra-226	1,70.10 <sup>-19</sup>	3,15.10 <sup>-16</sup>	6,95.10 <sup>-19</sup>
Ac-227	2,65.10 <sup>-21</sup>	5,82.10 <sup>-18</sup>	1,30.10 <sup>-20</sup>
Th-228	4,25.10 <sup>-20</sup>	9,20.10 <sup>-17</sup>	2,05.10 <sup>-19</sup>
Ra-228	0	0	0
Th-229	1,72.10 <sup>-18</sup>	3,83.10 <sup>-15</sup>	8,56.10 <sup>-18</sup>
Th-230	6,47.10 <sup>-21</sup>	1,74.10 <sup>-17</sup>	3,94.10 <sup>-20</sup>
Pa-231	1,02.10 <sup>-18</sup>	1,72.10 <sup>-15</sup>	3,78.10 <sup>-18</sup>
Th-232	2,79.10 <sup>-21</sup>	8,72.10 <sup>-18</sup>	1,99.10 <sup>-20</sup>

Radionuklid	Zevní ozáření z půdy	Zevní ozáření ze vzduchu	Zevní ozáření z vody
	DCext <sub>s</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]	DCext <sub>a</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]	DCext <sub>w</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</sup> ]]
U-233	7,48.10 <sup>-21</sup>	1,63.10 <sup>-17</sup>	3,64.10 <sup>-20</sup>
U-234	2,15.10 <sup>-21</sup>	7,63.10 <sup>-18</sup>	1,75.10 <sup>-20</sup>
U-235	3,86.10 <sup>-18</sup>	7,20.10 <sup>-15</sup>	1,59.10 <sup>-17</sup>
U-236	1,15.10 <sup>-21</sup>	5,01.10 <sup>-18</sup>	1,16.10 <sup>-20</sup>
Np-237	4,17.10 <sup>-19</sup>	1,03.10 <sup>-15</sup>	2,32.10 <sup>-18</sup>
Pu-238	8,10.10 <sup>-22</sup>	4,88.10 <sup>-18</sup>	1,14.10 <sup>-20</sup>
U-238	5,52.10 <sup>-22</sup>	3,41.10 <sup>-18</sup>	7,95.10 <sup>-21</sup>
Pu-239	1,58.10 <sup>-21</sup>	4,24.10 <sup>-18</sup>	9,60.10 <sup>-21</sup>
Pu-240	7,85.10 <sup>-22</sup>	4,75.10 <sup>-18</sup>	1,11.10 <sup>-20</sup>
Am-241	2,34.10 <sup>-19</sup>	8,18.10 <sup>-16</sup>	1,88.10 <sup>-18</sup>
Pu-241	3,16.10 <sup>-23</sup>	7,25.10 <sup>-20</sup>	1,62.10 <sup>-22</sup>
Pu-242	6,85.10 <sup>-22</sup>	4,01.10 <sup>-18</sup>	9,35.10 <sup>-21</sup>
Am-242m	9,04.10 <sup>-21</sup>	3,17.10 <sup>-17</sup>	7,28.10 <sup>-20</sup>
Am-243	7,60.10 <sup>-19</sup>	2,18.10 <sup>-15</sup>	4,94.10 <sup>-18</sup>
Cm-244	6,74.10 <sup>-22</sup>	4,91.10 <sup>-18</sup>	1,15.10 <sup>-20</sup>
Cm-245	1,82.10 <sup>-18</sup>	3,96.10 <sup>-15</sup>	8,84.10 <sup>-18</sup>
Cm-246	6,22.10 <sup>-22</sup>	4,46.10 <sup>-18</sup>	1,05.10 <sup>-20</sup>

### Parametry modelu transportu <sup>14</sup>C

Koncentrace stabilního C v atmosféře je **1,7.10<sup>-4</sup> kgC/m<sup>3</sup>**.

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. 47.

Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech jsou uvedeny v Tab. 48.



Tab. 47: 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 <sup>2</sup> /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. 48: 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,



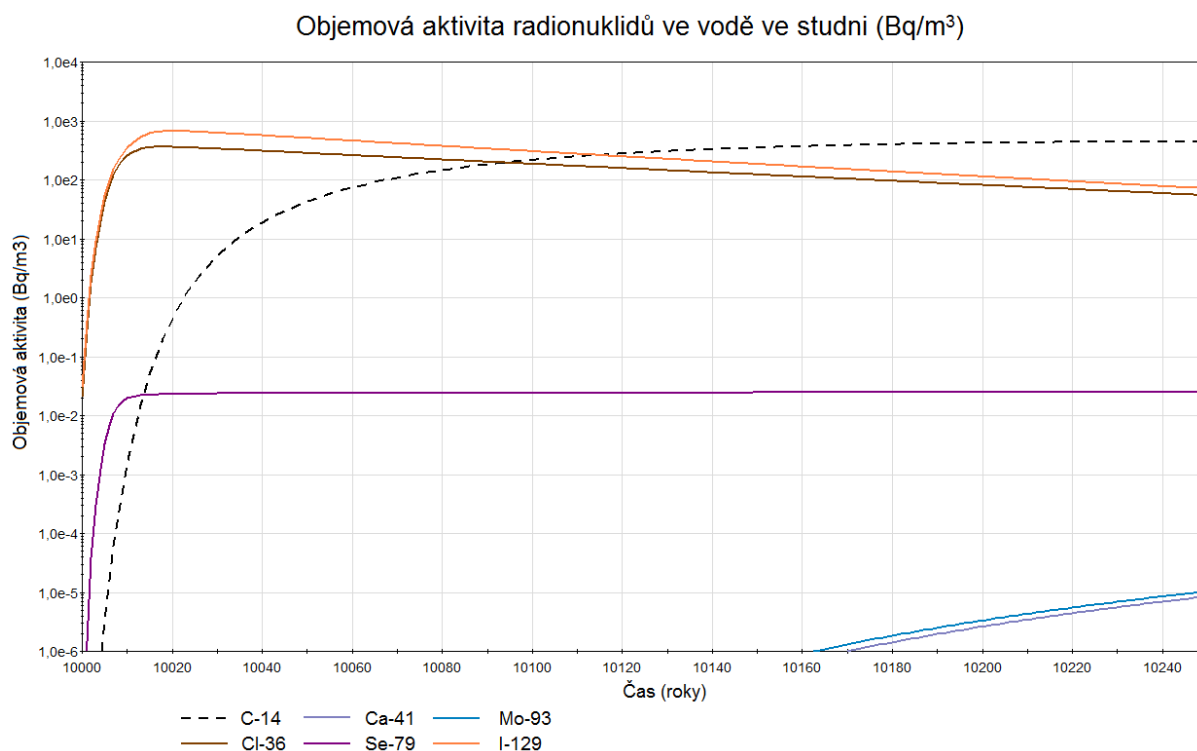
- příspěvky jednotlivých cest ozáření k této dávce (uvažovány jsou příjem radionuklidu požitím - ingesce, příjem radionuklidu vdechnutím - inhalace a zevní ozáření - z půdy, vody a vzduchu),
- příspěvky jednotlivých potravin k této dávce (vzhledem k tomu, že cesta příjmu radionuklidů požitím - ingesce 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. 38.

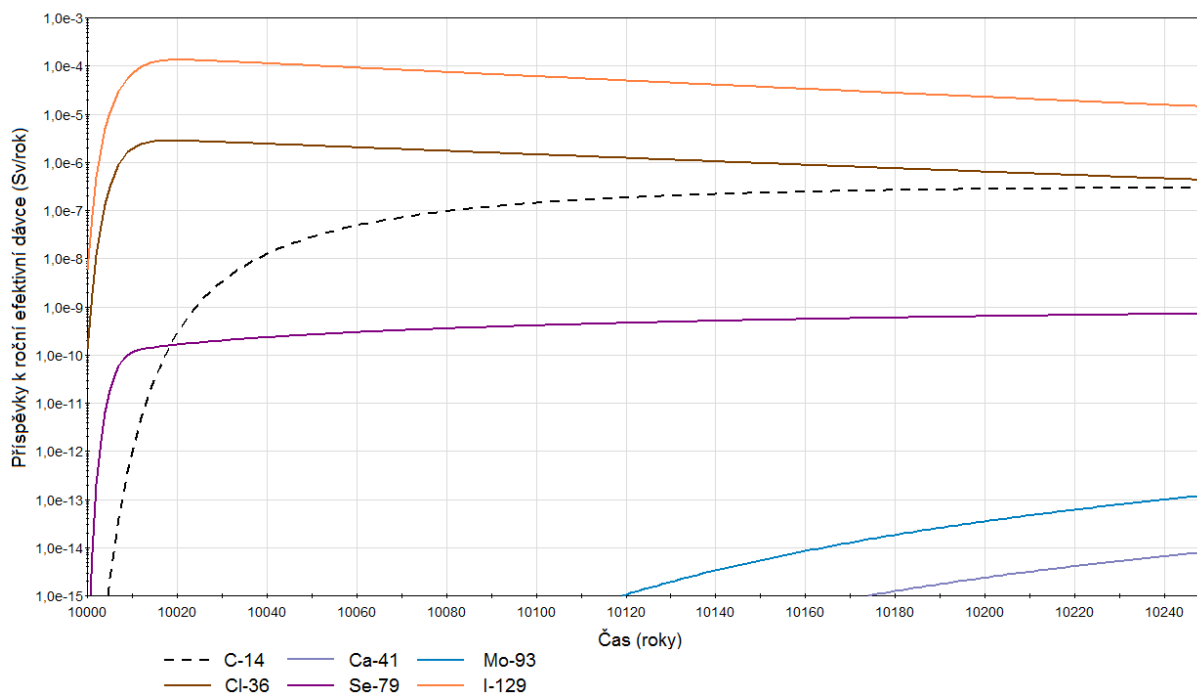


Obr. 38: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m<sup>3</sup>) - (0-10250 let)

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce jsou uvedeny v grafu na Obr. 39 a celkové výsledky shrnuty v Tab. 49.



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



Obr. 39: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Tab. 49: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let

Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 10 250 let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
<b>Roční efektivní dávka</b> na reprezentativní osobu (54,4% dávkové optimalizační meze)	<b>0,136</b>	<b>10 020</b>
Příspěvek jednotlivých <b>radionuklidů</b> 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
<b>I-129</b>	<b>0,133</b>	<b>10 020</b>
Příspěvek jednotlivých <b>cest ozáření</b> k roční efektivní dávce		
Příjem radionuklidů požitím (ingesce)	<b>0,136</b>	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 <b>potravin</b> k roční efektivní dávce		
<b>Voda</b>	<b><math>5,41 \cdot 10^{-2}</math></b>	10 020
Obiloviny	$6,66 \cdot 10^{-4}$	10 019





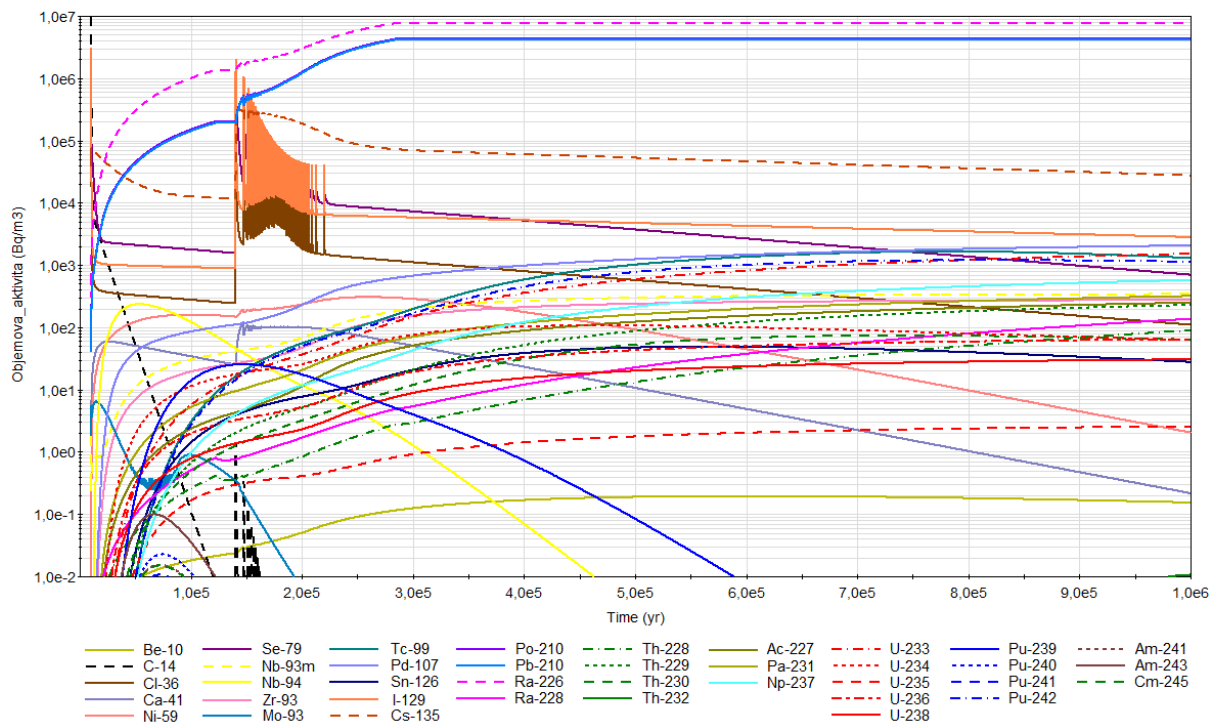
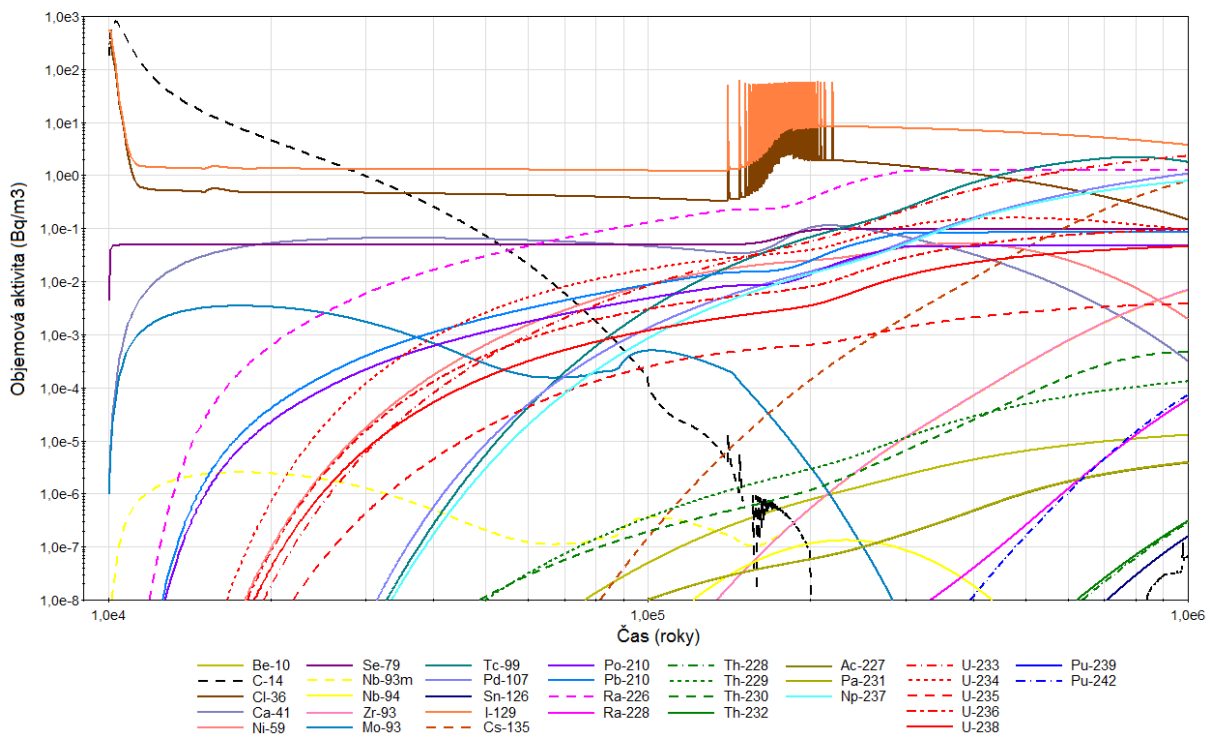
Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 10 250 let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
<b>Listová zelenina</b>	<b><math>3,22 \cdot 10^{-2}</math></b>	10 020
Kořenová zelenina	$3,38 \cdot 10^{-3}$	10 020
Brambory	$4,59 \cdot 10^{-3}$	10 021
Hovězí maso	$1,55 \cdot 10^{-3}$	10 020
<b>Mléko</b>	<b><math>3,69 \cdot 10^{-2}</math></b>	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) -  $^{129}\text{I}$ ,  $^{36}\text{Cl}$  a  $^{14}\text{C}$ . Dominantním radionuklidem je  $^{129}\text{I}$ , který k dávce přispívá téměř 98%. K výpočtu byla použita hodnota IRF pro  $^{129}\text{I}$  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

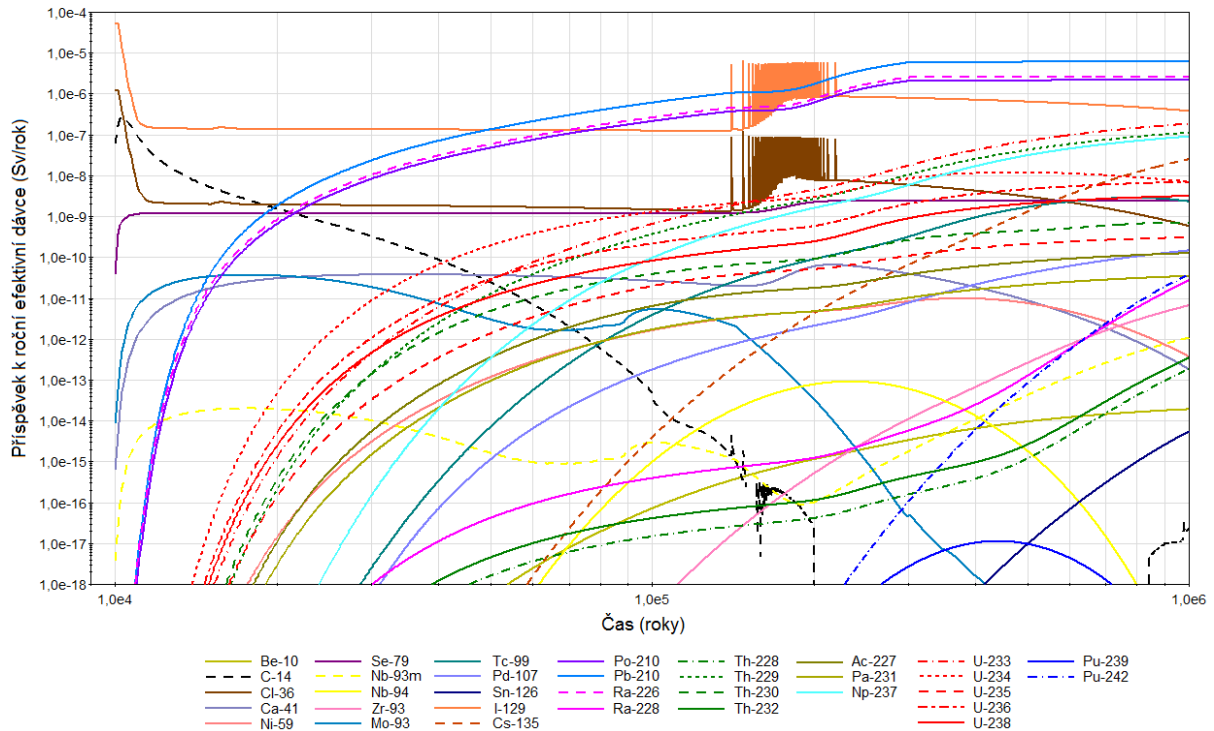
Grafy objemové aktivity uvolněné z pole blízkých interakcí a na rozhraní horninové prostředí/biosféra při předpokladů po poškození 10 UOS v době 10 000 let jsou uvedeny na Obr. 40 a Obr. 41.

Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m<sup>3</sup>)Obr. 40: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m<sup>3</sup>)Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m<sup>3</sup>)Obr. 41: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m<sup>3</sup>) - (0-1000000 let)



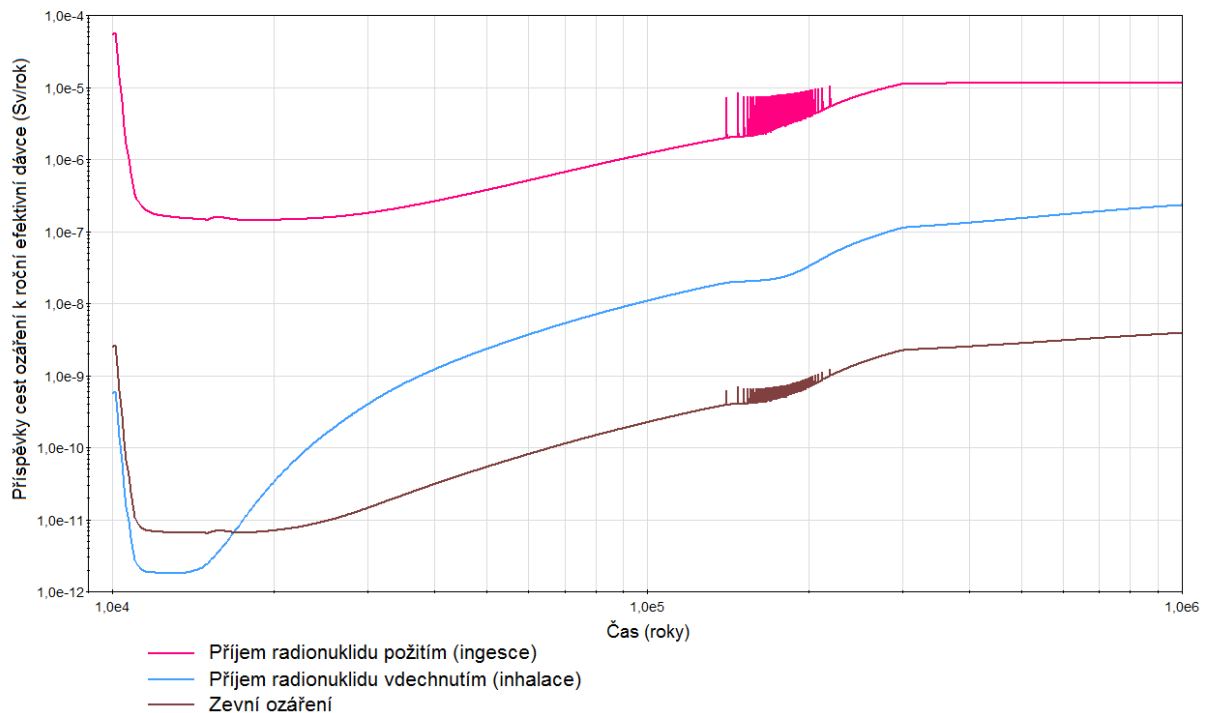
Na Obr. 42 jsou uvedeny příspěvky jednotlivých radionuklidů k čochní efektivní dávce, na Obr. 43 příspěvky jednotlivých expozičních cest na Obr. 44 maximální příspěvky radionuklidů k efektivní dávce.

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



Obr. 42: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

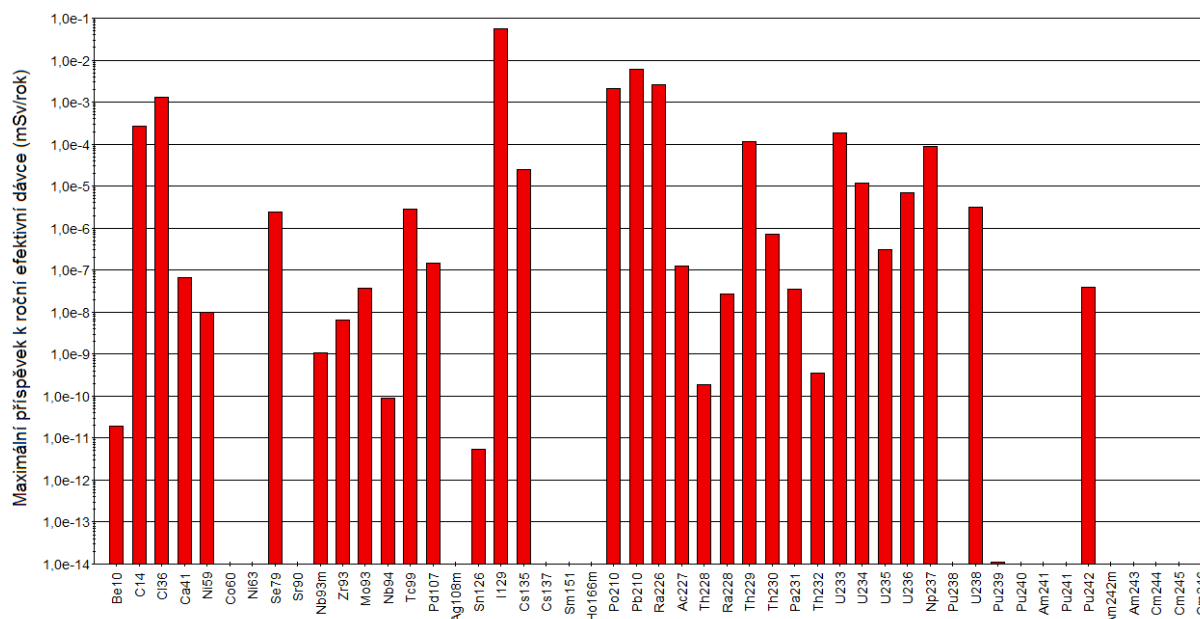
Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok)





Obr. 43: Příspěvky 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. 44: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok)

Celkové výsledky jsou shrnuty v Tab. 50.

Tab. 50: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let)

Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 1 milion let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
<b>Roční efektivní dávka</b> na reprezentativní osobu (54,4% dávkové optimalizační meze)	<b>0,136</b>	<b>10 020</b>
Druhé maximum (selhávání 60 UOS)	0,0117	od 774 600 do 937 000
Příspěvek jednotlivých <b>radionuklidů</b> k roční efektivní dávce		
Be-10	1,91 · 10 <sup>-11</sup>	stále stoupá
C-14	0,000271	10 300
Cl-36	0,00280	10 018
Ca-41	6,54 · 10 <sup>-8</sup>	216 400
Ni-59	9,82 · 10 <sup>-9</sup>	377 700
Co-60	0	-
Ni-63	0	-
Se-79	2,37 · 10 <sup>-6</sup>	stále stoupá
Sr-90	0	-
Nb-93m	1,07 · 10 <sup>-9</sup>	stále stoupá
Zr-93	6,60 · 10 <sup>-9</sup>	stále stoupá
Mo-93	3,70 · 10 <sup>-8</sup>	17 500
Nb-94	9,06 · 10 <sup>-11</sup>	234 400

Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 1 milion let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
Tc-99	2,86.10 <sup>-6</sup>	791 900
Pd-107	1,46.10 <sup>-7</sup>	stále stoupá
Ag-108m	0	-
Sn-126	5,45.10 <sup>-12</sup>	stále stoupá
<b>I-129</b>	<b>0,133</b>	<b>10 020</b>
Cs-135	2,49.10 <sup>-5</sup>	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	1,26.10 <sup>-7</sup>	stále stoupá
Th-228	1,86.10 <sup>-10</sup>	stále stoupá
Ra-228	2,72.10 <sup>-8</sup>	stále stoupá
Th-229	0,000112	stále stoupá
Th-230	7,02.10 <sup>-7</sup>	963 000
Pa-231	3,46.10 <sup>-8</sup>	stále stoupá
Th-232	3,45.10 <sup>-10</sup>	stále stoupá
U-233	0,000184	stále stoupá
U-234	1,20.10 <sup>-5</sup>	475 200
U-235	3,04.10 <sup>-7</sup>	stále stoupá
U-236	6,95.10 <sup>-6</sup>	stále stoupá
Np-237	8,98.10 <sup>-5</sup>	stále stoupá
Pu-238	0	-
U-238	3,15.10 <sup>-6</sup>	stále stoupá
Pu-239	1,13.10 <sup>-14</sup>	441 300
Pu-240	1,11.10 <sup>-23</sup>	196 900
Am-241	5,71.10 <sup>-22</sup>	223 400
Pu-241	1,43.10 <sup>-23</sup>	223 400
Pu-242	3,83.10 <sup>-8</sup>	stále stoupá
Am-242m	0	-
Am-243	3,44.10 <sup>-22</sup>	201 400
Cm-244	0	-
Cm-245	6,52.10 <sup>-22</sup>	223 500
Cm-246	1,38.10 <sup>-27</sup>	155 800
Příspěvek jednotlivých <b>cest ozáření</b> k roční efektivní dávce		
<b>Příjem radionuklidů požitím (ingesce)</b>	<b>0,136</b>	<b>10 020</b>
Příjem radionuklidů vdechnutím (inhalace)	2,31.10 <sup>-7</sup>	stále stoupá
Zevní ozáření (z půdy, vody, vzduchu)	5,41.10 <sup>-9</sup>	10 037
Příspěvek příjmu jednotlivých <b>potravin</b> k roční efektivní dávce		





Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 1 milion let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
Voda	$5,41 \cdot 10^{-2}$	10 020
Obiloviny	$9,76 \cdot 10^{-4}$	cca 950 000
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  $^{129}\text{I}$  (0,133 mSv/rok) a to již zhruba 20 let po poškození obalových souborů. V pozdějším období dominuje příspěvek  $^{226}\text{Ra}$  a jeho dceřiných produktů  $^{210}\text{Pb}$  a  $^{210}\text{Po}$ . 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  $^{129}\text{I}$  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 přípovrchové 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 vypočetním kódu GoldSim, byl proveden orientační výpočet pro  $^{129}\text{I}$  s využitím komerčního vypočetního kódu PAGODA vyvinutého ve společnosti Quantisci (QuantiSci, 1990). Tento výpočet je založen na průměrných hodnotách pro krystalinické prostředí (viz Tab. 29). 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  $\alpha_l^C$  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,  $\varepsilon$  a  $D$  jsou porozita a difúzní koeficient bentonitu.

Dále se vychází u předpokladu, že na rozhraní úložný vrt – hostitelské prostředí či výplně tunelu musí být splněna podmínka kontinuity:

$$aC_j(r_1, t) + b \left. \frac{\partial C_j}{\partial r} \right|_{r=r_1} = 0 \quad (3)$$

Při výpočtu toku radionuklidů přes puklinové krystalinické prostředí se využívá následující advektivně-disperzní rovnice, která zahrnuje difúzi radionuklidů do neproudící vody v matici horniny:

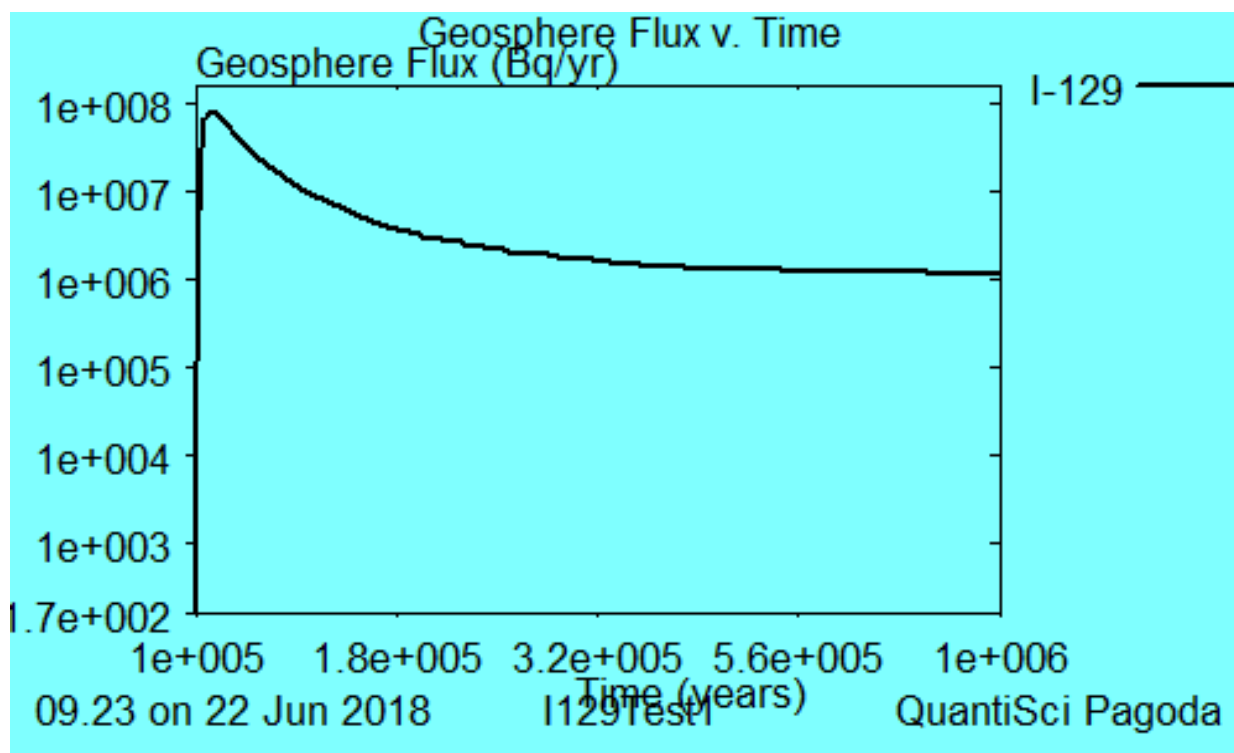


$$\frac{\partial C_n^G}{\partial t} = -v^G \frac{\partial C_n^G}{\partial t} + D^G \frac{\partial^2 C_n^G}{\partial x^2} - \lambda_n C_n^G + \lambda_{n-1} C_{n-1}^G + \frac{\Omega^M \varepsilon^M D^M}{\varepsilon^G} \frac{\partial C_n^M}{\partial w} \quad (4)$$

,kde  $v^G$  je rychlost vody v pórech (m/rok),  $D^G$  je disperzní koeficient v horninovém prostředí (m<sup>2</sup>/rok),  $\varepsilon^G$  je kinematická porozita,  $\varepsilon^M$  je porozita v matici horniny,  $\Omega^M$  je smáčený povrch pukliny (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) 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 m<sup>3</sup>/rok, protože v lokalitě se vyskytují jen lokální zdroje podzemních vod. Konzervativně se předpokládá, že v době 100000 let se poškodí všechny obalové soubory a uvolněné radionuklidy směřují do dominantní drenáže. Pouze 1 % radionuklidů ze všech obalových souborů se dostane do studně určené k pití vody, tj. v případě lokalit Čihadlo jde o radionuklidy ze 43 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 k celoročnímu pití vody má kapacitu 10000 m<sup>3</sup>/rok. Maximální tok <sup>129</sup>I do biosféry při okamžitém, málo pravděpodobném, poškození všech 4560 obalových souborů směřujících do dominantní drenáže Řečice byla spočítán (Obr. 45) na hodnotu 6,9 x 10<sup>7</sup> Bq/rok zhruba za 5000 let po okamžitém poškození obalových souborů, což při výše uvedených předpokladech odpovídá hodnotě efektivní dávky 5,7 x 10<sup>-3</sup> 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 10000 m<sup>3</sup>/rok).



Obr. 45: Odhad toku I-129 do životního prostředí při okamžitém poškození všech obalových souborů



## 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 stanovena 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 Čihadlo 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

radionuklidy do životního prostředí. Bez znalosti prostředí v hloubce úložiště je však obtížné navrhnout lepší materiály pro obalové soubory, lepší těsnicí systémy či ekonomicky optimální řešení designu úložiště. Tato kapitola bude více relevantní v dalších stádiích vývoje hlubinného úložiště.

## B.12 Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu

V této kapitole jsou uvedeny informace o předpokládaném množství odpadů, které mají být uloženy do hlubinného úložiště, včetně jejich fyzikálních, chemických a radiologických vlastností. Radioaktivní odpady jsou na základě způsobu, jak s nimi bude nakládáno, rozděleny do tří skupin:

- vyhořelé jaderné palivo (včetně plánovaných nových jaderných zdrojů)
- odpady z vyřazování jaderných zařízení (včetně plánovaných nových jaderných zdrojů)
- ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť

Hodnoty aktivit klíčových radionuklidů a informace o základních parametrech VJP byly převzaty ze závěrečné zprávy (Rataj et al., 2015) dílčího úkolu Databáze VJP projektu Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Databáze VJP se pravidelně aktualizuje podle skutečného provozu jaderných elektráren a budou se tak aktualizovat i tabulky s inventářem VJP uvedené v této kapitole.

Množství a charakterizace odpadů z vyřazování jaderných zařízení a institucionálního odpadu byly převzaty z technické zprávy (Touš et al., 2018) dílčího úkolu Chování VJP a forem RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. Množství odpadů se bude zpřesňovat na základě údajů získaných ze skutečného provozu jaderných zařízení a zpřesňováním údajů při přípravě vyřazování jaderných elektráren.

### B.12.1 Vyhořelé jaderné palivo

Do HÚ bude ukládáno 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. 51. 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**.



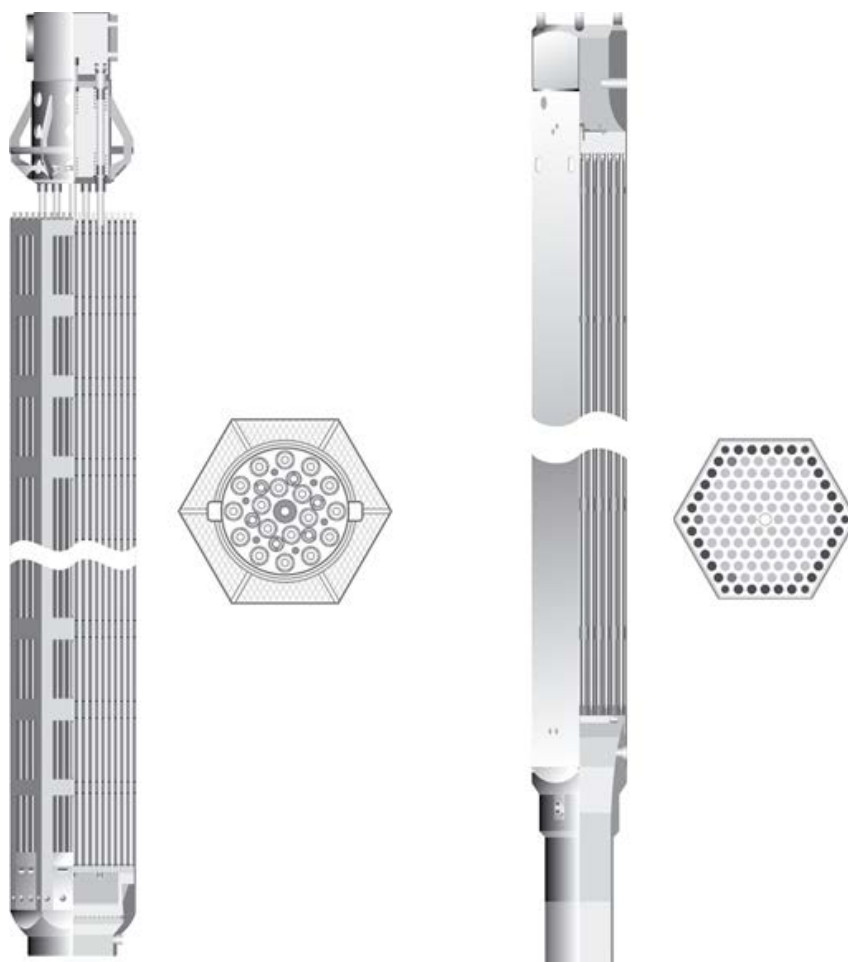


Tab. 51: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ

	jednotky	EDU	ETE	EDU, ETE
typ reaktoru		VVER-440	VVER-1000	NJZ
max. vyhoření	MWd.kg <sup>-1</sup>	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. 46.



Obr. 46: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm)

Palivový proutek (Obr. 47) je nejdůležitější součástí jaderného paliva a také základní stavební jednotkou výpočetního modelu vyhoření paliva.



Obr. 47: 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.52. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů přepočítané na jeden UOS a na celkovou aktivitu všech palivových souborů z EDU, ETE a NJZ jsou uvedeny v Tab. 53.



Tab.52: Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP

Aktivační produkty	Aktinidy					Štěpné produkty
<sup>3</sup> H						<sup>79</sup> Se
<sup>10</sup> Be	<sup>229</sup> Th	<sup>230</sup> Th	<sup>232</sup> Th			<sup>85</sup> Kr
<sup>14</sup> C	<sup>231</sup> Pa					<sup>90</sup> Sr
<sup>36</sup> Cl	<sup>233</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>93</sup> Zr
<sup>41</sup> Ca	<sup>237</sup> Np					<sup>99</sup> Tc
<sup>59</sup> Ni	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu	<sup>240</sup> Pu	<sup>242</sup> Pu		<sup>107</sup> Pd
<sup>63</sup> Ni	<sup>241</sup> Am	<sup>242</sup> Am	<sup>243</sup> Am			<sup>126</sup> Sn
<sup>93</sup> Zr	<sup>244</sup> Cm	<sup>245</sup> Cm	<sup>246</sup> Cm			<sup>129</sup> I
<sup>93</sup> Mo						<sup>135</sup> Cs
<sup>94</sup> Nb						<sup>137</sup> Cs
<sup>108m</sup> Ag					<sup>226</sup> Ra*	<sup>151</sup> Sm
<sup>166m</sup> Ho						

\*Ra nepatří mezi aktinidy, nepatří ani mezi štěpné produkty a aktivační produkty. <sup>226</sup>Ra vzniká jako dceřiný produkt při rozpadu aktinidů.

Tab. 53: 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
<b>suma</b>	<b>2,64E+15</b>	<b>8,20E+18</b>	<b>4,21E+15</b>	<b>7,57E+18</b>	<b>5,20E+15</b>	<b>1,40E+19</b>

#### B.12.1.4 Tepelný výkon UOS

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

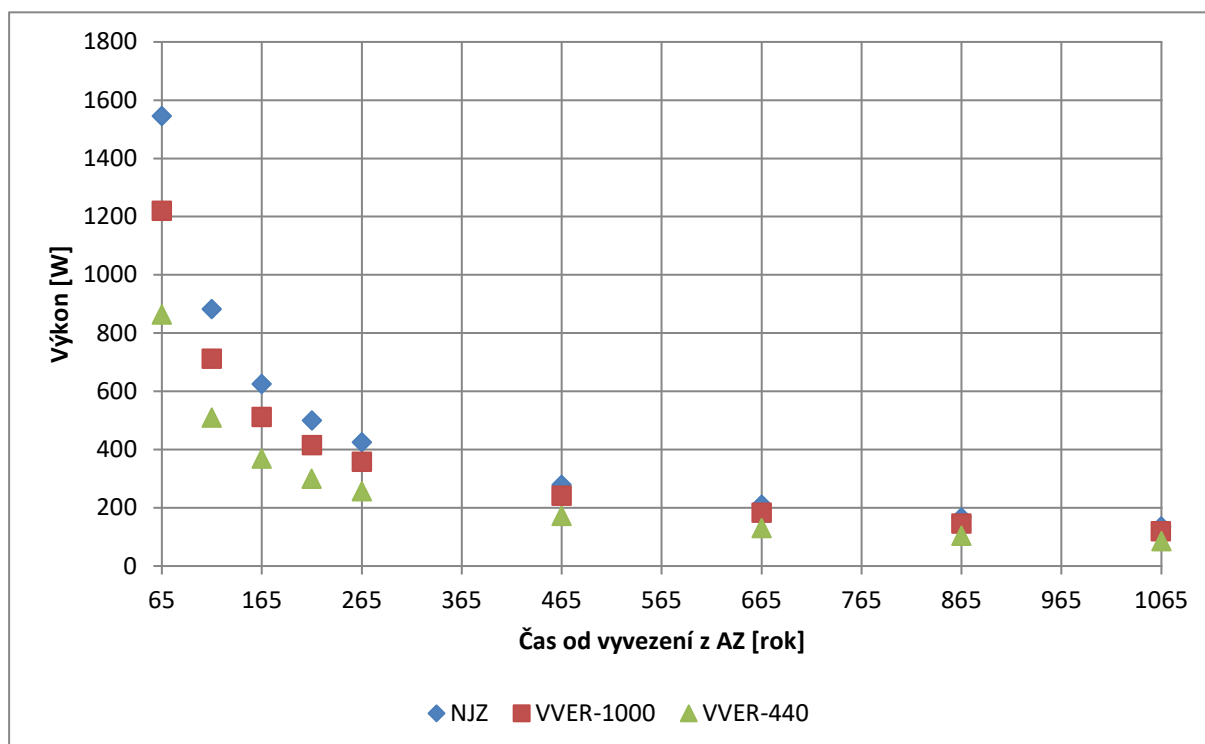
- VVER-440 Gd-2M+ s průměrným obohacením 4,38 % a vyhořením 60 MWd/kg<sub>HM</sub>
- VVER-1000 TVSAT s průměrným obohacením 4,60 % a vyhořením 60 MWd/kg<sub>HM</sub>
- NJZ s průměrným obohacením 4,50 % a vyhořením 70 MWd/kg<sub>HM</sub>

Vypočtené hodnoty výkonů ve střední části UOS (maximální hodnota) jsou uvedeny v Tab. 54. Grafické znázornění zbytkového výkonu pro jeden UOS je na Obr. 48.



Tab. 54: 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. 48: 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-Monte Carlo team, 2010) byl vytvořen zjednodušený dvourozměrný model jednotlivých typů UOS. Toto přiblížení je konzervativním odhadem skutečné geometrie UOS. Provedené výpočty zohledňují aktualizované rozměry UOS. Rozměry pro UOS paliva VVER-440 byly převzaty z řízené dokumentace Škoda JS (Ae 17004) – varianta 2. Rozměry UOS pro VVER-1000 a paliva NJZ byly odhadnuty na základě této aktualizace při zachování mezery mezi palivovými soubory a vnitřním pouzdrem UOS. Zachována byla také tloušťka jednotlivých částí UOS. Rozměry konstrukcí obalových souborů použitých ve výpočetních modelech jsou uvedeny v Tab. 55.





Tab. 55: 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. 56.

Tab. 56: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS

Typ paliva	Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS [mSv.h <sup>-1</sup> ]		
	neutrony	fotony	celkem
VVER-440 Gd-2M	2,34	11,41	13,75
VVER-440 Gd-2M+	2,4	11,54	13,94
VVER-1000	2,25	11,61	13,86
NJZ	3,69	13,44	17,14
Typ paliva	Příkon ekvivalentní dávky ve vzdálenosti 1 m od UOS [mSv.h <sup>-1</sup> ]		
	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:

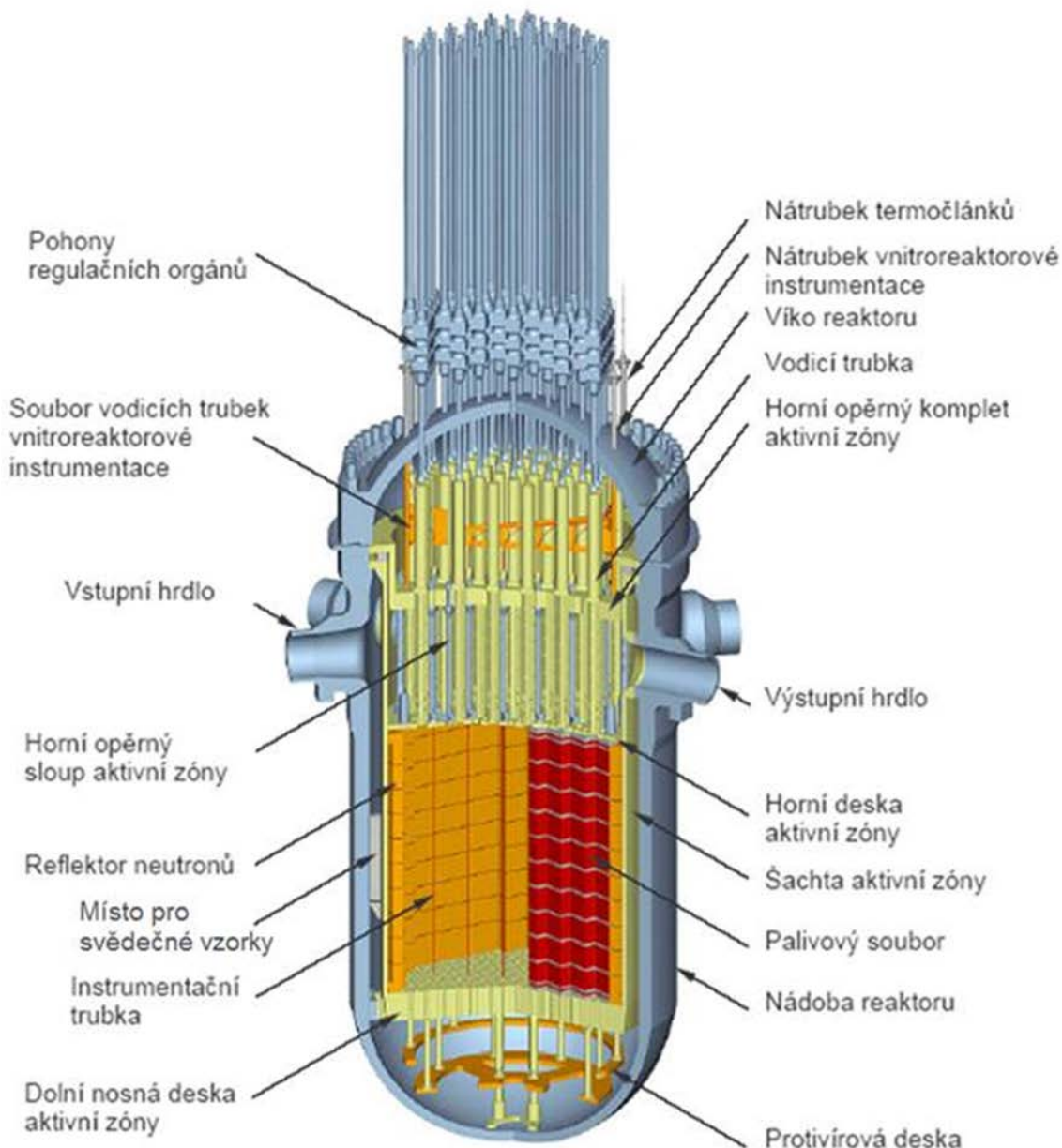
- aktivovanými částmi konstrukčních dílů (válcová část tlakové nádoby, koš aktivní zóny, šachta reaktoru, tepelné stínění)
- aktivovanými betony a zásypy (biologické stínění)
- provozními aktivními předměty (aktivovaná čidla, termočlánky, vložené tyče, kazety svědečných vzorků, absorbátory)

### B.12.2.1 JE Temelín

V Tab. 57 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. 49.

Tab. 57 : 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 <sup>3</sup> ]	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
serpentinitový beton	54 615	10	43	133
kanály IK a manipulační kanály	5 250	4	17	49
stavební beton	1 360	1	4	12
<b>suma - 1 reaktor</b>	<b>416 205</b>	<b>133</b>	<b>577</b>	<b>1 862</b>
<b>suma - 2 reaktory</b>	<b>832 410</b>	<b>266</b>	<b>1 153</b>	<b>3 723</b>



Obr. 49: Vertikální řez reaktoru VVER-1000

V Tab. 58 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.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 58: 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
<b>suma</b>	<b>6,60E+11</b>	<b>4,68E+11</b>	<b>1,49E+10</b>	<b>1,84E+08</b>

Množství oceli, betonu a dalších aktivních předmětů z jednoho reaktoru VVER-1000 v době ukládání shrnuje Tab. 59. V tabulce jsou současně uvedeny měrné aktivity těchto materiálů na konci provozu a v době ukládání.

Tab. 59: 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. 60 představují celkovou aktivitu sledovaných radionuklidů (pro oba bloky JE Temelín) v konstrukční oceli, nerezové oceli a betonu v době plánovaného ukládání do HÚ.

Tab. 60: 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. 61. Celková hmotnost a počet betonových kontejnerů je spočítán pro všechny 4 reaktory JE Dukovany.

Tab. 61: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany

Komponenty reaktoru	HÚ [kg]	betonové kontejnery [ks]	objem [m <sup>3</sup> ]	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
<b>suma - 1 reaktor</b>	<b>497 000</b>	<b>497</b>	<b>2 157</b>	<b>5 899</b>
<b>suma - 4 reaktory</b>	<b>1 988 000</b>	<b>1988</b>	<b>8 628</b>	<b>23 598</b>

V Tab. 62 a Tab. 63 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. 62: 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 <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]
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
<b>suma</b>	<b>3,78E+11</b>	<b>1,06E+12</b>	<b>9,43E+10</b>	<b>9,90E+08</b>



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab. 63: 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 <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]	[Bq.kg <sup>-1</sup> ]
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	/	/
<b>suma</b>	<b>5,24E+08</b>	<b>1,85E+11</b>	<b>4,60E+06</b>	<b>2,87E+06</b>

Celkové aktivity vybraných klíčových radionuklidů v konstrukční a nerezové oceli a v serpentinitovém betonu pro všechny 4 bloky JE Dukovany jsou uvedeny v Tab. 64.

Tab. 64: 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 a dobou provozu 60 let. Pro JE Dukovany se uvažuje reaktor 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. 65.

Tab. 65: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro okamžité vyřazování z provozu, s dobou provozu reaktorů 60 let pro 3 plánované bloky NJZ

Materiál	měrná aktivita [Bq.kg <sup>-1</sup> ] 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:

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- nádobu reaktoru, ocel 08Ch18N10T, uvažovaná hmotnost 7 900 kg
- koš AZ, horizontální kanály a tepelná kolona, hliník AlMg5, hmotnost 275 kg
- absorpční tyče, B<sub>4</sub>C + 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. 66.

Tab. 66: 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 <sup>3</sup> ]	[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 Vyhořelé 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 uložení do HÚ skladován v ÚJV Řež, a. s. Hmotnosti vitrifikátu s celkovou aktivitou a celkovým objemem pro obě přepravy jsou uvedeny v Tab.67. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů jsou shrnuty v Tab. 68.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Tab.67: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy

Vitrifikát	celková aktivita [Bq]	množství [m <sup>3</sup> ]	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. 68: 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. 69 jsou uvedeny aktivity alfa, beta a gama zářičů a celkové hmotnosti RAO předaného do režimu skladování. Referenční datum, ke kterému je stanovená 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).

Tab. 69: 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. 70 představuje přehled ZIZ podle radionuklidů s jejich celkovou aktivitou k datu 10. 12. 2015. V Tab.71 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. 70: 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
<b>suma</b>	<b>1,99E+16</b>	

Tab.71: 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
<b>celkový součet</b>	<b>4 968</b>

Inventarizace odpadů z vyřazování jaderných zařízení a institucionálních odpadů nepřijatelných do přípovrchových úložišť je shrnuta do databázového souboru, který vytvořili v ÚJV Řež, a. s. Databáze umožňuje spočítat aktivity položek k různým referenčním datům, získat informace o hmotnosti jednotlivých položek, o obalovém souboru/stínění, původ vzniku odpadu apod.



## C POPIS PROJEKTU

Tato část studie ZBZ podává předběžnou informaci o předpokládaném rozsahu činností, které budou probíhat na úložišti. V této fázi, kdy ještě není zpracován projekt úložiště, jsou předloženy základní údaje o provozu včetně základních technických parametrů, navrhovaných technologií a zařízení tak, aby bylo možné identifikovat nebezpečné situace vyplývající ze základních provozních činností, vyhodnotit dopady běžných provozních situací nebo havárií a posoudit vhodnost nápravných opatření a způsobů zmírnění následků těchto situací.

### C.1 Bezpečnostní cíle projektu HÚ

Hlavním bezpečnostním cílem projektu HÚ je zajistit, aby vyhořelé jaderné palivo bylo uloženo bezpečným způsobem, aniž by došlo k nepřijatelnému radiačnímu ozáření 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, tlumící bariérou, výplní chodeb, těsněním a injektáží hornin a vlastnostmi horninového prostředí.

Fyzikální znemožnění vzniku kritického a nadkritického stavu VJP bude podrobně řešeno při projektování horké komory a při dalším vývoji UOS.



Odvod zbytkového tepla z VJP bude pasivní pomocí vedení a přestupů tepla z VJP přes UOS a tlumící bariéru do horninového prostředí. Z výpočtů vycházející rozteče mezi UOS budou upřesněny při projektování HÚ.

Zajištění stínění a bránění úniku radioaktivní látky a šíření ionizujícího záření do životního prostředí při překládání VJP z POS do UOS bude podrobně řešeno při projektování horké komory a navazujících systémů vzduchotechniky včetně filtrace vzdušín. Stínění při přepravě UOS k ukládacímu místu bude řešeno návrhem přepravních a manipulačních prostředků.

### C.3 Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy

Tato kapitola popisuje referenční komponenty úložiště důležité pro hodnocení bezpečnosti. Jsou uvedeny předběžné referenční komponenty a jejich možné alternativy. Rovněž je uveden rozsah vlastností referenčních komponent relevantních pro hodnocení bezpečnosti.

#### C.3.1 Ukládací obalový soubor

Ve smyslu vyhl. 329/2017 Sb. (SÚJB 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 jsou především:

- těsnost,
- korozní odolnost (v prostředí s nízkým oxidačně redukčním potenciálem, vysoká teplota, vysoká radiace, spolupůsobení bentonitových substrátů a granitické vody za přítomnosti plynných složek horninového masivu, přechod z aerobního do anaerobního prostředí, atd.),
- kompatibilita s uvažovanými inženýrskými bariérami, případně dalšími materiály uvažovanými v hlubinném úložišti včetně betonu,
- mechanická odolnost vůči zatížením
  - tlakového působení
  - seismických událostí
  - vyvolaných tlaky a také možnými střížnými posuny na puklinách v horninovém masivu,
  - faktorů vyvolanými výraznou změnou klimatu a postvulkanickými událostmi,



- o vlivu prostředí uvnitř ukládacího obalového souboru (tlaková, tepelná, radiační zátěž)

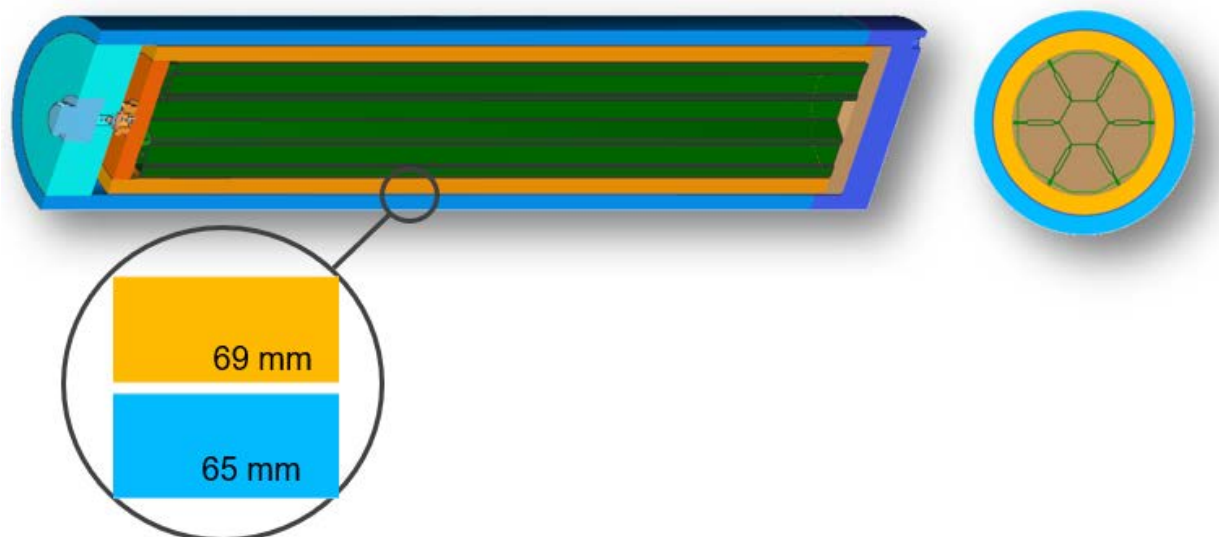
UOS pro VJP musí splnit rovněž požadavky uvedené ve vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SÚJB 2016g), neboť jde o obalový soubor typu D, který podléhá typovému schvalování.

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.

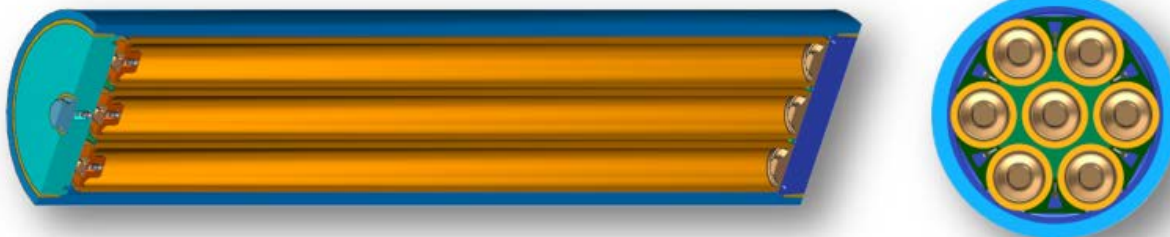


Obr. 50: Varianta UOS č. 2 (pro 7 PK VVER 440, s vnějším obalem z uhlíkové oceli, vnitřní pouzdro z nerezové oceli a vnitřní vestavby z nerezové oceli)

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

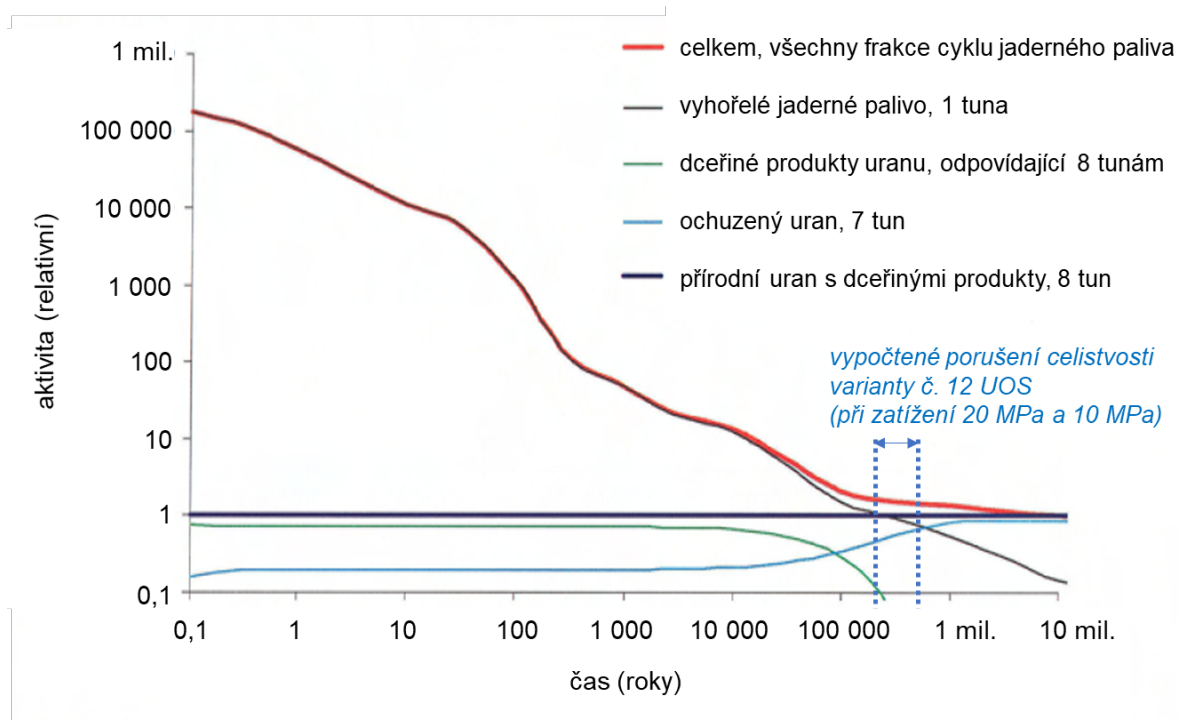
V současné době nejvíce perspektivní se jeví varianta UOS, která uvažuje se samostatnými pouzdry pro každou palivovou kazetu (u paliva pro VVER 440) viz následující obrázek, respektive pro každý palivový soubor (u paliva pro VVER 1000).



Obr. 51: 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 Obr. 52 je do grafu SKB (obdoba Obr. 31) 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, ze kterého VJP vzniklo.



Obr. 52: 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)

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

V prvním přiblížení lze podle výše uvedeného obrázku říci, že samotný UOS zabrání po velmi dlouhou 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. (SÚJB 2016g) bude kratší (bude odpovídat době porušení celistvosti vnějšího přebalu).

Kromě výše uvedených variant UOS č. 2 a 12 bude jako záložní varianta sledováno řešení UOS s vnějším obalem z mědi obdobným UOS, které předpokládají použít ve Finsku a Švédsku.

Podrobnější informace jsou uvedeny v technické zprávě za 3. etapu (Kotnour et al., 2017).

Korozními zkouškami s materiály navrženými pro konstrukci ukládacích obalových souborů včetně interakcí těchto materiálů s bentonitou se zabývají zprávy (Gondolli et al., 2018) a (Dobrev et al., 2017b).

Potenciální mikrobiální korozi UOS se zabývá zpráva (Černík et al., 2017).

### **C.3.2 Tlumicí bariéra**

Tlumicí bariéra vyplňuje prostor mezi UOS a horninou. Předpokládaným materiálem je bobtnavá zemina – bentonit, který díky svým vlastnostem vyplní i případné technologické spáry a celé místo dostatečně utěsní. Pro správnou funkci této bariéry je nutné určité zhutnění bentonitu.

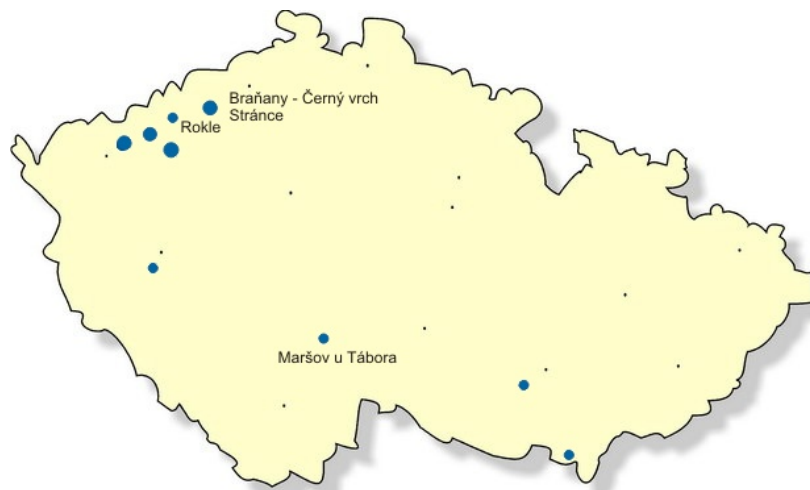
Referenčním materiálem jsou prefabrikované tvárnice z bentonitu zhutněné na objemovou hmotnost 1 550 – 1 750 kg/m<sup>3</sup>. Zároveň se řeší alternativa v podobě bentonitových pelet, jejichž výhodou je snadná výroba a manipulace.

Předpokládá se použití českého bentonitu, který je vápenato-hořečnatý (Ca-Mg). Výzkum je cílen k výběru konkrétního bentonitu a specifikaci parametrů, které zajistí správnou funkci této bariéry.

#### **C.3.2.1 Český bentonit**

Podle publikace „Surovinové zdroje České republiky“ (MŽP 2016) bylo v České republice v roce 2015 evidováno 37 ložisek bentonitu. Z tohoto počtu bylo 7 ložisek těžných. V témže roce bentonit těžily tři organizace: Sedlecký kaolin a. s., Božíčany, KERAMOST a. s., Most a KSB s.r.o. Božíčany.

Naprostá většina ložisek bentonitu (a všechna významnější) jsou vázána na širší okolí Doupovských hor a Českého středohoří (viz následující obrázek). Mimo tyto oblasti se nacházejí vesměs malá ložiska převážně montmorillonických jíílů (s rozdílnou genezí) na Plzeňsku (Dnešice), na Táborsku (Maršov u Tábora, Rybova Lhota – jediné těžné) a v karpatském neogénu na jižní Moravě (Ivančice – Réna, Poštorná). (Woller, 2017)



Obr. 53: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online)

V současnosti probíhají charakterizační práce, jejichž cílem je výběr vhodného ložiska bentonitu, které bude svým objemem a kvalitou vyhovovat požadavkům HÚ.

Charakteristika bentonitu využívaného pro výzkum (B75)

Bentonit, který je v současné době využíván pro výzkum, je typickým zástupcem českých Ca-Mg bentonitů pocházejících z oblasti Doupovských hor a Českého středohoří. Tento bentonit je z ložiska Černý vrch, je průmyslově zpracovaný a dodáván na trh pod názvem B75. Pro experimenty (laboratorní i in-situ) byl vybrán z důvodu vysokého stupně homogenity, kterou lze dosáhnout jen u průmyslově upraveného produktu. V rámci zpracování byl bentonit sušen, mechanicky rozrušen a proset.

Bentonit B75 byl testován v řadě projektů, např. Mock-Up Josef (Štáštka a kol. 2016), EPSP–DOPAS (Vašíček et al., 2016) a CEBAMA (Večerník et al., 2016). Silikátová analýza vybraného českého bentonitu a bentonitu typu MX-80 je uvedena v Tab. 72.

Tab. 72: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karnland, 2010)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>B75 [hm%]</b>	49,83	15,35	2,82	10,9	3,74	0,09	2,88	2,01	0,67	1,05	0,63	3,6 6
<b>MX-80 [hm%]</b>	65,9	21,5	0,24	4,46	-	-	2,82	1,63	2,69	0,56	0,06	-

### Hydrofyzikální vlastnosti bentonitu B75

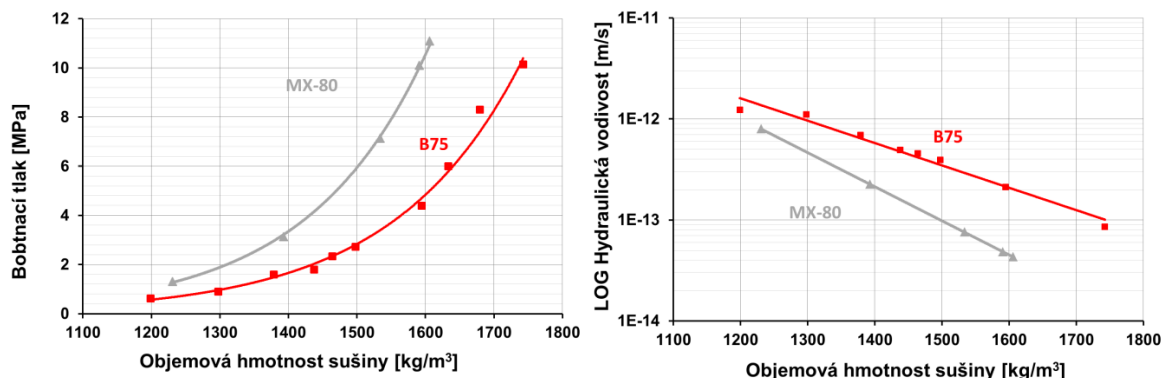
Hydrofyzikální vlastnosti bentonitu jsou úzce spjaté s jeho těsnicí schopností, která je zásadní pro správnou funkci tlumící bariéry. Mezi základní vlastnosti lze řadit bobtnací tlak a hydraulickou vodivost. Dostatečně vysoký bobtnací tlak zajistí utěsnění bariéry a nízká hydraulická vodivost zpomalí 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. 54), který vykazuje lepší těsnicí vlastnosti. Lepších těsnicích vlastností lze také dosáhnout větším zhutněním vzorku – navýšením objemové hmotnosti sušiny (viz Obr. 54).





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.

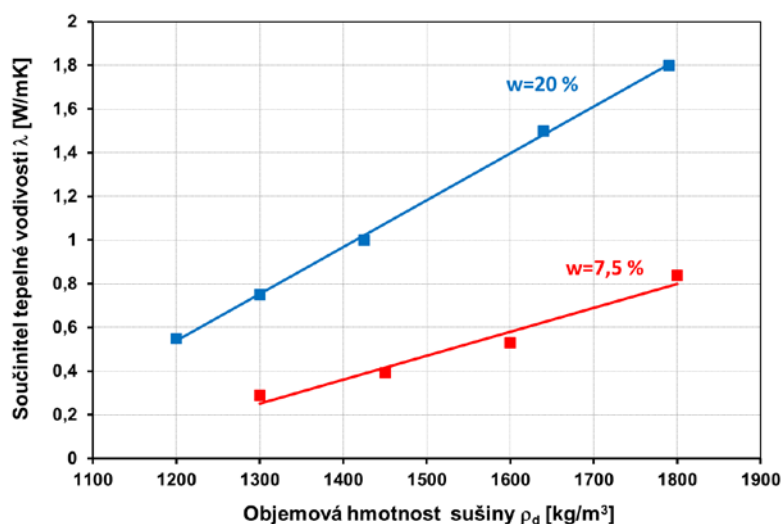


Obr. 54: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).

Hodnoty obou materiálů byly převzaty: B75 (Vašíček et al., 2016) a MX 80 (Akesson et al. 2010)

Tepelné vlastnosti 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. 55: 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.3.3 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 zavážecích chodeb, pro uzavření celé sekce a při uzavírání úložiště také v jámách. Minimální životnost těchto konstrukcí je projektována na 150 let (doba provozu HÚ). Zátky musí odolat vysokým tlakům až 7 MPa a to především ty, které jsou umístěné na ukládacím horizontu.

Zátky mají tyto základní funkce:

- 1) odolat tlaku bobtnajícího výplňového materiálu, aby nedošlo k jeho vybobtnání směrem ven a tím i změně jeho vlastností
- 2) zabránit 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. Purljekt, 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/cm<sup>3</sup> tak, aby po tzv. volném sypání bylo dosaženo v mezerách objemové hmotnosti alespoň 1,5 g/cm<sup>3</sup>.

### C.3.6 Úložné prostory

Úložné prostory jsou dále popsány pro vertikální ukládání UOS.

Z hlediska způsobu rozpojování hornin se rozlišují tyto dva preferované typy ražeb:

- mechanizovaný způsob ražby za pomoci plnoprofilových razicích strojů – především hard rock TBM
- konvenční způsob ražby – cyklická ražba, při které jsou pro rozpojování hornin využity hlavně trhací práce (metoda NRTM, případně „Drill & Blast“)

Projektové řešení počítá s dvěma preferovanými způsoby rozpojování hornin a jim odpovídající varianty dispozičního řešení podzemního areálu HÚ, které jsou dále označovány zkratkami D1 a D2.

Technologie ražby bude vždy kombinací obou výše popsaných způsobů. Zásadní premisou jejich využití je to, aby co největší podíl prostor, kde budou uloženy UOS, byl proveden

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

dostatečně šetrně a narušení okolního horninového masivu (EDZ) bylo minimální. V zásadě to znamená, že všechny ukládací vrty budou prováděny mechanizovanou ražbou.

Ostatní prostory, hlavně ty, které budou raženy klasickými metodami, by měly být prostorově a délkově omezené, aby případné proudění podzemní vody ve vzniklém prostředí EDZ bylo odděleno od celkového režimu proudění podzemní vody v horninovém masivu. Znamená to provedení opatření, která by měla vhodně přerušovat průběh EDZ podél dlouhých důlních děl např. zátkami nebo těsníci injektovanými vějíři. Tyto práce a materiály budou součástí navazujících prací na výzkumy prvků v kap. C3.4 a C3.5. Jejich aplikace v HÚ je závislá na konkrétní podrobné geologické a tektonické stavbě, kterou je nutné nejprve podrobněji definovat na základě průzkumných prací.

Tab. 73: Dispoziční varianty řešení podzemního areálu HÚ pro vertikální ukládání

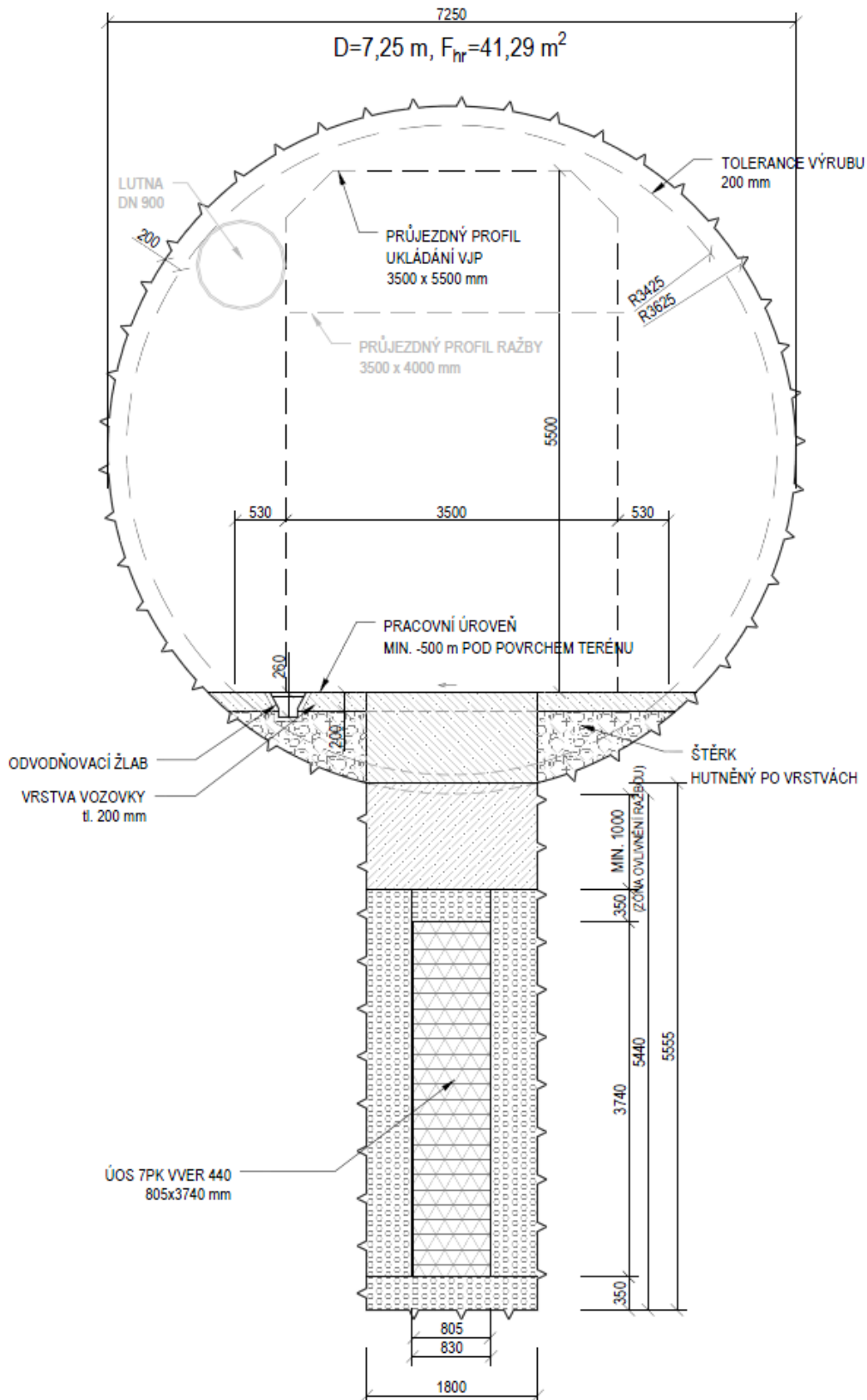
Dispoziční řešení	D1		D2	
	vertikální		vertikální	
způsob ukládání VJP	vertikální		vertikální	
preferovaný typ ražby	K	M	K	M
zavážecí a těžební tunel		x	x	
páteřní chodby		x	x	
spojovací chodby	x		x	
ukládací chodby		x	x	
ukládací vrty		x		x

VU – vertikální ukládání, K – konvenční metoda ražby, M – mechanizovaný způsob ražby za pomoci plnoprofilových razicích strojů; Pozn.: Křížek značí preferovanou volbu technologie ražby pro danou variantu.

Při projektování obou variant se přihlíželo k vzniku a vývoji zóny EDZ (Excavation Damaged Zone - zóny poškození ražbou), v které je riziko výskytu otevřených diskontinuit pro případnou migraci radionuklidů a proudění vody v částečně rozpukaném masívu kolem výrubu.

V případě obou variant jsou ukládací vrty realizované ze zavážecí chodby. Předpokládá se ražba vrtů výlučně za pomoci plnoprofilových vrtných strojních sestav. Ukládací vertikální vrty průměru 1,8 m budou raženy svisle z horizontální pracovní roviny ze zavážecí chodby.

Na následujícím obrázku je uvedeno uložení UOS VVER 440 v preferované variantě D1. Řešení uložení UOS ve variantě D2 je uvedeno ve zprávě Grünwalda et al. (2017a).



Obr. 56: Vertikální uložení UOS (VVER 440) z ukládací chodby ražené TBM - D1





## C.4 Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu

### C.4.1 Umístění povrchového areálu

Povrchový areál je umístěn mezi obcemi Lodhéřov a Dolní Radouň viz výkres „Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4)“ (Příloha D.2 této studie. Zvolené a alternativní umístění povrchového areálu je zakresleno na výkresu „Střety zájmů“ (Příloha D.3 této studie). Situace řešení povrchového areálu je zřetelná z výkresu „Povrchový areál - objektová skladba, lokalita Čihadlo“ (Příloha D.4 této studie). Z tohoto výkresu je jasné rozdělení stavebních objektů povrchového areálu do jednotlivých funkčních celků – modulů. Dále je z výkresu patrné dopravní řešení uvnitř areálu a jeho napojení na dopravní infrastrukturu, železniční dopravu RAO a VJP do povrchového areálu, umístění střeženého prostoru a jeho návaznost na podzemní část HÚ. Areál zaujímá plochu 124 820 m<sup>2</sup> a je celý oplocen.

Hlavní příjezdy do povrchového areálu jak pro pěší a automobilovou, tak pro železniční dopravu se nacházejí na jihozápadní straně PA. Oba příjezdy jsou opatřeny vrátnicemi. Uvnitř areálu se obdobně nachází vrátnice pro pěší a automobilovou dopravu (SO 45) a pro železniční dopravu (SO 47) při vjezdu do střeženého prostoru. Střežený prostor samotný je ohraničen dvojitým oplocením, uvnitř se nachází objekty určené k činnostem spojeným s příjmem RAO a VJP a jejich přepravou do podzemí. Střežený prostor zaujímá celkovou plochu 41 230 m<sup>2</sup>. Střežený prostor musí plnit požadavky vyhlášky č. 361/2016 Sb. (SÚJB 2016e).

V severní části areálu se nachází portál s dvojicí tunelů – těžebním (nazývaný též odtěžovací) a zavážecím. Zavážecí tunel je součástí střeženého prostoru a je oddělen dvojitým plotem. Mimo střežený prostor se nachází vyústění těžebního tunelu.

Vstup pro zaměstnance je situován skrze vrátnici v objektu SO 13/50. Tímto způsobem je umožněn vstup i veřejnosti, která má však přístup pouze do prostor infocentra, které je součástí objektu SO13/50.

Mimo povrchový areál se nacházejí oddělené objekty vtažné 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 oplocený areál, avšak v jeho těsné blízkosti se budou nacházet objekty vnějšího parkoviště, meziskládky rubaniny na 5 dní, meziskládky odvalu. V místě meziskládek bude zřízen samostatný výjezd z areálu pro odvoz rubaniny. Dle zvoleného způsobu nakládání s rubaninou bude poblíž PA zřízena rovněž deponie rubaniny spojená s PA účelovou komunikací.

### C.4.2 Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů

#### C.4.2.1 Rozdělení do funkčních celků

Povrchový areál je rozdělen do následujících funkčních celků – modulů:

##### **Modul M1 – těžební modul**

Zajistí vlastní těžbu a zabezpečení těžebních prací dle těžařských potřeb a báňské legislativy. Cílem jeho výstavby je příprava podzemních prostor pro ukládání RAO a VJP.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

### **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 (SÚJB 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 média pro jednotlivé činnosti v HÚ (elektrickou energii, tlakový vzduch, zemní plyn, teplo, pitnou vodu, technologickou vodu). Součástí jsou objekty pro zásobování a skladování těchto médií, objekty rozvodů infrastruktury po PA objekt 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.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

### Modul M9 – požární ochrana

Zajišťuje zázemí pro pracovníky požární ochrany PA a báňské záchranné služby.  
Zajišťuje prostory pro prostředky požární ochrany povrchového i podzemního areálu HÚ.

### Modul M18 – napojení na dopravní a technickou infrastrukturu

Zajišťuje vnější napojení areálu HÚ na veřejnou dopravní a technickou infrastrukturu.

#### C.4.2.2 Stavební objekty

Stavební část fyzické ochrany není samostatným SO, je součástí SO 13/50, 41, 45, 47, 48. Fyzická ochrana v projektu HÚ bude odpovídat požadavkům k eliminaci projektové hrozby stanovené SÚJB. V příloze D.4 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. 74: Seznam SO

SO	Název
SO 5	Centrální trafostanice a rozvodna, náhradní zdroj
SO 6	Kompresorovna
SO 7	Výroba a akumulace chladící vody
SO 8	Sklad výbušnin
SO 9	Sklad olejů
SO 10	Sklad plynů
SO 11	Centrální dílny
SO 12	Skladová hala
SO 13/50	Informační centrum, vrátnice, ošetřovna, ostraha
SO 14	Šatny, lampovna, mytí bot
SO 15	Provozní budova výstavby a rozšiřování HÚ
SO 16	Centrální zdroj tepla
SO 17	Vodojem 2 x 150 m <sup>3</sup>
SO 18	Odkalovací jímka důlních vod
SO 19	Úpravna vypouštěné vody
SO 20	Stanice báňské záchranné služby, požární zbrojnice
SO 21	Železniční vlečka
SO 22	Podzemní odběrový zásobník
SO 23	Meziskládka
SO 24	Podzemní dopravníková chodba
SO 25	Sušící zařízení bentonit. polotovarů
SO 26	Výroba a sklad bentonitových polotovarů



SO	Název
SO 27	Míchárna bentonitové směsi
SO 28	Zásobníky pojiva a vody
SO 29	Krytý sklad
SO 30	Výroba betonových prefabrikátů
SO 31	Zpevněná skládka
SO 32	Mostní váha
SO 33	Třídírna a zásobníky odběru kameniva
SO 34	Dopravníkový most
SO 35	Přesýpací uzel
SO 36	Výsypný most
SO 37	Drtírna
SO 39	Meziskládka odvalu
SO 40	Meziskládky rubaniny na 5 dnů
SO 41	Provozní budova aktivních provozů
SO 42	Centrální čistírna odpadních vod
SO 43	Garáž lokotraktoru
SO 44	Vnitřní komunikace
SO 45	Vrátnice aktivních provozů
SO 46	Mezisklad prázdných přepravních obalových souborů pro přepravu VJP a RAO
SO 47	Železniční vrátnice
SO 48	Oplocení střeženého prostoru
SO 49	Železniční vrátnice areálu
SO 51	Centrální administrativní objekt
SO 52	Centrální kuchyně, jídelna a bufet
SO 53	Požární nádrž
SO 54	Heliport
SO 55	Oplocení areálu HÚ
SO 56	Vnější parkoviště
SO 57	Objekt výdušné jámy
SO 59	Portál tunelu
SO 60	Objekt měření odpadních vod
SO 61	Přívodní komora VZT
SO 70	Venkovní osvětlení
SO 71	Rýhy a kanály rozvodů silnoproudu



SO	Název
SO 72	Rýhy a kanály rozvodů slaboproudu
SO 73	Kanalizace dešť., slašk., průmysl.
SO 74	Rozvody pitné a požární vody
SO 75	Potrubní kanály
SO 76	Terénní úpravy
SO 78	Vyústění VZT z HK
SO 79	Objekt vtažné jámy (mimo areál)
SO 80	Objekt pro přepravu RAO a VJP do překládacího uzlu
SO 81	Portálový jeřáb
SO 82	Železniční vlečka
SO 83	Přípojka elektro
SO 84	Čerpací stanice technologické vody
SO 85	Trubní vedení technologické vody
SO 86	Vodovodní přípojka pitné vody
SO 87	Kanalizační výpust'
SO 88	Plynovodní přípojka
SO 89	Silniční komunikace obslužné
SO 90	Silniční komunikace (komunikace k deponii)
SO 91	Deponie rubaniny (mimo areál)
SO 92	Nádrž technologické vody
SO 93	Silniční komunikace (napojení areálu)

Zařazení SO do modulů a jejich umístění viz výkres „Povrchový areál - objektová skladba“ uvedený v Příloze D.4 této studie. Podrobnější popis modulů a SO a jejich vybavení jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al, 2017a).

#### C.4.2.3 Napojení na infrastrukturu

##### Místo a délka silničního napojení

Místo napojení bylo vytipováno s ohledem na směrové vedení trasy stávající silnice II/128, reliéf terénu a lesní fond v oblasti. Napojení lze vhodně situovat jižně od obce Lodhěřov, v ose silnice II/128 přibližně 980 m od svislé dopravní značky „Konec obce“.

Délka napojení =  $L \cdot k_n \cdot k_s = 1,10 \cdot 1,0254 \cdot 1,2 = 1,36$  km

Maximální sklon terénu v ose komunikace dosahuje 3 %.

##### Napojení vlečky na železniční trať

Jako vhodné místo pro napojení vlečky se jeví výhybna Velký Ratmírov, případně v závislosti na místních podmínkách její okolí. Přibližná délka přípojné tratě je 10,4 km.





## Zásobování elektrickou energií

Vzhledem k náročným požadavkům na odběr elektrické energie bude připojení PA na elektrickou síť provedeno z distribuční sítě o napětí 110 kV. Nejbližší vedení EL tohoto napětí se nachází ve vzdálenosti cca 5,0 km jižním směrem od uvažovaného umístění povrchového areálu a jedná se o trasu vedení Jindřichův Hradec – Veselí nad Lužnicí. Délka přípojky areálu na VVN 110 kV bude cca 6,0 km a bude vedena nadzemním vedením.

Nadzemní vedení přejde před oplocením areálu HÚ na kabelová vedení, která v areálu HÚ povedou v kabelovém kanále do objektu „SO 05 - Centrální trafostanice a rozvodna, náhradní zdroj“ a budou připojeny na dva transformátory 110/6,3 kV.

Po transformaci ze 110 kV na 6 kV bude elektrická energie přivedena na rozváděče 6 kV, ze kterých bude kabelovými vedeními rozvedena do příslušných objektů a zařízení.

V samotném areálu je navržen jako náhradní zdroj elektrické energie dieselaagregát (objekt centrální trafostanice, rozvodna a náhradní zdroj) a dvě kogenerační jednotky v objektu centrálního vytápění, které budou zásobovat elektrickou energií vybrané provozy HÚ v případě výpadku dodávek elektrické energie ze sítě. Dieselaagregát bude lokálně doplněn bateriovými záložními zdroji UPS.

Odhadovaná maximální roční spotřeba elektrické energie HÚ při současném provozu a budování je 100 GWh.

Pro zajištění dodávek elektřiny je nutné rezervovat odpovídající příkon z distribuční sítě.

## Technologická voda - přípojka

Technologická voda bude odebírána z vodního toku Nežárka (ID 10100050) ve správě Povodí Vltavy, s. p. Předpokládaný maximální odběr technologické vody bude 2,5 l/s. Na vodním toku bude zřízen odběrný objekt včetně předčištění a čerpací stanice, která bude přečerpávat technologické vody do povrchového areálu HÚ. Je předběžně navrženo plastové potrubí PE 100 d.110. Délka tohoto výtlačného řadu se pohybuje okolo 7,6 km. V místě křížení s komunikací bude vodovodní potrubí uloženo v chrániče. Převýšení mezi odběrným místem a areálem je okolo 55 m. Vodovodní řad bude ukončen v nádrži technologické vody (SO 92), ze které poté budou vedeny další rozvody. Nádrž bude navržena o objemu 2 000 m<sup>3</sup> a bude osazena automatickou tlakovou stanicí, která zajistí požadované množství a tlak. Vlastní nádrž a automatická tlaková stanice již není součástí přípojky, ale vlastních rozvodů v rámci areálu. Součástí tohoto objektu je také elektrická přípojka NN pro čerpací stanici. Předpokládá se zřízení elektrické přípojky NN z lokality Dolní Skrýchov v celkové délce cca 0,5 km.

## Pitná voda - přípojka

Přívod pitné vody do povrchového areálu HÚ bude zajištěn ze stávajícího vodovodu PE d.90, napojením v obci Lodhěřov. Na tomto vodovodním řadu bude vysazena odbočka a zřízena vodoměrná šachta. Poté je trasa potrubí vedena převážně podél místních komunikací až do areálu. Vodovodní řad je předběžně navrženo z PE 100 d.90 a jeho celková délka je cca 1,7 km. Vodovodní řad bude zásobovat nádrž na pitnou (150 m<sup>3</sup>) a požární vodu (150 m<sup>3</sup>), kde bude ukončen. V místě křížení s komunikací bude vodovodní potrubí uloženo v chrániče. Vlastní rozvody do jednotlivých objektů v rámci areálu budou řešeny samostatnými

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

odbočkami. Rozvody požární a pitné vody budou součástí samostatných stavebních objektů. Předpokládaná průměrná potřeba pitné vody je do 1 l/s.

#### **Kanalizace dešťová**

Dešťová vody v rámci povrchového areálu HÚ budou svedeny vnitroareálovou dešťovou kanalizací do otevřené požární / retenční nádrže. Vody budou primárně odebírány oproti zdroji z vodního toku Nežárka. Havarijní případ z požární / retenční nádrže bude regulovaně odpouštěn do blízkého vodního toku pod obcí Lodhéřov – Lodhéřovského potoka - (ID 10278978) ve správě Povodí Vltavy, s. p.

#### **Kanalizace splašková**

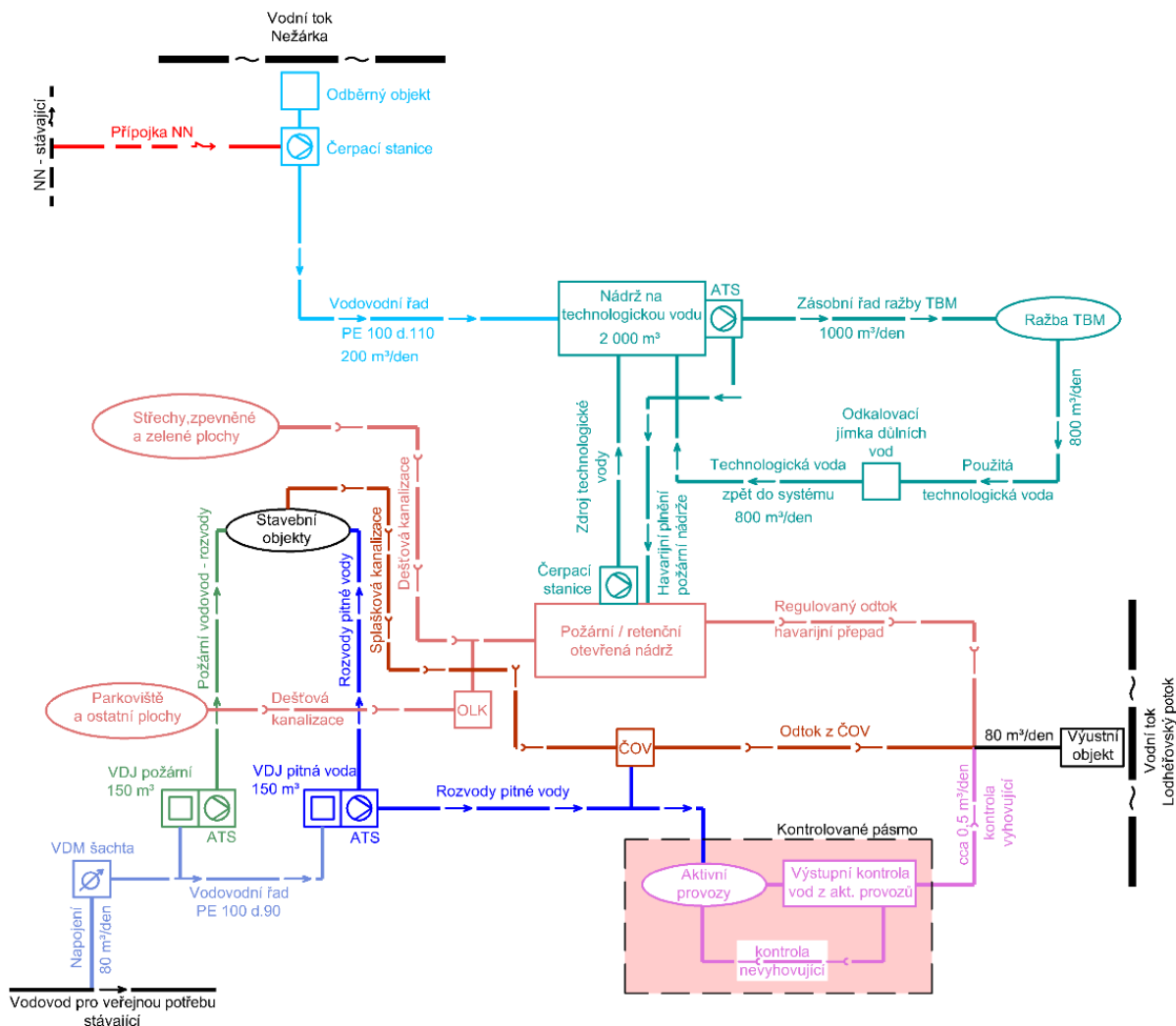
V rámci stavby povrchového areálu HÚ bude vybudována oddílná splašková kanalizace. Nejbližší čistírna odpadních vod se nachází v obci Kostelní Radouň. Vzhledem ke vzdálenosti cca 3,0 km se předpokládá, že pro likvidaci splaškových vod bude vybudována v rámci areálu malá čistírna odpadních vod. Vody budou vypouštěny do blízkého vodního toku pod obcí Lodhéřov – Lodhéřovského potoka - (ID 10278978) ve správě Povodí Vltavy, s.p.. Předpokládá se průměrný odtok z ČOV do 1 l/s. Odtok bude veden gravitačně z potrubí DN 300 v celkové délce cca 1,7 km.

Obec Lodhéřov má ve výhledu v místě tohoto zaústění stavbu ČOV. Je možno případně tedy tyto stavby koordinovat, a postavit ČOV společnou.

#### **Kanalizace aktivních provozů**

Aktivní provozy představují pracovní procesy odehrávající se v objektu DuSO 04. V rámci těchto procesů bude použita voda pro různé technologické operace. Nadbilanční vody, které prošly aktivními procesy, budou vyčištěny a vypouštěny do kanalizace. Na výstupu z kontrolovaného pásma bude instalovaná jímka pro výstupní kontrolu těchto vod. Vyhovující vyčištěné odpadní vody budou odvedeny mimo kontrolované pásmo do výustního objektu kanalizačních vod. Nevyhovující odpadní vody z aktivních provozů budou ještě v rámci kontrolovaného pásma odvedeny zpět do úpravny (odparka, cementace koncentráту z odparky, uložení RAO v HÚ).

Vyčištěná voda bude vyústěna do blízkého vodního toku pod obcí Lodhéřov – Lodhéřovského potoka - (ID 10278978) ve správě Povodí Vltavy, s. p.



Obr. 57: Schéma vodního hospodářství HÚ

## Zemní plyn

V jihozápadní části prochází zájmovým územím vysokotlaký transitmí plynovod. Z něho vychází JV směrem plynovod VTL do 40 bar, na který je možné areál připojit. Délka plynové přípojky bude cca 400 m. Na připojení bude vybudovaná regulační stanice plynu.

## Vytápění

Hlavním zdrojem tepla pro vytápění jednotlivých objektů povrchového areálu bude centrální zdroj s plynovými kotli a kogenerační jednotkou. V každém vytápěném objektu bude předávací stanice voda/voda. Topné soustavy v objektech budou buď teplovodní, nebo teplovzdušné (objekty vybavené centrální vzduchotechnikou s rekuperací tepla). Součástí sekundárních okruhů v objektech budou standardní zabezpečovací zařízení otopných soustav. Předávací stanice budou zajišťovat i případnou přípravu teplé vody.

## Napojení na telekomunikační síť

Povrchový areál bude připojen na telekomunikační síť optickými kabley uloženými v zemi. Předpokládá se využití telefonního a datového připojení. Přípojka bude vedena k obci Lodňeřov, délka přípojka je cca 1,0 km. Lze uvažovat i o bezdrátovém vedení telekomunikačních služeb, v tomto případě bude v areálu vybudován systém příjmových antén. V případě poruchy bude systém zálohován rádiovou sítí.

**C.4.2.4 Provozní soubory**

Provozní soubory PA mají značení „číslo označení stavebního objektu, tečku, PS, pořadové číslo provozního souboru“. Jejich přehled je uveden v následující tabulce.

Tab. 75: Seznam provozních souborů

PS	Název
05.PS 01	Zařízení trafostanice
05.PS 02	Rozvodna
05.PS 03	Náhradní zdroj
05.PS 04	Elektrozařízení
05.PS 05	SKŘ
06.PS 01	Kompresorovna
06.PS 02	Elektročást
06.PS 03	SKŘ Kompresory
06.PS 04	Rozvody tlakového vzduchu a příslušenství
07.PS 01	Výroba a akumulace chladicí vody
09.PS 01	Zařízení skladu olejů
10.PS 01	Zařízení skladu plynů
11.PS 02	Centrální dílny
12.PS 01	Skladové hospodářství
13.PS 01	Informační centrum - zařízení a vybavení
16.PS 01	Centrální zdroj tepla – plynová kotelna 9 MW
16.PS 02	Vodní hospodářství a úprava vody
16.PS 03	Potrubní rozvody a příslušenství tep. sítě
16.PS 04	Kogenerační jednotka 3 MW
16.PS 05	Vzduchotechnika kotelny
17.PS 01	Zařízení vodojemů 2 x 150 m <sup>3</sup>
18.PS 01	Zařízení odkalovací jímky
19.PS 01	Zařízení čistírny důlních vod
20.PS 01	Zařízení požární zbrojnice
24.PS 01	Zařízení podzemní dopravníkové chodby
25.PS 01	Sušící zařízení (bentonit)
26.PS 01	Technologie pro výrobu bentonitových polotovarů
27.PS 01	Zařízení mícháreny bentonitové směsi
28.PS 01	Skladové hospodářství pojiva a vody
29.PS 01	Zařízení transportní



PS	Název
30.PS 01	Zařízení betonárky (výroba bentonitových prefabrikátů)
32.PS 01	Zařízení mostní váhy
33.PS 01	Zařízení třídírny kameniva
34.PS 01	Dopravní zařízení (most)
35.PS 01	Přesýpací zařízení (uzel)
36.PS 01	Zařízení výsypného mostu
37.PS 01	Technologie drtírny
38.PS 01	Technologie podzemní násypky
41.PS 01	Příjem a ukládání VJP
41.PS 02	Příjem a ukládání RAO
41.PS 03	Sběr a zpracování vlastních RAO
41.PS 04	Zařízení pro cementaci vlastních RAO
41.PS 05	Dopravní, zvedací a manipulační zařízení
41.PS 06	ASŘTP hlavní technologie ukládání
41.PS 07	Stabilní hasicí zařízení
41.PS 08	Laboratoře
41.PS 09	Dekontaminace
41.PS 10	Aktivní dílny
41.PS 11	Potrubní rozvody
41.PS 12	Radiační kontrola
41.PS 13	Speciální kanalizace
41.PS 14	Vzduchotechnické zařízení
41.PS 15	Zdroj chladu
41.PS 16	Výměňiková stanice
41.PS 17	Kompresorovna
41.PS 18	Náhradní zdroj elektrické energie
41.PS 19	Měření a regulace pomocných technologií
41.PS 20	Průmyslová televize
41.PS 21	Elektročást
42.PS 01	Technologie čistírny odpadních vod
43.PS 01	Transportní zařízení – lokotraktor
52.PS 01	Gastro provoz

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





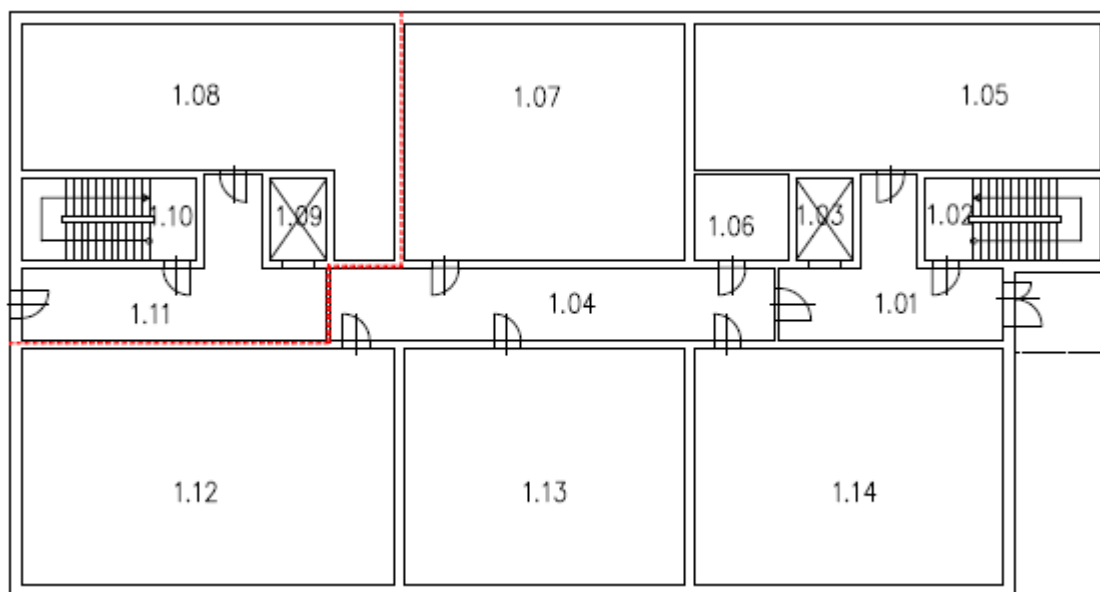
#### C.4.2.5 Dispoziční uspořádání a technologické vybavení provozní budovy aktivních provozů

##### C.4.2.5.1 Dispoziční uspořádání provozní budovy aktivních provozů (SO 41)

Podle zprávy (Fiedler et al., 2010b) bude SO 41 proveden se třemi nadzemními podlažími. Z hlediska radiační ochrany bude rozdělen na dvě části. První část bude zahrnovat místnosti v čisté zóně a druhá část bude zahrnovat místnosti uvnitř kontrolovaného pásma (KP).

V 1. NP budou umístěny hlavně místnosti technického zázemí. V části MKP budou umístěny hlavní vstup do objektu, komunikační prostory, výměňiková stanice, kompresorovna, trafostanice, hlavní rozvodna, rozvodna a náhradní zdroj. V části KP potom další schodiště a výtah do dalších podlaží, rezervní místnost, kde bude umístěná sběrná nádrž speciální kanalizace, která bude sloužit ke sběru, kontrole a odvodu odpadních vod z technologie a prostor KP.

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

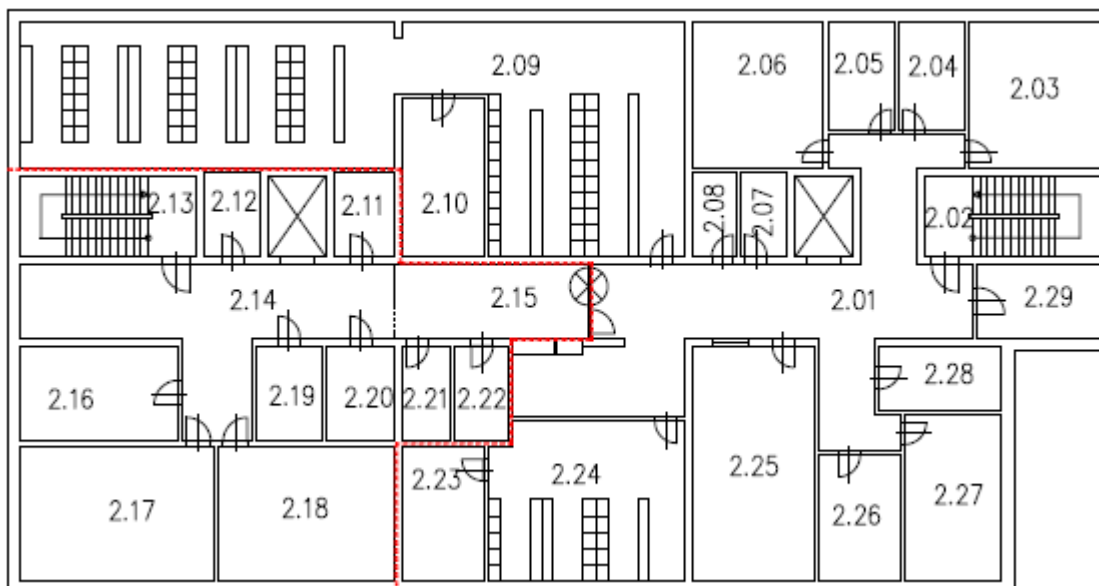


Obr. 58: 1. nadzemní podlaží SO 41

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

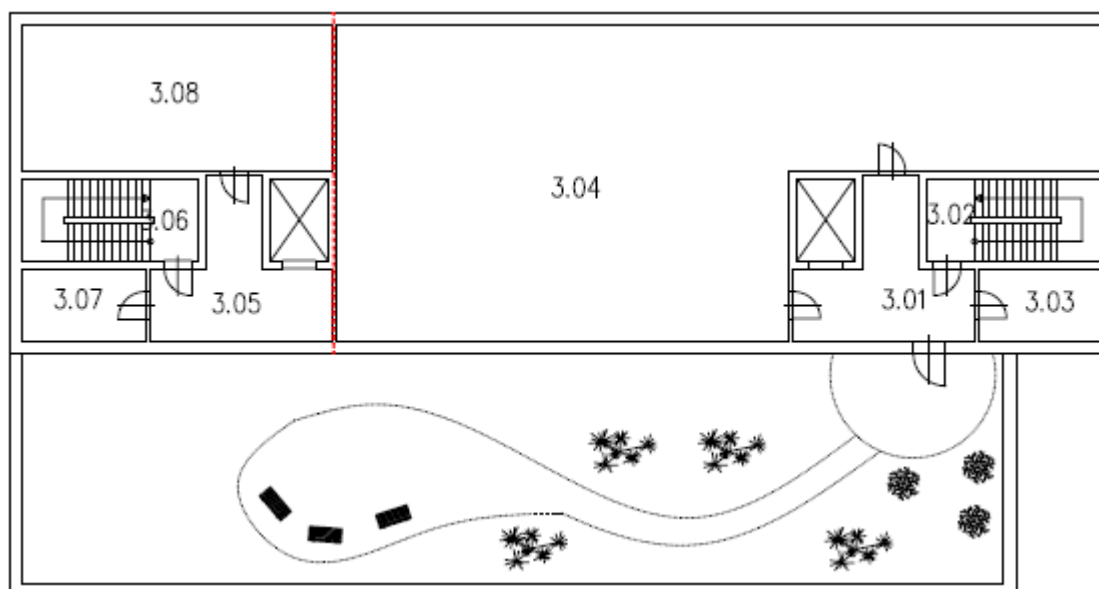


(místnost 2.15), havarijní sprcha (místnost 2.22), WC – muži (místnost 2.20), WC – ženy, úklid (místnost 2.19), sklad kontaminovaných oděvu a pomůcek (místnost 2.21), sklad (místnost 2.11) a dvě laboratoře (místnosti 2.17, 2.18) se zázemím - přípravou vzorků, skladem vzorků (místnost 2.12). Červenou čarou je označena hranice kontrolovaného pásma.



Obr. 59: 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. 60: 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 vzdušně. Předpokládaná účinnost filtrační stanice je uvedena v kapitole B.8.

Podrobnější informace o 41.PS 14 jsou uvedeny v referencích (Grünwald et al., 2017a, Grünwald et al., 2017b 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).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

#### **C.4.2.6.5 41.PS 16 - Výměňíková stanice**

Výměňíková stanice (VS), umístěná v přízemí SO 41, slouží k přípravě topné vody pro vytápění, ohřev vzduchu a přípravu teplé vody pro hygienická zařízení v SO 41. Primárním médiem bude horká voda z centrální areálové kotelny SO 16.

Podrobnější informace o 41.PS 16 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al., 2010a).

#### **C.4.2.6.6 41.PS 21 - Napájecí rozvody NN**

Trafostanice (nadzemní část – 1. NP) bude vybavena dvěma suchými transformátory 6 / 0,4 kV, jejichž výstupy budou připojeny na dělené přípojnice hlavního rozváděče 0,4 kV. Z hlavního rozváděče budou napájeny el. rozváděče jednak z nadzemních objektů střeženého prostoru, venkovního osvětlení nadzemní a podzemní části.

Dieselagregát bude sloužit k zajištěnému napájení u vybraných el. spotřebičů i v okolních objektech nadzemní části a v podzemní části.

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

## **C.5 Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu**

### **C.5.1 Umístění podzemního areálu**

Z důvodu minimalizace možných úniků radioaktivních látek do životního prostředí v případě RMU, lepší ochrany před potenciálním teroristickým útokem, ochrany aktivních provozů před případným pádem letadla jsou veškerá pracoviště IV. kategorie umístěna do podzemí.

Podzemní areál je koncipován jako podzemní dílo, které je budováno v několika podzemních patrech, „horizontech“. Toto rozdělení je dáno především funkcí těchto horizontů, ale pro svou členitost a výškové uspořádání nelze hovořit o konkrétní výškové úrovni, kterou horizont představuje.

#### **1) „Povrch terénu“**

Tento horizont navazuje na povrchový areál v části provozní budovy aktivních provozů. V daném horizontu, v zahloubeném DuSO 04, probíhá příprava RAO a VJP pro uložení (Modul M2b). V tomto objektu se nachází překládací uzel, horká komora a související provoz.

Na povrchu je vymezena relativní výšková úroveň  $\pm 0,000$ , která odpovídá nadmořské výšce 518 m n. m. a udává také nejnižší místo na povrchu terénu poblíž potenciálně využitelných horninových bloků. Tato vztažná rovina je směrodatná pro určení minimální výšky nadloží 500 m nad ukládacím horizontem VJP a používá se mj. pro relativní vymezení výškové úrovně jednotlivých horizontů.

Vztažný bod:

- Nadmořská výška: 518 m n.m. (B. p. v.)
- Souřadnice: X=1141439,1646; Y=719407,1369 (S-JTSK)

Umístění vztažného bodu je patrné na situačním výkrese pro variantu D1 uvedeném v Příloze D.5 této studie.



## 2) „Ukládací horizont RAO“

Ukládací horizont RAO se nachází ve variantě D1 v rozmezí hloubek od 396 m do 402 m pod povrchem (daným vztahným bodem). V tomto horizontu se počítá s umístěním komor pro uskladnění RAO (DuSO 11). Je uvažováno, že prostory jedné z těchto komor se dočasně využijí k umístěním konfirmační laboratoře (DuSO 12). Oba objekty se nacházejí v místě potenciálně využitelných horninových bloků.

## 3) „Ukládací horizont VJP“

V tomto horizontu jsou umístěny sekce pro ukládání VJP, technické zázemí úseku ražby a úseku přípravy a ukládání VJP a konfirmační laboratoř (DuSO 12). Sekce pro ukládání VJP jsou projektovány v potenciálně využitelných horninových blocích, zatímco technické zázemí HÚ je umístěno mimo tyto bloky. Hodnota 500 m pod povrchem (daným vztahným bodem) představuje nejvyšší polohu ukládacího místa pro VJP. Vlivem zajištění min. podélného sklonu pro gravitační odvodnění celého ukládacího horizontu se technické zázemí, kde jsou umístěny jímací objekt a čerpací stanice, se technické zázemí nachází o několik desítek metrů níže než ukládací sekce VJP. Dispoziční řešení jednotlivých projektovaných variant je odlišné, a tím se mění i výškové uspořádání podzemního areálu. Ukládací horizont VJP se nachází ve variantě D1 v hloubce 500 m až 523 m pod povrchem (daným vztahným bodem).

Všechny uvedené horizonty jsou vzájemně propojeny v lokalitě Čihadlo zavážecím a těžebním tunelem a vtažnou jámou.

Přesné výškové vymezení ukládacích horizontů RAO a VJP je patrné na situačním výkrese varianty D1 v Příloze D.5 této studie.

## C.5.2 Uspořádání a technologické vybavení objektů

Podzemní areál je rozdělen na dvě základní části:

- úsek ražeb a výstavby,
- úsek přípravy a ukládání.

Podzemní areál je dále rozdělen na jednotlivé moduly lišící se svou funkcí, kterou plní v rámci hlubinného úložiště. Dále je popsáno řešení pro variantu D1, odchylky ostatních variant jsou uvedeny ve zprávách (Grünwald et al, 2017a, Grünwald et al, 2017b).

### C.5.2.1 Rozdělení do funkčních celků

#### Modul M2b – Modul přípravy RAO a VJP pro uložení

Modul přípravy RAO a VJP slouží k zajištění příjmu a skladování POS s VJP v meziskladu. Dále se zabývá příjmem, přípravou a kontrolou prázdných UOS, jejich skladováním, plněním a přípravou ke konečnému uložení v podzemním areálu hlubinného úložiště. Modul rovněž zahrnuje přípravu a uložení RAO včetně RAO vzniklých při provozu horké komory.

Činnosti související s vazbou Modulů M2a a M2b jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště.

#### Modul M10 – Modul dopravní

Dopravní modul zahrnuje veškerou přepravu UOS, mechanismů, osob, materiálu a energie mezi jednotlivými důlními stavebními objekty. Přeprava probíhá za pomoci různých typů dopravních prostředků u osob, materiálu a UOS nebo kabelovou a trubní sítí v případě





energií a jiných médií. Základními dopravními cestami HÚ na lokalitě Čihadlo je zavážecí tunel, těžební tunel, subhorizontální chodby v ukládacím horizontu (páteřní chodby, spojovací chodby, zavážecí chodby) a vtažná jáma.

#### **Modul M11 – Modul ukládání VJP**

Modul ukládání VJP sdružuje objekty a procesy spojené s vlastním uložením UOS v ukládacím vrtu. Mezi procesy, které se řadí do tohoto modulu, patří také zaplňování zavážecí chodby vhodným materiálem.

Modul zahrnuje rovněž technické zázemí úseku přípravy a ukládání, mezi které patří rozvodna elektrické energie, dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů, požární sklad, sklad mazadel, úsek mytí a údržby. Shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna jsou společné s úsekem ražeb a výstavby.

#### **Modul M12 – Modul ukládání RAO**

Modul ukládání RAO sdružuje objekty a procesy spojené s uložením betonkontejnerů v ukládacích komorách. Proces následného zaplňování a uzavírání obsazených ukládacích komor patří rovněž pod tento modul. Samotné uložení RAO probíhá na ukládacím horizontu RAO.

#### **Modul M13 – Modul konfirmační laboratoře**

Modul konfirmační laboratoře slouží k ověření a potvrzení předpokladů o vlastnostech horninového prostředí horninového bloku v ukládacím horizontu včetně vzájemných vazeb s inženýrskými bariérami.

#### **Modul M14 – Modul výstavby**

Modul výstavby zajišťuje technické zázemí pro úsek ražeb a výstavby. Modul zahrnuje rovněž veškeré stavební činnosti, které nejsou v ostatních modulech a jsou nezbytné k zajištění stavební připravenosti pro uvedení HÚ do provozu..

#### **Modul M15 – Modul ražby a transportu rubaniny na povrch**

Modul ražby a transportu rubaniny na povrch zahrnuje objekty a práce výlučně spojené s ražbou, manipulací a transportem rubaniny. Modul zahrnuje rovněž provádění předstihových opatření, zlepšování horninového prostředí pro ražbu, dokumentaci čelby a geotechnický monitoring.

#### **Modul M16 – Modul větrání**

Modul větrání sdružuje objekty a procesy spojené se zajištěním přívodu a úpravy čerstvých větrů do podzemí HÚ, jejich distribuci v rámci jednotlivých horizontů a odvedení a úpravy mdlých větrů zpět na povrch. Cesty, kterými budou vedeny důlní větry, víceméně kopírují cesty dopravní. Jsou jimi tedy především subhorizontální chodby v ukládacím horizontu, zavážecí tunel, těžební tunel a svislá vtažná jáma.

Bližší informace viz kapitola C.5.3.1 Větrání.

#### **Modul M17 – Modul čerpání důlních vod**

Modul čerpání důlních vod koncepčně řeší kumulaci a transport důlních vod (průsakových a technologických) na povrch. Akumulace probíhá v jímacích objektech, přičemž před jejich čerpáním výtlačným potrubím na povrch je prováděno jejich čištění v sedimentačních nádržích.

Bližší informace viz kapitola C.5.3.2 Odvodnění.

**C.5.2.2 Důlní stavební objekty**

Stavební objekty podzemí mají značení DuSO. Jejich přehled je v následující tabulce.

Tab. 76: Seznam důlních stavebních objektů

DuSO	Název
DuSO 01	Odtěžovací tunel
DuSO 02	Zavážecí tunel
DuSO 03	Vtažná jáma
DuSO 04	Příprava RAO a VJP
DuSO 05	Pátevní chodby
DuSO 06	Spojovací chodby úseku ražby
DuSO 07	Spojovací chodby úseku ukládání
DuSO 08	Zavážecí chodby
DuSO 09	Ukládací vrty
DuSO 10	Úsek kontroly UOS s VJP/úsek překládky UOS s VJP
DuSO 11	Ukládací komory RAO
DuSO 12	Konfirmační laboratoř
DuSO 13	Čerpací stanice s jímkou
DuSO 14	Rozvodna – úsek ražby
DuSO 15	Rozvodna – úsek ukládání
DuSO 16	Shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna
DuSO 17	Dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů
DuSO 18	Sklad náhradních dílů
DuSO 19	Sklad mazadel, úsek mytí a údržby
DuSO 20	Sedimentační nádrž
DuSO 21	Sklad výbušnin
DuSO 22	Požární sklad

**C.5.2.3 Důlní provozní celky**

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

Tab. 77: Seznam důlních provozních celků

DuPC	Název	Zařízení
DuPC 01	Těžební zařízení	Těžební zařízení, náraziště, skipostanice
DuPC 02	Opravy a provoz důlních mechanismů	Vlastní mechanismy, opravy, remízy
DuPC 03	Opravy a provoz ukládacích mechanismů	Vlastní mechanismy, opravy, remízy



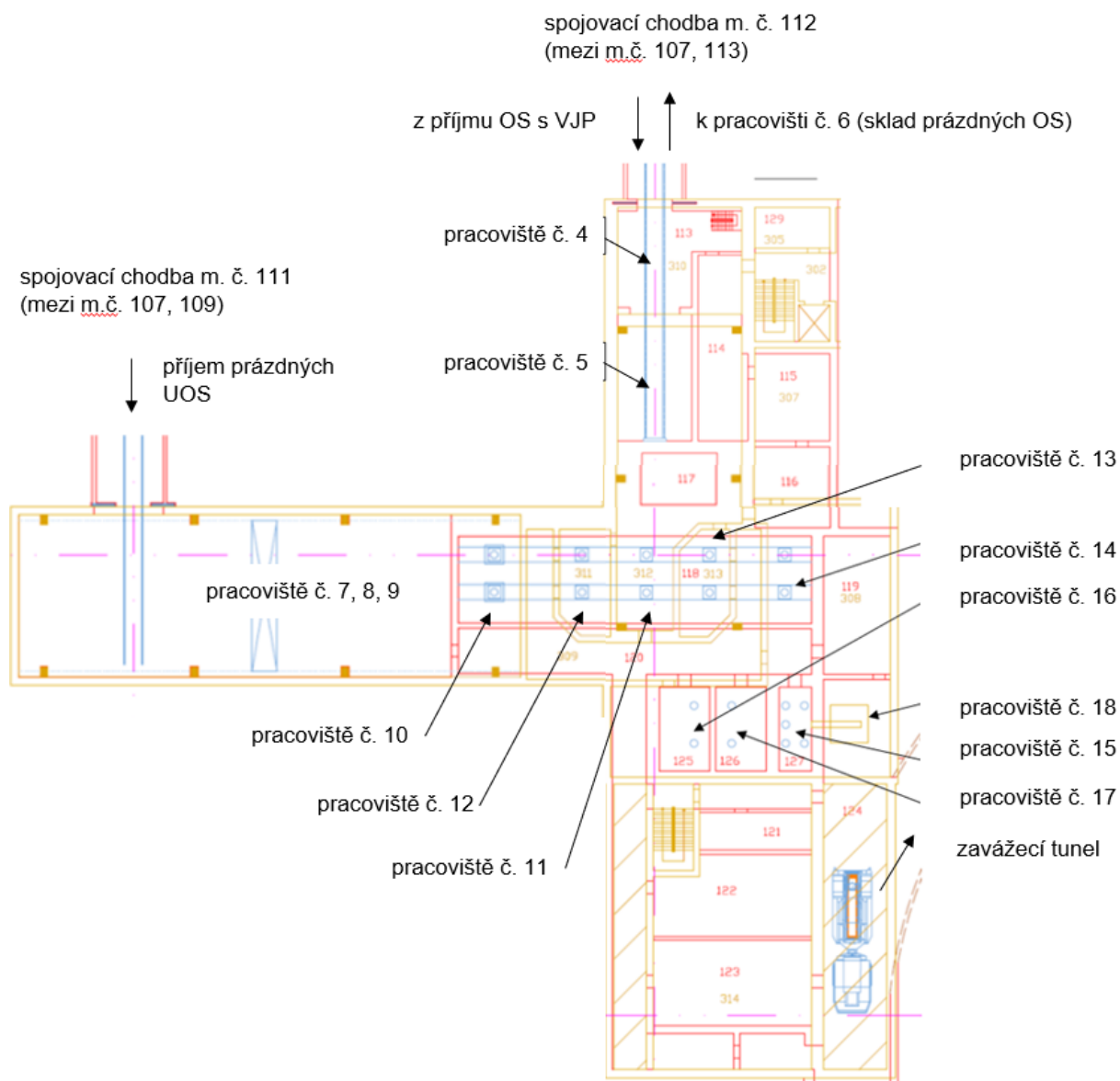
DuPC	Název	Zařízení
DuPC 04	Vzduchotechnika	VZT, zdroj chladu, výměňkové stanice
DuPC 05	Čerpání vod	Čerpací a přečerpávací stanice, trubní vedení
DuPC 06	Silnoproudá zařízení	Rozvody VN, trafostanice, rozvodna
DuPC 07	Slaboproudá zařízení	Rozvodny NN, rozvody NN, osvětlení, elektrozařízení
DuPC 08	Trubní rozvody požární vody	Trubní rozvody požární vody, hasicí zařízení
DuPC 09	Rozvody stlačeného vzduchu	Kompresorovna, trubní rozvody stlačeného vzduchu
DuPC 10	Laboratoře	Konfirmační laboratoř, zkušebny
DuPC 11	Zařízení úpravy vod	Odkalovací jímka, čištění vod
DuPC 12	Dekontaminace	Dekontaminační zařízení
DuPC 13	Systém kontroly řízení	Systém kontroly řízení
DuPC 14	Radiační kontrola	Radiační kontrola
DuPC 15	Aktivní dílny	Aktivní dílny
DuPC 16	Příjem a ukládání VJP, RAO	Zařízení příjmu, ukládky VJP a RAO, zařízení pro cementaci, sběr a zpracování RAO

#### C.5.2.4 Umístění horké komory

Horká komora je zařízení překládacího uzlu, hermeticky oddělené od ostatního prostoru, ve kterém bude prováděno přeložení VJP z POS do UOS. Horká komora je součástí objektu aktivních provozů (Modul M2b, DuSO 04). Tento objekt je navržen v hloubené jámě o hloubce 30 m, na povrchu je objekt přesypán 5 m bezpečnostním přesypem. Půdorysně je tento objekt spolu se souvisejícími povrchovými objekty a vyústěním závážecího tunelu na povrch uvnitř střeženého prostoru.

Přístup k horké komoře je zajištěn šachtou, resp. dvojicí šachet. Jedna pro zavážení obalových souborů a druhá pro přístup personálu a technologie (inž. sítě).

První z šachet (svislý koridor) spojuje povrchový stavební objekt SO 80 s podzemním objektem DuSO 04. Svislý koridor je zaústěn do DuSO 04 v hale příjmu m.č. 107, která je jednou chodbou (m.č. 112) spojena s pracovištěm č. 4 (manipulace s POS) a druhou chodbou (m.č. 111) s pracovišti č. 7, 8, 9 (manipulace s prázdnými UOS). Schéma pracovišť souvisejících s POS a UOS je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 61: Schéma pracovišť č. 4 až 18

Vertikální řezy a popis manipulací s POS a UOS na jednotlivých pracovištích jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště, podrobnější informace ve zprávě (Grünwald et al., 2017b).

### 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 zavázečího 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



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- 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 ořískaného 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 50 kW

### **Samohybný el. vůz pro POS s VJP VVER 1000**

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a hydraulickým zdvihem:

- nosnost: 150 t
- rozchod kolejí: 1,435 m
- výška zdvihu: 0,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 50 kW

### **Kolejový vůz pro POS**

Kolejové vozidlo bez pohonu:

- nosnost: 130 t
- rozchod kolejí: 1,435 m

### **Samohybný el. vozík pro UOS s VJP VVER 440**

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a stínícím válcem s hydraulickým zdvihacím zařízením:

- nosnost: 8 t (zatím uvažovaná hodnota, která bude upravena podle výsledku vývoje UOS)
- rozchod kolejí: 2,2 m
- výška zdvihu: 1,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 15 kW

### **Samohybný el. vozík pro UOS s VJP VVER 1000**

Kolejové vozidlo s vlastním el. pohonem a stínícím válcem s hydraulickým zdvihacím zařízením:

- nosnost: 8 t (zatím uvažovaná hodnota, která bude upravena podle výsledku vývoje UOS)
- rozchod kolejí: 2,2 m
- výška zdvihu: 1,5 m
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 15 kW

Hlavní činnosti související s použitím výše uvedené technologie jsou uvedeny v kapitole C.6.1 Provoz úložiště.

#### **C.5.2.6 Geometrie úložných prostor**

Potenciálně využitelné horninové bloky vycházejí z 3D strukturně-geologického modelu lokality Čihadlo.

Velikost potenciálně vhodných bloků hornin, pro podzemní část HÚ byla stanovena v rámci regionálních 3D geologických modelů na základě následujících kritérií a informací:

- úložné vrty musí ležet min. 100 m od zlomů 1. kategorie (délka zlomů přes 10 km)
- úložné vrty musí ležet min. 50 m od vybraných zlomů 2. kategorie (délka zlomů 1 až 10 km), u kterých existující data indikující výrazné porušení hornin nebo významnou hydrogeologickou funkci zlomu
- bloky mohou procházet přes litologické hranice
- bloky musí respektovat rozsah stanoveného průzkumného území

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

Dle těchto kritérií byly v regionálním strukturně-geologickém modelu lokality Čihadlo stanoveny 2 bloky hornin v hloubce cca 500 m pod povrchem (Obr. 3) o výměře:

- východní blok 3,560 km<sup>2</sup>
- západní blok cca 2,615 km<sup>2</sup>

Pro návrh technického řešení podzemní části jsou známy pouze parametry horniny potenciálně využitelných bloků uvedených v následující tabulce.

Tab. 78: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků

typ horniny	Rd	Rt	c*	φ*	E	v	ρ
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[GPa]	[-]	[kg.m <sup>-3</sup> ]
granit	227,4	12,0	26,1	64,1	61,4	0,19	2621

*Rd – pevnost v prostém tlaku*

*Rt – pevnost v prostém tahu*

*c – soudržnost*

*φ – úhel vnitřního tření*

*E – Youngův elastický modul*

*v – Poissonův součinitel*

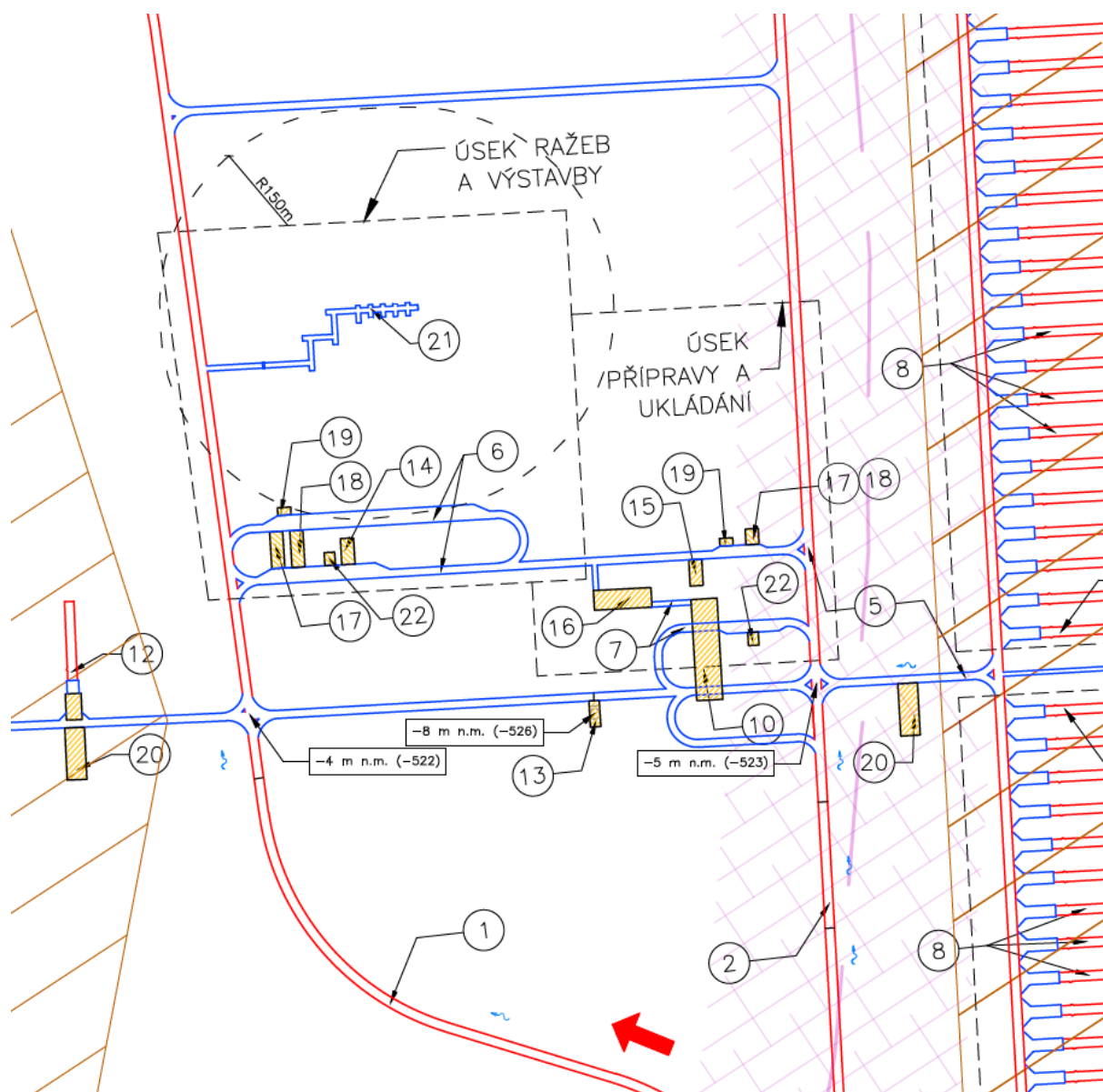
*ρ – měrná hmotnost*

*\* empiricky odvozené parametry*

Stanovený potenciálně využitelný blok horniny lze z geotechnického pohledu chápat jako definovaný kvazihomogenní celek o konstantních vlastnostech. Nutno však zmínit skutečnost, že vzhledem k předpokládaným zlomovým systémům procházejícím bloky není toto označení zcela přesné.

Ukládací část HÚ je samostatně řešena ve variantách pro horizontální ukládání VJP a vertikální ukládání VJP.

Způsob ukládání VJP má jednoznačný vliv na volbu použité mechanizace nejen pro samotnou přepravu a ukládání UOS, ale také volbu strojní techniky pro ražbu ukládacích vrtů. Z toho plynou i odlišné prostorové nároky na důlní stavební objekty, jimiž jsou liniová podzemní díla, kterými tyto transportní a ukládací stroje projíždějí.



Obr. 62: Schéma technického zázemí (D1)

(1-odtěžovací tunel, 2-zavázečící tunel, 5-páteřní chodby, 6-spojovací chodby úseku ražby, 7-spojovací chodby úseku ukládání, 8-zavázečící chodby, 10-úsek kontroly UOS s VJP, 12-konfirmační laboratoř, 13-čerpací stanice s jímkou, 14-rozvodna - úsek ražby, 15-rozvodna - úsek ukládání, 16-shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna, 17-dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů, 18-sklad náhradních dílů, 19-sklad mazadel, úsek mytí a údržby, 20-sedimentační nádrž, 21-sklad výbušnin, 22-požární sklad)

### C.5.3 Přístupová a technologická díla

#### C.5.3.1 Větrání

Modul větrání (Modul M16) sdružuje objekty a procesy spojené se zajištěním přívodu čerstvých větrů do podzemí HÚ, jejich rozvádění v rámci ukládacího horizontu a odvedení výdušných větrů zpět na povrch.

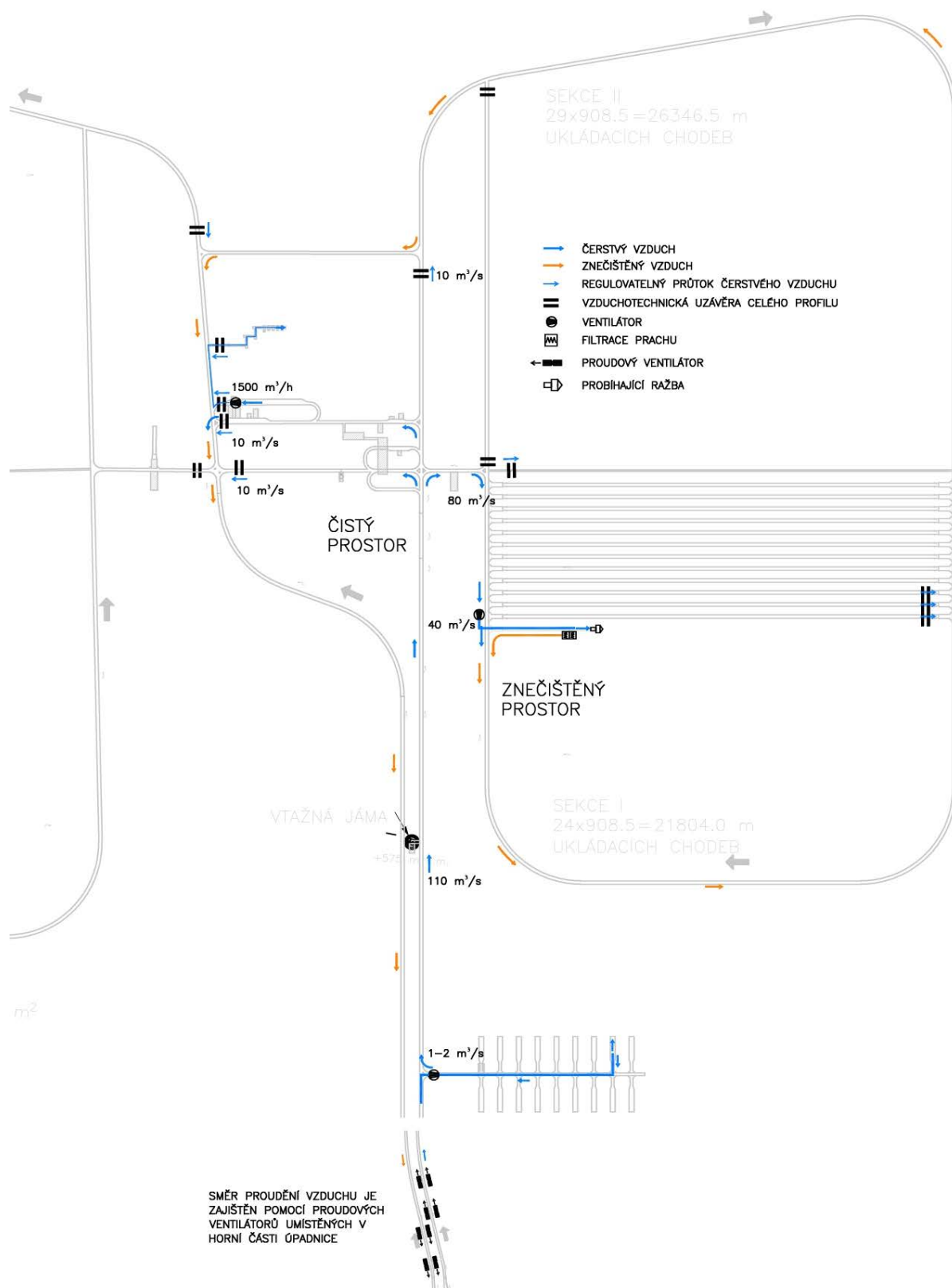
Větrání lze rozdělit do tří etap:

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</i>

1. větrání při ražbách bez ukládání
2. větrání přechodné (ražby + ukládání)
3. větrání při uzavírání

Na následujícím obrázku je uvedeno pouze schéma větrání při současné ražbě pomocí TBM a ukládání VJP, ostatní etapy a varianty větrání jsou popsány ve zprávě (Grünwald et al., 2017a).





Obr. 63: Koncepční schéma větrání HÚ při ražbách pomocí TBM zavážecích chodeb a zavážení VJP do úložiště v sekci I.

V případě RMU v podzemním prostoru lze systém větrání zastavit úplně nebo lze kontrolovaně odsávat minimální možný průtok vzduchu z důvodů udržení kontrolovaného šíření znečištěného vzduchu od zdroje k odtěžovacímu tunelu.



Podrobnější informace, které se týkají modulu M16 včetně větrání přidružených technologických prostor a větrání při vzniku požáru v podzemním prostoru jsou uvedeny ve zprávách (Grünwald et al., 2017a) a (Grünwald et al., 2017b).

DuSO 04 (Příprava RAO a VJP) je větrán separátně se vzduchotechnickými zařízeními provozně nezávislými na zbývajících částech HÚ. Pouze pro účely přívodu čerstvého vzduchu do tohoto objektu je využito vzduchotechnického kanálu ústícího do příportálové části zavážecího tunelu (DuSO 02). DuSO 04 je odvětráván přes 15 m vysoký komín (SO 78). Větrání samotné horké komory bude provedeno jako podtlakové s aktivní filtrací, viz kapitola C.4.2.6.3 (PS 14 - Vzduchotechnické zařízení) a vzduchovým obtokem.

S větráním horké komory související možné scénáře expozičních situací viz kapitola B.8.

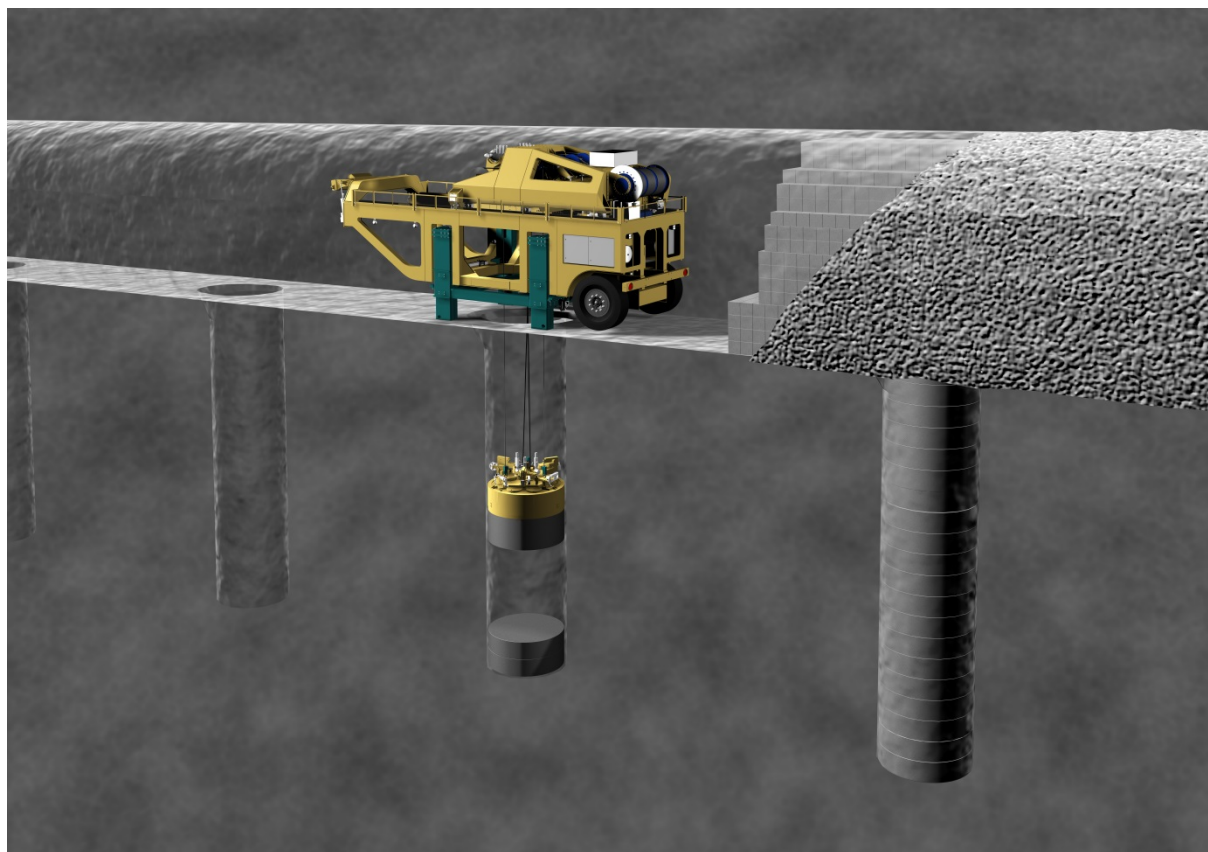
### C.5.3.2 Odvodnění

Modul čerpání důlních vod (Modul M17) koncepčně řeší kumulaci a transport důlních vod (průsakových a technologických) na povrch. Akumulace probíhá v jímacích objektech, přičemž před jejich čerpáním výtlačným potrubím na povrch je prováděno jejich čištění v sedimentačních nádržích.

Podrobnější informace, které se týkají modulu M17 jsou uvedeny ve zprávách (Grünwald et al., 2017a) a (Grünwald et al., 2017b).

### 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. 64: Manipulace s bentonitem, Finsko



Obr. 65: Manipulace s UOS, spuštění UOS do svislého vrtu, Finsko



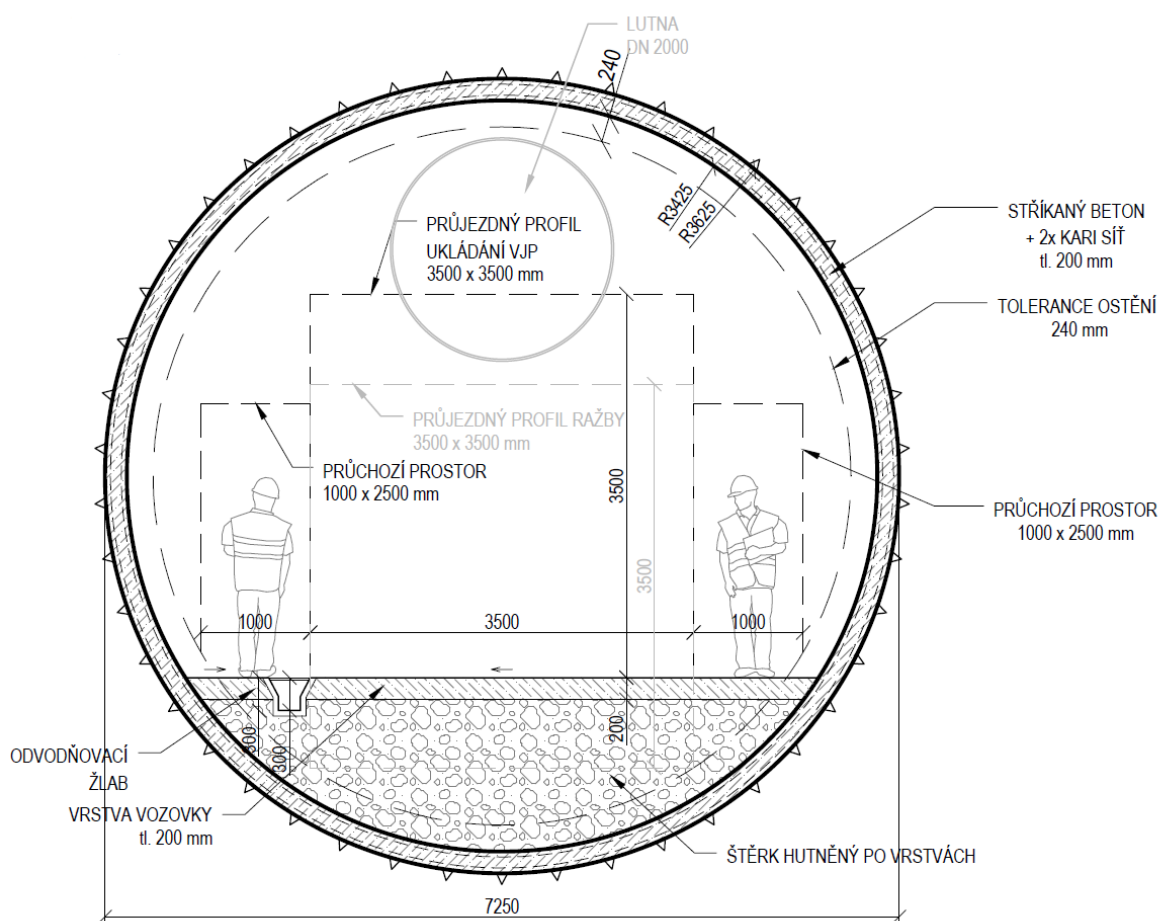
Podrobnější informace, které se týkají technologie ukládání včetně porovnání horizontálního a vertikálního způsobu ukládání z pohledu technického a realizačního jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al., 2017b).

#### C.5.3.4 Geometrie zavážecího tunelu (svážné chodby) včetně jeho vstrojení

Zavážecí tunel je úklonné dílo v podélném sklonu maximálně 1:10. U varianty D1 má zavážecí tunel kruhový průřez s vnějším průměrem 7,25 m. Délka zavážecího tunelu je ovlivněna jak výškovým rozdílem mezi portálem tunelu a ukládacím horizontem, tak podélným sklonem a činí přibližně 6 km. Vozovka (dno) tunelu pro zavážení VJP do podzemí je tvořena betonem tloušťky 200 mm na po vrstvách hutněném šterku.

Zavážecí tunel, který představuje přístupovou cestu z povrchu do podzemního areálu, plní i funkci jedné únikové cesty. Zavážecí tunel je však jedinou dopravní cestou pro zavážení VJP do podzemí. Koncepce ukládání RAO také primárně počítá s tímto tunelem pro svážení radioaktivních odpadů v betonkontejnerech do ukládacích komor (DuSO 11).

Odtěžovací tunel, kterým se bude dopravovat rubanina a stavební materiál, bude mít obdobný profil, viz následující obrázek.



Obr. 66: Příčný řez zavážecím a odtěžovacím tunelem – pro variantu D1

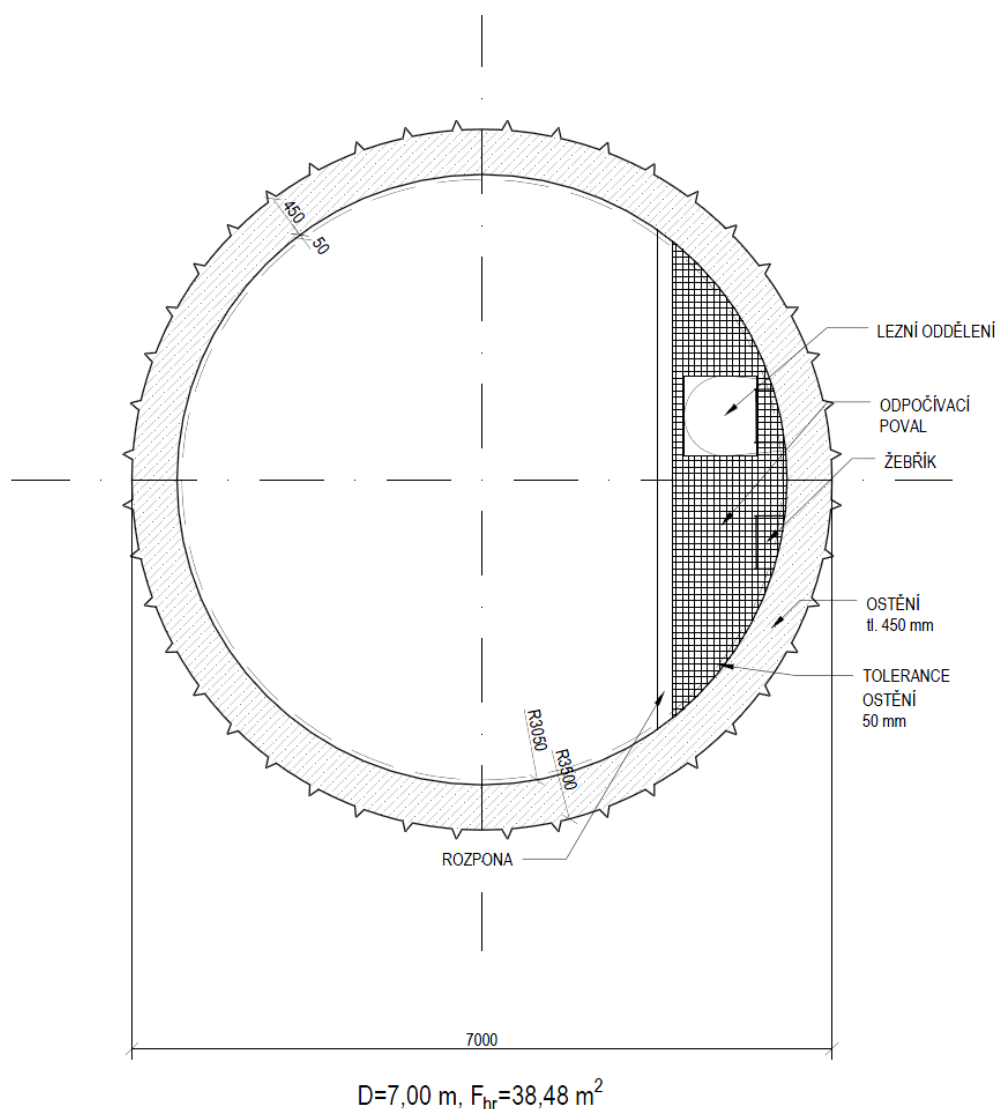
Podrobnější informace, které se týkají tunelů, jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al., 2017b).



### 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. Vtažná jáma v lokalitě Čihadlo je umístěna mezi odtěžovací a zavážecí tunel před jejich dosažením ukládacího horizontu VJP.

Příčný profil vtažné jámy má kruhový průřez o vnějším průměru 7,0 m. Výztuž jámy bude tvořena betonovým ostěním tloušťce 450 mm.



Obr. 67: Příčný řez vtažnou jámou průměru 7,0 m

Podrobnější informace, které se týkají vtažné jámy, jsou uvedeny ve zprávě (Grünwald et al., 2017b).

Řešení páteřních a zavážecích chodeb je uvedeno ve zprávě (Grünwald et al., 2017a) a (Grünwald et al., 2017b).

### C.5.3.6 Konfirmační laboratoře

Modul M13 konfirmační laboratoře je objektivě rozdělen na dvě části, přičemž se obě nacházejí v potenciálně využitelných horninových blocích. První část konfirmační laboratoř je zřízena na horizontu ukládacího RAO a jsou zde potvrzovány základní předpoklady o chování



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

a vlastnostech horninového masívu. Vybudování této laboratoře předchází zahájení provozu, jelikož je nutné prokázat splnění odpovídajících požadavků vlastností masívu ovlivňující dlouhodobou bezpečnost HÚ (chemismus, tepelné, difúzní, sorpční a elektromigrační parametry, aj.). Druhá část je umístěna v ukládacím horizontu VJP. Zde budou ve skutečných geologických podmínkách panujících na ukládacím horizontu VJP ověřovány inženýrské bariéry a předpoklady navazující na již provedené výzkumné činnosti.

Umístění jednotlivých částí konfirmační laboratoře je patrné na výkresu viz Příloha D.5 této studie.

## C.6 Provozní režim hlubinného úložiště

### C.6.1 Provoz úložiště

Hlubinné úložiště je určeno k bezpečnému uložení VJP a RAO, které není možné uložit do přípovrchových úložišť nebo podzemních úložišť.

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 (Grünwald et al., 2017b) budou prováděny dále uvedené činnosti. Novější zpráva (Grünwald et al., 2017b) se od zprávy (Pospíšková et al., 2012) liší zejména tím, že s přemístěním horké komory z podlaží 0,0 m na podlaží -30 m byla doplněna vertikální přeprava POS.

#### C.6.1.1 Příjem POS s VJP

První z vagonkontejnerů bude vtlačena lokotraktorem do manipulační haly (SO 80). Součástí této haly je i svislý transportní koridor, který propojuje tuto manipulační halu s halou příjmu m.č. 107 DuSO 04 před horkou komorou. Tato manipulační 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 k hydraulickému výtahu nebo na kolový dopravní prostředek.

Přemístění POS na podlaží -30 m (do spojovací chodby m. č. 107) je možný dvojitým způsobem:

- a) spuštění pomocí hydraulického výtahu
- b) pomocí kolového dopravního prostředku portálem (SO 80).

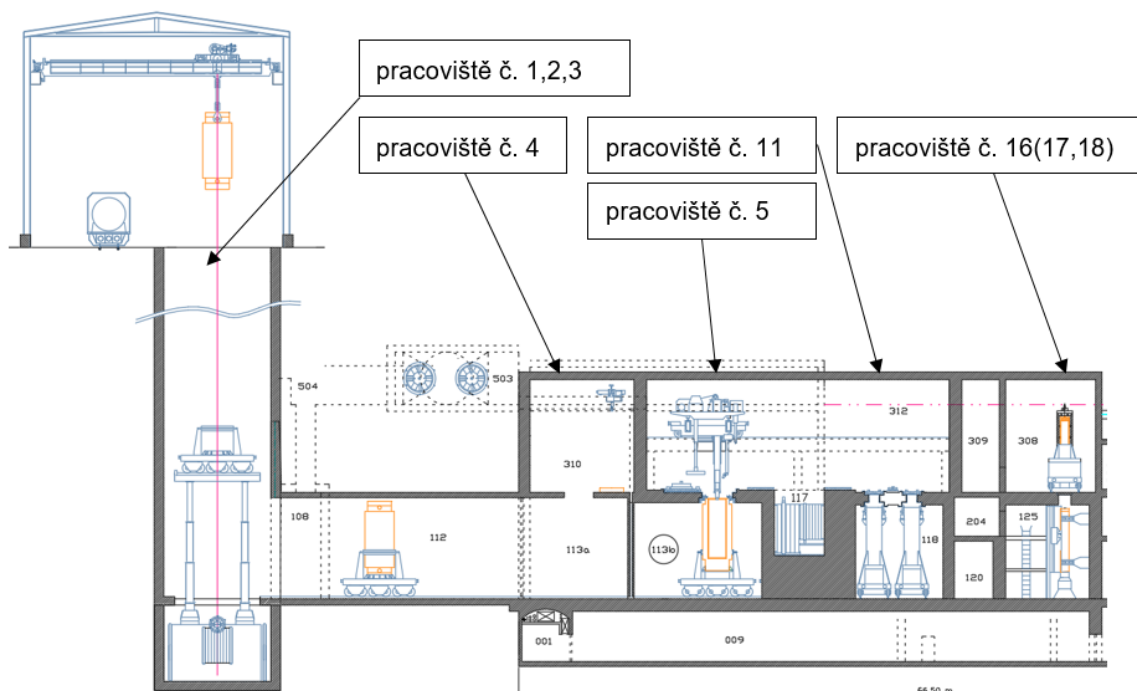
Při kterémkoliv způsobu bude přemístění POS s VJP na podlaží -30 m jištěno tak, aby při nehodě nedošlo k překročení pevnostních parametrů, na které je POS dimenzován.



#### ad a) Spouštění pomocí hydraulického výtahu

Jde o technicky bezpečnou a finančně nenáročnou operaci, která je zajištěna hydraulickým výtahem s písty zdola. V případě závažné poruchy výtahu, která je možná pouze jedna, a to únik hydraulické kapaliny z pístů, sjede plošina výtahu spolu s POS plynule na podlaží – 30 m.

Výhodou tohoto způsobu manipulace (vyjma nízké ceny) je jeho jednoduchost, bezpečnost a skutečnost, že nebudou překročeny parametry POS, na které je licencován, zejména výška pádů POS.



Obr. 68: Přeprava POS z Haly příjmu k HK –manipulace hydraulickou plošinou

#### ad b) Přemístění pomocí kolového přepravního prostředku

Jedná se o možnost, která není prioritně uvažována jako způsob přepravy POS z manipulační haly SO 80 do horké komory. Řešení HÚ ji však umožní v případě, že bude pro přepravu POS ze skladů EDU a ETE v budoucnu licencován i kolový dopravní prostředek, čímž by odpadly manipulace v manipulační hale SO 80.

Po přepravě na podlaží -30 m je POS uložen na speciální přepravní vůz, na kterém se zasune do skladu plných POS (místnost č. 108 navazující na spojovací chodbu m. č. 107) a bude připojen na monitorovací systém těsnosti POS. Ve skladu POS s VJP je prostor pro tři POS, kde jsou POS s VJP skladovány do doby, než se v horké komoře uvolní kapacita pro přeložení celého obsahu POS.

#### **C.6.1.2 Příjem VJP do horké komory (HK)**

Když se v horké komoře uvolní potřebný prostor pro vyjmutí celého obsahu VJP z POS, POS se odpojí od monitorovacího zařízení a přeloží se na samohybný elektrický vůz, který jezdí kyvadlově po kolejové dráze spojovací chodbou mezi skladem POS s VJP a stanovištěm pro demontáž sekundárního víka (pracoviště č. 4 viz obr. Schéma pracovišť, kapitola C.5.2.4 Umístění horké komory).

Na tomto pracovišti se demontuje sekundární víko a odloží na podstavec. Na primární víko POS se namontuje pomocný záchyt, který bude využíván při dalších manipulacích s primárním víkem v horké komoře. POS se přesune na další pracoviště pod přepravním otvorem do horké komory (pracoviště č. 5).

Přepravní otvor do horké komory je těsně uzavřený překrytím s pohonem, které plní zároveň funkci stínění. Přepravní vůz s POS najede na osy otvoru a zajistí se jeho poloha. Hydraulickým zvedacím zařízením umístěným na voze se POS zvedá až do polohy, kdy se horní plochou opře o vlnovec s těsněním na rámu překrytí nebo na adaptéru. Aby bylo možné v HÚ přijímat různé POS, je rám překrytí vybaven vyměnitelnými adaptéry pro různé POS.

Po 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 vyjímají kazety s VJP a ukládají se do příslušné mříže VJP v horké komoře. Po ukončení překládky se prostor s VJP uzavře překrytím, které odděluje prostor s VJP od zbývajících částí horké komory a zajišťuje stínění v mříži umístěného VJP. Pomocí manipulátoru se opět usadí primární víko na POS. Přepravní otvor se uzavře překrytím a POS se spustí zpět do přepravní polohy.

POS bude uzavřen sekundárním víkem. Samohybný elektrický vůz převezve po případné dekontaminaci POS zpět do SO 80 v povrchovém areálu. Tam se přeloží na kolejový vůz pro POS a převezve se do meziskladu prázdných POS (SO 46).

#### **C.6.1.3 Příjem a příprava prázdných UOS**

Operace spojené s příjmem prázdných UOS se provádějí v hale příjmu UOS (pracoviště č. 7 až 9 viz obr. Schéma pracovišť, kapitola C.5.2.4 Umístění horké komory) na stendu překlápění. Zde se provede vizuální kontrola, kontrola rozměrů a geometrie, průchodnost trubek UOS pomocí makety VJP a vyzkouší se správné dosednutí primárního a sekundárního víka. Zkontrolovaný UOS se uloží ve svislé poloze do skladu prázdných UOS, který je součástí haly příjmu UOS.

#### **C.6.1.4 Plnění UOS a jejich příprava k uložení**

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

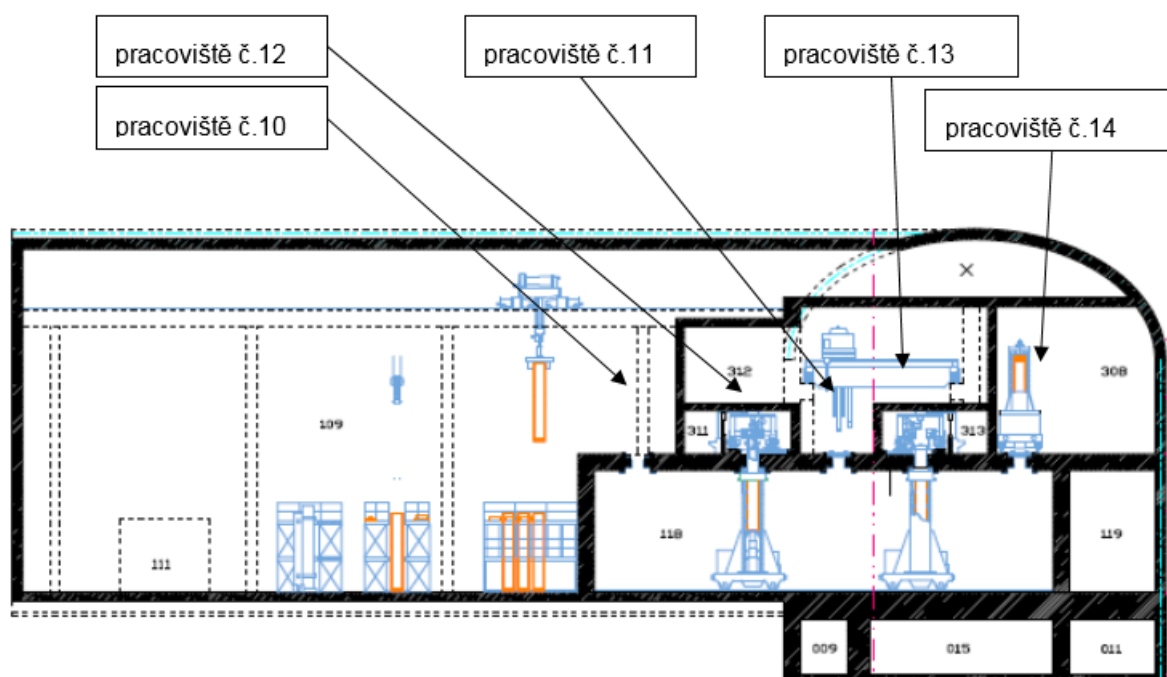
#### **C.6.1.5 Zavážení VJP do UOS**

Zavážení VJP se provádí ve svislé poloze do UOS umístěných na vozících, které pojíždějí po kolejové dráze pod úroveň podlahy horké komory.

UOS se jeřábem přenesse 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 přistýkuje 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. 69: Pracoviště zavážení VJP

#### C.6.1.6 Přivaření primárního víka UOS, kontrola přivaření

Vozík se navede na souřadnice osy otvoru. Na vozíku se zdvihne přídatné stínění do pracovní polohy a přistykne se k vlnovci rámu překrytí. Potom se otevře překrytí otvoru a UOS se zvedne do pracovní polohy ke stendu pro svařování (pracoviště č. 12). Svařovacím automatem se přivaří primární víko k vnitřnímu 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 stínícího válce. V meziskladu plných UOS spustí UOS do skladovací mříže. Překládací zařízení je uzpůsobeno tak, aby bylo možné ukládat v 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 provedená 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 překlápí do svislé polohy. Nad otvor najede samohybný vozík se zavěšeným UOS. Ze samohybného vozíku se spustí UOS stínícím válcem do lůžka mobilní kolové soupravy. Potom se stínící válec překlápí do vodorovné přepravní polohy. Mobilní kolová souprava sjede zavážecím tunelem na úroveň ukládacího horizontu (-500 m).

V případě vertikálního ukládání se dále používá technologie uvedená v kapitole C.5.3.3 Technologie pro nakládání s RAO a přepravu.

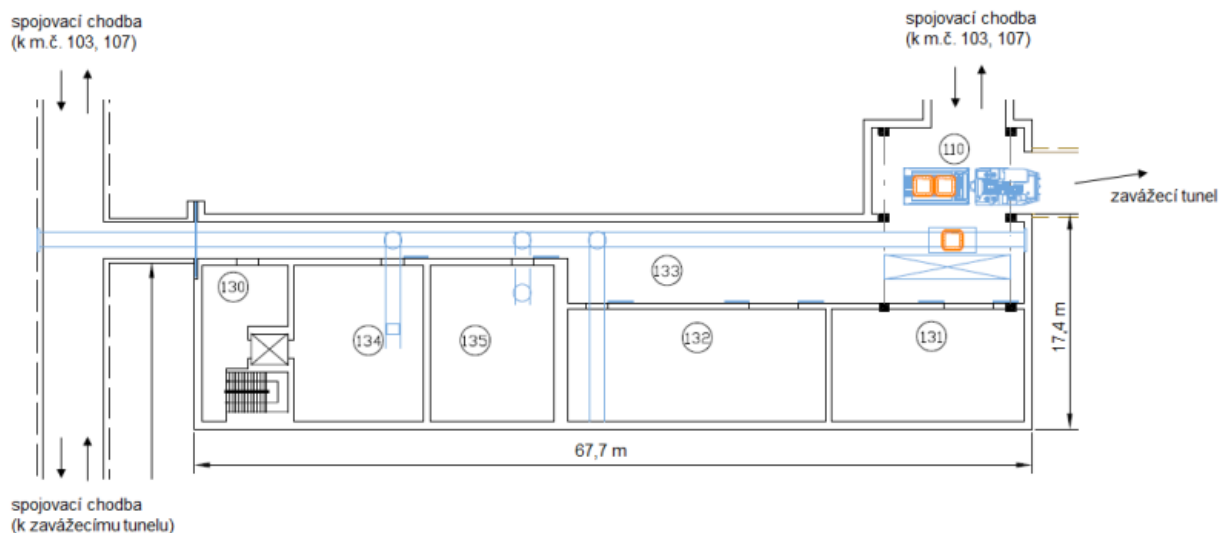
#### **C.6.1.11 Příprava RAO pro uložení**

Kapitola se týká do HÚ ukládaných RAO, jiných než VJP. Činnosti s RAO (vysokoaktivní radioaktivní odpady neuložitelné do přípovrchových úložišť nebo podzemních úložišť a vlastními odpady z provozu HÚ) lze rozdělit do následujících skupin:

- příjem a příprava prázdných betonkontejnerů (BK) k plnění,
- příjem sudů s RAO,
- příjem prázdných sudů a jejich plnění vlastními RAO,
- příjem betonkontejnerů s RAO,
- plnění betonkontejnerů sudy s RAO a jejich příprava k uložení,
- plnění betonkontejnerů vlastními RAO a jejich příprava na uložení.
- zavezení betonkontejneru na ukládací horizont RAO
- uložení BK s RAO do ukládací komory

Všechny výše popsané manipulace budou probíhat výhradně na pracovištích s KP v podzemních prostorách DuSO 04.





Obr. 70: Příprava RAO pro uložení

(m. č. 110 – hala překládky betonkontejnerů, m. č. 130 – vestibul, m. č. 131 – sklad pevných RAO, m. č. 132 – aktivní dílny, m. č. 133 – zavážecí chodba betonkontejnerů, m. č. 134 – cementace, m. č. 135 – vytvrzování betonkontejnerů)

Podrobnější informace o provozu úložiště jsou uvedeny ve zprávách (Grünwald et al., 2017b), (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. (SÚJB 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. (SÚJB 2016d) a vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SÚJB 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. (SÚJB 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.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 299/2018</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. Tato problematika se řeší i na mezinárodní úrovni. 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. Výsledky tohoto a dalších mezinárodních projektů budou zohledněny v další etapě vývoje úložiště.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚ ZZZK Čihadlo a blízkého okolí včetně návrhů pro umístění povrchového areálu .....	30
Obr. 2: Obce v okolí lokality Čihadlo .....	31
Obr. 3: Geologické schéma umístění využitelných horninových bloků v lokalitě Čihadlo .....	33
Obr. 4: Úrovně popisu lokality .....	38
Obr. 5: Náhled na Účelovou geologickou mapu lokality Čihadlo .....	39
Obr. 6: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Čihadlo (okruh 25 km od lokalizace zájmového území) .....	41
Obr. 7: Klasifikované lineární indikace .....	42
Obr. 8: Zlomové struktury v lokalitě Čihadlo .....	44
Obr. 9: Hydrogeologické údaje v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS .....	53
Obr. 10: Rozdíl modelové hladiny v připovrchové vrstvě a hladiny v úrovni HÚ (8 m n.m.), linie řezů A-A' a C-C .....	54
Obr. 11: Mapa reliéfu lokality Čihadlo s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ .....	55
Obr. 12: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ .....	56
Obr. 13: Schématické řezy se znázorněním horizontální a vertikální vzdálenosti drenáže podzemní vody z prostoru projektovaného HÚ (fialové šipky) a homogenních bloků (modré šipky) .....	57
Obr. 14: Hydrogeologické schéma lokality Čihadlo s vyznačením dokumentovaných pramenů, hydrogeologických vrtů, hydrogeologicky aktivních zlomů a klasifikace transmisivity podle Krásného (1986) .....	59
Obr. 15: Rozložení hodnot koeficientu hydraulické vodivosti vyšších než 1.10 <sup>-8</sup> m.s <sup>-1</sup> .....	61
Obr. 16: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok <sup>-1</sup> ] z prostoru HÚ v modelu proudění .....	62
Obr. 17: Trajektorie particle trackingu z oblasti homogenních bloků s barevným rozlišením podle okamžité vypočtené rychlosti .....	63
Obr. 18: Délky trajektorií a doby zdržení pro částice z prostoru vymezeného průzkumného území z úrovně 50 m n.m. ....	66
Obr. 19: Histogram doby zdržení částic v horninovém prostředí, homogenní blok západní, lokalita Čihadlo (MoldFlow) .....	66
Obr. 20: Délky transportních cest v lokalitě Čihadlo (Flow 123D) .....	67
Obr. 21: Doby zdržení pro jednotlivé transportní cesty (Flow 123D) .....	67





Obr. 22: Výřez z mapy „Zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů“ (Hrnčiarová et al. 2009) s vyznačením potenciální lokality Čihadlo a okolí HÚ a seismickými jevy z databáze ČRSS .....	73
Obr. 23: Tepelná vodivost a tepelná difuzivita u granitů typu Klenov (EK) a migmatitů (MG) – lokalita Čihadlo .....	80
Obr. 24: Situace ložiskových objektů v průzkumném polygonu lokality Čihadlo a v jeho okolí .....	90
Obr. 25: Přehled vrtů v širším okolí lokality Čihadlo rozlišených podle hloubky .....	91
Obr. 26: Rozsah a rozložení pozemků určených k plnění funkce lesa v lokalitě Čihadlo.....	96
Obr. 27: Schéma ochranných pásem zdrojů podzemních vod ( <a href="http://heis.vuv.cz">http://heis.vuv.cz</a> , VÚV 2018), vodních zdrojů (plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihočeského kraje, Jihočeský kraj 2018) a vrtů s hydrogeologickými daty v databázi ČGS–Geofond. ....	100
Obr. 28: Hustota obyvatelstva v síti 1x1km.....	101
Obr. 29: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince..	105
Obr. 30: 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) .....	106
Obr. 31: Srovnání potenciální radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a jeho jednotlivých složek s potenciální radiotoxicitou 1 t uranové rudy.....	110
Obr. 32: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu .....	116
Obr. 33: Schéma transportní cesty od HÚ do životního prostředí .....	117
Obr. 34: Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim .....	122
Obr. 35: Schéma DFN konceptu.....	123
Obr. 36: Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .....	125
Obr. 37: Konceptní model výpočtu dávek na reprezentativní osobu z uvažovaných cest ozáření .....	126
Obr. 38: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m <sup>3</sup> ) - (0-10250 let) .....	149
Obr. 39: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok).....	150
Obr. 40: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m <sup>3</sup> ) .....	152
Obr. 41: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m <sup>3</sup> ) - (0-1000000 let).....	152
Obr. 42: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok).....	153
Obr. 43: Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok) - (0-1 milion let) (0 -1000000 let).....	154



Obr. 44: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (mSv/rok) .154	154
Obr. 45: Odhad toku I-129 do životního prostředí při okamžitém poškození všech obalových souborů .....	158
Obr. 46: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm).....	161
Obr. 47: Schéma palivového proutku.....	162
Obr. 48: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ:.....	165
Obr. 49: Vertikální řez reaktoru VVER-1000 .....	168
Obr. 50: 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).....	177
Obr. 51: 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) 178	178
Obr. 52: Relativní aktivita přírodního uranu a všech frakcí, které vznikají při použití stejného množství přírodního uranu v jaderném palivovém cyklu .....	178
Obr. 53: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online).....	180
Obr. 54: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny). .....	181
Obr. 55: Součinitel tepelné vodivosti pro bentonit B75 v závislosti na zhutnění .....	181
Obr. 56: Vertikální uložení UOS (VVER 440) z ukládací chodby ražené TBM - D1.....	185
Obr. 57: Schéma vodního hospodářství HÚ .....	193
Obr. 58: 1. nadzemní podlaží SO 41 .....	196
Obr. 59: 2. nadzemní podlaží SO 41 .....	197
Obr. 60: 3. nadzemní podlaží SO 41 .....	197
Obr. 61: Schéma pracovišť č. 4 až 18 .....	204
Obr. 62: Schéma technického zázemí (D1) .....	209
Obr. 63: Koncepční schéma větrání HÚ při ražbách pomocí TBM zavázečích chodeb a zavážení VJP do úložiště v sekci I.....	211
Obr. 64: Manipulace s bentonitem, Finsko.....	213
Obr. 65: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko .....	213
Obr. 66: Příčný řez zavázečím a odtěžovacím tunelem – pro variantu D1 .....	214
Obr. 67: Příčný řez vtažnou jámou průměru 7,0 m .....	215
Obr. 68: Přeprava POS z Haly příjmu k HK –manipulace hydraulickou plošinou .....	217
Obr. 69: Pracoviště zavážení VJP .....	219
Obr. 70: Příprava RAO pro uložení.....	221



## Seznam tabulek

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ .....	16
Tab. 2: Požadavky na posuzované vlastnosti podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SÚJB 2016b) .....	19
Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1.....	24
Tab. 4: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení .....	49
Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Čihadlo.....	64
Tab. 6: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení .....	68
Tab. 7: Hodnoty doporučených hodnot difúzních koeficientů pro granitické horniny Českého masivu (Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky z lokality Deštná (povrchový lom).....	69
Tab. 8: Srovnání rozpustností screeningových radionuklidů ve vodě Čihadlo (DE-2) .....	70
Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí.....	70
Tab. 10: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality .....	70
Tab. 11: Databáze zemětřesení v okolí potenciální lokality Čihadlo za období 1990–2016 do vzdálenosti 25 km od vymezeného území –(podle katalogu ČRSS). Vysvětlení v textu a zprávě Kaláb et al. (2015) .....	73
Tab. 12: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení .....	78
Tab. 13: Mechanické vlastnosti horninového prostředí s uvedením hlavních vlivů na stabilitu úložiště.....	82
Tab. 14: Hodnotící kritéria mechanických vlastností horninového prostředí s uvedením trendu a kvantifikace vhodnosti .....	82
Tab. 15: Přehled základních fyzikálních a mechanických vlastností dvojslídnych granitů z lomu Deštná.....	83
Tab. 16: Vybraná geochemické indikátory lokality Čihadlo .....	85
Tab. 17: Mikrobiologické parametry a jejich vliv.....	86
Tab. 18: Hodnotící kritéria (přímá a nepřímá) pro zhodnocení vlivu mikrobiálních vlastností na slučitelnost lokality s inženýrskými bariérami.....	87
Tab. 19: Přehled vrtů z polygonu rozdělených podle dosažené hloubky.....	92
Tab. 20: Stav, současné využívání a vybrané parametry využívaných hydrogeologických objektů evidovaných v oblasti vymezené průzkumným polygonem Čihadlo.....	92
Tab. 21: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku.....	103
Tab. 22: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (99,9999 %).....	104
Tab. 23: Omezená kolektivní efektivní dávka .....	105
Tab. 24: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %) .....	105

Tab. 25: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu .....	106
Tab. 26: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatné rozptylové podmínky – 16 úniků do všech směrů větrné růžice .....	107
Tab. 27: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti .....	109
Tab. 28: Bezpečnostní funkce bariér hlubinného úložiště .....	112
Tab. 29: Transportní parametry potenciálních lokalit pro umístění HÚ.....	118
Tab. 30: 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. ....	119
Tab. 31: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech.....	128
Tab. 32: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu.....	130
Tab. 33: 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.....	131
Tab. 34: 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). ....	132
Tab. 35: 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. ....	133
Tab. 36: Sorpční parametry granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu (Havlová et al. 2018).....	134
Tab. 37: Difúzní koeficienty $D_e$ granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu. ....	135
Tab. 38: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu .....	137
Tab. 39: Přenosové faktory půda - rostlina .....	138
Tab. 40: Výnosy zemědělských plodin.....	139
Tab. 41: Přenosové faktory pro přestup přijaté aktivity do živočišného produktu .....	141
Tab. 42: Parametry použité pro hospodářská zvířata .....	142
Tab. 43: Spotřební koš (reprezentativní osoba, dospělý, centrální scénář).....	142
Tab. 44: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby .....	144
Tab. 45: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím .....	144
Tab. 46: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody .....	146
Tab. 47: Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin) .....	148
Tab. 48: Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech .....	148



Tab. 49: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let.....	150
Tab. 50: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let).....	154
Tab. 51: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ .....	161
Tab.52:Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP .....	163
Tab. 53: Celková aktivita klíčových radionuklidů pro EDU, ETE i NJZ a aktivita přepočítaná na jeden UOS.....	164
Tab. 54: Zbytkový výkon v místě maximální hodnoty vzhledem k UOS pro všechny typy JE .....	165
Tab. 55: Rozměry UOS použité ve výpočetních modelech pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ .....	166
Tab. 56: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS .....	166
Tab. 57 : Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí reaktoru pro postupné vyřazování z provozu doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Temelín .....	167
Tab. 58: 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 .....	169
Tab. 59: Měrné aktivity a hmotnosti různých materiálů na konci ozařování a pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín.....	169
Tab. 60: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín .....	169
Tab. 61: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany .....	170
Tab. 62: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (šachta reaktoru, koš AZ, návar TNR a TNR) pro JE Dukovany .....	170
Tab. 63: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru (tepelná izolace, dno koše AZ a serpentinitový beton) pro JE Dukovany .....	171
Tab. 64: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany .....	171
Tab. 65: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro okamžité vyřazování z provozu, s dobou provozu reaktorů 60 let pro 3 plánované bloky NJZ .....	171
Tab. 66: Odhad počtu betonových kontejnerů pro konstrukční a technologické části výzkumného reaktoru LVR-15 pro postupné vyřazování.....	172
Tab.67: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy.....	173
Tab. 68: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů z 1. a 2. přepravy vitrifikovaného VJP z výzkumného reaktoru LVR-15 .....	173





Tab. 69: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard .....	173
Tab. 70: Přehled ZIZ používaných na území ČR podle obsažených radionuklidů a jejich sumární aktivity k referenčnímu datu 10. 12. 2015 .....	174
Tab.71: Přehled ZIZ užívaných na území ČR podle jejich klasifikace (Databáze ZIZ, SÚJB) .....	174
Tab. 72: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karnland, 2010).....	180
Tab. 73: Dispoziční varianty řešení podzemního areálu HÚ pro vertikální ukládání.....	184
Tab. 74: Seznam SO.....	188
Tab. 75: Seznam provozních souborů.....	194
Tab. 76: Seznam důlních stavebních objektů .....	202
Tab. 77: Seznam důlních provozních celků .....	202
Tab. 78: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků .....	208

## 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 str.
- BUREŠ P., GRUNWALD., POŘÍZEK J., ZAHRADNÍK O., VEVERKA A., FIEDLER F., NOHEJL J. (2018): Studie umístitelnosti – Čihadlo, Technická zpráva SÚRAO, 140/2017
- ČECHÁK T., VRBA T., MARTINČÍK J., THINOVÁ L., PRŮŠA P., MUSÍLEK L., ZAHRADNÍK O., LOUŽENSKÝ T. VEVERKA M. (2018), Studie ZBZ Čihadlo – provozní bezpečnost, Technická zpráva SÚRAO , 2018
- 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.
- 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., ŠIMŮTHOVÁ 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
- ČERNÝ M., KRÁLOVCOVÁ J., TRPKOŠOVÁ D. (2017), Hydrogeologické modely horninového prostředí – lokalita Čihadlo, Technická zpráva SÚRAO, 96/2017
- 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.
- DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., HROCH T., PAČLÍKOVÁ J., PERTOLDOVÁ J., SMYČKOVÁ L., VERNER K., VONDROVIC L. (2011): Základní geologická mapa 1 : 25 000, geologická mapa 23–314 Deštná – Česká geologická služba, Praha, 1 s.
- 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.
- FRANĚK J. A BUKOVSKÁ Z. (2016): Regionální 3D strukturně geologický model lokality Čihadlo. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- FRANĚK J., BUKOVSKÁ Z., BURIÁNEK D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ B., GRUNDLOCH J., HOLEČEK J., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KLOMÍNSKÝ J., KRYŠTOFOVÁ E., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., KŮRKOVÁ I., NAHODILOVÁ R., PACHEROVÁ P., PERTOLDOVÁ J., PEŘESTÝ V., RUKAVIČKOVÁ L., SOEJONO I., ŠVAGERA O., VERNER K., ŽÁČEK V. (2018): Závěrečná zpráva 3D strukturně – geologické modely potenciálních lokalit HÚ. – TZ 229/2018, SÚRAO, Praha, 594 s.
- GOLDSIM (2017): GoldSim Contaminant Transport Module - User's Guide. - GoldSim Technology Group, version 7.0, Washington, USA, 2017



- GONDOLLI J., DOBREV D., KLAJMON M., ČERNOUŠEK T., KOUŘIL M. (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
- GRÜNWARD L., BUREŠ P., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., ZAHRADNÍK O., VEVERKA A. (2017a): Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo, Závěrečná zpráva. Technická zpráva číslo 140/2017. – SÚRAO, Praha
- GRÜNWARD L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., BITTNAR Z., ZAHRADNÍK O. (2017b): Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Závěrečná zpráva. Technická zpráva číslo 134/2017. – SÚRAO, Praha
- HANÁK J., CHLUPÁČOVÁ M., ONDRA P., HROUDA F., SOSNA K., ŽIŽKA J., KAŠPAREC I., DĚDEČEK P. (2017): Stanovení petrofyzikálních charakteristik horninového prostředí pro území potenciálních lokalit HÚ. - Závěrečná zpráva 103/2017, SÚRAO, 171 s.
- HANŽL P. ED. (2009): Směrnice pro sestavení Základní geologické mapy ČR 1 : 25 000. – MS Čes. geol. služba. Praha.
- 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, Technická zpráva SÚRAO, 278/2018
- 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.
- 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
- Hustáková 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
- HOEK E., BROWN E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8): 1165–1186.

- HRNČIAROVÁ T., MACKOVČIN P., ZVARA I. (2009): Atlas krajiny České republiky. Praha, MŽP ČR, Průhonice, Výzkumný ústav ST pro krajinu a okrasné zahradnictví, ISBN 978-80-85116-59-5, 331 s.
- HROCH T. A PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. Závěrečná zpráva. – TZ 25/2015, SÚRAO. Praha.
- IAEA (1995): Validation of Models Using Chernobyl Fallout Data from the Central Bohemia Region of the Czech Republic: Scenario CB. - IAEA -TECDOC-795, IAEA, Vienna, 1995
- IAEA (2003a): "Reference Biospheres" for solid radioactive waste disposal. - IAEA - BIOMASS-6, IAEA, Vienna, 2003, ISBN 92–0–106303–2
- 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
- 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 UO<sub>2</sub> and MOX fuel at t=0, in: A Report of the Spent Fuel Stability (SFS). Project of the 5th Euratom Framework Program, NAGRA Technical Report 04-08, 2004IAEA (2011a): Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011, Appendix I" Siting of geological disposal facilities
- KABELE P., ŠVAGERA O., SOMR M., NEŽERKA V., ZEMAN J., JELÍNEK J., BUKOVSKÁ Z., SOEJONO I., FRANĚK. J. (2018): Mathematical modelling of brittle fractures in rock mass by means of the DFN method. Závěrečná zpráva. – TZ /2018, SÚRAO, Praha, 100 s.
- KALÁB Z., ŠÍLENÝ J., LEDNICKÁ M., JECHUMTÁLOVÁ Z. (2015): Seismická stabilita území. Závěrečná zpráva. – TZ 26/2015, SÚRAO, Praha, 105 s.
- KARNLAND O. (2010): CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF THE BENTONITE BUFFER FOR THE ACCEPTANCE CONTROL PROCEDURE IN A KBS-3 REPOSITORY, TR-10-60, SKB 09/2010)
- KING, F. (2009). Corrosion resistance of austenitic and duplex stainless steels in environments related to the nuclear decommissioning authority's phased geological repository concept, Quintessa limited report to NDA RWMD, QRS-1384C-R1 version 1.2



- Klajmon M., Havlová V., Červinka R., Kolomá K., Rukavičková L. (2016): Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin Českého masivu: Výpočet rozpustnosti radionuklidů v podmínkách podzemních vod Českého masivu. Technická zpráva č. TZ 104/2016. 73 s. – SÚRAO. Praha
- KLOMÍNSKÝ J., JARCHOVSKÝ T., RAJPOOT G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif – Čes. geol. služ., Praha.
- KOBYLKA D.: Inventarizace zdrojového členu a jeho charakteristiky – optimalizace vzdálenosti UOS, průběžná zpráva SÚRAO, 4Q, 2017
- KOLOMÁ K. A KLAJMON M. (2018): Rozpustnost, speciace a sorpční chování radionuklidů pro účely hodnocení vhodnosti lokalit pro umístění HÚ. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha.
- KOPAČKOVÁ V., JELÍNEK J., ŠVAGERA O., HROCH T., KOUČKÁ L., JELÉNEK J., SKÁCELOVÁ Z., FÁROVÁ K. (2017): Morfostrukturní analýza širšího okolí průzkumných území HÚ pomocí DPZ. Závěrečná zpráva – MS SÚRAO Praha.
- KOŠLER J., AFTALION M., VOKURKA K., KLEČKA M., SVOJTKA M. (1996): Kambrický granitoidní magmatismus v moldanubiku: datování zirkonů ze strážské ortoruly metodou U-Pb – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1995, 109–110.
- 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.
- KURSTEN B., SMAILOS E., AZKARATE I., WERME L., SMART N.R., SANTARINI G. (2004): State-of-the-art document on the COrrOsion BEhaviour of COntainer MAterials, Final report. Contract N° FIKW-CT-20014-20138, 305 str.
- KYNCL J. (2011): Výpočetní analýza kritičnosti úložných kontejnerů s vyhořelým palivem z jaderných reaktorů v hlubinném úložišti, Zpráva ÚJV Z-3229 R,F, Říjen 2011, 18 str.
- MARKOVÁ L. (2011): Úvod do kontroly kritičnosti úložiště před a po jeho uzavření, Zpráva ÚJV 13801, Listopad 2011
- MILSON J. (2003): Field Geophysics. 3rd edition. John Wiley & Sons Ltd., 232 pp.
- MÍSAŘ Z. A KOL. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív. – Státní pedagogické nakladatelství. Praha.
- MŽP (2016) SUROVINOVÉ ZDROJE ČESKÉ REPUBLIKY, STATISTICKÉ ÚDAJE DO ROKU 2016, 25. VYDÁNÍ ČGS, 10/2017
- NÝVL T., DOBROVOLNÝ P. (2015): Klimatická stabilita území. Technická zpráva č. 22/2015. SÚRAO, Praha.
- 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).
- PETRUŽÁLEK, M. (2017): Stanovení mechanických vlastností hlavních petrografických typů na potenciálních lokalitách HÚ. TZ 88/2017, GIÚ AV ČR, v. v. i., 76 s.
- PHARAOH, T.C., 1999, Palaeozoic tectonics and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): A review: *Tectonophysics*, v. 314, p. 17–41, doi:10.1016/S0040-1951(99)00235-8.
- POLÁK M., UHLÍK J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., BAIER J., ČERNÝ M., ZEMAN O., JANKOVEC J. (2018): Detailní hydrogeologický model lokality Čihadlo. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha.
- POSPÍŠKOVÁ I., VOKÁL A., FIEDLER F., PRACHAŘ I., KOTNOUR P. a kol. (2012): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě. Průvodní zpráva, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS
- PPM FACTUM RESEARCH (2016): Socioekonomická analýza lokalit vytipovaných pro umístění hlubinného úložiště, Souhrnná zpráva za lokalitu Kraví hora, Praha, 30. září 2016
- PROCHÁZKA J. ET AL. (2010): Projekt průzkumných prací na hypotetické lokalitě. Závěrečná zpráva. ČGS Praha.
- QuantiSci, PAGODA, Version 3.3, Technical Description, 1990
- QUITT E., et al. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV. Brno.
- RACEK M., ŠTÍPSKÁ P., PITRA P., SCHULMANN K., LEXA O. (2006): Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: new tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). – *Mineralogy and Petrology*, 86: 221–251.
- RATAJ, J., FRÝBORT, J., FEJT, F., HERALTOVÁ, L. (2015): Databáze VJP pro bezpečnostní rozbor, Technická zpráva č. 11/2015. SÚRAO, 2015
- RYBAŘÍK V. (1994): Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky. Nadace SPŠSK v Hořicích v Podkrkonoší, Hořice, 218 s.
- ŘÍHA J., KRÁLOVCOVÁ J. (2018): Transportní charakteristiky lokalit - metodika, výpočet, vyhodnocení. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha.
- SAMEK J. (1972): Závěrečná zpráva Jindřichohradecko. Surovina: kámen. – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

- SOUČEK K., VAVRO M., STAŠ L., VAVRO L., WACLAWIK P., KONICEK P., PTÁČEK J., VONDROVIC L. (2017): Geotechnical characterization of Bukov Underground Research Facility. *Procedia Engineering* (v tisku).
- SÚJB (2016a): Zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016, atomový zákon
- SÚJB (2016b): Vyhláška č. 378/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o umístění jaderného zařízení.
- SÚJB (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
- SÚJB (2016d): Vyhláška č. 360/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o monitorování radiační situace
- SÚJB (2016e): Vyhláška č. 361/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu
- SÚJB (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
- SÚJB (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
- SÚJB (2016h): Vyhláška č. 422/2016 Sb. ze dne 14. prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- SÚJB (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
- TICHÝ L. (1970): Inventarizace ložisek stavebních nerostných surovin. Dílčí závěrečná zpráva pro území listu mapy 1 : 50 000 M-33-102-A (Soběslav). – MS Čes. geol. služ. – Geofond. Praha.
- TOUŠ M., HAVLOVÁ V., ČUBOVÁ K, OTCOVSKÝ T., HEJNÝ J., KŘÍŽ P., PODLAHA J., TRTÍLEK R., GONDOLLI J., VEČERNÍK P., JOHN J., NĚMEC M. (2018): Vlastnosti RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. Závěrečná zpráva projektu Výzkumná podpora pro hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště. ÚJV Řež, a. s. Praha
- TRPKOŠOVÁ, D., HAVLOVÁ, V, HUSŤÁKOVÁ, H. (2016): Aktualizace integrovaného, transportního modelu pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti. Závěrečná zpráva číslo 44/2016, SÚRAO
- TRPKOŠOVÁ, D., HAVLOVÁ, V., BUKOVSKÁ, Z., FRANĚK, J., RATAJ, J., FRÝBORT, J., KOBYLKA, D., LOSA, E., FEJT, F., VOPÁLKA, D., BABOROVÁ, L., ŠTAMBERG, K., VETEŠNÍK, A., VANĚČEK, V., JAN UHLÍK, GVOŽDÍK, L., MILICKÝ, M., POLÁK, M., KRÁLOVCOVÁ, J., ŘÍHA, J., JIŘÍ MARYŠKA, J. (2017a): Transport radionuklidů z úložiště / Bezpečnostní rozbor HÚ v lokalitě Kraví hora. Shrnutí procesních modelů lokality Kraví hora a aktualizace parametrů komplexního modelu, zpráva SÚRAO 200/2017, Listopad 2017
- TRPKOŠOVÁ, D., HUSŤÁKOVÁ, H., DOBREV, D., HAVLOVÁ, V., BUKOVSKÁ, Z., FRANĚK, J., RATAJ, J., FEJT, F., VETEŠNÍK, A., BABOROVÁ, L., VOPÁLKA, D., POLÁK, M., UHLÍK, J., GVOŽDÍK, L., ČERNÝ, M., KRÁLOVCOVÁ, J., ŘÍHA, J., BŘEZINA, J. (2017b): Transport radionuklidů z úložiště / Bezpečnostní rozbor HÚ v lokalitě Kraví hora. Průběžná technická zpráva 189/2017, SÚRAO



- TRPKOŠOVÁ, D., HUSTÁKOVÁ, H. ET A KOLEKTIV., Bezpečnostní zpráva dlouhodobé bezpečnosti HÚ na lokalitě Kraví hora, Technická zpráva SÚRAO, /2018, v přípravě
- UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2016): Regionální hydrogeologické modely lokalit. Technická zpráva číslo 100/2017. PROGEO, s.r.o., Roztoky u Prahy.
- UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2018): Detailní hydrogeologické modely lokalit, Technická zpráva v přípravě. Technická zpráva v přípravě. SÚRAO, Praha
- UHLÍK J., KRÁLOVCOVÁ J., TRPKOŠOVÁ D., BAIER J., BALVÍN A., BŘEZINA J., GVOŽDÍK L., CHUDOBA J., POLÁK M., ŘÍHA J., ŠKARYDOVÁ I. (2015): Rešerše zahraničních přístupů k modelování HÚ, metodika a koncepce řešení. Technická zpráva číslo 01/2015. PROGEO, s.r.o., Roztoky u Prahy.
- VASÍČEK R. (2017): Laboratorní zkoušky na bentonitu BaM, zpráva k zakázce SÚRAO (č. obj. BAM OV2017-6132)
- VASÍČEK, 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](http://www.posiva.fi/files/4393/DOPAS_D3_21_Final_results_of_EPSP_laboratorytesting_final_March_2016_v2.pdf)
- VEČERNÍK P., DRTINOVÁ B. ET AL. (2016): Transportní vlastnosti cementových materiálů – průběžná zpráva II, Technická zpráva číslo 82/2016, SÚRAO/ ÚJV Řež, a. s., Praha, 75 s.
- VEČERNÍK P., DRTINOVÁ B. ET AL. (2017): Transportní vlastnosti cementových materiálů – průběžná zpráva III, Technická zpráva číslo 209/2017, SÚRAO/ ÚJV Řež, a. s., Praha.
- VEČERNÍK, P., L. HAUSMANNOVÁ, R. ČERVINKA, R. VAŠÍČEK, M. ROLL, J. HLOUŠEK A V HAVLOVÁ (2016): Interaction between cement and Czech bentonite under temperature load and in in-situ conditions: an overview of experimental program. In: , Amphos 21 a KIT, ed. Draft of the 1st Annual Project Workshop Proceeding: Deliverable n°D4.08., s. 77-85. Dostupné z: <https://www.cebama.eu/Content/PublicArea/WP4/D4.08.pdf>.
- VERNER K., DUDÍK SCHULMANNOVÁ B., TRUBAČ J., PACLÍKOVÁ J., KRYŠTOFOVÁ E., PERTOLDOVÁ J., JANOUŠEK V. (2010): Geologické poměry kraje jindřichohradeckého se zvláštním přihlédnutím ke Kardašově Řečici (klenovský pluton; moldanubický batolit). – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2009, 81–83.
- VERNER K., ŽÁK J., ŠRÁMEK J., PACLÍKOVÁ J., ZAVŘELOVÁ A., MACHEK M., FINGER F., JOHNSON K. (2014): Formation of elongated granite–migmatite domes as isostatic accommodation structures in collisional orogens. – *Journal of Geodynamics*.
- 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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Čihadlo</b>	Evidenční označení:
		TZ 299/2018

VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDRŮV 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

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

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 (SurlS) 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](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

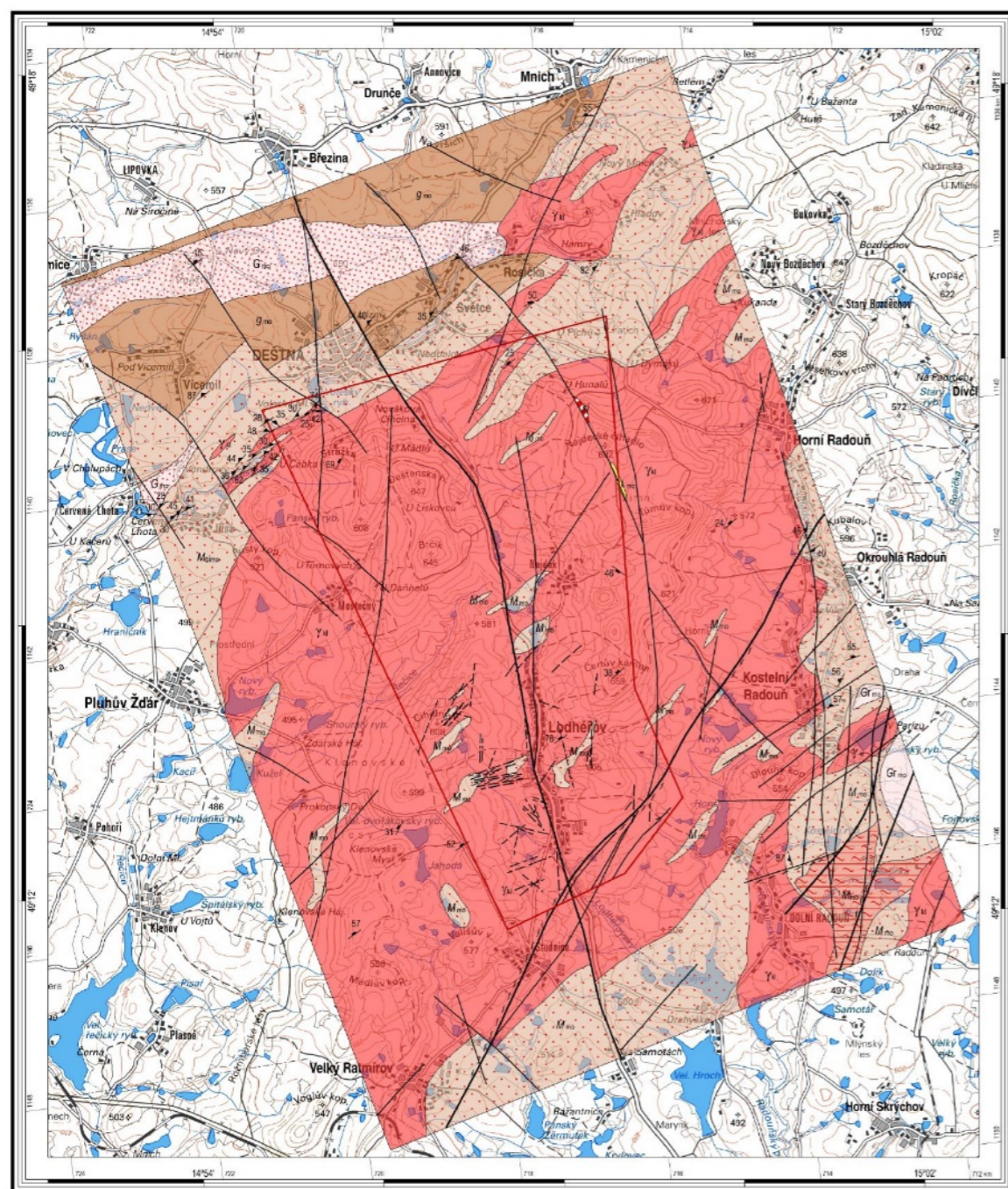
Národní geoportál Inspire, 2017. [Online]. Available: <http://geoportal.gov.cz>.



## D PŘÍLOHY

### D.1 Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Čihadlo 1:50 000, ČGS

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA  
 ÚČELOVÁ GEOLOGICKÁ MAPA KANDIDÁTSKÉ LOKALITY ČIHADLO 1 : 50 000



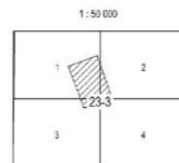
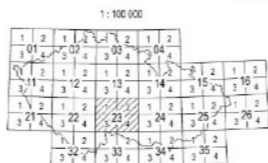
- PŘEDPLATFORMNÍ JEDNOTKY ČESKÉHO MASIVU KRYSTALINIKUM A ZVRÁSNĚNÉ PALEOZOIKUM**
- žilné horniny nerozlíšené SVRCHNÍ PALEOZOIKUM**
- 1 žilný skvost
  - 2 apit
- moldanubikum**
- žilné horniny v moldanubiku**
- 3 granit (typ Egem)
- intruzivní horniny v moldanubiku**
- moldanubický plutonický komplex KARBON**
- 4 porfyr
  - 5 migmatizovaná porfýra až migmatit
- metamorfni jednotky v moldanubiku**
- metamorfni jednotky v pestré a jednotvárné skupině moldanubika NEOPROTEROZOIKUM-PALEOZOIKUM**
- 6 ortogneis
  - 7 ortogneis, migmatizovaná ortogneis až migmatit
  - 8 granitoidní komplex moldanubika
  - 9 ortogneis
  - 10 ortogneis - kategorie I - regionální výzrámné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
  - 11 ortogneis - kategorie II - lokální výzrámné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
  - 12 ortogneis - kategorie III - lokální méně výzrámné poruchové zóny, dle Anderson et al. (2000)
  - 13 zóna katektiky
  - 14 směr a síla metamorfni foliace, lineace
  - 15 směr a síla magnetické foliace
  - 16 hranice lokality Čihadlo

PŘEHLED GEOLOGICKÝCH JEDNOTEK



- 1 klenevský pluton
- 2 granitoidní komplex
- 3 jednotvárná skupina moldanubika

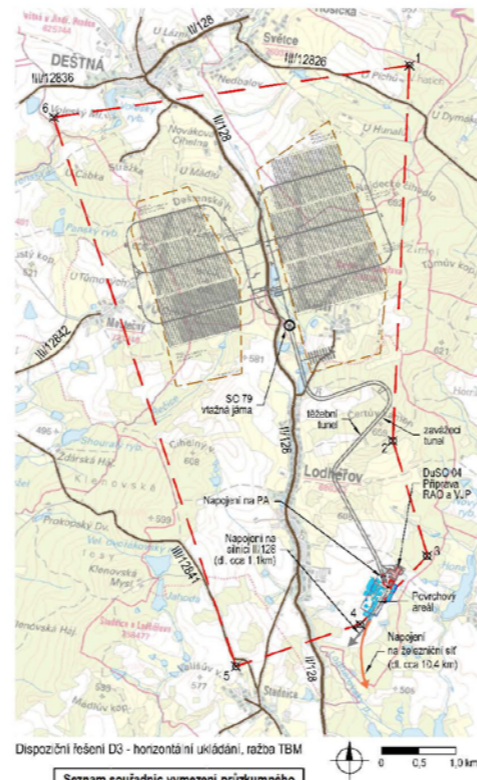
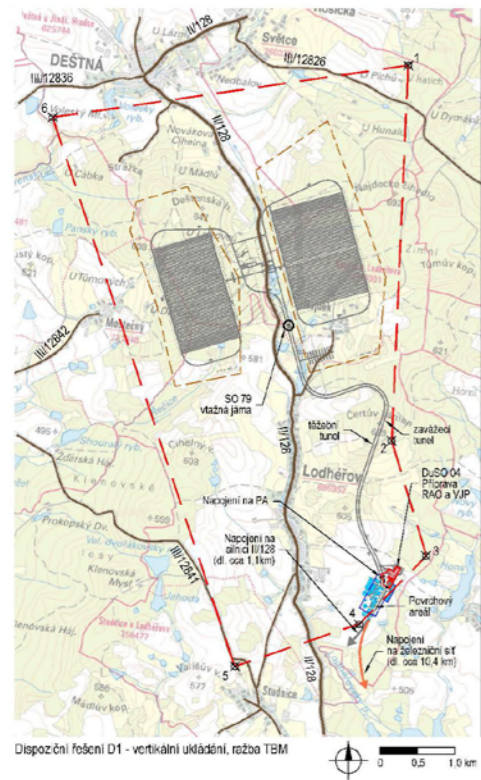
KLAD LISTŮ







D.2 Výkres - Přehledná situace (dispoziční řešení variant D1 až D4) ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a)



Seznam souřadnic vymezení průzkumného území (S-JTSK)		
Číslo bodu	Y	X
1	715462.00	1136309.00
2	715688.00	1143333.00
3	715227.00	1144873.00
4	716123.00	1145790.00
5	717785.00	1146352.00
6	720224.00	1139004.00

LEGENDA STÁVAJÍCÍ INFRASTRUKTURY

- Silniční síť - silnice I/II třídy
- Silniční síť - silnice III třídy
- Železniční síť

LEGENDA NOVÝCH NÁPOJENÍ

- Nové napojení povrchového areálu na stávající silniční síť
- Nové napojení povrchového areálu na stávající železniční síť

OSTATNÍ

- Mezence průzkumného území
- Horizontální horninový blok na úrovni -90m

POUŽITÍ

Nápojení na stávající železniční síť bude uskutečněno járně při povrchovém zásahu v blízkosti výhledy "Nové Račice". Nové vrtácké povrchové areály se bude napojovat na stávající železniční trať č.222. Délka nové výhledy se přibližně rovná 10,4 km.

S-JTSK B.p.v.

OBJEDNATEL: SÚRAO | SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ SÁDROKAMENNÝCH ODPADŮ | ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE: SO 2016-017 ze dne 3.2.2016 | ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE: 5116 0000 41

**VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ**

POSKYTOVATEL: CVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ | VEDOUČÍ PROJEKTU: Ing. Alexandr Butovíc, Ph.D. | ZÁSTUPCE OBJEDNATELE: Ing. Jaromír Augusta, Ph.D. | VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY: Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph.D. | KONTROLÓVÁL: Mgr. Ondřej Zahradník | VYPRACOVAL: Ing. Aleš Veverka

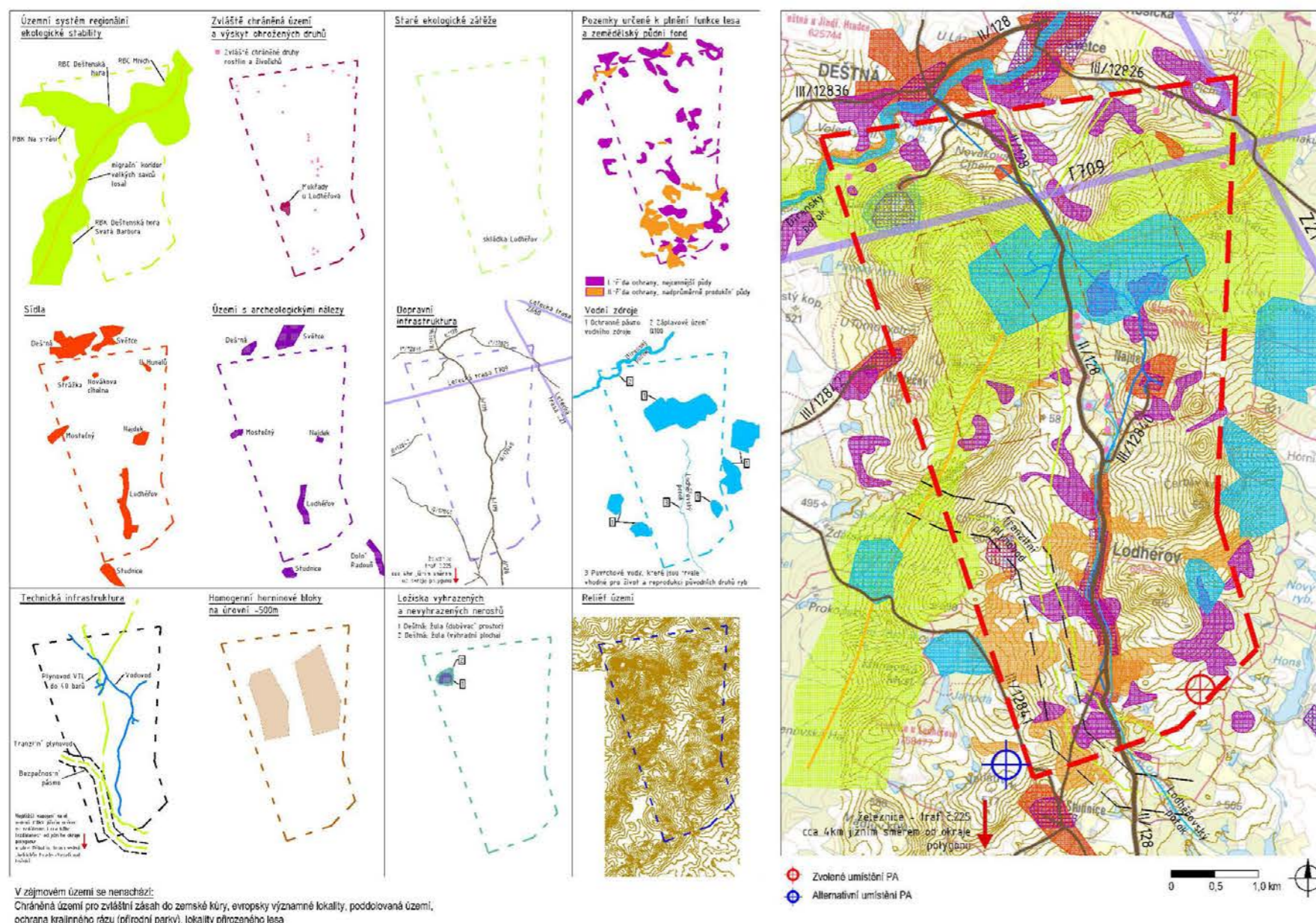
NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI: **STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ ČIHADLO**

NÁZEV PŘÍLOHY: **PŘEHLEDNÁ SITUACE**

POČET FORMÁTŮ: 4x A4 | MĚŘÍTKO: - | DATUM: 05/2018 | IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO: SÚRAO 2016-0357 | PŘÍLOHA: 01 | REVIZE: -



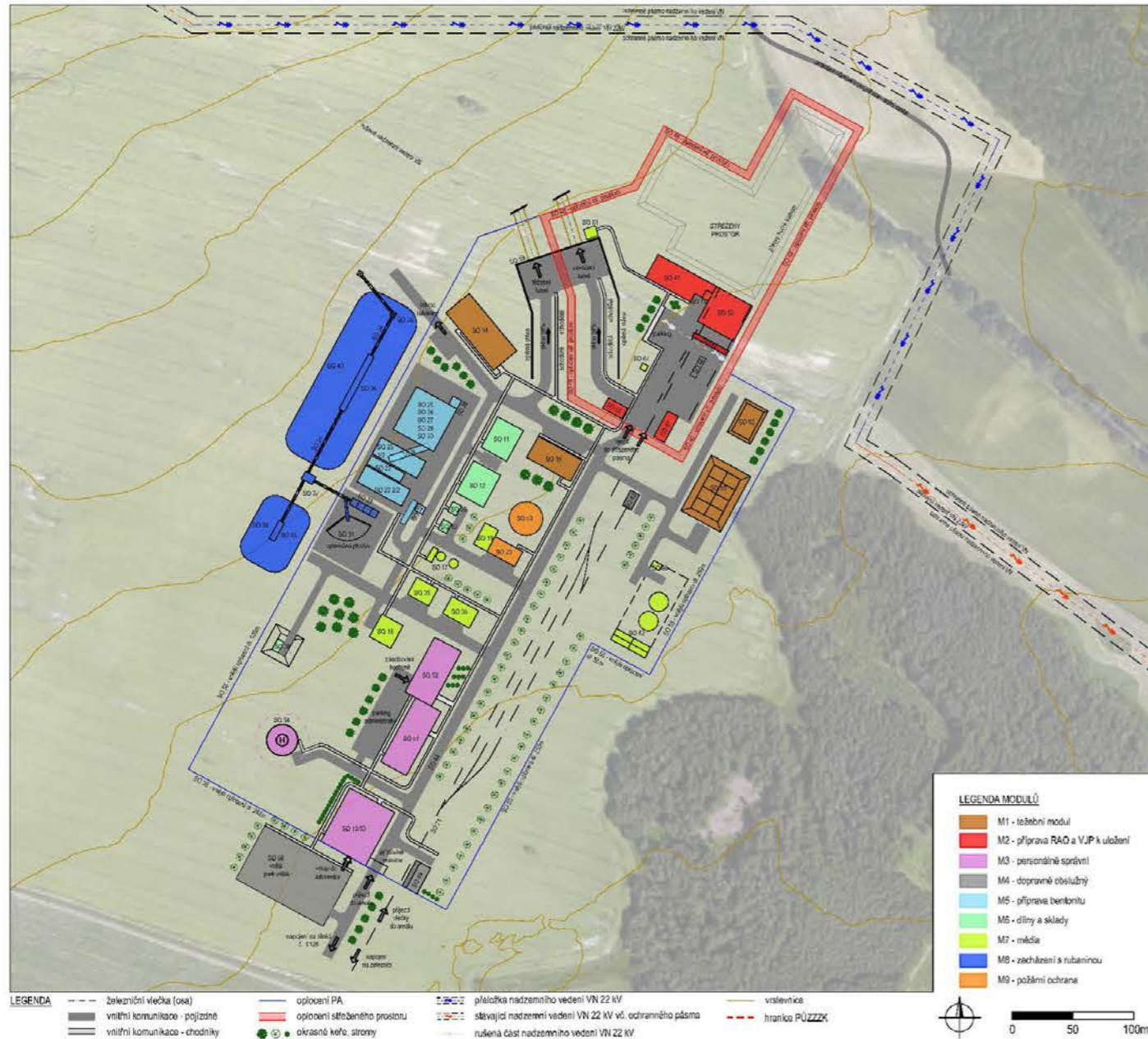
D.3 Výkres – Střety zájmů ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a)



S-JTSK		B.p.v.	
OBJEDNATEL:		ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE	
<b>SÚRAO</b>		SO 2016-017	
		ze dne 3.2.2016	
SPRÁVA ÚLOŽIŠT RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ		ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE	
		5116 0000 41	
<b>VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ</b>			
POSKYTOVATEL: ČVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ		VEDOUČÍ PROJEKTU	
ČVUT v Praze Žitná 190/34, 160 00 Praha 6 www.cvut.cz		Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.	
		ZÁSTUPCE OBJEDNATELE	
SATRA, spol. s r.o. Sokolská 32, 120 00 Praha 2 www.satracz		Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.	
		VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY	
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Národní 994/15, 110 00 Praha 1 www.motmac.com		Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph. D.	
		KONTROLOVAL	
		Mgr. Ondřej Zahradník	
		VYPRACOVAL	
		Ing. Aleš Veverka	
NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI			
<b>STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ ČIHADLO</b>			
NÁZEV PŘÍLOHY			KOPIE
STŘETY ZÁJMŮ			
POČET FORMÁTŮ	MĚŘÍTKO	DATUM	IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO
3x A4	-	05/2018	SÚRAO 2016-0357
			PŘÍLOHA
			02
			REVIZE



D.4 Výkres - Povrchový areál - objektová skladba, lokalita Čihadlo ze Studie umístitelnosti HÚ v lokalitě Čihadlo (Grünwald et al, 2017a)



Seznam povrchových stavebních objektů			
Modul	Označení	Název	Zastavěná plocha (m <sup>2</sup> )
M1 - lazební	SO 14	lázně, lampovna, mycí bazén	1540,00
	SO 15	provazní budova výtahů a rozřívání HÚ	824,00
	SO 18	odkalovací jímka důlních vod	1920,00
	SO 02	hladší technologické vady	860,00
	SO 41	provazní budova aktivních provazů	1040,00
M2 - příprava RAO a VJP pro uložení	SO 80	přístřeší pro přepravu RAO a VJP do přeříváckého zřetzu	1000,00
	SO 81	portálový jeřáb	-
	SO 45	vrtácké aktinické provazce	180,00
	SO 46	mezosklad průběžných obalových souborů pro přepravu VJP a RAO	90,00
	SO 47	železniční vrtácké	240,00
	SO 48	oplocení sítěbného prostoru (m)	930,00
	SO 59	portál tunelu	2045,00
	SO 78	výhlední VZT a HK	50,00
	SO 1350	informační centrum, vrtácké, ošleřovna, ostražka	2100,00
	M3 - personální správní	SO 51	centrální administrativní objekt
SO 52		centrální kuchyně, jídelna a bulet	1280,00
SO 54		heliport	530,00
SO 21		železniční vlečka	6355,00
M4 - dopravné obslužný	SO 43	garáž lokomotiv	112,00
	SO 44	vnitřní komunikace	-
		pojízdné chodníky	30970,00
	SO 49	železniční vrtácké	190,00
	SO 55	oplocení areálu (m)	1410,00
	SO 66	střední personální	4080,00
	SO 22	podzemní cihlový zásobník	240,00
	SO 23	mezosklad	1180,00
	SO 24	podzemní dopravníková chodba	185,00
	SO 25	sušiči zářezů bentonit polobanů	210,00
M5 - příprava bentonitu	SO 26	výroba a sklad bentonit polobanů	380,00
	SO 27	míchárna bentonitové směsi	260,00
	SO 28	zásobník pojiva a vody	60,00
	SO 29	kněžský sklad	440,00
	SO 30	výroba bentonitových prebávků	225,00
	SO 32	mezistří vlna	80,00
	SO 09	sklad výbušnin	90,00
	SO 08	sklad olejů	72,00
	SO 10	sklad plněn	72,00
	SO 11	centrální dílny	684,00
M6 - dílny a sklady	SO 12	skladová hala	768,00
	SO 05	centr. trafostanice, rozvodna, náhradní zdroj	320,00
	SO 06	kompresorium	400,00
	SO 07	výroba a akumulace c. hradící vody	25,00
	SO 16	centrální zdroj tepla	425,00
	SO 17	rodzejem 2 x 150 m <sup>2</sup>	160,00
	SO 19	úpravná vypouštěcí vody	200,00
	SO 42	centr. čistírna odpad. vod	720,00
	SO 60	objekt měření odpadních vod	40,00
	SO 61	přívodní komora VZT	65,00
M7 - média	SO 70	ventilová osvětlení	-
	SO 71	řijty a kanály rozvodů silnoproudu	-
	SO 72	řijty a kanály rozvodů slaboproudu	-
	SO 73	kanalizační desky, spletky, průmysl	-
	SO 74	rozvodny plyně a potrubní vody	-
	SO 75	potrubní kanály	-
	SO 76	šetření úpravy	-
	SO 78	ložiská vrtácké jámy (mimo areál)	220,00
	SO 31	spečená skládka	1600,00
	SO 33	řídovna, zásobník odřezů kameniva	150,00
M8 - zacházení s rubaninou	SO 34	dopravní most (m)	320,00
	SO 35	přesahovací uzal	90,00
	SO 38	výhlední most a (m)	40,00
	SO 38	výhlední most b (m)	20,00
	SO 37	držma	70,00
	SO 39	mezoskladka odvalu	2400,00
	SO 40	mezoskladka rubaniny na 5 dnů	7800,00
	SO 91	šlepačnická rubaniny (mimo areál)	-
	SO 20	stanice báňské zachranné služby, požární zbrojnice	364,00
	SO 53	požární nádrž	615,00

S-JTSK

B.p.v.

OBJEDNATEL:	SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ	ČÍSLO SMLOUVY OBJEDNATELE SO 2016-017 ze dne 3.2.2016 ČÍSLO SMLOUVY POSKYTOVATELE 5116 0000 41
-------------	---------------------------------------	--

VÝZKUMNÁ PODPORA PRO PROJEKTOVÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

POSKYTOVATEL: ČVUT - SATRA - Mott MacDonald CZ	VEDOUČÍ PROJEKTU	Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.
ČVUT v Praze Žitkova 1903/4, 160 00 Praha 6 www.cvut.cz	ZÁSTUPCE OBJEDNATELE	Ing. Jaromír Augusta, Ph.D.
SATRA, spol. s r.o. Sokolská 32, 120 00 Praha 2 www.satraz.cz	VEDOUČÍ EXPERTNÍ SKUPINY	Ing. Radka Bürgermeisterová, Ph. D.
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Národní 984/15, 110 00 Praha 1 www.mottmac.com	KONTROLOVAL	Mgr. Ondřej Zahradník
	VYPRACOVAL	Ing. Aleš Veverka

NÁZEV DÍLČÍ ČÁSTI

STUDIE UMÍSTITELNOSTI HÚ V LOKALITĚ ČIHADLO

NÁZEV PŘÍLOHY

POVRCHOVÝ AREÁL - OBJEKTOVÁ SKLADBA

POČET FORMÁTŮ 3x A4	MĚŘITKO -	DATUM 05/2018	IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO SÚRAO 2016-0357	PŘÍLOHA 03	REVIZE
------------------------	--------------	------------------	--	---------------	--------





# NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



**SÚRAO**

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: [info@surao.cz](mailto:info@surao.cz)

[www.surao.cz](http://www.surao.cz)