

Technická zpráva číslo 302/2018

---

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

---

Autoři: Ing. Antoním Vokál, CSc.

a kolektiv

SÚRAO

**Praha, září 2018**

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

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>14</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>14</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 .....	18
A.3 Obecné informace o vlastnostech území k umístění hlubinného úložiště .....	30
A.4 Výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací .....	33
<b>B Vlastní hodnocení vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik</b> .....	<b>35</b>
B.1 Geologické charakteristiky .....	35
B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků .....	36
B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností .....	45
B.1.3 Dostupnost dat .....	48
B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality .....	49
B.2 Hydrogeologické charakteristiky .....	51
B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště .....	53
B.2.2 Identifikace drenážních bází pro podzemní vodu .....	56
B.2.3 Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě Janoch .....	59
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 .....	67
B.3.3 Hodnocení ředění .....	68
B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik .....	68

Dlážděná 6 | 110 00 Praha 1 | ČR

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

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

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

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

B.4	Stabilita lokalit .....	70
B.4.1	Seismická stabilita.....	70
B.4.2	Geodynamická stabilita .....	71
B.4.3	Postvulkanické jevy .....	73
B.4.4	Klimatická stabilita.....	73
B.4.5	Celkové expertní zhodnocení lokality Janoch z hlediska stability území .....	74
B.5	Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami.....	75
B.5.1	Tepelné vlastnosti lokality .....	76
B.5.2	Hydraulické vlastnosti.....	77
B.5.3	Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí .....	77
B.5.4	Geochemické vlastnosti .....	79
B.5.5	Mikrobiologické vlastnosti.....	81
B.5.6	Plynopropustnost .....	81
B.5.7	Celkové expertní zhodnocení lokality Janoch z hlediska slučitelnosti s inženýrskými bariérami .....	81
B.6	Faktory ovlivňující možnost narušení úložiště budoucími aktivitami člověka.....	82
B.6.1	Ložiskové poměry na lokalitě .....	82
B.6.2	Poddolovaná území a stará a opuštěná důlní díla .....	83
B.6.3	Vrtná prozkoumanost .....	83
B.6.4	Zdroje podzemních vod.....	83
B.6.5	Potenciál geotermální energie.....	83
B.6.6	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska přítomnosti faktorů, .....	83
B.7	Ostatní posuzované vlastnosti území jaderného zařízení umístěného na povrchu .	84
B.7.1	Seismicita.....	84
B.7.2	Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem .....	84
B.7.3	Povodně.....	84
B.7.4	Oběh podzemní vody .....	84
B.7.5	Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových púd	85
B.7.6	Klimatické a meteorologické jevy .....	85
B.7.7	Biologické jevy .....	86
B.7.8	Přírodní požáry.....	87
B.7.9	Pád letadla a jiných objektů.....	87

Dlážděná 6 | 110 00 Praha 1 | ČR

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

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

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

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



B.7.10	Výbuchy a požáry mající původ v činnosti člověka a jejich zplodiny .....	88
B.7.1	Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy .....	88
B.7.2	Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj.....	91
B.7.3	Současné využití území .....	93
B.7.4	Vliv jiného jaderného zařízení .....	94
B.7.5	Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu .....	94
B.8	Vliv šíření radioaktivních látek z nadzemních prostor úložiště za provozu úložiště .....	95
B.9	Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ .....	101
B.9.1	Časový rámeček hodnocení.....	102
B.9.2	Transportní cesty a cesty ozáření.....	103
B.9.3	Bezpečnostní funkce bariér úložiště .....	103
B.9.4	Odvození normálního scénáře a alternativních scénářů vývoje úložiště .....	106
B.9.5	Databáze vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost úložiště ....	107
B.9.6	Koncepční modely normálního vývoje úložiště .....	107
B.9.7	Vstupní data do modelů .....	119
B.9.8	Výsledky výpočtů .....	140
B.10	Shrnutí jednotlivých vlastností území k umístění jaderného zařízení a jejich charakteristik z hlediska zákazu umístění jaderného zařízení .....	150
B.11	Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení .....	151
B.12	Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu .....	151
B.13	Předpokládané vlastnosti radioaktivního odpadu a požadavky na institucionální kontrolu .....	152
B.13.1	Vyhořelé jaderné palivo.....	152
B.13.2	Odpady z vyřazování jaderných zařízení.....	159
B.13.3	Ostatní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť .....	164
<b>C</b>	<b>Popis projektu .....</b>	<b>168</b>
C.1	Bezpečnostní cíle projektu HÚ .....	168
C.2	Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie.....	168
C.3	Referenční komponenty HÚ a jejich alternativy .....	169
C.3.1	Ukládací obalový soubor .....	169
C.3.2	Tlumicí bariéra .....	172

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.....	174
C.3.4	Těsnící zátky.....	175
C.3.5	Těsnění a injektáže.....	175
C.3.6	Úložné prostory.....	176
C.4	Dispoziční uspořádání a technické řešení povrchového areálu.....	178
C.4.1	Umístění povrchového areálu.....	178
C.4.2	Stavební uspořádání a technologické vybavení objektů.....	178
C.5	Dispoziční uspořádání a technické řešení podzemního areálu.....	188
C.5.1	Umístění podzemního areálu.....	188
C.5.2	Uspořádání a technologické vybavení objektů.....	190
C.5.3	Přístupová a technologická díla.....	202
C.6	Provozní režim hlubinného úložiště.....	206
C.6.1	Provoz úložiště.....	206
C.6.2	Uzavírání úložiště.....	213
C.7	Požadavky na institucionální kontrolu.....	214
<b>Seznam obrázků.....</b>		<b>215</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>		<b>217</b>
<b>Reference.....</b>		<b>220</b>
<b>D Přílohy.....</b>		<b>232</b>
D.1	Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Janoch (Temelín ETE-jih) 1:50 000, ČGS.....	232
D.2	Výkres - Situace širších vztahů, Varianta 2, Obr. č. 5a, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018).....	233
D.3	Výkres - Vybraná varianta - var. 2, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018).....	234
D.4	Výkres - Schéma podzemní části HÚ - vertikální ukládání VJP, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018).....	235

## Definice použitých pojmů

### Betonkontejner

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

### Bezpečnostní funkce

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

### Efektivní dávka

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

### Expoziční situace

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

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

### Fyzická ochrana

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


### Hlubinné úložiště

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

### Charakteristiky území, při jejichž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno

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

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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

c) přítomnost zdrojů geotermální energie.

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

### **Chráněný prostor**

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

### **Indikátor vhodnosti**

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

### **Institucionální kontrola**

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

### **Inženýrská bariéra**

Člověkem vytvořená bariéra 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

### **Kontrolované pásmo**

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

### **Obalový soubor**

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

### **Ochrana do hloubky**

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

### **Optimalizační mez**

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

### **Posuzování území k umístění jaderného zařízení**

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

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

### **Pozemek jaderného zařízení**

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

### **Pracoviště IV. kategorie**

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

### **Primární víko**

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

### **Radiační havárie**

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

### **Radiační mimořádná událost**

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

### **Radiační ochrana**

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

### **Radioaktivní odpad**

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

### **Referenční projekt (řešení, komponenty, materiál) HÚ**

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

### **Reprezentativní osoba**

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

### **Sekundární víko**

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

### **Skladování RAO/VJP**

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

### **Střežený prostor**

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

### **Technická bezpečnost**

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

### **Úložiště radioaktivních odpadů**

Prostor, objekt nebo zařízení sloužící k ukládání radioaktivního odpadu.

### **Vyhořelé jaderné palivo**

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

### **Vyřazování z provozu**

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

## Vysvětlení některých geologických pojmů

### *Duktilní deformace*

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

### *Glaciál*

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

### *Hydrostatický tlak (angl. Hydrostatic pressure)*

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

### *Hydraulický sklon (angl. Hydraulic gradient)*

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

### *Křehké deformace*

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

### *Krystalinikum*

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

### *Kvartér*

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

### *Litostatický tlak*

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

### *Napjatostní stav horninového prostředí*

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

### *Permafrost (angl. Permafrost)*

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



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

#### *Puklina*

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

#### *Rozpojitelnost*

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

#### *Odprysk (Spalling)*

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

#### *Ztekucení zemin (angl. Soil liquefaction)*

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

#### *Úložné vrty*

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

#### *Vertikální pohyby zemské kůry*

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

#### *Zlom*

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

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

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

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

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

#### *Zvodeň*

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



## Seznam použitých zkratk

ČR	Česká republika
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)
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
EU	Evropská unie
EVL	evropsky významná lokalita
GAP	revize stavu („mezer“) dat a jejich potřeby
GIS	geografický informační systém
HÚ	hlubinné úložiště
CHKO	chráněná krajinná oblast
CHLÚ	chráněné ložiskové území
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE)
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> )
MAAE	Mezinárodní agentura pro jadernou energii (IAEA)
NJZ	nové jaderné zdroje
NP	národní park
NPP	národní přírodní park
NPR	národní přírodní rezervace
POS	přepravní obalový soubor (obalový soubor typově schválený pro přepravu VJP)
PK	palivová kazeta (samostatná jednotka paliva u reaktorů VVER 440)
PO	ptačí oblast
PP	přírodní památka
PS	(podle kontextu) provozní soubor
PS	(podle kontextu) palivový soubor (samostatná jednotka paliva u reaktorů VVER 1000)

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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 MAAE
SSR	specifické bezpečnostní požadavky MAAE
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
UNESCO	Organizace OSN pro výchovu, vědu a kulturu ( <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> ),
UOS	ukládací obalový soubor (obalový soubor typově schválený pro ukládání VJP)
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VZT	vzduchotechnika
ZBZ	zadávací bezpečnostní zpráva
ZCHÚ	zvláště chráněná území
ZUPA	zájmové území povrchového areálu hlubinného úložiště
ŽP	životní prostředí

## Abstrakt

Tato zpráva shrnuje hodnocení lokality Janoch 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 Janoch 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 Janoch 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 Janoch 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 (EDU-západ, Kraj Vysočina), Janoch (ETE-jih, Jihočeský kraj).


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

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ

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

Tato studie shrnuje podklady získané z lokality Janoch ve formě zadávací bezpečnostní zprávy podle požadavků uvedených v § 47 atomového zákona 263/2016 Sb. (AZ) a vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b). Pro každou v současné době zvažovanou lokalitu je připravována obdobná studie. Účelem přípravy všech těchto studií je:

<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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 302/2018</i>

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:

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

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

Vlastního zpracování studie ZBZ se zúčastnili následující pracovníci SÚRAO:

Ing. Antonín Vokál, CSc.,

Ing. Ilona Pospíšková,

Mgr. Lukáš Vondrovič, PhD.,

Ing. Jaromír Augusta, PhD.

Mgr. Martin Eliáš,

Ing. Zdena Lahodová,

Ing. Eva Popelová, PhD.

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

Ing. Jan Antoš

Ing. Karel Bárta

Ing. Pavel Čech, MBA

### A.2 Legislativní požadavky

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

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

Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
§ 5	Seismicita	B.4.1, B.4.5

Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
§ 6	Porušení území k umístění jaderného zařízení zlomem	B.1.1.2, B.4.5, B.7.2
§ 7	Povodně	B.7.3
§ 8	Oběh podzemní vody	B.2, B.7.4
§ 9	Další geodynamické jevy a geotechnické parametry základových půd	B.7.5
§ 10	Klimatické a meteorologické jevy	B.4.4, B.7.6
§ 11	Biologické jevy	B.5.5, B.7.7
§ 12	Přírodní požáry	B.7.7
§ 13	Pád letadla a jiných objektů	B.7.9
§ 14	Výbuchy a požáry, které mají původ v činnosti člověka, a jejich zplodiny	B.7.10
§ 15	Kolize s ochranným nebo bezpečnostním pásmem	B.7.11
§ 16	Šíření radioaktivní látky ovzduším, podzemní a povrchovou vodou a potravním řetězcem	B.8, B.9
§ 17	Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj	A.3
§ 18	Zvláštní požadavky na rozsah a způsob posuzování území k umístění hlubinného úložiště	Viz níže
§ 18 (1)	Posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí hodnotit, zda izolační a zádržné vlastnosti horninového prostředí v kombinaci s uměle vytvořenými překážkami zajišťují, že uložený radioaktivní odpad nezpůsobí při očekávaném vývoji hlubinného úložiště větší ozáření reprezentativní osoby, než je dáno dávkovou optimalizační mezí. Při získávání informací o území k umístění hlubinného úložiště musí být v nejvyšší možné míře zachovány původní vlastnosti geologického prostředí.	B, C
§ 18 (2)	Posuzování území k umístění hlubinného úložiště musí dále hodnotit	Viz níže
§ 18 (2) a)	hloubkový dosah a rozměr vhodného horninového masívu pro umístění hlubinného úložiště a vzdálenost geologických rozhraní a tektonických poruch, které mohou působit jako cesty pro transport radioaktivních látek,	A.3, B.1, B.2
§ 18 (2) b)	strukturně geologické vlastnosti horninového prostředí, ve kterém je umístěno hlubinné úložiště, včetně křehké a duktilní tektoniky,	B.1.4
§ 18 (2) c)	původ a předpokládaný vývoj horninového prostředí,	B.1.1.5
§ 18 (2) d)	vhodnost mechanických vlastností hornin pro zajištění dlouhodobé stability přírodní bariéry hlubinného úložiště	B.5.3
§ 18 (2) e)	petrografické a mineralogické složení horninového prostředí	B.1.2, B.5.3, Příloha D.1
§ 18 (2) f)	výskyt nestejnorožného horninového prostředí s petrograficky a	B.1.2, Příloha



Pol.	Požadavek na posuzované vlastnosti území k umístění HÚ podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b)	Kapitola
	mechanicky odlišnými typy hornin, které jsou postiženy hydrotermálními a jinými druhotnými přeměnami	D.1
§ 18 (2) g)	výskyt endogenních a exogenních jevů, které mohou v přírodní bariéře hlubinného úložiště vyvolat významné změny, zejména tektonických procesů, seismické aktivity, vulkanismu, diapirismu, deformací povrchu území a rychlosti eroze a sedimentace,	B.4.1, B.4.2, B.4.3
§ 18 (2) h)	oběh podzemních vod v území k umístění hlubinného úložiště z hlediska možné doby transportu, retardace, rozpustnosti a změny koncentrace radioaktivní látky v důsledku mísení s podzemními vodami,	B.2
§ 18 (2) i)	paleohydrogeologické procesy, klimatickou historii a předpokládaný dlouhodobý vývoj klimatu v regionálním a globálním měřítku,	B.4.4
§ 18 (2) j)	zranitelnost horninového prostředí a oběhu podzemních vod z hlediska dlouhodobých klimatických změn a jejich doprovodných jevů, zejména překrytí hlubinného úložiště ledem, permafrostem nebo vodou,	B.4.4
§ 18 (2) k)	fyzikálně chemické, geochemické a mikrobiologické vlastnosti geologického prostředí, zejména	Viz níže
§ 18 (2) k) 1.	zádržné vlastnosti horninového prostředí a uměle vytvořených překážek,	B.3, B.5, C.3
§ 18 (2) k) 2.	chemické složení podzemní vody,	B.5.4
§ 18 (2) k) 3.	redukční podmínky,	B.5.4
§ 18 (2) k) 4.	obsah kyslíku	B.5.4
§ 18 (2) k) 5.	přítomnost mikroorganismů, koloidů a organických látek,	B.5.5
§ 18 (2) l)	geomechanické vlastnosti, zejména	Viz níže
§ 18 (2) l) 1.	pevnostní a deformační vlastnosti hornin a	B.5.3
§ 18 (2) l) 2.	napjatostní stav horninového prostředí,	B.5.3
§ 18 (2) m)	plynpropustnost hornin,	B.5.6
§ 18 (2) n)	tepelné vlastnosti horninového prostředí, včetně tepelného gradientu,	B.5.1, B.6.5
§ 18 (2) o)	výskyt současné a budoucí lidské aktivity, která je způsobilá narušit izolační vlastnosti úložného systému, zejména využití hostitelské horniny těžbou nerostných surovin nebo využíváním geotermální energie nebo využíváním systému pro podzemní zásobníky plynu,	B.6, B.7.10, B.7.11, B.7.13
§ 18 (2) p)	výskyt změn v hostitelském a okolním geologickém prostředí vzniklých vrtnou a báňskou činností v průzkumné fázi umístování hlubinného úložiště, při kterých by vznikly nové preferenční cesty pro migraci radioaktivních látek, a	B.6.1, B.6.2, B.6.3, B.6.4
§ 18 (2) q)	popsatelnost a predikovatelnost geologické stavby, oběhu podzemních vod a fyzikálních, mechanických a geochemických vlastností horninového prostředí území k umístění hlubinného	B.1.1, B.2



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

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

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

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

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

základě vlastností, událostí a procesů, které mohou ovlivnit jeho bezpečnost. Podle odst. 1) § 9 vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) v ZBZ musí být:

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

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

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

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

- a) Obecnou část, obsahující
  1. identifikační údaje o zpracovatelích ZBZ
  2. obecné informace o vlastnostech území
  3. výčet použitých metod, podkladů a zdrojů informací
- b) Vlastní zhodnocení vlastností území k umístění HÚ a jejich charakteristik, včetně výčtu podkladů a zdrojů informací použitých při hodnocení
- c) Popis projektu HÚ z hlediska naplnění požadavků na jadernou bezpečnost, radiační ochranu, technickou bezpečnost, monitorování radiační situace a zvládnutí radiační mimořádné události
- d) Výkresovou dokumentaci

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

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

nejsou prioritní pro umístění podzemní části hlubinného úložiště a vzhledem k možnosti umístit povrchový areál v okruhu cca 5 km od ukládacích chodeb, nemohou tyto charakteristiky vyloučit umístění ve zvažované lokalitě. SÚRAO proto s přihlédnutím k požadavkům § 18 vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) a doporučení IAEA (2011b) a



dokumentu SÚRAO MP. 22 (Vokál et al., 2017) zvolilo následující členění části b) studie ZBZ pro umístění HÚ:

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

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

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

Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1

Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
I.21	Geologické prostředí pro hlubinné úložiště by mělo umožnit úplnou charakterizaci a mělo by mít příznivé geometrické, fyzikální a chemické charakteristiky pro umístění hlubinného úložiště a pro utlumení pohybu radionuklidů z hlubinného úložiště do životního prostředí po uvažovanou dobu.	B.1, B.2, B.3
I.22	Hloubka a rozměry hostitelského prostředí by měly být dostatečné pro umístění hlubinného úložiště. Preferují se homogenní horninové formace v poměrně jednoduchých geologických podmínkách, protože je pravděpodobné, že budou lépe charakterizované a jejich vlastnosti by	B.1.1, Příloha D.4

<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 Janoch, která je shrnuta v části c) této studie.



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	mohly být lépe předvídatelné. Podobně, formace s několika málo hlavními strukturními prvky nebo potenciálními transportními cestami, jejichž dopad na provoz může být snadno posouditelný, jsou také upřednostňovány. Je však možné, že při pokračování průzkumů a charakterizace, zdánlivě jednoduché prostředí, se může ukázat být složitější, než se původně očekávalo.	
I.23	Mechanické vlastnosti hostitelského prostředí by měly být příznivé pro bezpečnou výstavbu, provoz a uzavření hlubinného úložiště a pro zajištění dlouhodobé stability geologické bariéry obklopující hlubinné úložiště. Teplotní a tepelně-mechanické vlastnosti hostitelského prostředí je také třeba vzít v úvahu v případě odpadů produkujících teplo. S ohledem na možnost produkce plynů v hlubinném úložišti je třeba při posuzování vzít v úvahu vlastnosti geologické bariéry z hlediska transportu plynu.	B.5.1, B.5.3, B.5.6
I.24	Informace, které by měly být shromážděny k získání odpovídající úrovně porozumění geologickému prostředí, zahrnují místní a regionální údaje o struktuře a stratigrafii sedimentů hornin a zemin a jejich chemických a fyzikálních vlastnostech, včetně mechanických, a v případě účelnosti tepelných vlastností.	B.5.3, B.5.4
I.25	Hostitelské prostředí by nemělo být náchylné k poškození budoucími geodynamickými jevy (např. změnou klimatu, neotektonikou, seizmicitou, vulkanismem, diapirismem) do té míry, že by tyto mohly nepříjemně poškodit těsnostní a izolační schopnosti celého úložného systému.	B.4
I.26	Vývoj klimatu představovaný glaciálními cykly může mít za následek zásadní změny v hydrosféře, jako je kolísání mořské hladiny, změny v erozních nebo sedimentačních procesech a jejich vzájemném poměru, změny v glaciálních nebo periglaciálních podmínkách, a změny rovnováhy v hydrogeologických a hydrologických poměrech. Geodynamické efekty, jako např. pohyby země spojené se zemětřesením, sesuvem nebo poklesem a zdvihem terénu, vulkanismem a diapirismem mohou vyvolat změny v podmínkách a procesech v zemské kůře. Tyto typy událostí, které v některých případech mohou být vzájemně propojené, mohou mít vliv na úložný systém v důsledku poruch integrity lokality nebo změny proudění podzemní vody. Předběžné posouzení předvídatelnosti a účinků těchto jevů by mělo být provedeno v požadovaných časových periodách v počáteční fázi procesu umístění. Lokalita by měla být umístěna v geologickém a geografickém prostředí, kde tyto geodynamické procesy nebo události nebudou pravděpodobně a nepovedou k nepříjemným únikům radionuklidů.	B.4.4
I.27	Reakce geosféry na změny prostředí na povrchu má tendenci klesat s hloubkou. Faktory, které ovlivňují stabilitu geosféry, by měly být posouzeny. Informace nezbytné pro jakékoliv hodnocení obsahují: (A) klimatickou historii (místní a regionální) a očekávané dlouhodobé budoucí trendy v lokálním a globálním měřítku (B) historii tektonického vývoje, rámcové geologické členění na lokální i regionální úrovni a historii seizmického vývoje (C) evidence aktivních (kvartérních a pozdně tercierních)	B.4



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	<p>neotektonických procesů, jako je zdvih, pokles, náklon, vrásnění a zlomová tektonika</p> <p>(D) výskyt zlomů v geologickém prostředí (např. jejich umístění, délka, hloubka a informace o stáří posledního pohybu)</p> <p>(E) napěťové pole v oblasti lokality</p> <p>(F) odhady charakteristik a maximální intenzity zemětřesení, které by byly možné v lokalitě na základě jejich seismotektonických vlastností;</p> <p>(G) odhady geotermálního gradientu a důkazy o termálních pramenech</p> <p>(H) důkazy o aktivním (kvartérním a pozdně tercierním) vulkanismu</p> <p>(I) důkazy diapirů (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>	
I.28	<p>Hydrogeologické charakteristiky a charakteristika geologického prostředí by měly mít tendenci omezovat proudění podzemní vody v rámci úložiště a měly by podpořit bezpečné uzavření a izolaci odpadu s požadovanou věrohodností, že jakékoliv radionuklidy, které by mohly migrovat z prostředí úložiště, budou zpomaleny v důsledku omezené vodivosti nebo by byly rozptýleny v geosféře, což vede k dlouhým transportním časům, které snižují jejich koncentraci na povrchu.</p>	B.2, B.3
I.29	<p>Takové hodnocení mechanismů proudění podzemní vody, jako je analýza směru a rychlosti proudění, bude důležitým vstupem pro hodnocení bezpečnosti všech lokalit, protože nejpravděpodobnější způsob úniku radionuklidů je vlivem proudění podzemní vody. Bez ohledu na povahu odpadu nebo způsob uložení, horninové prostředí má být schopné omezit průtok, přítok a odtok podzemní vody a tím zabránit nepřijatelnému uvolňování radionuklidů. Fenomény jako zvodně a zlomová pásma jsou možnými cestami pro únik radionuklidů. Takovéto cesty by měly být omezeny v hostitelských horninách úložiště tak, aby ochranná funkce geologických a inženýrských bariér zůstala kompatibilní. Ředící schopnost hydrogeologického systému může být důležitá a měla by být hodnocena. Umístění by mělo být optimalizováno z hlediska délky cest pomalu tekoucí podzemní vody z hlubinného úložiště do životního prostředí.</p>	B.2
I.30	<p>Možné důsledky pro hydrogeologii vyplývající z procesů způsobených hlubinným úložištěm (např. tepelné a radiační účinky, zvýšená hydraulická vodivost v důsledku důlního díla) by měly být brány v úvahu.</p>	V této etapě neposuzováno
I.31	<p>Data potřebná pro hydrogeologii:</p> <p>(a) hydrogeologické vyhodnocení místních a regionálních geologických formací a charakterizace a identifikace zvodněných a nepropustných poloh v dostatečných podrobnostech</p> <p>(b) identifikace a charakterizace významných hydrogeologických formací v regionu (např. jejich umístění, rozsah, souvislosti)</p> <p>(c) odhad přítoku a odtoku do a z hlavních místních a regionálních hydrogeologických formací (umístění a vodní bilance)</p> <p>(d) hydrogeologické charakteristiky hostitelské horniny (např. distribuce pórovitosti, propustnosti, hydraulický gradient);</p>	B.2





Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	(e) proudění podzemní vody (průměrný průtok a převládající směry) všech hydrogeologických jednotek v geologickém prostředí (f) fyzikální a chemické vlastnosti podzemní vody a hostitelské horniny v geologickém prostředí (g) výzkum paleo-hydrogeologického vývoje lokality	
I.32	Fyzikálně-chemické a geochemické charakteristiky horninového a hydrogeologického prostředí by měly mít tendenci k omezování uvolňování radionuklidů z hlubinného úložiště do okolního prostředí, nebo alespoň omezit jejich migraci.	B.3
I.33	Volba hostitelského prostředí a okolního geologického prostředí, které má vhodné geochemické vlastnosti a dobré zpozdovací vlastnosti pro dlouhodobé radionuklidy, je zvláště důležitá pro hlubinné úložiště. Ve formaci, kde nastává proudění spodní vody přes zlomy a póry, zpomalení minerály, jak v matici horniny, tak na stěnách puklin by mohly být důležité pro podporu dlouhodobé funkce úložného systému. Procesy geochemického zadržení nebo zpoždění, které řídí následně rychlost a velikost migrace radionuklidů zahrnují takové procesy, jako difúze, srážení, sorpce, iontové výměny a chemické interakce. Schopnost podzemních vod transportovat radioaktivní koloidy může být důležitá a měla by být také brána v úvahu. Biogeochemie je dalším faktorem, který může mít význam pro konkrétní lokalitu.	B.3, B.5
I.34	Informace nezbytné k odhadu potenciálu pro migraci radionuklidů do životního prostředí by měly zahrnovat popis geochemických a hydrochemických podmínek hostitelské horniny a okolích geologických a hydrogeologické formací a jejich průtokový systém. Tato informace by měla zahrnovat: (a) mineralogické a petrografické složení geologických médií a jejich geochemické vlastnosti (b) chemismus podzemní vody	B.5
I.35	Řada chemických a fyzikálně-chemických interakcí mezi formou odpadu, obalem a zásypovým materiálem a prostředím hlubinného úložiště by měly být hodnoceny. Pro posouzení migrace radionuklidů do životního prostředí vyplývající z interakce hornina-voda-obal odpadů následovaný korozí obalu odpadů a vyluhováním radionuklidů z odpadu, by měly být získány informace o: (a) chemickém, radiochemickém a mineralogickém složení hornin (včetně výplní puklin) (b) sorpční kapacitě minerálů a hornin pro ionty důležitých radionuklidů (c) obsahu radionuklidů a chemickém složení podzemních vod, včetně pH a Eh (d) účincích záření a zbytkového tepla na horniny a na chemismus podzemních vod (e) vlivu organických, koloidních a mikrobiologických materiálů (f) charakteristika pórů a povrchu minerálů hornin (včetně trhlin) (g) efektivní difúzní rychlosti nuklidů v hornině (h) rozpustnosti a speciace radionuklidů	B.5
I.36	Umístění hlubinného úložiště by mělo být provedeno s ohledem na současné i potenciální lidské činnosti v lokalitě nebo její blízkosti.	B.6



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	Pravděpodobnost, že tyto činnosti by mohly mít vliv na uzavření a izolační schopnosti úložiště a způsobit nepřijatelné důsledky, by měla být minimalizována.	
I.37	Při hodnocení hostitelské horniny pro hlubinné úložiště je třeba zvážit i další možnosti zhodnocení nebo potencionálního zhodnocení hostitelské horniny jako těžitelné suroviny nebo pro vybudování skladovacích prostor. Například možná přítomnost plynu nebo ropných ložisek a hodnotných ložisek nerostných surovin a jakýkoliv významný potenciál geotermální energie by měly být vzaty v úvahu, aby se minimalizovala možnost lidského zásahu do geologického ukládání odpadu systém. Přednost by měla být dána lokalitám nacházejícím se v oblastech, které minimalizují pravděpodobnost, že hostitelské prostředí by mohlo být takto využito.	B.6
I.38	Pokud již existující vrty a výkopy v hostitelské hornině a v jejím okolí vykazují skutečné nebo potenciální hydraulické propojení, mělo by být identifikováno, kde mohou mít vliv na bezpečnost. V takových případech by vrty a další struktury, které by mohly představovat potenciální migrační cesty pro radionuklidy, měly být utěsněny.	B.6
I.39	Charakteristiky (vlastnosti) povrchu, které by mohly vést k zaplavení hlubinného úložiště, jako důsledek selhání stávajících nebo plánovaných vzduť povrchových vod by měly být pečlivě zváženy a vyhodnoceny. Při analýze regionu mohou být potenciální lokality vybrány na základě závažnosti účinků povodní. Zařízení postavena v blízkosti svahů by měla být hodnocena v kontextu svahových poruch a skalních sesuvů vzniklých v důsledku lidských činností, jako je odlesňování.	B.7.3
I.40	Informace nezbytné pro vyhodnocení toho, jak současné i potenciální lidské činnosti by mohly mít vliv na hlubinné úložiště, zahrnuje: (a) záznamy z minulosti a současnosti o vrtní a těžbě v blízkosti lokality (b) informace o výskytu energetických a nerostných surovin v oblasti lokality (c) zhodnocení aktuálního a budoucího možného využití povrchových a podzemních vod v lokalitě (d) umístění stávajících a plánovaných vodních děl.	B.6
I.41	Povrchové a podzemní charakteristiky lokality by měly umožnit návrh optimalizovaného plánu povrchových zařízení, a konstrukci všech ražeb v souladu s příslušnými bezpečnostními předpisy.	C
I.42	Celkové strategie výstavby nebo hloubení by měly být připraveny a použity při přípravě důlního díla tak, aby zajistily, že jsou v souladu s národními předpisy pro stavbu podzemních děl, a že souběžně probíhající výkopové práce a ukládání odpadu se navzájem neovlivňují. Razící práce musí být prováděny tak, aby nevytvářely takové změny v okolním horninovém prostředí, které by představovaly nepřijatelné únikové cesty z hlubinného úložiště do biosféry. Materiál z hloubení šachet, tunelů a chodeb může být uvažován, např. s ohledem na jeho použití jako 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	B.7.11, C



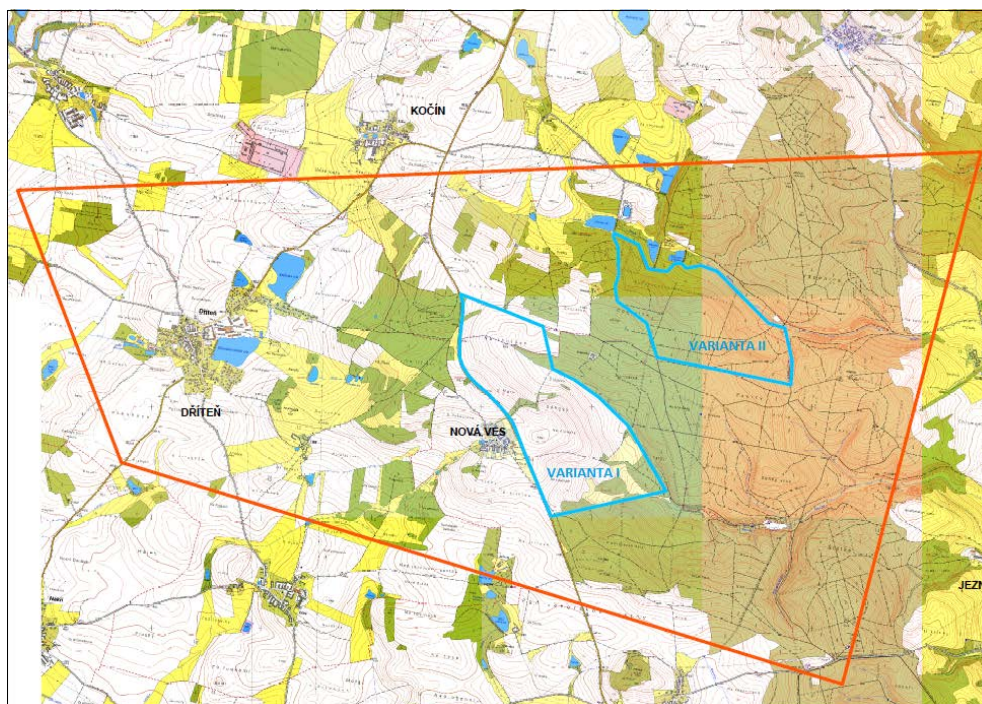
Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
	kameniva nebo vody pro stavební činnosti může být vzata v úvahu	
I.43	Údaje nezbytné pro posouzení stavebních a inženýrských podmínek zahrnují: (a) podrobné geologické a hydrogeologické údaje o hostitelské hornině a o jejím nadloží (b) topografie lokality a jejího okolí (c) povodňová (záplavová) historie oblasti (d) specifikace oblastí náchylných k sesuvům půdy, potenciálně nestabilních svahů nebo materiálů s nízkou únosností nebo s vysokým zkapalňovacím potenciálem (e) potenciálně nepříznivé podmínky, které se mohou vyskytnout během ražby (vysoká teplota horniny, vysoká koncentrace plynu, vysoký poměr napětí a pevnosti, výskyt smykových zón) (f) historické údaje o seizmicitě regionu; (g) geomechanické a tepelné vlastnosti hostitelské horniny	B.7
I.44	Lokalita by měla být umístěna tak, že kvalita životního prostředí bude dostatečně chráněna a potenciální negativní dopady lze zmírnit na přijatelnou úroveň, s ohledem na technické, ekonomické, sociální environmentální faktory.	C, Studie EIA
I.45	Geologické úložiště, jako i jiná velká průmyslová zařízení, musí být v souladu s požadavky na ochranu a zachování životního prostředí a s dalšími příslušnými předpisy ne-radiologické oblasti. Mezi možnými nepříznivými dopady, které může mít geologické úložiště na životní prostředí, mohou být uvedeny následující: (a) zhoršování životního prostředí v důsledku těžebních aktivit a dalších průmyslových provozů v oblasti zájmu. Takové zhoršování může zahrnovat: hluk a vizuální efekty a fyzický vliv, jako například z nebezpečných výluhů. (b) dopad na oblasti významných veřejných hodnot (c) zhoršení zásobování vodou (d) dopad na život rostlin a živočichů, zejména ohrožených druhů	B.7.11, C, Studie EIA
I.46	Pro odhad možných dopadů na životní prostředí, potřebné informace se budou týkat dat nutných pro zhodnocení dopadů na životní prostředí a měly by věnovat pozornost: (a) územím národních parků, rezervacím divokých zvířat, územím zvláštních vědeckých nebo kulturních zájmů a historickým oblastem (b) stávajícím zdrojům povrchové i podzemní vody (c) stávající suchozemské a vodní vegetaci a volně žijícím živočichům	B.7.11, C, Studie EIA
I.47	Při výběru vhodných lokalit, by mělo být zvaženo využití půdy a vlastnické vztahy k půdě v souvislosti s možným budoucím rozvojem a regionálním plánováním v zájmové oblasti. Územní jurisdikce (působnost) nebo vlastnictví pozemků bude ve většině států významným faktorem s ohledem na ekonomiku a postoj veřejnosti. Stávající vlastnictví půdy provozovatelem navrhovaného zařízení nebo státem by mohlo zjednodušit plánovací a hodnotící práce a redukovat problémy spojené s vynětím půdy. Informace shromažďované pro účely umístění musí obsahovat podrobné údaje o stávajícím půdním fondu, jurisdikci a územních plánech zájmové oblasti.	C, Studie EIA



Pol.	Doporučení IAEA SSG-14, Příloha 1 (informace zvažované při umístění HÚ, komentář)	Kapitola
I.48	Pro účely umístění, musí být shromážděny informace o: (a) alternativních způsobech dopravy a infrastruktury pro transport odpadů, (b) alternativní dopravní trasy (c) hustotě populace podél navrhovaných dopravních tras.	Neposuzováno (železniční trasy z elektráren do zvažovaných lokalit jsou obdobné)
I.49	Přeprava radioaktivního odpadu do hlubinného úložiště v sobě skrývá možnost ozáření veřejnosti ionizujícím zářením. Možnost ozáření se může zvyšovat s rostoucí vzdáleností, po kterou má být odpad přepravován. Posouzení dopravy odpadů do hlubinného by mohlo být faktorem při získávání souhlasu veřejnosti o umístění hlubinného úložiště.	Viz položka I.48
I.50	V některých případech budou muset být budovány nové přístupové cesty nebo zlepšeny existující. Výstavba přístupových cest je složitější a dražší při existenci nevhodných terénních podmínek, jako jsou prudká klesání a stoupání a přirozené překážky. Z těchto důvodů může být dána přednost lokalitám, které vyžadují kratší dopravní vzdálenosti a omezený počet doprovodných staveb, a kde přístupové cesty nemusí projít obtížným terénem. Nicméně, výstavba nových silnic nebo další dopravní infrastruktury, v souhrnu nebo jednotlivě, může umožnit provozovateli optimalizovat dopravní síť, například vyhnout se obydleným nebo citlivým oblastem nebo podporovat vznik dopravních spojení pro místní komunitu.	C.4.2.3
I.51	Výstavba a provoz v povrchovém areálu, jako je přijímání a manipulace s kontejnery s odpadem, dekontaminace a přebalení odpadu pokud je nutné, stejně jako ostatní velké průmyslové činnosti, by se neměla konat v hustě obydlených oblastech. Na druhé straně, lokalita by se měla nacházet v oblasti schopné absorbovat s projektem související fluktuaci a požadavky na potřebné služby, jako je jako stavební práce a obsluhy, bydlení, hotely a restaurace, Podpůrné průmyslu a založila občanské a kulturní organizace. Obecně platí, že přednost by měla být dána lokalitě vzdálené, od hustě osídlených oblastí, ale které jsou schopny absorbovat očekávané změny v infrastruktuře a ve kterých je dostupná pracovní síla.	A.3, B.8, Studie EIA

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

Průzkumné území pro zvláštní zásahy do zemské kůry (PÚ ZZZK) Janoch je situováno v Jihočeském kraji, v okrese České Budějovice. Od okresního města se nachází cca 22 km SSZ-směrem (Obr. 1) Navrhované území zaujímá rozlohu 22,312 157 km<sup>2</sup>.



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

Pro lokalitu byla navržena dvě umístění povrchové části HÚ, nacházející se převážně v katastru obcí Knín a Olešník (Navrátilová, Nol et al., 2018).

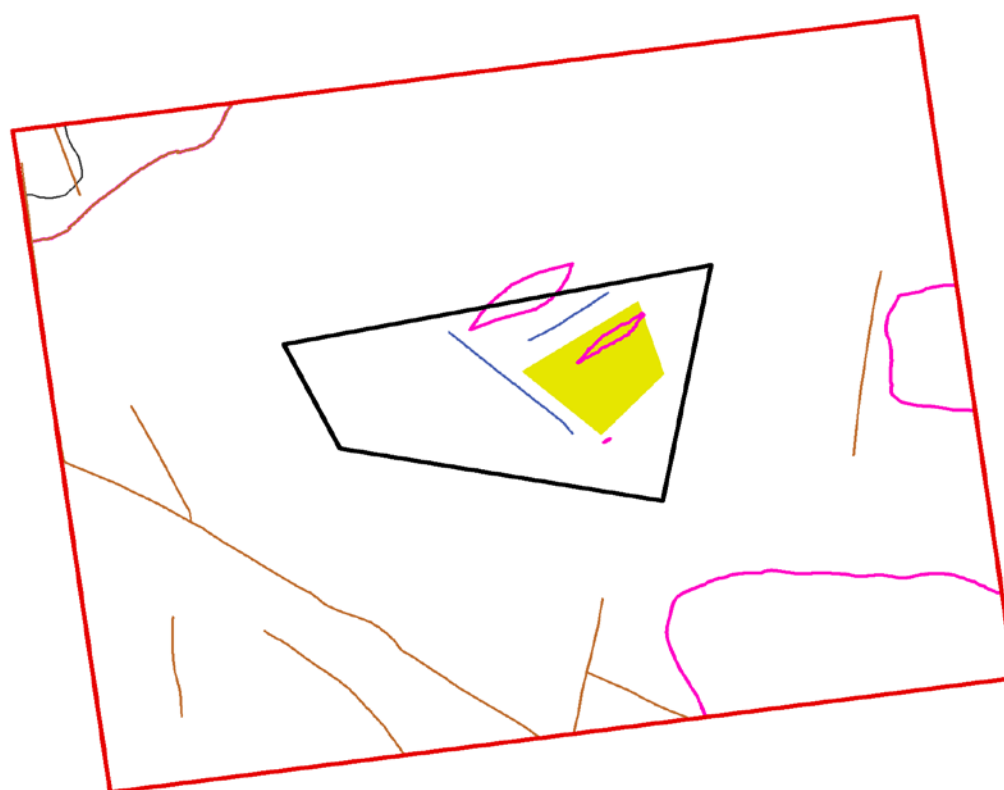
Z hlediska regionální geologické rajonizace krystalinických a varisky zvrásněných jednotek spadá zájmové území v podobě polygonu Janoch do oblasti českého moldanubika. Horninový podklad je v rámci celého území budován metamorfovanými horninami jednotvárné jednotky s poměrně stálým směrem i úklonem metamorfní foliace. Zcela dominantním horninovým typem jsou zde biotitické a silimanit-biotitické pararuly v různém stupni migmatitizace. Nejčastěji se jedná o pararulu s tmavě šedou až černošedou barvou v ploše foliace, na příčném lomu pak světle šedou, drobně tmavě skvrnitou a smouhovanou. Hornina je převážně drobnozrnná a středně zrnitá.

Technické řešení hlubinného části úložiště musí především respektovat strukturně a tektonické poměry hostitelského horninového masivu tak, aby byly splněny požadavky na dlouhodobou bezpečnost. Potenciálně využitelné bloky horniny musí být v takové hloubce a v takové vzdálenosti od zvodnělých poruchových zón, aby bylo zamezeno přístupu člověka k odpadům, ovlivnění úložiště procesy probíhajícími na povrchu a zabráněno rychlé migraci radionuklidů od úložiště ke zvodnělým poruchovým zónám. Při výběru vhodných horninových bloků se vycházelo z kritérií shrnutých v dokumentu SÚRAO MP. 22 vycházejících ze zahraničních doporučení.

Ve zprávě Navrátilová, Nol et al. (2017) je doporučen jako vhodný jeden blok ve východní části lokality ETE–jih. Tento homogenní blok byl navržen podle archivních poznatků a dle kritérií popsaných níže.

Tyto bloky respektují následující kritéria:

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




0 2 km

- |  |   |
|--|---|
|  litologická hranice zájmového horninového tělesa |  homogenní blok                            |
|  litologická hranice ostatních hornin             |  území regionálního 3D geologického modelu |
| <b>Kategorizace zlomů dle Anderson et al. (2000)</b>   |  hranice lokality Temelín                  |
|  1 – regionální významné poruchové zóny           |   |
|  2 – lokální významné poruchové zóny              |   |
|  3 – lokální méně významné poruchové zóny         |   |

Obr. 2: Horizontální řez detailním 3D strukturně geologickým modelem lokality ETE–jih na úrovni –37,65 m. n. m. (cca 500 m hloubky) a lokalizace předpokládaného homogenního bloku (žlutý polygon).

Lokalita ETE–jih je charakterizována nadprůměrnou homogenitou krystalinického horninového prostředí, avšak větším množstvím reliktních tercierních platformních sedimentů. S ohledem na tyto relikty je homogenní horninový blok vybrán ve východní části lokality, kde se tyto relikty téměř nevyskytují (Obr. 2). Vybraný homogenní blok má v hloubce cca 500 m

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 302/2018</i>

pod povrchem plošné rozměry přibližně 2 500 m ve směru SV–JZ a 1 900 m ve směru SZ–JV.

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

Na základě komplexního zhodnocení všech výše uvedených požadavků a kritérií (geologických i negeologických) byly v rámci polygonu Janoch vybrány v první fázi dvě lokality pro možnost umístění povrchového areálu hlubinného úložiště – Varianta I a Varianta II (Obr. 1). Varianta I se nachází převážně v katastru obce Olešník, poblíž osady Nová Ves oddělené pátevní komunikací II/105 na pozemcích s převážně zemědělským využitím. Varianta II se nachází převážně v katastrálním území Knín, téměř výhradně na lesním pozemku. Z těchto navrhovaných variant byla na základě zvážení všech souvisejících výhod a nevýhod obou řešení vybrána jako preferovaná Varianta II.

## 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-datium 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 302/2018</i>

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

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

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

Všechny použité podklady jsou uvedeny v textu a jejich seznam je v části „Reference“.

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

### B.1 Geologické charakteristiky

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

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

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

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

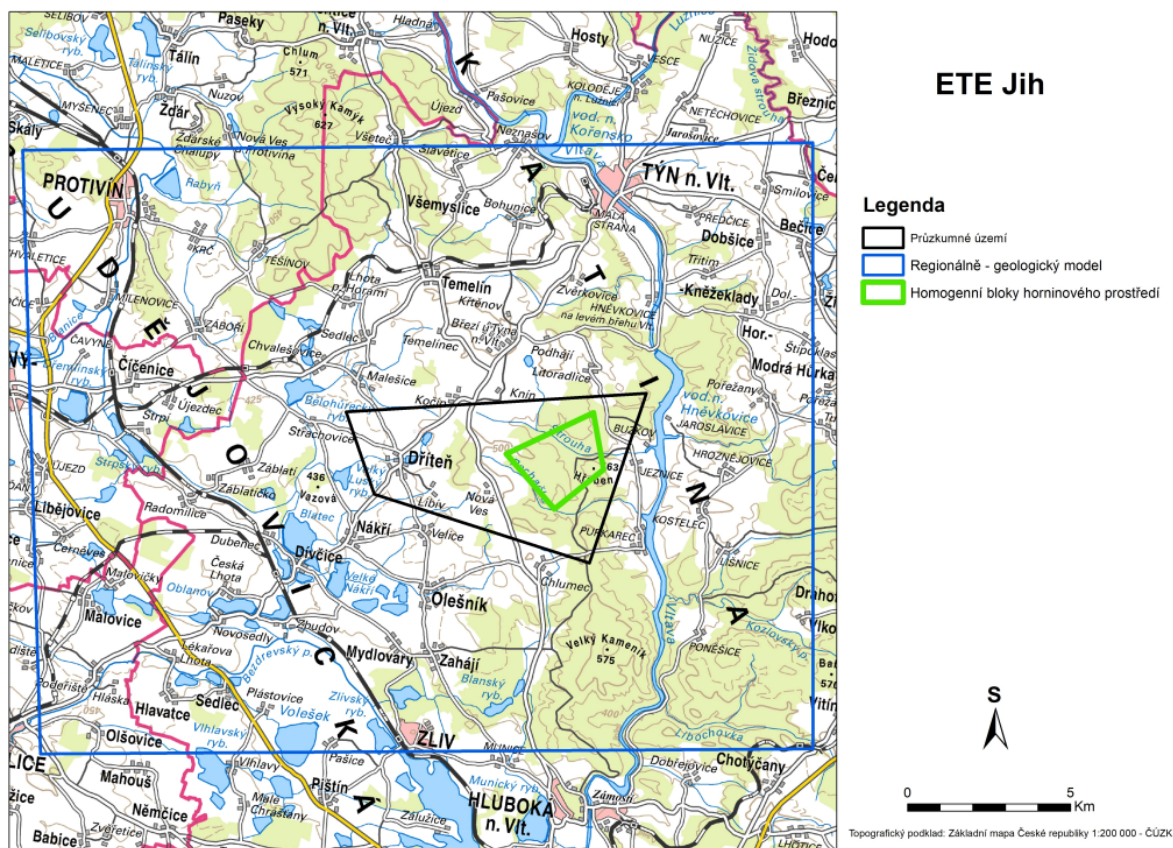
Obecné charakteristiky uvedené v dokumentu SÚRAO MP. 22 byly dále rozděleny na následující geovědní parametry odborníky z České geologické služby (Zpráva Havlová et al., 2018b):

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

Pro účely popisu a hodnocení lokality byly definovány následující stupně podrobnosti:

- 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

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



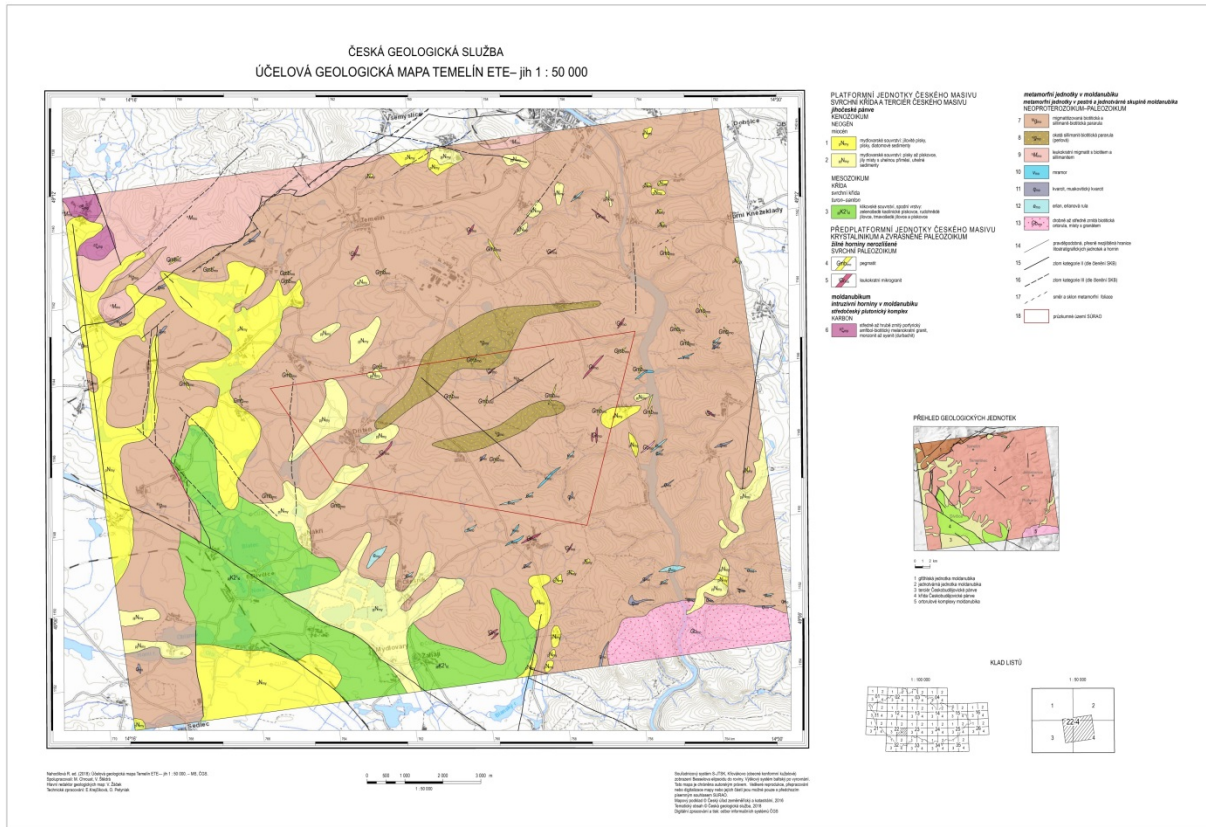
Obr. 3: Úrovně popisu lokality lokality Janoch

## B.1.1 Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

### B.1.1.1 Regionální stavba území

Horniny okolí lokality Janoch jsou součástí regionální jednotky Českého masivu, konkrétně moldanubické zóny jednotky variského orogénu. Variský orogén byl vytvořen během spodního paleozoika akrecí gondwanských mikrokontinentů ke kontinentu Laurusie během uzavírání Rheického oceánu (např. Pharaoh 1999). Výsledkem bylo rozsáhlé horstvo, horniny lokality Janoch spadají do oblasti, která je označována jako variský orogenní kořen (Schulmann et al. 2005, 2008), tedy do oblasti metamorfovaných hornin, které byly polyfázově deformovány a intrudovány (např. Žák et al. 2012). Na základě platného regionálně geologického členění Českého masivu náleží horninové komplexy širšího okolí lokality Janoch k regionálnímu celku moldanubika, respektive k jednotkám moldanubika jižních Čech (Chlupáč a Štorch 1992; Obr. 4). V západní a jihozápadní části území se v prostoru původních erozivních koryt zachovaly také neogenní uloženiny českobudějovické pánve v podobě sedimentů mydlovarského a ledenického souvrství. Dále se zde vyskytují jednotky pokryvných útvarů zastoupené svahovými a říčními sedimentárními horninami kvartérního stáří.



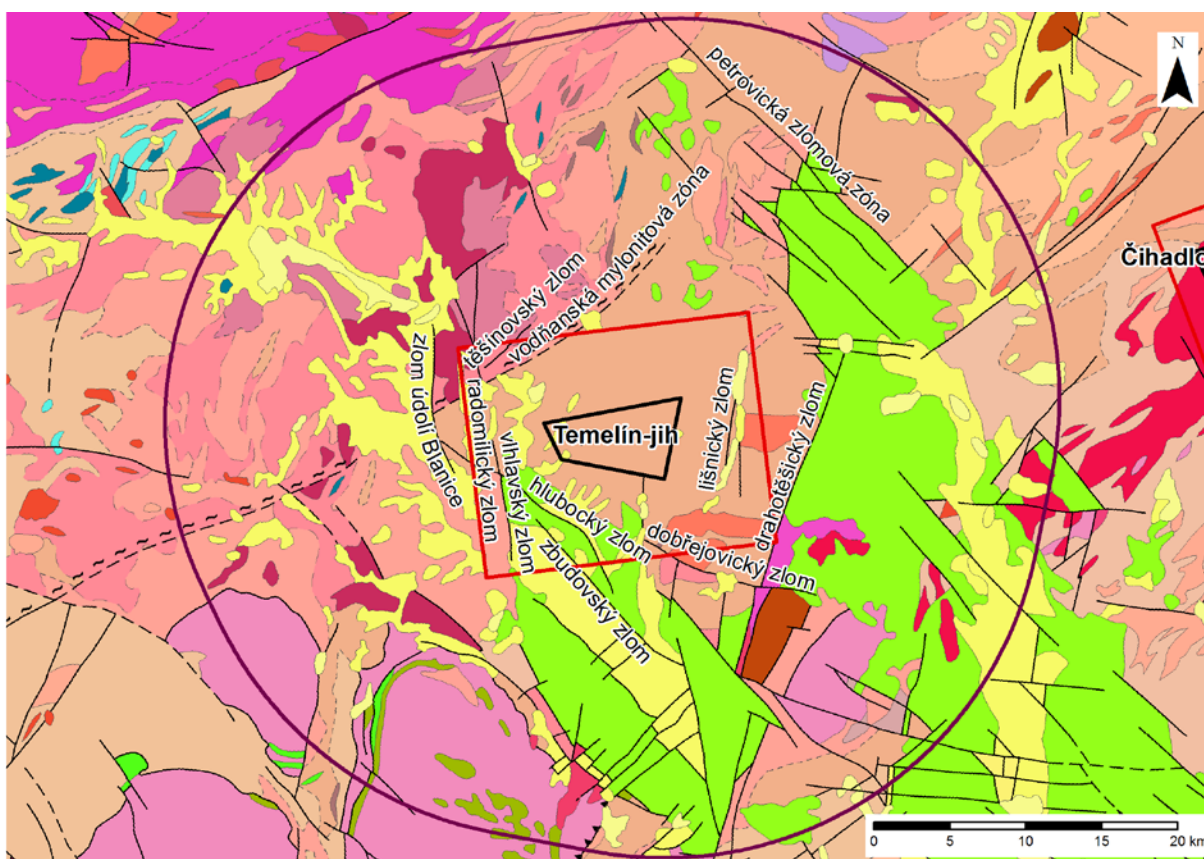


Obr. 4: Náhled na účelovou geologickou mapu lokality Janoch

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

**Zlomové struktury regionálního měřítka (v okruhu 25 km)**

Zájmové území i jeho blízké okolí (Obr. 5) je prostoupeno křehkými poruchami různého stáří, orientace a významu. Zlomová křehká deformační stavba se uplatnila zejména na konci variské orogeneze, kdy významné diskontinuity často sloužily jako výstupní dráhy žilných granitoidních hornin v závěru magmatické aktivity. Území je postiženo reaktivací puklinových systémů více směrů a zejména pak JZ–SV struktur anizotropie hornin podél významné duktilní střížné vltavotýnské zóny. Vznik mladších zlomových struktur je pak především vázán na aktivnější tektonické okraje pánvi dále na JV a JZ od zájmového území, a také na zlomová pásma severojižní blanické brázdy za východním okrajem území (Štědrá et al. 2015). Subrecentní křehká tektonika se uplatňuje zejména přítomností rozsáhlých přípovrchových puklinových systémů.

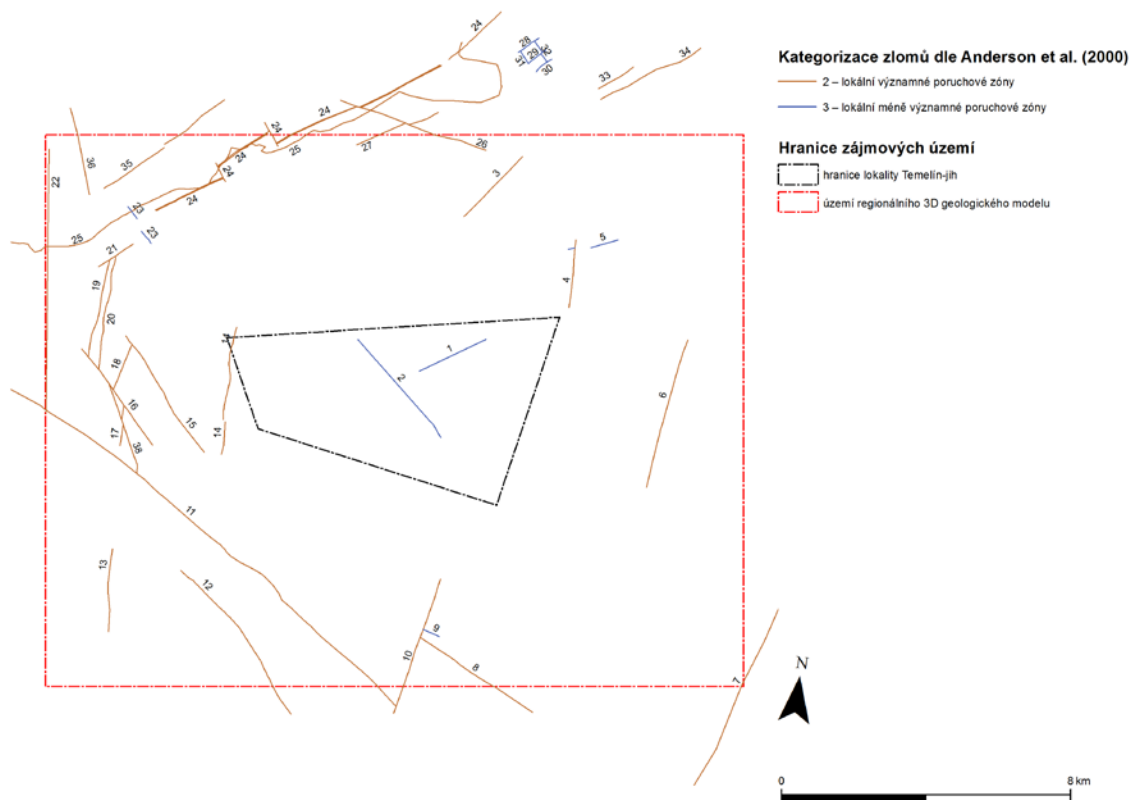


Obr. 5: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Janoch (Temelín-jih) (okruh 25 km od lokalizace zájmového území černou linií), červený polygon – rozsah 3D strukturálně geologických modelů, menší černý polygon – lokalita Janoch (Temelín-jih)

Křehké poruchy vznikaly během povariského vývoje. Směrově jsou některé poruchy paralelní s foliací, tedy směru SV–JZ (vodňanská mylonitová zóna, těšínovský zlom), příp. V–Z, jiné jsou k němu kolmé (směr SZ–JV, např. hlubocký a zbudovský zlom). Poruchy směru SSV–JJZ (směr blanické brázdy – lišnický, drahotěšický zlom) až S–J (vlhavský, radomilický zlom) jsou místy doprovázeny křemennými žilami, popř. zdůrazněny hranicemi mladších sedimentárních reliktů.


### Zlomové struktury vymezeného území

V průzkumném území nebo v bezprostřední blízkosti užší lokality byly indikovány dva krátké zlomy (ID 1 a ID 2 viz Obr. 6), které se projevují jako slabé morfolineamenty a které byly potvrzeny i pozemní geofyzikou (Navrátilová et al. 2017).



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

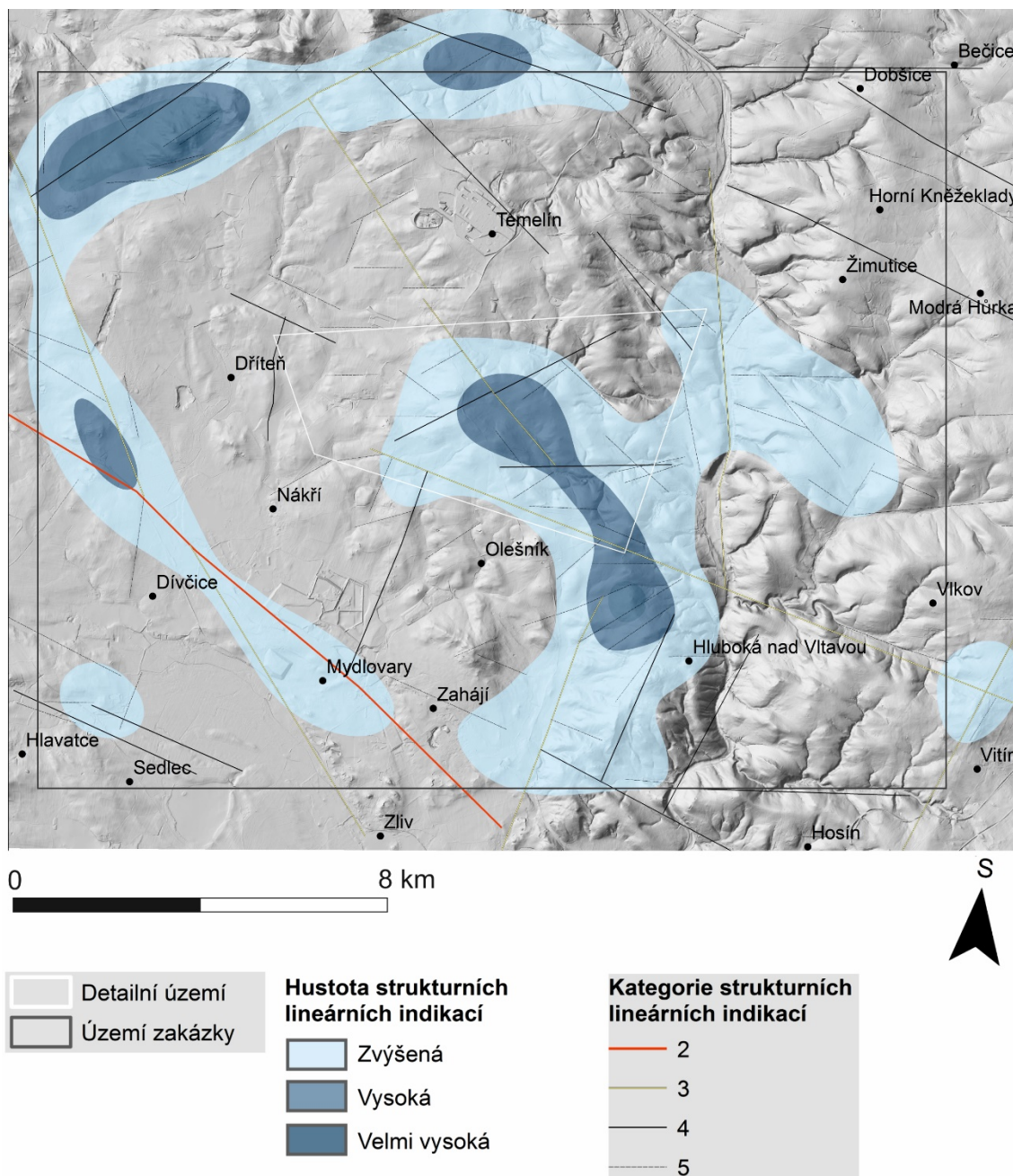
Morfotektonické zhodnocení zájmové lokality bylo provedeno na základě morfostrukturní analýzy digitálního modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G) a radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2. Výsledky morfostrukturní analýzy radarových družicových dat ALOS-PALSAR 2 byly převzaty ze „Zprávy o provedení geologicko-výzkumných prací na lokalitě ETE-jih“ (Navrátilová et al. 2017). Zjištěné lineární indikace detekované různými metodami byly navzájem konfrontovány a validovány se zlomy archivní dokumentace a v rámci detailního území také s daty získanými terénním strukturně geologickým, geomorfologickým a geofyzikálním průzkumem (Navrátilová et al. 2017). Validované lineární indikace byly následně klasifikovány do definovaných kategorií míry křehkého porušení (Marek et al. 2005, Woller 2006). Rozložení strukturních lineárních indikací je přibližně rovnoměrné, čemuž odpovídají hustotní maxima strukturních lineárních indikací (Obr. 7). Oblast s velmi vysokou četností lineárních indikací se nalézá v okolí těšínovského zlomu (ID 35) a vodňanské mylonitové zóně (ID 25). Do detailního území PÚZZZK zasahuje pouze maximum vysoké hustoty lineárních indikací. Maximum leží v místě křížení několika lineárních indikací, které byly ověřeny pozemním průzkumem. Toto maximum částečně také odráží zvýšenou míru prozkoumanosti na daném území. Morfostrukturní analýzou zjištěné lineární indikace jsou díky datům z průzkumu potvrzeny častěji, na rozdíl od indicií mimo toto území, kde takto podrobný geologický průzkum neprobíhal. V zájmovém území nebyla detekována jediná strukturní lineární indikace první kategorie (Marek et al. 2005). Do širšího území zasahuje pouze jedna strukturní lineární indikace 2. kategorie (Marek et al. 2005). Její morfologický projev není nijak výrazný, nicméně jedná se o 16 km dlouhou strukturu s vazbou na hluboký zlom (ID 11), který ze severovýchodu omezuje českobudějovickou pánev. Vrána a Štědrá (1997) a Špaček et al. (2011) předpokládají jeho několikakilometrový hlubkový dosah. Tato

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 302/2018</i>

struktura porušuje a odsazuje průběh dvou strukturních lineárních indikací 3. kategorie směru SSZ–JJV. Tyto indikace mají vazbu na blatský (ID 17) a zbudovský zlom (ID 12).

V okolí území geologického modelu se nalézají další tři lineární indikace 3. kategorie. Lineární indikace směru SV–JZ v sz. části zájmového území má vazbu na vodňanskou mylonitovou zónu (ID 25). Další lineární indikace 3. kategorie probíhá údolím řeky Vltavy. Třetí lineární indikace z výše zmíněných probíhá ve směru SV–JZ a má částečně vazbu na munický zlom (ID 10). Lineární indikace třetí kategorie směru SZ–JV má prokazatelnou vazbu na zlom II (ID 2) díky pozemnímu geofyzikálnímu průzkumu (Navrátilová et al. 2017). Její průběh je reprezentován třemi dílčími odsazenými úseky, které lze sledovat až k vodňanské mylonitové zóně. Na tuto strukturu je vázána i vyšší hustota lineárních indikací. Druhá lineární indikace 3. kategorie směru ZSZ–VJV byla částečně potvrzena na některých místech geofyzikálními daty a výraznou morfologií v jejím jihovýchodním pokračování. Na základě strukturních měření ji lze spojovat s extenzními puklinami druhého maxima (Navrátilová et al. 2017). Další lineární indikace, která byla ověřena pozemním geofyzikálním průzkumem, je struktura 4. kategorie probíhající ve směru SV–JZ, a která je rozdělena zlomem II na dva úseky. Severovýchodní úsek odpovídá zlomu I – ID 1 (Navrátilová et al. 2017). Nicméně strukturní geologický výzkum i některé další geofyzikální indikace naznačují, že i jihozápadní větve může být zlomem. Podobně vystupuje také lineární indikace 4. kategorie směru V–Z. Také tato struktura nebyla označena za zlom, nicméně se na ní nacházejí geofyzikální anomálie.





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 a zlomové sítě. Bodové symboly reprezentují centroidy katastrů obcí

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

V rámci geologického mapování (Navrátilová et al. 2017) byly zjištěny čtyři skupiny střížných puklin. Jedná se o struktury průběhu SSV–JJZ až S–J se strmým úklonem k ZSZ až Z, převážně bez výskytu striací a indikátorů kinematiky (i), struktury průběhu SZ–JV se strmým úklonem k JZ i SV s variabilním výskytem striací s mírným sklonem k ZSZ, které nesou indikátory pravostranné šikmé kinematiky pohybu, a případně s výskytem mladší generace striací (ii), struktury průběhu SV–JZ se středním sklonem k SZ s výskytem striací se středním úklonem k ZSZ až Z s indikátory poklesové kinematiky pohybu (iii), a posledními jsou struktury průběhu Z–V se strmým sklonem k J s variabilním výskytem striací s mírným sklonem k ZJZ s nevýraznými indikátory pravostranné šikmé kinematiky (iv).

## **Extenzní pukliny**

Dominantním souborem extenzních puklin jsou v horninách zájmového území subvertikální pukliny bez minerální výplně. Lze zde pozorovat několik hlavních trendů v orientaci strmých extenzních puklin: SZ–JV (nejhojnější), SSZ–JJV a SSV–JJZ. Nejvyšší četnost extenzních puklin všech směrů byla zaznamenána u silně zvětralých pararul s vyšším stupněm prokřemenění, s hustotou puklin přibližně 5–6 na metr. U slaběji prokřemenělých a méně zvětralých pararul četnost puklin klesá běžně na 2–4 na metr a u erlanů až na 1–2 na metr.

### **B.1.1.4 Stupeň duktilní deformace**

#### **Stavby a struktury metamorfovaných hornin**

Horniny strukturně-geologického modelu jsou polyfázově tektonicky postižené za vzniku tří sukcesivních systémů duktilních variských deformací. Studované pararuly převážně výrazně vyvinutou metamorfní foliaci vytvořenou posledním variským metamorfním procesem, tj. foliace  $s_3$  (Vrána et al. 1977). Strukturní stavba horninového masivu v prostoru polygonu Janoch má dle výsledků provedených terénních měření výhradně monoklinální charakter s plochami metamorfní foliace vcelku stálého směru SV-JZ s mírným až středně strmým úklonem k SZ. Méně častý je pak směr foliace V-Z s mírným sklonem k S (JZ část území) a směr S-J s mírným sklonem k Z (JV část území). Horninové vložky v podobě kvarcitických rul, mramorů a erlanů jsou vesměs konformní s průběhem této foliace. Foliační plochy jsou převážně rovné až mírně zvlňené. Pouze v silněji migmatitizovaných polohách pararul je ojediněle vyvinuto intenzivní drobné provrásnění (mm-dm), takže může být lokálně průběh foliace a lineace nepravidelný. Starší generace duktilních struktur moldanubika v podobě foliace  $s_1$  (s charakteristickými směry foliace SZ-JV až ZSZ-VJV a příkrými až středními úklony k SV) i  $s_2$  (směru SSV-JJZ se strmým úklonem k ZSZ) nebyly v zájmovém území zjištěny. Tyto starší struktury, pozorované v blízkém okolí např. v údolí Libochovky nebo na Vltavotýnsku (Vrána et al. 1977 a,b), zde byly vesměs setřeny nejmladší refoliací a vzniklá stavba se tedy jeví v podstatě jako homogenní. Metamorfní lineace  $l_3$  charakteru přednostní orientace a protažení agregátů křemen, živců a biotitu je orientována převážně výrazně rovnoběžně až s mírným odklonem od spádnice foliačních ploch  $s_3$  k západu tj. nejčastěji ve směru SZ-JV až Z-V.

### **B.1.1.5 Geologický vývoj**

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

#### **Období neoproterozoika až spodního paleozoika**

Mezi relativně nejstarší a nepřímo zaznamenané geodynamické události v geologickém vývoji oblasti patří geneze sedimentárního protolitu vysoce metamorfovaných hornin jednotvárné skupiny moldanubika jižních Čech. V závěrečných fázích kadomských orogenních procesů (Nance et al. 1991; Murphy et al. 2002; von Raumer et al. 2002; Linnemann et al. 2008), a převážně ve spodním paleozoiku (Kröner et al. 1988; Pertoldová a Vrána 2009, Pertoldová et al. 2014; Košler et al. 2014) docházelo k ukládání relativně monotónní sekvence drobových a písčitých sedimentů spolu s relativně tenkými vrstvami křemenců, vápenců a produkty bazického vulkanismu. Další etapou v geologickém vývoji území je období magmatické aktivity ve svrchním kambriu až spodním ordoviku (tzv. kambro-ordovický rifting; např. Murphy et al. 2006; Linnemann et al. 2008; von Raumer a Stampfli 2008; Žák et al. 2012).

### **Období svrchního paleozoika**

Období paleozoika hrálo ve vzniku a geologickém vývoji hornin lokality Janoch zásadní roli. Jednalo se o variské orogenní procesy, které probíhaly v období svrchního devonu až karbonu (380–320 Ma), kdy došlo k subdukcí spojené s vysokotlakými deformačními procesy s následnou kontinentální kolizí spjatou s reekvilibrací v podmínkách amfibolitové facie. Geologická historie hornin byla spojena s geodynamickým vývojem relativně hlubších částí variského orogenního pásma, a to v období mezi 340 až 325 Ma. Komplexy metamorfovaných hornin zaznamenaly v tomto období polyfázovou metamorfózu v podmínkách vysokých až nízkých tlaků a vysokých teplot (např. Linner 1996; Büttner a Kruhl 1997; Racek et al. 2006, 2008). Následovalo rozpínání kůry, spojené s intruzemi granitoidů v několika pulzech (zvláště 340–300 Ma). V širším okolí zájmového území tak pronikají pláštěm moldanubických metamorfitů četné výběžky středočeského plutonu reprezentované v okolí Písku, Protivína nebo Vodňan melanokratickými amfibolicko-biotitickými syenity. V podloží a na západním okraji třeboňské pánve dále vystupuje výběžek centrálního moldanubického plutonu – ševětínský granodiorit. 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 poruchy, které byly spojeny s projevy lokální extenze umístěním žil pegmatitů a křemenné výplně. Metamorfní procesy hornin pak byly zakončeny retrográdní etapou, doprovázenou řadou sekundárních a metasomatických přeměn (Cháb a Suk 1977, Mísař et al. 1983, Chlupáč et al. 2002).

Tektonický vývoj jihočeské oblasti byl v dalších etapách geologického vývoje ovlivněn zejména dvěma významnými zlomovými systémy směru SSV–JJZ (směr blanické brázdny) a SZ–JV (směr hlubockého zlomu), které byly založeny pravděpodobně v posledních fázích variské orogeneze a významně ovlivnily formování a vývoj platformního pokryvu této oblasti.

### **Období mezozoika až kenozoika**

#### **Mezozoikum**

Po odeznění variské fáze deformačních a metamorfních procesů koncem permu se jihočeská část moldanubika stala součástí konsolidované epihercynské platformy. Již během permu a počátkem mezozoika byly horotvorné procesy vystřídány procesy intenzivního zvětrávání, hloubkové denudace a peneplenizace členitého horského reliéfu. Tyto procesy spjaté s platformním vývojem oblasti pak trvaly po relativně dlouhou dobu až do mladšího mezozoika. Ve svrchní křídě byla oblast součástí nízké paroviny, ležící nevysoko nad hladinou tehdejšího moře. Tato parovina, představující nejstarší tvar reliéfu území, pak byla pokryta souvislým pláštěm kaolinických zvětralin vzniklých na horninách krystalinika, jehož mocnost dosahovala původně několik desítek metrů a kolísala v závislosti na odolnosti hornin vůči zvětrání a jejich tektonickému porušení.

Další obnovení tektonické aktivity nastalo až v souvislosti s turonskou deformací v sousedním alpsko-karpatském prostoru. Díky uvolnění tangenciálních tlaků působících na jižní část Českého masivu od JZ a J došlo v jihočeské oblasti k vytvoření svrchnokřídového sedimentačního prostoru (zejména s přispěním zlomů SZ–JV směru). V původní kerně rozčleněné parovině zde vznikly četné deprese, v jejichž prostoru začalo docházet k sedimentaci mocných akumulací fluvioakustrinních sedimentů. Zdrojovým materiálem těchto uloženin pak byly kaolinicky hluboce zvětralé horniny krystalinika.



## Paleogén a neogén

Konec senonu a paleogén byly dalším déle trvajícím obdobím procesů zvětrávání a denudace, v rámci kterého vznikl nový zarovnaný povrch s fosilními zvětralinami krystalinika i granitoidů navazující na plošinný reliéf výplně křídových pánví. Toto období tektonického klidu bylo ukončeno až koncem spodního miocénu, kdy začalo docházet k opětovnému oživení pohybů na starých zlomových systémech (tj. zmlazování reliéfu). Pokles celé širší oblasti vedl ke vzniku rozsáhlých depresí zasahujících mimo jihočeské senonské pánve. V těchto depresích se vytvářela průtočná jezera (orientovaná SZ–JV i SSV–JJZ směrem) odvodňovaná k jihu, v jejichž prostoru docházelo k ukládáním jezerních a říčních neogenních souvrství (sedimenty mydlovarského souvrství). Následné uvolnění tlaků v jižní části Českého masivu vedlo k jeho dalšímu snížení až k hladině moře a průniku brakické případně i mořské vody do sedimentačního prostoru, s čímž souvisela i změna litologického charakteru sedimentů. V následném období, kdy došlo k mírnému zdvihů pánevních oblastí (přelom badenu a sarmatu), miocenní sedimentace v jižních Čechách zcela zanikla a celá oblast následně podlehla kaolinickému zvětrání moldanubických hornin, částečné denudaci starších uloženin a celkové peneplenizaci.

Ve středním pliocénu v důsledku opětovného poklesu jihočeské oblasti došlo v prostoru původních miocenních pánví a na jejich periferii k sedimentaci fluvioakustrinních sedimentů ledenického souvrství, která byla ukončena nástupem mladopliocenní tektogeneze. Důsledkem této tektogeneze bylo vyklenování a tektonický výzdvih jižní části Českého masivu (Blanského lesa, Novohradských hor a Novobystřické pahorkatiny), který byl příčinou hlavní hydrografické události v podobě změny v odvodnění jihočeské oblasti do dnešního severního směru (vytvoření dnešního vltavského údolí). S touto aktivitou byla spojena i významná denudace starších neogenních sedimentů v celé jihočeské pánevní oblasti, které byly na mnoha místech zcela denudovány. Tyto poslední zdvihové tendence pak v dalším období přetrvaly až do starého pleistocénu a vedly k další denudaci sedimentární výplně jihočeských pánví a také zahlubování údolní sítě v Písecké pahorkatině, která dnes vůči pánvím vystupuje jako výrazná elevace. Oproti pánevnímu prostoru, kde vodní toky vytvořily v málo odolných sedimentech široce rozevřená mělká údolí, mají údolí v Písecké pahorkatině převážně erozivních ráz a jejich zahloubení se od svrchního pliocénu pohybuje mezi 50–70 m. Údolní dno Vltavy se zde nachází 140–170 m pod úrovní nejvyššího zarovnaného povrchu a přibližně 80 m pod nižším pliocenním zarovnaným povrchem (Prachař 2014b).

## Kvartérní vývoj

V kvartérním období v prostoru zájmového území i jeho širšího okolí z hlediska exogenních procesů převládala eroze a denudace nad akumulací. Ve spojitosti s těmito procesy postupně došlo k porušení parovinového rázu krajiny a uložení fluviálních, deluviofluviálních a deluviálních sedimentů i vzniku půd. Vlivem výrazného morfologického zvedání moldanubika v předešlém období má kvartérní pokryv na převážné většině území (mimo oblast jihočeských pánví) poměrně malý rozsah a mocnost. Výjimku tvoří pouze údolí Vltavy, kde se při jeho etapovitém zahlubování ve svrchním pliocénu a pleistocénu vyvinul systém fluviálních terasových akumulací. Závěr pleistocénu je pak také spojen se vznikem spraší a sprašových hlín, které dnes tvoří jen omezené reliktů v podobě návějí a závějí zpravidla malé mocnosti.

Během kvartéru je území denudační oblastí, kde převládá transport a eroze materiálu. Současný charakter reliéfu a rozsah kvartérních sedimentárních hornin je výsledkem

exodynamických procesů, klimatických oscilací během pleistocénu a antropogenní činnosti během holocénu. V tomto období vznikaly svahové sedimenty, fluviální uloženiny v nivách vodních toků, docházelo k erozi a následné akumulaci splachových uloženin v občasné protékaných depresích a ve výplavových kuželech. Antropogenní zásahy místy porušily nejen ucelený vzhled krajiny (lomy), ale změnily i hydrologický režim v krajině budováním melioračních kanálů, rybníků a umělých vodních nádrží.

## B.1.2 Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností

### B.1.2.1 Prostorová variabilita

Prostorové uspořádání horninových těles na lokalitě JANOCH nebylo nikdy podrobně studováno. Mapové podklady pokrývají celou lokalitu v měřítku 1:25 000, 2 km severně od lokality dále probíhal podrobný průzkum v souvislosti s výstavbou Jaderné elektrárny Temelín. Dominantní horninové těleso biotitické a sillimanit-biotitické pararuly jednotvárné skupiny moldanubika ve všech směrech přesahuje hranice lokality JANOCH. Foliace těchto pararul upadá pod úhlem 25–45° k severozápadu. Lokálně se v pararulách vyskytují migmatizované biotitické a sillimanit-biotitické pararuly a v jihovýchodní části zájmového území se pouze v omezeném rozsahu vyskytují erlaný v podobě několik metrů až několik desítek metrů mocných, rychle vyklíňujících poloh. Všechna tělesa těchto hornin probíhají paralelně s foliací okolních pararul. Kontakty jsou relativně ostré v případě erlanů, avšak v případě migmatitů se jedná o postupné petrografické přechody. Lokálně se na této lokalitě vyskytují strmě ukloněné křemenné žíly orientace SSV–JJZ a leukokráttní žilné granity a pegmatity orientace SV–JZ, rovněž strmě ukloněné, s ostrými kontakty vůči okolním pararulám. Místy jsou krystalinické horniny překryty málo mocným platformním pokryvem, který tvoří tercierní mydlovarské souvrství. Vyskytuje se jednak v podobě výběžků budějovické pánve v jihozápadní části lokality a dále v podobě drobných reliktních výskytů se nepravidelně v rámci téměř celého území. Celková ověřená mocnost v centru těchto výskytů místy dosahuje až 40–45 m, drobné relikty se značně nepravidelným rozsahem a mocností dosahují maximální mocnosti do 10–20 m. Pod těmito výskytů a v jejich okolí jsou krystalinické horniny hlouběji fosilně zvětralé.

Dostatečné množství povrchových mělkých vrtů umožnilo popsat prostorovou distribuci a mělký dosah platformních sedimentů. Uniformně vyvinutá penetrativní foliace metamorfovaných hornin a konformní uložení nečetných čočkovitých těles litologicky pestrých hornin pak umožnilo i přes absenci hlubších vrtů (nejhlubší vrty dosahují okolo 50 m) dobře popsat hloubkový průběh hlavních krystalinických litologií. Přesné informace o sklonu žilných hornin chybí, avšak jejich výskyt v podobě mapovatelných těles je na lokalitě tak řídký, že na celkovou prostorovou popsatelnost horninového prostředí tento nedostatek nemá významnější vliv.

### B.1.2.2 Petrologická variabilita

#### Metamorfované horniny

Metamorfované horniny jednotvárné skupiny moldanubika zastoupené na širším území lokality JANOCH jsou většinou reprezentovány migmatizovanými biotitickými a sillimanit-biotitickými pararulami v různém stupni anatexe, někde s přechody do okatých sillimanit-biotitických pararul (perlových). Rozsah pestrých vložek v podobě mramorů, kvarcitů (příp. muskovitických kvarcitů), erlanů a erlanových rul je omezen. Jihovýchodní roh zájmového území tvoří těleso drobně až středně zrnité biotitické ortoruly, místy s granátem. Podolský

komplex na severozápadě daného území je reprezentován převážně leukokratickým migmatitem s biotitem a sillimanitem. V užším průzkumném území se nacházejí migmatizované biotitické a sillimanit-biotitické pararuly v různém stupni anatexe s přechody do okatých sillimanit-biotitických pararul (perlových) s vložkami kvarcitů (příp. muskovitických kvarcitů), erlanů a erlanových rul.

**Migmatizované biotitické a sillimanit-biotitické pararuly** jsou páskované, mírně zvrásněné, drobnozrnné horniny s lepidogranoblastickou strukturou. V těchto horninách je charakteristická přítomnost polyminerálních pásků hrubozrnnějšího světlého leukosomu, který je tvořen převážně plagioklasem, křemenem a K-živcem. Křemenživcový agregát má většinou homogenní stavbu, místy tvoří proměnlivě mocné, pomalu vykliňující polohy (laminy, proužky) až více či méně protažené čočky (většinou zploštělé a vykliňující), které jsou uloženy paralelně s průběhem dominantní metamorfni foliace. Melanosom/restit, který je místy zvrásněný, obsahuje především biotit, ale i malé množství rekrystalizovaného plagioklasu a křemene. V podřadném množství bývá nepravidelně přítomný sillimanit (často již v makroskopicky viditelných a nápadných bělavých shlucích o velikosti ojediněle až 1,0 cm), muskovit a draselný živec. Akcesorie tvoří granát, zirkon, muskovit, titanit, monazit, apatit, titanit a opakní minerály jako pyrit, ilmenit aj. Některé pararuly vykazují silnou alteraci, spjatou s retrogradními procesy – potom je přítomna chloritizovaná biotitická a sillimanit-biotitická pararula, v menší míře též pararula biotit-muskovitická. Pro tyto horniny je charakteristická přítomnost chloritu (nahrazující větší část biotitu), zvýšený obsah sekundárního muskovitu a někdy též přítomnost novotvořeného albitu.

**Okaté sillimanit-biotitické pararuly (perlové)** se vyskytují ve dvou tělesech uprostřed mapované oblasti (převážně severovýchodně od Dříteně). Tyto horniny vykazují nejasné přechody do migmatizovaných pararul a jsou obecně jemnozrnější než natavené variety. Jsou to jemnozrnné až drobnozrnné horniny s typickými makroskopicky viditelnými očky živců, mají plošně paralelní texturu a lepidogranoblastickou strukturu. Hlavní horninotvorné minerály tvoří plagioklas, K-živec, křemen a biotit. Vedlejšími minerály jsou muskovit a sillimanit, zřídka i granát. Sekundárně se vyskytuje sericit, který postihuje plagioklas. Hojnými akcesoriemi jsou apatit, zirkon, monazit a ilmenit.

**Kvarcity, muskovitické kvarcity** jsou jemnozrnné světle šedé až bělavé horniny s masivní, všesměrně zrnitou texturou, která místy přechází do jemně páskovaných variet. Hlavní minerální složkou je křemen a plagioklas, minoritně se vyskytuje muskovit. Hojně jsou akcesorie rutilu.

**Erlany, erlanové ruly** představují jemno až drobnozrnné, šedozelené horniny s granoblastickou strukturou. Rulové variety mají výraznější páskovanou stavbu. Proměnlivé složení erlanu je dáno především různým poměrem plagioklasu a křemene. Erlan je tvořen převážně plagioklasem, klinopyroxenem a křemenem, minoritně se vyskytuje amfibol, biotit a epidot. Akcesoricky je přítomen titanit, ilmenit, pyrotin, apatit a zirkon.

### **Intruzivní a žilné horniny**

Intruzivní horniny jsou zastoupené pouze v podolském komplexu v severozápadním rohu širšího území lokality JANOCH. Jedná se o středně až hrubě zrnitý porfyrický amfibol-biotitický melanokratický granit, monzonit až syenit (durbachit), který pronikl pláštěm moldanubických metamorfitů v závěru variské orogeneze.

V užším průzkumném území lokality JANOCH jsou zastoupeny pouze žilné horniny vázané na extenzní tektoniku, jako např. leukokratický mikrogranit nebo pegmatit.

**Leukokratní mikrogranity** tvoří drobné žilné útvary protažené v ssv.–jjz. směru. Jedná se o jemnozrnnou horninu tvořenou dominantně světlými minerály – křemenem, K-živcem, plagioklasem a muskovitem, biotit je zastoupen zcela výjimečně. V hornině se ojediněle vyskytují i zrna granátu. Akcesoricky je přítomen zirkon, monazit a apatit.

**Pegmatity** se v užším polygonu lokality JANOCH vyskytují poměrně často, hlavně v severovýchodním rohu tohoto území. Jedná se o drobná žilná tělesa protažená v sv.–jz. směru, jejichž mocnost dosahuje max. 10 m. Pegmatit je středně až hrubě zrnitá, světle okrová hornina s všesměrnou strukturou. Skládá se především z K-živce, křemene a plagioklasu, vedlejší minerály tvoří muskovit, turmalín a biotit. Hrubozrnné agregáty křemene a živců tvoří všesměrnou mozaiku zrn nebo prorostlice s písmenkovou texturou. Zrna plagioklasu podléhají sericitizaci. Muskovitu je v hornině asi 15 obj. % a převyšuje obsah biotitu (max. cca 5 obj. %). Muskovit často přerůstá a zatlačuje zrna K-živce.

### **Sedimentární horniny**

V užším průzkumném území lokality JANOCH se nacházejí relikty neogenních uloženin českobudějovické pánve. Jedná se o spodní a svrchní část tzv. mydlovarského souvrství. Plošně rozsáhlejší a mocnější výskyt spodní části mydlovarského souvrství je soustředěn především na jihozápad až západ území do prostoru v okolí obce Dříteň, kde mají neogenní uloženiny podobu výplní nevelkých depresí, koryt a zálivů. Jejich celková ověřená mocnost v centru těchto depresí místy dosahuje až 40–45 m (Navrátilová et al. 2017). Omezený reliktní svrchní části mydlovarského souvrství se nachází na východní hranici průzkumného polygonu u obce Jeznice.


**Písky až pískovce, jíly s uhelnou příměsí a uhelné sedimenty** jsou typické pro spodní část mydlovarského souvrství. Hlavním klastickým minerálem je křemen.

**Jílovité písky, písky a diatomitové sedimenty** jsou součástí svrchní části mydlovarského souvrství. Ve spodních partiích mají jílovité vrstvy převážně kaolinitový charakter, výše se na jejich složení podílí i montmorillonit. Diatomitové sedimenty se vyskytují vzácně. Hlavním klastickým minerálem je křemen.

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

Na území lokality JANOCH převládají polyfázově metamorfované **biotické a sillimanit-biotické migmatizované pararuly** kyselého až intermediálního složení, jejichž prekurzorem byly převážně drobové sedimenty. Vztah mezi koncentrací  $\text{TiO}_2$  a Ni z analyzovaných kyselých rul naznačuje, že původní droby vznikly zvětráním a odnosem felzických magmatických hornin. Z analýzy stopových prvků vyplývá, že původní složení pararul je méně diferencované a odpovídá složení svrchní kontinentální kůry (Navrátilová et al. 2017).

**Žilné leukokratní mikrogranity** mají dle výsledků provedených analýz velmi uniformní složení. Tyto horniny se vyznačují vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$  v rozsahu 73,67 až 75,84 hm. %. Podle vzájemného zastoupení  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$  se jedná o peraluminické granity. Hmotnostní poměr  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  se pohybuje v rozmezí 0,68 až 1,56. Z hlavních komponent stojí za upozorněním pouze nízký obsah MgO, CaO a  $\text{TiO}_2$ . Obsah stopových prvků jako Sr, Y, Zr je také velmi nízký, koncentrace U a Th se dokonce pohybuje okolo meze stanovitelnosti. Vyšší koncentrace byly zjištěny jen u Rb (119–240 ppm) a Pb (16–70 ppm). Poměr Rb/Sr je poměrně vysoký (1,49–4,31) a společně s poměrem K/Rb (v rozsahu 134–353) odpovídá zralé kontinentální kůře (Navrátilová et al. 2017).

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

**Erlany** představují pozůstatky minoritních vápnatých poloh v drobách a jsou ve srovnání s rulami výrazně obohaceny vápníkem. Jejich chemismus je odrazem minerálního složení s dominantním kalcitem nebo dolomitem, křemenem, diopsidickým pyroxenem, akcesoriemi a plagioklasem širokého rozsahu bazicity. Obsahy stopových prvků jsou nesystematické a odrážejí otevřený geochemický systém během polyfázového metamorfního vývoje.

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

Polyfázově metamorfovaný sedimentární komplex představuje na lokalitě JANOCH relativně velmi homogenní horninové prostředí. Homogenita bloku metamorfitů může být narušena primárními drobnými konkordantními polohami erlanů až mramorů a postmetamorfními intruzemi leukokratních mikrogranitů a pegmatitů, které jsou místy polymetalicky mineralizovány. Běžně pozorované přípovrchové alterace hornin, jako je chloritizace, sericitizace a limonitizace, nemají na jejich homogenitu vliv. Z ověřovacích průzkumů v okolí užší lokality JANOCH vyplývá přítomnost puklinových pásem o šířce až několika desítek metrů, podél nichž dochází k hloubkové alteraci dosahující až hloubky přes 50 m. Tato pásma mohou představovat lineární přípovrchové nehomogenity (Štědrá et al. 2015).

Na akumulačních haldách při okrajích polí jsou často v blocích metamorfitů nalézány čočky sekrečního křemene, místy i dutiny vyplněné křemenem. Křemenné úlomky nacházené na tektonických liniích jsou často zabarvené oxidy Fe a Mn, zejména v místech předpokládaných zlomových linií s vtroušeným sulfidickým zrudněním. Tyto faktory dle povrchových pozorování také svědčí o snížené homogenitě prostředí.

Zarovnaný plochý povrch může i přes mapovací práce skrývat málo mocné erozní reliktu terciéru, příp. i podložní křídly. Tyto hypotetické sedimentární reliktu nenarušují homogenitu bloku do hloubky.

### **B.1.3 Dostupnost dat**

#### **B.1.3.1 Množství, kvalita a dostupnost archivních dat**

Ucelený přehled přehledných měřítek mapování, starších výzkumů a archivních průzkumných materiálů vč. geofyzikálních prací je obsažen ve Vysvětlivkách k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 Purkarec (Mašek 1986a, b) a ve vysvětlivkách k sousedním mapovým listům Týn nad Vltavou (Vrána 1977a, b), Vodňany (Schovánek 1978a, b) a Protivín (Fišera 1982a, b). Tyto mapy s textovými vysvětlivkami jsou převážně dostupné v archívu ČGS.

Dostupnost novějších informací a datových sad pro lokalitu ETE–J je závislá na jejich zdroji; archivní mapové a výzkumné materiály ČGS z etapy podrobného základního mapování 1:25 000 v oblasti z let 1977–1986 jsou volně k dispozici. Data zpracovaná pro Energoprůzkum, ČEZ a SÚRAO jsou dostupná v technických zprávách v závislosti na režimu utajení.

Výsledky geofyzikálního průzkumu a interpretací tektonické stavby v okolí lokality ETE se zabývali Šalanský et al. (1966), Šalanský (1986), Gnojek (2013), Švancara (2013). Gnojek vysvětlil různé aeromagnetické anomálie a upozornil, že zejména aeromagnetické mapy nenaznačují zlomové narušení v konkrétním místě. Pro lokalizaci a potvrzení tektonických linií předpokládaných v projektech Energoprůzkumu (EPP) bylo provedeno odporové multielektrodové měření (MEM) jako subdodávka Ústavem struktury a mechaniky hornin AV ČR (Valenta 2008 a výše uvedené zprávy EPP). Při tom bylo použito symetrické uspořádání



elektrod, nesymetrická uspořádání byla zpracována např. Gruntorádem a Karousem (1972) a Karousem (1989).

Další sérii tvoří technické a výzkumné zprávy sestavené firmou Energoprůzkum pro ČEZ v rámci přípravné fáze výstavby elektrárny Temelín a zprávy doplňované pro další etapy dokumentace, zaměřené na stabilitu lokality ETE. Tyto zdroje jsou k dispozici na SÚRAO a v držení s. p. ČEZ. Mezi ně patří např. zprávy Švancary (2013) a Špačka (2011), kteří prováděli v letech 2004–2006 monitoring na vybudované lokální stanici seismologické sítě podle požadavků IAEA. Monitoring seismicity byl doplněn o tíhová a geologická studia v okolí Temelína pro ocenění seismické aktivity z hlediska bezpečnosti rozšíření ETE. Prachař, Piskač (EPP) a další se zabývali geologickou charakteristikou velmi širokého okolí ETE až k Protivínu, Českým Budějovicím, Českému Krumlovu a Třeboni z hlediska recentních tektonických aktivit a pohybového potenciálu mělké geologické vrstvy (Prachař et al. 2012a, 2012b; Prachař 2014a; Piskač et al. 2013). Archivní materiály byly v r. 2017 aktuálně doplněny o nová strukturní a hydrogeologická data získaná doplňujícími terénními pracemi zaměřených na nové mapování a 3D geologický model, data jsou dostupná ve zprávě Navrátilové et al. (2017) pro SÚRAO.

### **B.1.3.2 Aplikovatelnost standardních geologických metod**

Z hlediska praktické aplikovatelnosti standardních metod geologického výzkumu se území jeví jako celkem vhodné jak vzhledem k jeho geologické stavbě, tak k jeho stávajícím geomorfologickým podmínkám. Území je jen málo zvlněné a poměrně snadno přístupné. Nadmořská výška v polygonu ETE–J se pohybuje cca mezi 400 až 524 m n. m. (kóta „Na Čihadle“) v. obce Nová Ves. Z hlediska využití území převažují v polygonu ETE–J pozemky s funkcí lesa (48,4 %), z toho velkou část (36,3 %) tvoří jehličnaté lesy. Orná půda (30,6 %) tvoří necelou 1/3 plochy polygonu ETE–J, zástavba a holá půda 6,1 % a vodní plochy 0,7 %. Vzhledem k plochému charakteru území je četnost skalních výchozů nízká a celkem zanedbatelný je i rozsah svahových deformací. S možnostmi vzniku svahových deformací lze místy počítat ve svahových sedimentech, zvětralinách a pokryvných útvech. Na území nebyly identifikovány projevy výrazné hloubkové říční eroze, která bývá hlavním erozivním činitelem. Exogenní procesy způsobují zvětrávání krystalinických hornin. Zvětralá zóna obvykle nepřesahuje hloubku 15 m. Na některých tocích, především v z. části území polygonu ETE–J, byly vybudovány soustavy rybníků (např. v povodí toků Strouha, Olešník, Dříteňský potok). Průjezdnost pro terénní vozidla je omezená v místech hustších lesních porostů, případně v podmáčených oblastech v okolí rybníčních soustav.

Na základě těchto faktů lze na území provádět podrobný geologický výzkum a průzkum standardními metodami.

### **B.1.4 Zhodnocení geologických charakteristik lokality**

Z pohledu litologické náplně a geologické stavby je území lokality ETE–J poměrně jednoduché. Centrální část území je tvořena pararulami v různém stupni migmatitizace, které svou stavbou upadají pod středními úhly k SZ a k S. Petrologická a geochemická variabilita pararul je z hlediska popsání a predikovatelnosti nevýznamná.

Žíly mikrogranitů a pegmatitů o mocnostech několika desítek metrů se vyskytují zejména v jihovýchodní polovině lokality, z hlediska hodnocení mohou být významné z důvodu narušení soudržnosti krystalinického okolí. Podobnou úlohu mohou sehrát i pestré vločky jako erlany a kvarcity. Na severozápadě zasahuje do území vltavotýnské mylonitové pásmo (výrazný



jihovýchodní násun gföhlské jednotky na jednotvárnou jednotku moldanubika), které způsobuje silnou duktilní anizotropii v pararulovém komplexu, nicméně průzkumné území přímo neovlivňuje. Dvě hlavní zlomové linie omezující širší území lokality Janoch jsou hluboký zlom sz.–jv. směru na JZ, který podél svého průběhu vymezuje okrajové struktury českobudějovické pánve, a s.–j. až ssv.–jjz. zlomy paralelní se systémem blanické brázdy na V (např. líšnický a drahotěšický zlom). Strukturně geologická data z hlubších částí tělesa v zájmovém území nejsou k dispozici a orientace zlomů lze jen odhadovat na základě nedostatečných terénních indikací. Ze směrných projevů dvou zlomů na průzkumném území (ID1 a ID2) lze soudit na omezenou (předkvartérní) pohybovou aktivitu podél obou struktur.

Křehké poruchy vznikaly během vývoje variského i povariského. Směrově jsou některé poruchy paralelní s foliací, tedy směru SV–JZ, příp. V–Z, jiné jsou k němu kolmé (směr SZ–JV). Poruchy směru SSV–JJZ až S–J (směr blanické brázdy) jsou místy doprovázeny křemennými žilami, popř. zdůrazněny mladšími hranicemi sedimentárních reliktů. K povariským se řadí především směr SZ–JV (systém hlubokého zlomu) a jeho párový systém SV–JZ, a dále směr blanické brázdy SSV–JJZ a jeho párový systém VJV–ZSZ.

Na základě podrobného geologického mapování (Navrátilová et al. 2017) byly zjištěny čtyři skupiny střížných puklin. Dominantním souborem extenzních puklin jsou v horninách zájmového území subvertikální pukliny bez minerální výplně. Lze zde pozorovat několik hlavních trendů v orientaci strmých extenzních puklin: SZ–JV (nejhojnější), SSZ–JJV a SSV–JJZ. Běžně pozorované alterace u minerálů a přípovrchové zvětrání hornin nemají na homogenitu horninových bloků zřejmě vliv.

Indikace krasových jevů byly zjištěny jako plošně omezené v tělesech erlánů a jako takové nepředstavují překážku pro umístění HÚ.

Klasifikace jednotlivých geologických indikátorů uvedená v Tab. 4, byla založena na výše shrnutých dostupných geovědních informacích ve stupnici 1 – nejlepší až 5 – nejhorší. Lokality se navzájem výrazně liší množstvím i kvalitou geologických informací (např. mapy různého měřítko, 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
Regionálně geologická stavba území (1 - jednoduchá až 5 - velmi složitá)	1
Stupeň křehkého porušení masivu – zlomové struktury (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	1
Stupeň křehkého porušení masivu – puklinové systémy (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
Stupeň duktilní deformace (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
Možnost vytvoření komplexního prostorového modelu geologické stavby (1 - nejlepší až 5 - nejhorší) (odhad celkové velikosti homogenních bloků v km <sup>2</sup> )	2

Parametr indikátorů	Vyhodnocení
Prostorová variabilita horninového prostředí (1 - nejnižší až 5 - nejvyšší)	2
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
Množství, kvalita a kvality archivních dat (1 - nejlepší až 5 - nejhorší)	2
Aplikovatelnost standardních geologických metod	1

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


## B.2 Hydrogeologické charakteristiky

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

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

Uvedené požadavky SÚJB a doporučení IAEA byly přeformulovány na následující 4 indikátory a kritéria v dokumentu SÚRAO MP.22 (Vokál et al., 2017)

- 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>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

- b. podél trajektorií transportních cest
- iv. obtížnost vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu – požadavek SÚJB, 378/2016 Sb. (SUJB 2016b), § 18, odst. 4, písm. b), IAEA, I.29

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

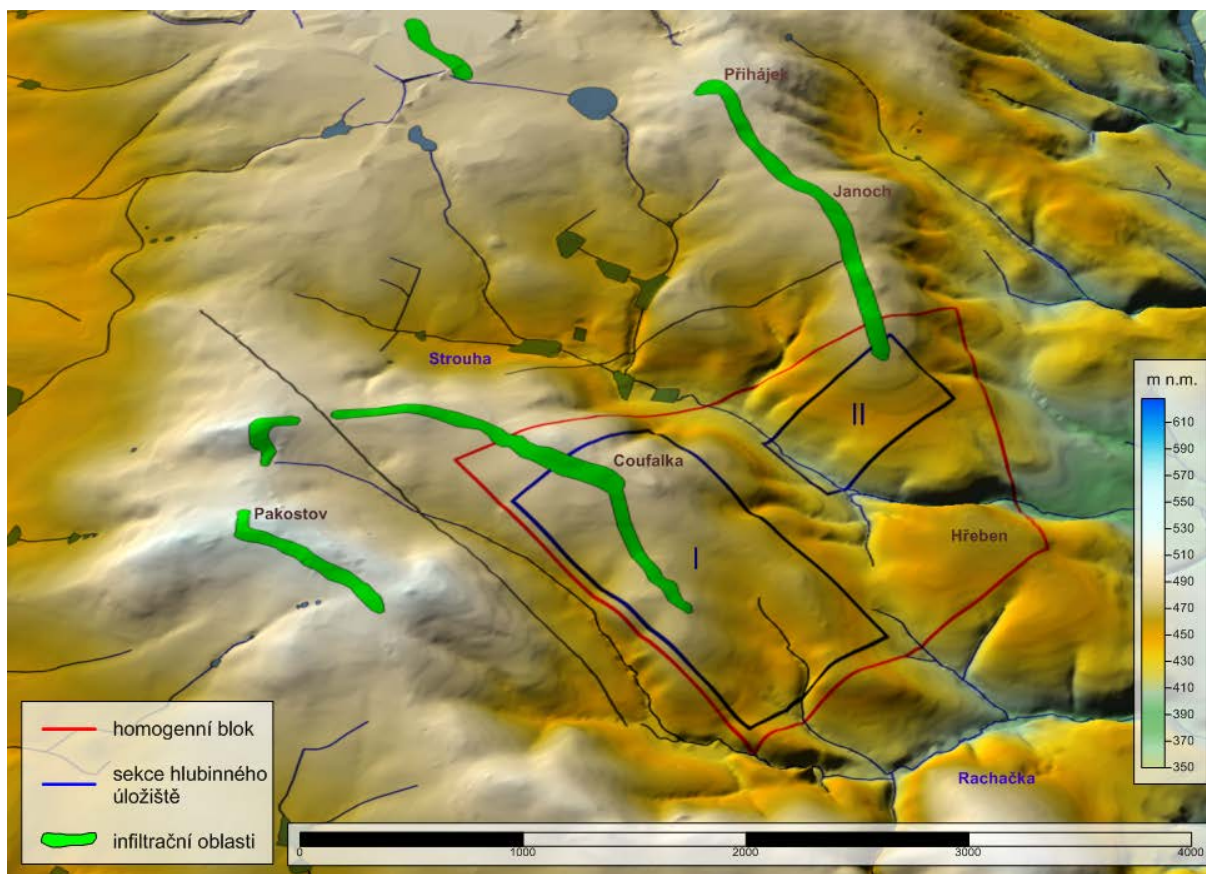
Výpočty proudění podzemní vody a transportu radionuklidů byly realizovány s využitím komerčních softwarů MODFLOW-USG a FEFLOW (Progeo s.r.o. a ÚJV Řež a.s. a výpočetního kódu FLOW 123D vyvinutého na Technické univerzitě v Liberci. Pro danou výpočetní periodu byla realizována simulace proudění podzemní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

- 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, FEFLOW a FLOW 123D

Terén v místě homogenního bloku je relativně členitý (rozdíl max. a min. elevace terénu je cca 100 m), polohy vrcholových partií Coufalka a jižní svah vrchu Janoch jsou rozděleny údolím v okolí toku Strouha. Infiltrační oblasti pro plochu HÚ ve střední hloubce cca 500 m pod terénem (průměrná úroveň -25 m n. m.) se nachází v oblasti hřbetů vrcholových oblastí a kopírují rozvodnice lokálních povodí IV. řádu. Infiltrační oblasti zasahují od místa půdorysu hlubinného úložiště do vzdálenosti cca 3.4 km od hranic homogenního bloku. Původ většiny vody, infiltrující do prostoru HÚ, lze identifikovat při rozvodnicích toků Rachačka a Strouha. V povodí Rachačky tvoří takřka spojitou oblast infiltrace terénní hřbet mezi Zabitým k háji Coufalka, dále pak oblast po rozvodnici mezi vrchem Pakostov a Novou Vsí. V povodí toku Strouha se jedná o linii v délce cca 2.4 km, táhnoucí se od severní části HÚ po hřbetu mezi vrchy Janoch, Hůrka a Přihájek. Nejbližší oblast infiltrace se dle modelových výsledků nachází v blízkosti rozvodí u vesnice Březí u Týna n. Vlt. Oblasti infiltrace, vymezené hydraulickým modelem pomocí metody zpětného particle trackingu, jsou vyznačeny v mapě reliéfu na Obr. 8.



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

### B.2.1 Přítomnost zvodní v izolační části úložiště

Jevy jako zvodně či zvodnělé zlomové zóny představují možné cesty pro únik radionuklidů do životního prostředí. Takovéto cesty by měly být vyloučeny či maximálně omezeny při umísťování 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.

Území lokality Janoch spadá dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. do hydrogeologického rajonu 6320 Krystalinikum v povodí Střední Vltavy (útvár podzemních vod 63201 Krystalinikum v povodí Střední Vltavy – jižní část) a 2160 Budějovická pánev (útvár podzemních vod 21600 Budějovická pánev).

Krystalinikum v povodí Střední Vltavy je zde tvořeno dvěma hlavními hydrogeologickými jednotkami:

- pararulami až migmatitizovanými pararulami monotónní skupiny moldanubika;
- krystalickými vápenci až erlány monotónní skupiny moldanubika.

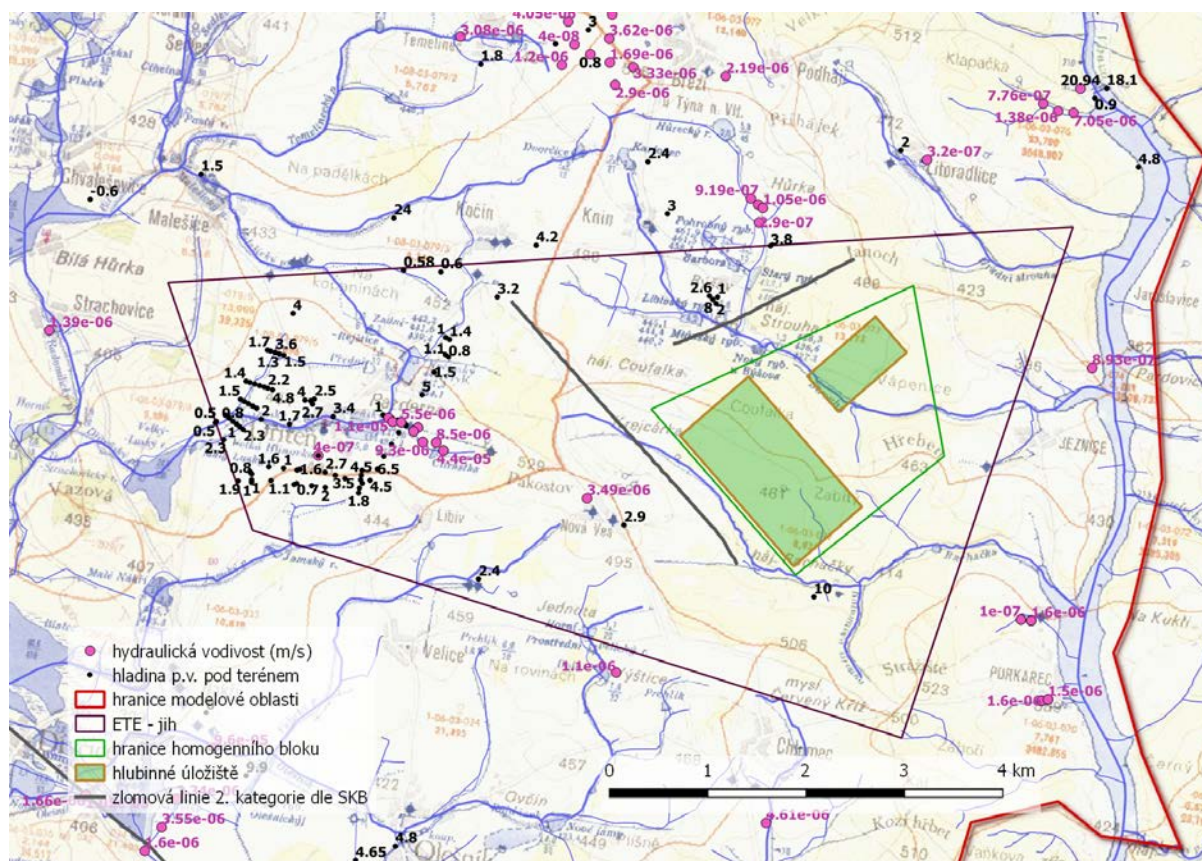
Malému vodárenskému významu prostředí krystalinika odpovídá nízká míra hydrogeologické prozkoumanosti území. V hydrogeologické databázi ČGS – Geofond je na území polygonu Janoch pouze 13 hydrogeologických vrtů s maximální hloubkou 32 m (vrt HJ-4 v. od obce Dříteň).



Rozmístění hydrogeologických objektů je na území lokality nerovnoměrné, všechny hydrogeologické vrty jsou v západní části lokality, převážně v blízkém okolí obce Dříteň. Pro část hydrogeologických vrtů je dostupná pouze informace o hloubce hladiny podzemní vody, chybí data z hydrodynamických zkoušek a kompletní analýzy chemického složení podzemních vod. V homogenním bloku se nenalézají žádné hydrogeologické vrty nebo studny. Nejbližší hydrogeologický vrt je v obci Nová Ves přibližně 1,1 km od západní hranice homogenního bloku. Ostatní hydrogeologické vrty leží ve vzdálenosti větší než 2 km od hranice homogenního bloku.

Hydraulická vodivost pararul zastižených hydrogeologickými vrty s hloubkou minimálně 15 m v okolí lokality Janoch je v rozmezí tří řádů od  $10^{-8}$  do  $10^{-5}$  m·s<sup>-1</sup>. Střední hodnota hydraulické vodivosti vrtů v pararule je  $1,5 \cdot 10^{-5}$  m·s<sup>-1</sup>.

Vrt JS799 v prostoru jaderné elektrárny Temelín (severně od lokality) dosáhl hloubky 700 m. Při vodních tlakových zkouškách (VTZ) na úsecích o délce 9 a 4 m v hloubkovém intervalu od 200 do 570 m převažovaly při zkušebních tlacích do 2 MPa VTZ se spotřebou pod citlivostí měřicího zařízení (uváděno  $< 10^{-11}$  m·s<sup>-1</sup>, Pazderník 1987). Při vyšších zkušebních tlacích se hydraulická vodivost pohybovala nejčastěji v rozsahu řádu  $10^{-9}$  a  $10^{-10}$  m·s<sup>-1</sup>. Propustnější poloha s hydraulickou vodivostí v řádu  $10^{-8}$  m·s<sup>-1</sup> byla zastižena v hloubce 541 až 545 m. V úseku 570 až 700 m byla hydraulická vodivost v řádu  $10^{-10}$  a  $10^{-11}$  m·s<sup>-1</sup> (delší testované úseky). Transmisivita hornin v úseku 200 až 700 m stanovená ze stoupací zkoušky byla  $1,8 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> (hydraulická vodivost  $3,6 \cdot 10^{-11}$  m·s<sup>-1</sup>). Při karotážních měřeních byla zjištěna místa ztrát podzemní vody ve vrtu v hloubce 435 až 436 m a 572 až 577 m. Pro tyto zóny byly stanoveny koeficienty transmisivity 2,3 respektive  $1,9 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup> (hydraulická vodivost úseků  $2,3 \cdot 10^{-7}$  m·s<sup>-1</sup> respektive  $3,8 \cdot 10^{-8}$  m·s<sup>-1</sup>). Vzhledem k tomu, že při vrtání vrtu JS799 byl používán výplach včetně bentonitu, je možné předpokládat zatěsnění řady puklin v průběhu vrtných prací před realizací hydrodynamických testů a karotážních měření. Reálné hodnoty hydraulické vodivosti hornin budou vyšší.



Obr. 9: Pozice lokality Janoch, homogenních bloků a hydrogeologických údajů v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS.

Zvodeň rychlého mělkého lokálního oběhu podzemních vod vzniká v prostředí kvartérních a neogenních sedimentů, zvětralinového pláště a svrchní části zóny přípovrchového rozvolnění krystalických hornin.

K infiltraci srážkových vod dochází v celé ploše kolektoru. Pro vody mělké zvodně je charakteristická především volná hladina, která konformně sleduje morfologii terénu a nachází se obvykle v hloubkách do 5 m pod terénem. Odvodnění zvodně probíhá obvykle v úrovni místních drenážních bází (místní vodoteče) drobnými prameny nebo pozvolnými výrony do povrchových toků.


Kvartérní kolektor je slabě propustný s nízkou transmisivitou. Sprašové hlíny jsou obecně velmi málo propustné. Bližší charakteristiku sprašových hlín archivní podklady neuvádějí.

Hlubkový dosah spojitě zvodně v kvartérních sedimentech a krystalických horninách dosahuje průměrné mocnosti 50 metrů. Propustnost hornin ve svrchní části této zvodně je průlinová, směrem do hloubky v zóně přípovrchového rozvolnění krystalických hornin převažuje propustnost puklinová.

Svrchní část profilu krystalinika (přípovrchová zóna rozvolnění a rozpukání vytvářející síť otevřených puklin) se vyznačuje vyšší transmisivitou v řádech  $10^{-6}$  až  $10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  a propustností, která klesá s hloubkou. Obecně nejnižší propustnost mají jílovité zvětrality.

V hlubších částech krystalinika dochází k postupnému svírání puklin tíhou nadložních hornin (litolitickým tlakem) a hydraulická vodivost se snižuje. Pomalý oběh podzemních vod probíhá výhradně po výrazných puklinách, zlomových pásmech a poruchových zónách. Hlubkový dosah vrtů na lokalitě Janoch a v jejím okolí je malý, pro zhodnocení



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

hydraulických vlastností a chemického složení podzemních vod hlubších částí krystalinických hornin v hloubkách plánovaného HÚ nejsou k dispozici žádná data kromě údajů z vrtu JS799.

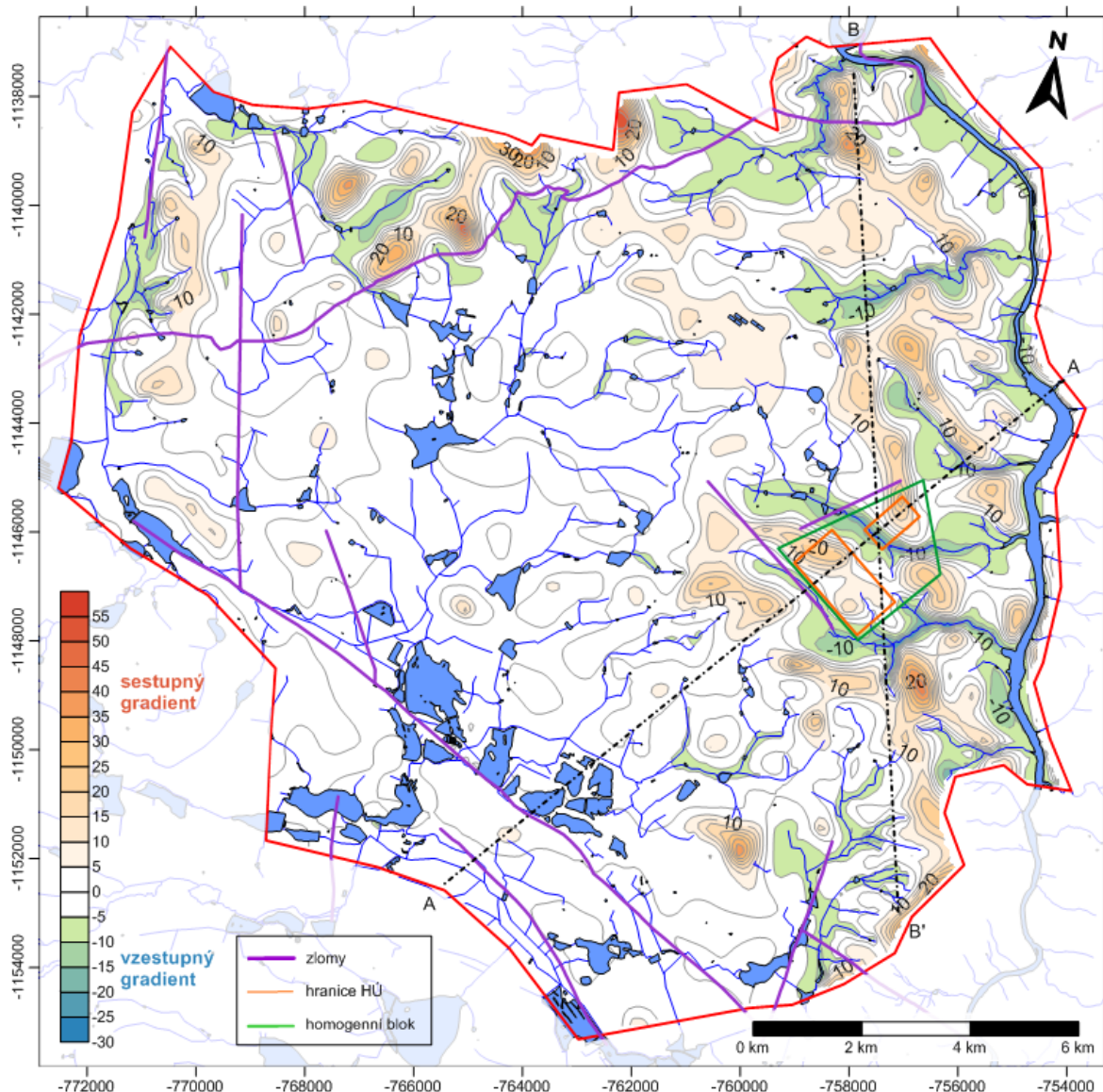
**Je možné předpokládat, že v hloubce 500 m pod zemským povrchem bude hydraulická vodivost hornin mimo poruchová pásma o tři až pět řádů nižší než v připovrchové zóně rozvolnění puklin a nebude zde vytvořena souvislá zvedeň.**

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

V konceptu modelu proudění byl přijat předpoklad volné hladiny podzemní vody v připovrchové vrstvě relativně mělce pod terénem. Od tohoto předpokladu se odvíjí rozložení tlakového pole v celé modelové oblasti. V zájmové oblasti lze obecně předpokládat standardní vertikální vývoj tlakového pole, kdy v infiltračních oblastech převládá sestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k poklesu hydraulické výšky) a v oblastech drenáže převládá vzestupné proudění (po vertikále dochází s hloubkou k nárůstu hydraulické výšky). Kromě morfologie terénu ovlivňují tlakové poměry odporové parametry horninového prostředí, jejichž heterogenita je v zájmovém území více než litologií dána tektonikou. V tektonických zónách, které efektivně propojují oblasti s různou hydraulickou výškou, dochází k deformaci pole daného primárně úrovní terénu.

Na Obr. 10 je dokumentován rozdíl modelové hladiny v připovrchové vrstvě a hladiny ve vrstvě odpovídající úrovni úložiště. Ze zobrazení je patrné, že zóny sestupného proudění (kladný rozdíl hladin) jsou soustředěny do vrcholových partií území. Oblasti záporného vertikálního tlakového gradientu (vedoucí k vzestupnému proudění) se nachází typicky v údolních partiích oblastí výrazného reliéfu.

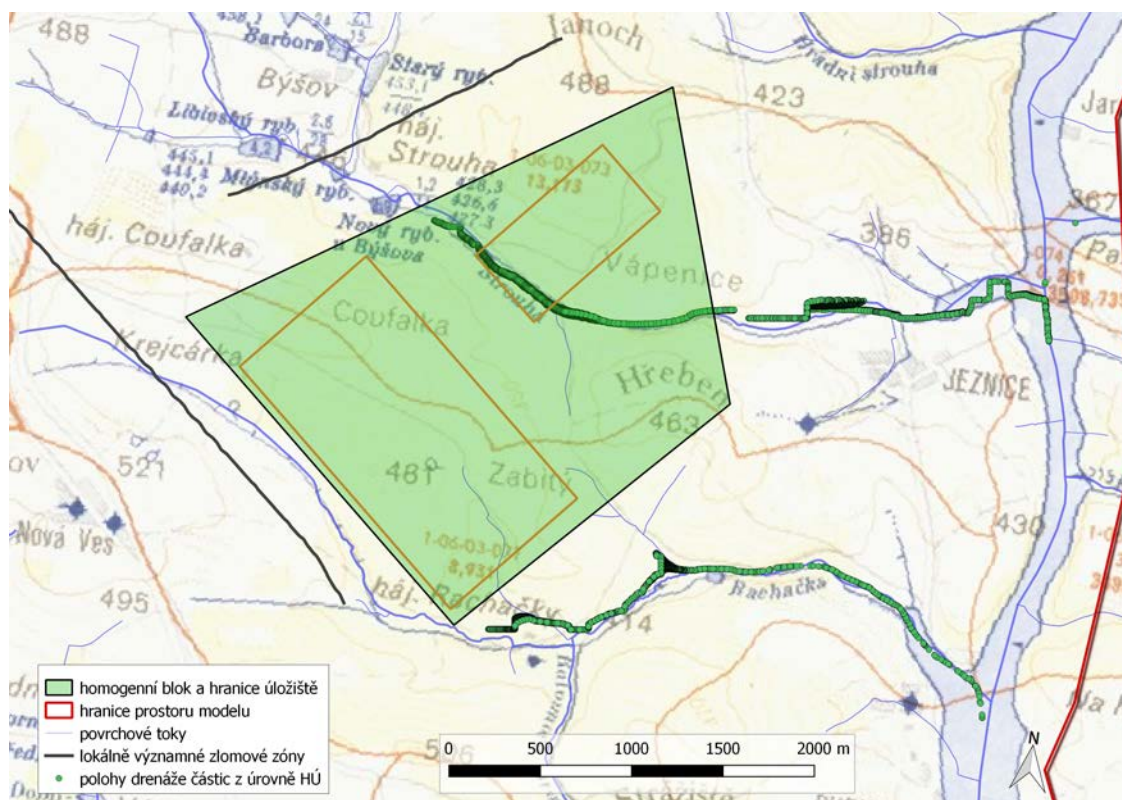
V rámci plochy homogenního bloku převažuje infiltrace podzemní vody, zejména v jeho jižní části. Nejvýraznější drenážní oblasti jsou v okolí toků Strouha a Rachačka. Jižně od homogenního bloku se rozkládá oblast vzestupného gradientu v oblasti toku Rachačka, jež je v horní části toku predisponován zlomovou linií druhé kategorie směru SZ-JV. Druhá výrazná oblast vzestupného gradientu se nachází nad plochou homogenního bloku v okolí toku Strouha. V ploše HÚ převládá charakter sestupného proudění, zastoupeno je na 82 % z celkové plochy obou sekcí HÚ. Tlaková úroveň hladiny podzemní vody se v prostoru úložiště pohybuje v rozmezí 430 až 480 m n. m.



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

Drenáž podzemní vody z horninového masivu je zprostředkována přípovrchovou vrstvou zvětralin a rozpojení puklin do povrchových toků. Místa drenáže hlubokého oběhu podzemní vody závisí na výrazně heterogenních a anizotropních odporových parametrech horninového prostředí. K drenáži z masivu dochází v místech napojení vodivých puklin do prostoru s vysokou hydraulickou vodivostí svrchní zvětralinové zóny. Ta je podél drenážních toků zastoupena sedimenty kvartérního stáří.

Předpokládané drenážní oblasti pro HÚ projektované v úrovni -38 až -13 m n. m. byly stanoveny na základě modelu proudění podzemní vody s využitím metody particle tracking. Místa drenáže částic z úrovně úložiště jsou znázorněna na Obr. 11.



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

Drenáž podzemní vody z prostoru HÚ je realizována dvěma levostrannými přítoky Vltavy a také samotným tokem Vltavy. Samotná drenáž je do značné míry ovlivněna charakterem přivrchné vrstvy zvětralin a kvartérních uloženin podél toků. Vliv zlomových linií, vzhledem k jejich poloze vůči dominantnímu směru pohybu částic, naopak modelové výsledky nepředpokládají. Dominantním recipientem podzemní vody z prostoru HÚ je povodí toku Strouha, do kterého je drénováno 62 % rozlohy HÚ. Dalším drenážním tokem je řeka Rachačka, do které proudí podzemní voda z jižní části prostoru HÚ. V obou případech nejsou oblasti drenáže soustředěny, ale jsou rozprostřeny podél os drenážních toků.

Drenážní oblast na toku Rachačka se rozprostírá od jižní hranice homogenního bloku, kde se nachází ve vzdálenosti přibližně 250 m od hranic HÚ, až k zaústění do Vltavy, kde jsou nejvzdálenější polohy drenáže ve vzdálenosti 2500 m od HÚ. Z hlediska vertikální polohy dochází k drenáži do potoku Rachačka v rozmezí mezi 372 až 445 m n. m.

Na Strouze, která drénuje vodu z celého prostoru úložné sekce 2 a severní části sekce 1, se rozprostírá oblast drenáže od Nového rybníka u Býšova a zasahuje opět až k soutoku s Vltavou. Oblast drenáže tokem Strouha tak probíhá nad plánovaným umístěním HÚ ve střední úrovni 410 m n. m. a je rozprostřena podél toku v celkové délce 3500 m.

V blízkosti zaústění Strouhy do Vltavy se nachází oblast, kde je podzemní voda drénována vlastním tokem Vltavy. Zde dochází pouze k odvodu minoritního množství podzemní vody z prostor HÚ (cca 0.7 %).

Výškové úrovně drenáže HÚ (označené fialovými šipkami) jsou dokumentovány ve schématických (10krát převýšených) řezech na Obr. 12.



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

### B.2.3 Rychlost a poměry proudění podzemní vody v lokalitě Janoch

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

- Hodnotou tlakového pole, tj. zejména rozdílem výšky terénu v infiltrační a drenážní oblasti (diskutováno výše)
- Bilancí množství infiltrační vody přecházejících do hlubších vrstev
- Vlivem vodivých poruchových zón
- Propustností horninového masívu

#### B.2.3.1 Bilance množství podzemní vody

Bilanční údaje pro zájmovou lokalitu Temelín jsou údaje z hydrogeologického modelu v detailním měřítku založené na plošném rozložení srážkového normálu (vyhodnocení ČHMÚ). Průměrná hodnota infiltrace v zájmové modelové oblasti Temelín je  $1.5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  (Krásný et al., 1982). Z celkově infiltrovaného množství  $372.5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  proudí 96.5 % podzemní vody pouze v přívodní vrstvě zvětralin, rozpojení puklin a kvartéru. Z přívodní vrstvy do hlubších partií horninového masívu (resp. druhé modelové vrstvy) přetéká v ploše modelové oblasti  $13 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Suma přítoků do vymezených úložných prostor HÚ je modelem stanovena na  $1,93\cdot 10^{-2} \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , specifický průtok přes půdorysnou plochu HÚ tak činí  $9,41\cdot 10^{-3} \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ .

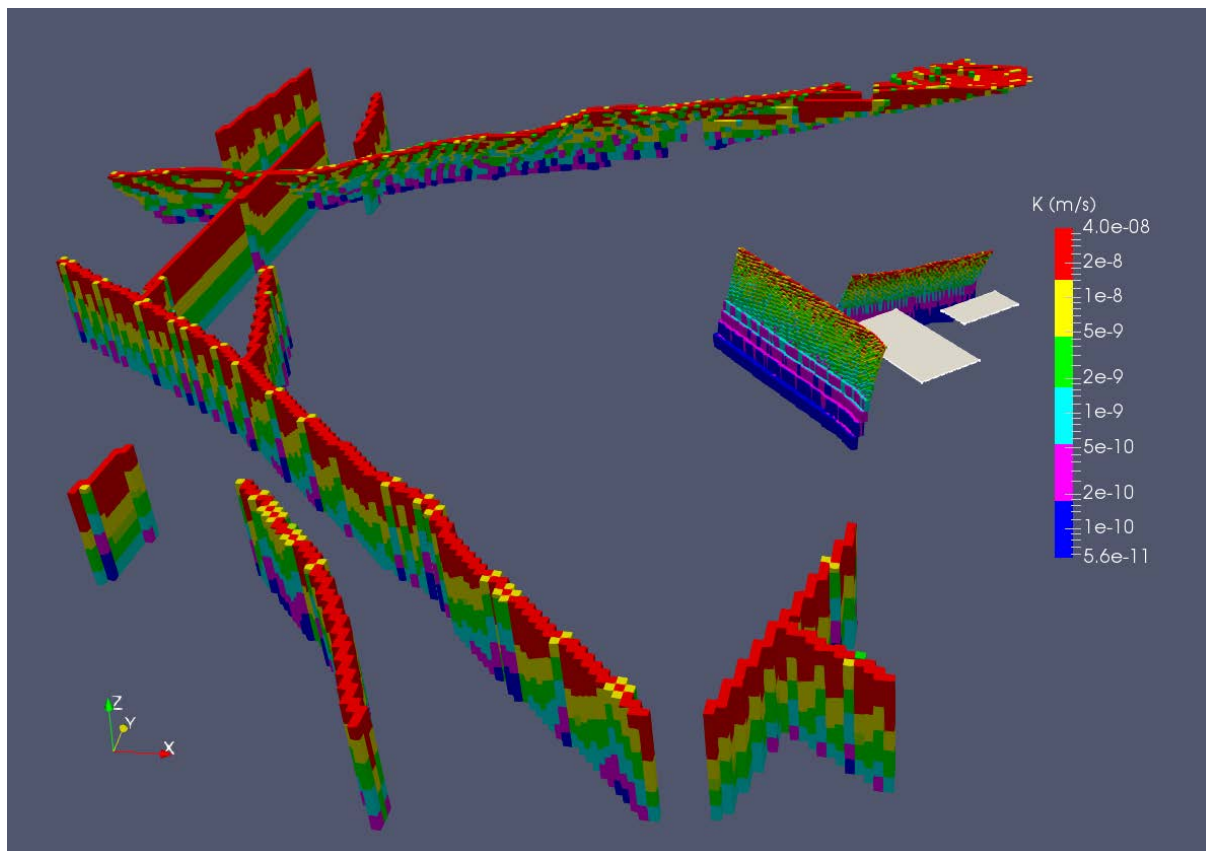


### B.2.3.2 Vliv poruchových zón na poměry proudění

Koncepce proudění podzemní vody v prostředí hydrogeologického masivu předpokládá existenci pásem zvýšených hydraulických vodivostí 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.

Regionálně významné zlomy (hlubocký, zbudovský a radomilický) se nachází v relativně velké vzdálenosti od prostor předpokládaného HÚ (cca 5 km a dále) západně až jihozápadně od hranic homogenního bloku (modelová hydraulická vodivost poruchových zón je uvedena na Obr. 13).

V bezprostřední blízkosti homogenního bloku (nejblíže 300 m) se nachází dva lokálně významné zlomy, do prostoru hlubinného úložiště ani homogenního bloku však nezasahují. Přesto zejména zlom 2. řádu probíhající JZ od homogenního bloku představuje potenciální preferenční cestu pro proudění z infiltrační oblasti ve vrcholových partiích masivu do drenážních partií toku Rachačka a zároveň potenciálně propojuje hlubší a mělké partie masivu. Hydraulické vlastnosti těchto pásem mají vliv na proudění v okolí HÚ. Lze navíc předpokládat, že síť současně uvažovaných poruchových zón není zcela kompletní. Zlomová pásma mají, na základě přijaté koncepce poklesu hydraulické vodivosti porušených pásem s hloubkou, v úrovni potenciálního HÚ hydraulickou vodivost cca  $1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pro pásma 1. řádu a  $2 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pro pásma 2. řádu.



Obr. 13: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón

### B.2.3.3 Propustnost horninového masivu

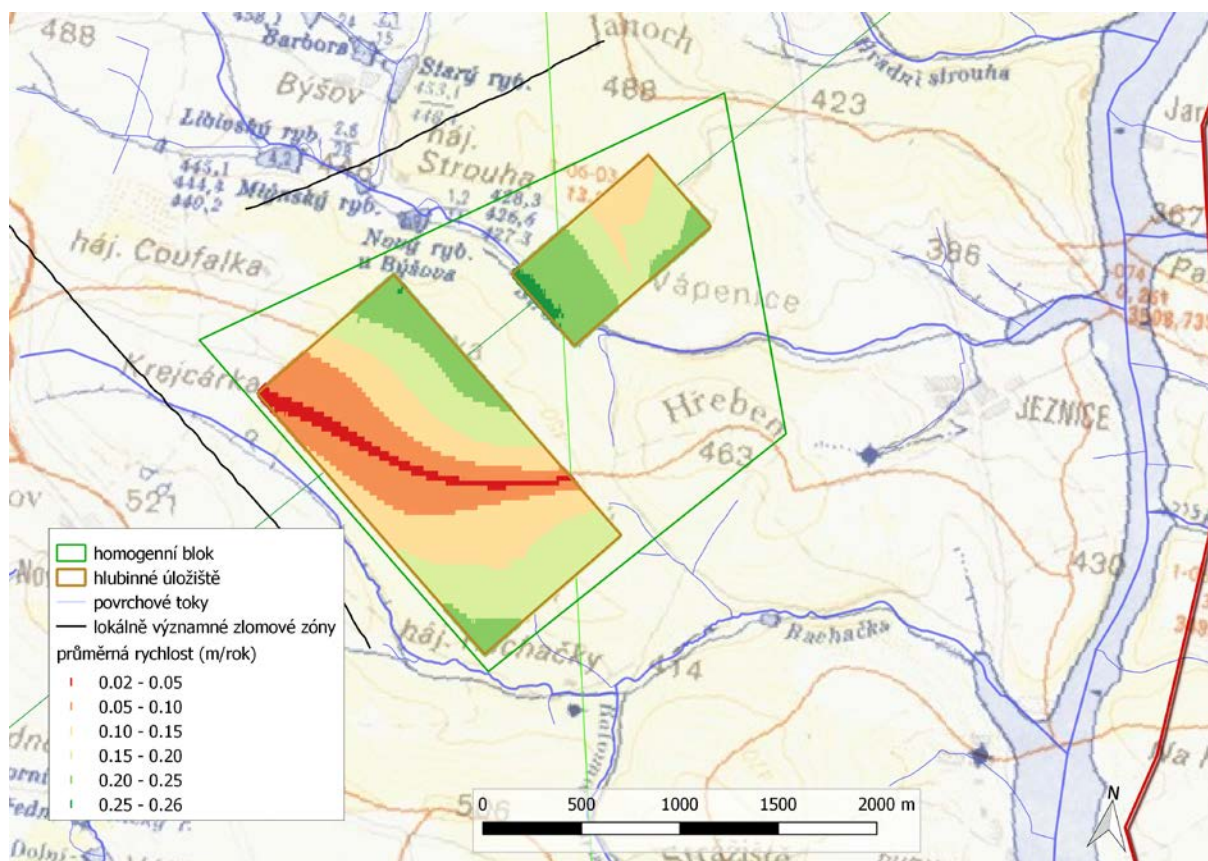
V horninovém prostředí lokality Temelín jsou na základě přijaté koncepce vymezeny dvě dílčí části s rozdílným charakterem propustnosti.

Svrchní část horninového profilu tvoří málo mocné sedimentární horniny, aluvium a svrchní vrstva hydrogeologického masívu postižená intenzivním rozpukáním a vyšší mírou rozpojení puklin. Propustnost této části prostředí lze popsat jako puklinově - průlinovou. Hydraulická vodivost v přípovrchové vrstvě se podle předpokladů pohybuje v rozsahu  $1 \cdot 10^{-7}$  až  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , přičemž i v přípovrchové vrstvě lze předpokládat pokles hydraulické vodivosti s hloubkou. Obecně lze zónu intenzivnějšího rozpukání odhadnout do 80 až 100 m.

Spodní část profilu tvoří krystalinické horniny, které lze z hydrogeologického hlediska popsat jako heterogenní anizotropní puklinový kolektor. Proudění podzemní vody je v tomto prostředí omezeno na síť vzájemně propojených ploch diskontinuit, které oddělují z makroskopického měřítka prakticky nepropustné bloky. Na základě analogií lze předpokládat, že intenzita puklinového porušení obecně s hloubkou klesá a větší pravděpodobnost hydraulicky vodivých zón je v oblastech poruchových pásem. Tuto koncepci zohledňuje i hydraulický model, kde je uvažován pokles hydraulické vodivosti v masivu s hloubkou jak v oblastech bez identifikovaných poruchových zón, tak v těchto zónách. 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  $7.7 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  –  $1.1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . V blízkém okolí homogenního bloku (do vzdálenosti 300 m) je charakter nízkých vodivostí horniny zachován, výjimku tvoří čočka mramoru – erlanového stromatitu, jehož hydraulická vodivost v úrovni HÚ převyšuje okolní pararuly o více než o řád.

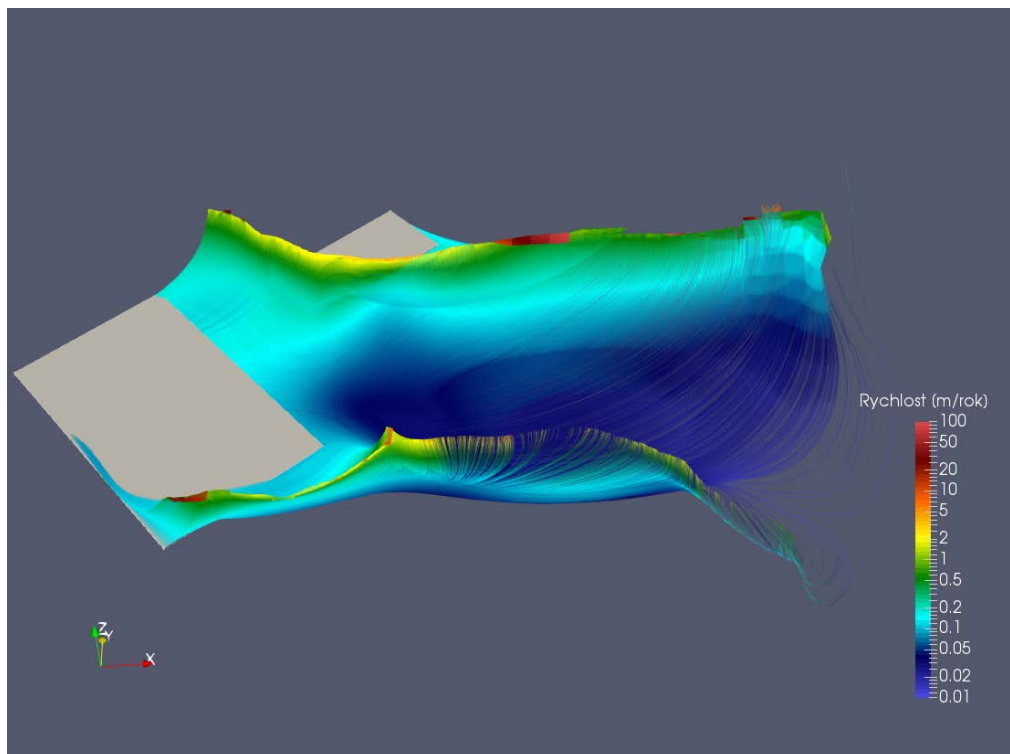
Rozložení průměrných rychlostí proudění z prostoru HÚ do drenážních toků v detailním modelu je uvedeno na Obr. 14. Nejvyšší průměrné rychlosti proudění jsou vypočteny v místech infiltračních oblastí. Nejnižší průměrné rychlosti jsou naopak stanoveny při západní hranici sekce 3, s minimy pohybujícími se okolo 10 cm za rok.





Obr. 14: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok-1] z prostoru HÚ v modelu proudění

Skutečná rychlost proudění se liší v závislosti na hydraulickém odporu prostředí a hydraulickém gradientu. V Obr. 15 jsou vykresleny trajektorie particle trackingu z oblasti HÚ s barevným rozlišením podle okamžité vypočtené rychlosti (pohled od JV). Z obrázku je patrné, že proudění v přivrchové zóně může dosahovat rychlostí řádově desítek metrů za rok, zatímco částice, které sestupují do větších hloubek horninového masivu, se zde pohybují rychlostmi maximálně desítek centimetrů za rok. Zvýšené rychlosti se projevují ve svrchních vrstvách. Tektonicky predisponované zóny se nachází proti směru lokálního gradientu posuzované oblasti a na pohyb částic z HÚ k drénujícím tokům nemají výraznější vliv.



Obr. 15: Trajektorie proudění z prostoru HÚ, do drenážních oblastí, okamžité modelové rychlosti proudění

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

Hydrogeologický model pro lokalitu Temelín 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 tlakového proudění, rychlosti proudění a bilance podzemní vody na úrovni stávajících znalostí představuje relevantní nástroj použitelný pro hydrogeologické hodnocení možnosti vybudování HÚ v této lokalitě.

#### B.2.4 Celkové expertní zhodnocení hydrogeologických charakteristik lokality

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

Je možné předpokládat, že u řady poruch (zlomů) vodivých v mělkých částech masivu bude se zvětšující se hloubkou docházet ke svírání puklin a zlomových ploch a jejich hydraulická vodivost bude klesat až na hodnoty blízké okolnímu horninovému prostředí. Role těchto zlomů v hloubce úložiště bude již minimální. U některých zlomů s ověřenou či předpokládanou HG funkcí není znám sklon a ani jeho směr, u dalších jsou tyto odvozovány od měření na povrchových výchozech. Skutečný průběh zlomů s hloubkou může být odlišný.

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

*Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Janoch*

	<b>Janoch</b>
<b>střední úroveň HÚ [m n.m.]</b>	<b>-25</b>
<b>plocha HÚ [km<sup>2</sup>]</b>	<b>2,05</b>
<b>Tlakové poměry proudění</b>	
drenážní báze - horizontální vzdálenost od hranice HÚ [km]	0,0 - 2,5
drenážní báze - vertikální vzdálenost od úrovně HÚ [m]	400 - 470
počet drenážních toků	1
počet drenážních povodí	Strouha (62 %)
dominantní drenážní tok [% plochy HÚ]	Vltava (100 %)
dominantní drenážní povodí [% plochy HÚ]	87
sestupná vertikální složka proudění [% plochy HÚ]	
<b>Bilance množství podzemní vody</b>	
průměrná infiltrace ze srážek [l·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> ]	1,93·10 <sup>-2</sup>
průtok přes prostor HÚ [l·s <sup>-1</sup> ]	9,41·10 <sup>-3</sup>
specifický průtok v prostoru HÚ [l·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> ]	
<b>Vliv poruchových zón</b>	
maximální propustnost zón do 1 km od hranice HÚ [m·s <sup>-1</sup> ]	0
počet zón 1. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	2
počet zón 2. řádu do vzdálenosti 1 km od hranice HÚ	0
počet zón ovlivňující proudění mezi HÚ a drenáží	
<b>Propustnost horninového masivu</b>	
v prostoru HÚ [m·s <sup>-1</sup> ]	7,7·10 <sup>-10</sup> - 1,1·10 <sup>-9</sup>
izolační část masivu do vzdálenosti 300 m od HÚ [m·s <sup>-1</sup> ]	3,3·10 <sup>-10</sup> - 2,1·10 <sup>-8</sup>
<b>Rychlost proudění podzemní vody</b>	
průměrná z prostoru HÚ k drenáži [m·rok <sup>-1</sup> ]	0,04 - 0,24
	0,06 - 0,17

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 příporchových vrstev horninového prostředí a dobou zdržení kontaminantu v geologickém prostředí, která je dána rychlostí pórové vody a retardací kontaminantů v prostředí. Při výpočtu celkové délky transportní cesty je třeba vycházet ze součtu jednotlivých úseků celkové cesty na základě výsledků detailních, hydrogeologických a transportních modelů a určení pravděpodobných transportních cest.


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

#### B.3.1.1 Doba toku nesorbujícího kontaminantu

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

V Tab. 6 jsou uvedeny délky transportních cest a doby zdržení. Minimální délka cesty je 467 m, její medián 1659 m. Minimální doba zdržení je 1455 let, její medián 8468 let.

Voda protékající blokem potenciálního HÚ drénuje do jediného povodí, Vltavy.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

	Délka cesty [m]	Doba zdržení [roky]
Minimum	467	1455
Maximum	6855	391952
Q1	1268	4821
Q2 (medián)	1659	8468
Q3	2142	16665
Aritmetický průměr	1822	17093
1% kvantil	504	1571
5% kvantil	646	1843
95% kvantil	3648	59036
99% kvantil	4993	158432

### 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.

Schopnost horniny zpomalit migraci radionuklidů difúzí do horniny, kterou obvykle kvantifikujeme pomocí hodnoty difúzního koeficientu  $D_e$ , je ovlivněna především:

- porozitou horniny (přímá závislost mezi difuzivitou a porozitou však není zcela prokázána);
- formou radionuklidu (speciace).

Horninové vzorky z lokality Janoch bohužel nebyly k dispozici pro doprovodný experimentální program. Hlavním horninovým typem lokality Janoch jsou migmatitizované biotické pararuly. Jde o metamorfované horniny s poměrně vysokým obsahem biotitu (až nad 25%). Ze zkušenosti z práce se vzorky metamorfovaných hornin z PVP Bukov (viz Bukovská a Verner 2017) a vzorky granitoidů z ostatních potenciálních lokalit pro umístění HÚ, lze předpokládat, že hodnoty difúzního koeficientu by se mohly pohybovat v podobném rozmezí jako hodnoty  $D_e$ , doporučené v publikaci Havlové et al. (2017) pro použití v bezpečnostních výpočtech, k nimž se blíží i hodnoty pro migmatity z PVP Bukov. Metamorfované horniny obvykle vykazují nižší hodnoty difúzního koeficientu  $D_e$ , a to zejména pro anionty (aniontová exkluze).



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Tab. 7: Doporučené hodnoty difúzních koeficientů pro horniny Českého masivu (Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky migmatitu z lokality PVP Bukov (Bukovská a Verner 2017).

Radionuklid	Doporučené hodnoty $D_e$ [ $10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ]	Experimentální hodnoty $D_e$ [ $10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ] pro migmatit PVP Bukov (lokality Kraví hora; Bukovská a Verner 2017)
	Havlová et al. (2017)	
$^3\text{H}$	3,1	2,8
$^{36}\text{Cl}$	0,26	0,85
$^{125}\text{I}$	0,26	0,56

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

Území lokality Janoch spadá dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. do hydrogeologického rajonu 6320 Krystalinikum v povodí Střední Vltavy (útvary podzemních vod 63201 Krystalinikum v povodí Střední Vltavy – jižní část) a 2160 Budějovická pánve (útvary podzemních vod 21600 Budějovická pánve).

Krystalinikum v povodí Střední Vltavy je zde tvořeno dvěma hlavními hydrogeologickými jednotkami:


- pararulami až migmatizovanými pararulami monotónní skupiny moldanubika;
- krystalickými vápenci až erlany monotónní skupiny moldanubika.

Hydrogeologickou jednotku Budějovické pánve zde tvoří pouze relikty neogenních sedimentů (mydlovarské a ledenické souvrství).

U podzemních vod z hydrogeologických vrtů (hloubky do 100m) v částech tvořených pararulami a migmatity převládá hydrochemický typ Ca-HCO<sub>3</sub>, výjimečně byly zaznamenány výskyty podzemních vod s obsahy Mg a Na nad 40 meq %. pH je v rozmezí od 5,3 do 7,7 a celkový obsah rozpuštěných látek se pohybuje od 129 do 460 mg·l<sup>-1</sup>.

Podzemní vody z mělkých zdrojů jsou nejčastěji smíšených typů Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> a Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> a zastoupeny jsou i síranové vody Ca-SO<sub>4</sub>. U mělkých podzemních vod z pramenů a drenáží zvýšené obsahy sodíku a hořčíku zaznamenány nebyly. pH mělkých podzemních vod je v rozmezí od 5,5 do 7,7, celkový obsah rozpuštěných látek se pohybuje nejčastěji mezi 100 a 400 mg·l<sup>-1</sup>.

Erlany na lokalitě reprezentuje pouze pramen Rachačka s podzemní vodou typu Ca-HCO<sub>3</sub>.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

Tab. 8: Rozpustnosti screeningových radionuklidů ve vodě lokality Janoch

Prvek	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l <sup>-1</sup> ]
U	Becquerelite	$3,35 \cdot 10^{-5}$
Np	NpO <sub>2</sub> (am,hyd)	$1,20 \cdot 10^{-9}$
Tc	TcO <sub>2</sub> :1.6 H <sub>2</sub> O(s)	$4,41 \cdot 10^{-9}$
Se	Se(mono)	$5,44 \cdot 10^{-12}$
Ni	Ni(OH) <sub>2</sub> (beta)	$3,77 \cdot 10^{-4}$

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

### B.3.3 Hodnocení ředění

Pokles koncentrace radionuklidů v důsledku mísení s nekontaminovanými vodami na cestě od úložiště do přípovrchových vrstev byl na základě výstupů modelu Flow123D kvantifikován pomocí parametru ředění. Výsledky jsou uvedeny v následující Tab. 9.

Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá povodí drenáže

Povodí	Ředění proti maximu [-]	Ředění proti průměru [-]
Vltava	3,68E-03	1,44E-02

### B.3.4 Celkové expertní zhodnocení transportních charakteristik

Transportní charakteristiky lokality Janoch 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 Janoch. V následující Tab. 10 jsou shrnuty vybrané transportní parametry.

Tab. 10: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality Janoch (Havlová et al., 2018)

Parametr	Vztaženo k	Hodnota
Délka transportních cest (medián)	Pro polygon HÚ	1 659 m
Doba zdržení (medián)	Pro polygon HÚ	8 468 let
Hodnoty ředění pro jednotlivá drenážní povodí (vztažená k maximální koncentraci) - Vltava	3,68E-03	
Složení podzemní vody na lokalitě (O)	Na základě dostupných informací o lokalitě lze předpokládat, že podzemní voda nemá v hloubce 500 m extrémní charakter (vysoká salinita, vysoký obsah komplexotvorných látek)	
Hodnoty difúzního koeficientu D <sub>e</sub>	<sup>3</sup> H	3,1

Parametr	Vztaženo k	Hodnota
pro vybrané RN ( $\times 10^{13}$ [m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ])		
	<sup>36</sup> Cl	0,26
	<sup>125</sup> I	0,26
Porozita [%]		0,4
Vyhodnocení míry sorpce pro vybrané RN*	U(VI)	Nízká (O)
	Np	Vysoká (O)
	Tc	Nízká (O)
	Se	Nízká (O)
	<sup>137</sup> Cs	Střední (O)
	<sup>90</sup> Sr	Nízká (O)
Obsah tmavých minerálů v hornin (modelové složení hornin na lokalitě)	Slídy	až 29 %
<b>Rozpustnost radionuklidů v podzemní vodě</b>	Fáze limitující rozpustnost	Rozpustnost [mol.l <sup>-1</sup> ]
U	Becquerelite	
Np	NpO <sub>2</sub> (am,hyd)	
Tc	TcO <sub>2</sub> :1.6 H <sub>2</sub> O(s)	
Se	Se(mono)	
Ni	Ni(OH) <sub>2</sub> (beta)	

## B.4 Stabilita lokalit

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

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

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


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

### B.4.1 Seismická stabilita

Studie vychází z rešerše historických zemětřesení pro 7 lokalit, která byla prezentována ve zprávě Kalába et al. (2015). Její závěry jsou platné i pro lokalitu ETE–jih a to z nejbližších ostatních hodnocených potenciálních lokalit. Nejbližší lokalita k území je potenciální lokalita Magdaléna (cca 35 km).

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

Neodeterministická analýza pro lokalitu ETE–jih nebyla v souladu s aktuálním požadavkem zadavatele zpracována. V úvahách o hodnotách maximálního horizontálního zrychlení (PGA) při zatížení historickými zemětřeseními lze orientačně vycházet z výše uvedených blízkých lokalit. Pro lokalitu ETE–jih je na povrchu  $PGA = 0,0436 \text{ m.s}^{-2}$  ( $0,0358 \text{ m.s}^{-2}$  přepočteno do hloubky 500 m), které odpovídá hodnotám zemětřesení ze severního Rakouska. Výsledek výpočtu PGA pro účinek aktuálních blízkých zemětřesení v nové lokalitě nelze odhadnout, neboť je velmi závislý na řadě místních parametrů, a to jak horninového prostředí, tak i parametrů ohniska zemětřesení.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Pro lokality jaderných elektráren byly zpracovány mimo jiné podrobné geologicko-tektonické mapy/studie, ze kterých lze stanovit zvýšené riziko geofyzikálních a geodynamických jevů. Podrobnější seismickou studii pro lokalitu ETE–jih má smysl realizovat až po rozhodnutí o detailním studiu v těchto lokalitách.

**Na základě výše uvedených poznámek důvodně předpokládáme, že na lokalitě jaderné elektrárny ETE–jih není z hlediska seismicity překročeno žádné z vylučujících kritérií.**

#### **B.4.2 Geodynamická stabilita**

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

Zhodnocení geodynamické stability vychází z metodiky použité ve studii erozní stability perspektivních lokalit HÚ VJP v ČR (Hroch a Pačes 2015) a data ze Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika z hlediska potenciální vhodnosti pro umístění HÚ ETE–jih (Navrátilová et al. 2017). K vyhodnocení geodynamické charakteristiky zájmového území byla použita základní 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. Do hodnocení byla zohledněna dostupná data o rychlosti eroze na základě historických chemických analýz a datování.

Území ETE–jih se nachází v povodí řeky Vltavy, západní část území je odvodňována Temelínským a Dříteňským potokem do řeky Blanice a následně do Vltavy, jižní část levostrannými přítoky Bezdrevského potoka. Východní část území je odvodňována samotným tokem Vltavy a jejími bočními přítoky. V oblasti lze vymezit dvě hlavní úrovně zarovnaných povrchů. V oblasti rozvodí se v nadmořské výšce cca 500 m n. m. nachází vyšší úroveň, která je vyvinuta převážně na horninách moldanubika. Nižší úroveň zarovnaného povrchu je vázána na povrch Českobudějovické pánve v nadmořských výškách 400 až 450 m n. m. Obě úrovně jsou odděleny mírně ukloněnými ústupovými svahy. Povrch zarovnaných povrchů je charakteristický plochým reliéfem, který není vystaven intenzivním projevům zpětné eroze. Na vyšší úrovni zarovnaného povrchu, která je vázána na horniny moldanubika, jsou často vyvinuty zbytky fosilních zvětralin, na nižší úroveň je vázán výskyt křídových a tercierních sedimentů představující výplň českobudějovické pánve (Navrátilová et al. 2017). Na severozápadě území je v horninách podolského komplexu vyvinut zvlněný povrch etchplainu, který rovněž není postižen intenzivními projevy zpětné eroze.

Lokální erozní báze pro západní a jihozápadní oblast představuje povrch českobudějovické pánve v nadmořské výšce cca 400 až 450 m n. m, pro východní část úroveň povrchu nivy řeky Vltavy v nadmořské výšce cca 350 až 360 m n. m.

Projevy zpětné hloubkové eroze se uplatňují ve východní části území vázané na říční údolí Vltavy a její boční přítoky s erozními svahy. Tyto svahy jsou charakteristické vyššími úklony v úpatních částech, výraznými horními hranami, které tvoří zřetelné morfologické rozhraní se zarovnanými povrchy a přítomností erozních údolí s příčným profilem tvaru písmene V a s omezeným výskytem údolních akumulací. V uzávěrech erozních údolí jsou vyvinuta čela



zpětné eroze projevující se jako výrazné obloukové uzávěry často s výraznou hranou (Navrátilová et al. 2017).

Oblasti odvodněné přítoky Blanice a Bezdrevského potoka (západní a jihozápadní část území) nevykazují výraznou intenzitu zpětné eroze, svahy zpravidla dosahují malých úklonů a údolí mají většinou charakter mělkých otevřených depresí.

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

Na základě studia výškového rozdílu peneplenizovaných povrchů a zchovalých fluvialních sedimentů uvádějí Balatka a Kalvoda (2008) rychlosti zahlubování v průběhu pleistocénu 0,02–0,86 mm/rok. Korelací labských a vltavských teras odhadují Tyráček et al. (2004) průměrnou rychlost výzdvihu centrální části Českého masívu ve spodním pleistocénu na 0,04 mm/rok a během středního a svrchního pleistocénu až 0,15 mm/rok.

Dosavadní studie vycházející z metod založených na datování pomocí izotopů  $^{10}\text{Be}$  a  $^{26}\text{Al}$  jsou dostupné jen z širší oblasti Českého masívu. Z jihozápadního okraje Českého masívu jsou odhady rychlosti eroze 0,023–0,027 mm/rok (Schaller et al. 2001), z oblasti Šluknovského výběžku jsou v průběhu středního a svrchního pleistocénu odhady eroze stanoveny na 0,025–0,027 mm/rok (Nývlt 2008). Uvedené oblasti, kde byly tyto metody využity, sice nevykazují identické geologické charakteristiky se studovanou lokalitou, ale jsou umístěny v podobné geomorfologické pozici. Na lokalitě lze z tohoto důvodu očekávat podobné rychlosti eroze a denudace, a proto jsou tyto údaje v hodnocení lokalit zohledněny. Z výše uvedených údajů vyplývá, že hodnoty vertikálních pohybů zemského povrchu, resp. **rychlosti zahlubování drenážního systému, nepřekračují hodnoty 1 mm/rok pro danou lokalitu.**

Další 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 masívu udáván údaj 1,1 mm/rok. Podobné hodnoty, rychlost výzdvihu 1 mm/rok, uvádějí z východního okraje Českomoravské vrchoviny Schenková a Kottnauer (2009). Z hlediska vertikálních pohybů zemské kůry spadá zájmové území i jeho širší okolí do oblasti s poklesovou tendencí, kde se velikost poklesu pohybuje do 0,4–0,5 mm/rok. Ve stanici Vacov (cca 45 km z. od studovaného území) byly změřeny hodnoty relativních rychlostí vertikálních pohybů 0,68 mm/rok a horizontální složky pohybů do 0,4 mm/rok (Schenk et al. 2009).

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

V reliéfu se uplatňuje několik lineárních prvků, které mohou být vázány na křehkou tektoniku. Tyto prvky jsou zřetelné především v erozním reliéfu údolí Vltavy. Zde se uplatňuje několik paralelně uspořádaných svahů s přímým průběhem SSZ–JJV. Boční přítoky Vltavy vytvářejí přímé úseky erozních údolí se směry SZ–JV. V hlavním říčním údolí Vltavy se podřízeně

uplatňují přímé úseky SSV–JJZ. Západně od Dívčic probíhá nevýrazný svah severojižního směru, který částečně koresponduje s omezením výplně českobudějovické pánve vůči horninám krystalinika. Uvedené geomorfologické lineární prvky, nevykazují indikace mladých tektonických pohybů a svahy vázané na křehké struktury jsou modifikovány dlouhodobými denudačními procesy.

Litologická rozhraní se navzdory reologickému kontrastu jednotlivých litotypů projevují v reliéfu pouze omezeně. Většina území má charakter plošinatého reliéfu a kontakty mezi jednotlivými litologickými typy nejsou většinou zřejmé. Pouze západně od Dívčic částečně koresponduje průběh nevýrazného přímého severojižního svahu s kontaktem sedimentů českobudějovické pánve a pararul moldanubika. Zřetelnými svahy jz.–sv. směru se projevuje kontakt hornin podolského komplexu na severozápadě a pararul na jihovýchodě. Výše uvedená litologická rozhraní mohou být však zvýrazněna prvky křehké tektoniky.

**Svahové deformace** omezeného plošného a hloubkového rozsahu byla zjištěna pouze v údolí toku Rachačka (Navrátilová et al. 2017). Na skalních výchozech se mohou vyskytovat pouze plošně omezená skalní řícení. **Výše uvedené svahové nestability bezpečnost budoucího HÚ neohrožují.**

#### 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 ETE–jih po dobu budoucích 100 tisíc let a vychází ze studie Klimatická stabilita (Nývlt a Dobrovolný 2015). Budoucí stav klimatického systému není v dlouhodobém časovém horizontu predikovatelný. Proto studie zahrnuje definici hlavních prvků klimatického systému a řídicích parametrů, které klima ovlivňují na různých časových škálách včetně zhodnocení dřívějšího vývoje klimatu. Další část zhodnocuje tři limitní scénáře budoucího vývoje klimatu vycházející z jeho dřívějšího chodu. Scénáře zahrnují i) maximální oteplení a zvlhčení klimatu známé z kvartérních interglaciálů, ii) maximální ochlazení a vysušení klimatu známé z kvartérních glaciálů a iii) z modelového vývoje budoucího chodu klimatu v důsledku antropogenně změněných podmínek. Scénáře zároveň zhodnocují možnost ovlivnění lokality HÚ ETE–jih 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 ppmv je nesrovnatelně vyšší než kdykoliv během posledního miliónu let a obdobné koncentrace byly v zemské atmosféře naposledy ve středním pliocénu před ~3 milióny lety. Budoucí výhled IPCC (2013) dokonce počítá v nejbližších stoletích s koncentrací CO<sub>2</sub> >500 ppmv i vyššími. Pokud budou antropogenně zvýšené hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> (>300 ppmv) v troposféře přetrvávat, dojde k úplnému roztátí Grónského ledovcového štítu a obecně budou na celé severní polokouli během následujících 100 tisíc let probíhat bezledovcové podmínky. Stejně tak pravděpodobnost vzniku permafrostu a jeho vlivu na hluboký oběh podzemních vod je velmi malá. Detailní průběh počasí a klimatu je na škále 100 tisíc let nepredikovatelný. Jediné, co lze s větší jistotou říci, je značné zvýšení variability klimatu v prostoru střední Evropy.

Z pohledu scénářů založených na chodu klimatu v posledním miliónu let by mohl budoucí vývoj vypadat následovně: v případě ochlazení a vysušení klimatu, tedy přirozeného nástupu glaciálních podmínek, které by mohly na severní polokouli začít za 40–50 tisíc let a přetrvat dalších 50–60 tisíc let, nedojde k dostatečnému poklesu insolace pro to, aby tyto podmínky klimaticky odpovídaly vrcholným středopleistocenním glaciálům. Předpokladem ke vzniku glaciálních podmínek v nejbližších 100 tisících letech je snížení koncentrace CO<sub>2</sub> v troposféře na předindustriální úroveň (<280 ppmv). V glaciálních podmínkách by se v nezaledněných oblastech střední Evropy vytvořil permafrost dosahující na lokalitě ETE–jih 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 ETE–jih 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 holsteínu (MIS 11), které lze považovat za relevantní pro budoucí vývoj klimatu během nejbližších 50 tisíc let, dojde k úbytku nebo rozpadu plošného zalednění severní polokoule a permafrost ve střední Evropě nevznikne. Zvlhčení klimatu oproti dnešku způsobí vyšší infiltraci teplejších povrchových vod do přípovrchových kolektorů. Avšak vliv klimatických podmínek na hydrogeologický režim HÚ ETE–jih zůstane obdobný dnešním podmínkám.

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

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

Shrnutí vybraných parametrů indikátorů je uvedeno v Tab. 11.

*Tab. 11: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení*

<b>Parametr indikátorů</b>	<b>Vyhodnocení</b>
Hodnota maximálního horizontálního zrychlení získaná z neo-deterministické analýzy pro lokální seismické jevy	0,0436 m.s <sup>-2</sup> (0,0358 m.s <sup>-2</sup> přepočteno do hloubky 500 m)
Minimální vzdálenost lokality k seismicky aktivnímu zlomu	není stanovena
Výškový rozdíl mezi úrovní jednotlivých zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota tohoto porovnávacího kritéria)	50 až 200 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)	30 %
Výskyt zlomových svahů s indikacemi mladých pohybů (výrazné hrany a vysoký sklon svahů se systémem krátkých drenážních struktur). Jejich výskyt na dané lokalitě lze brát jako negativní faktor pro porovnání s ostatními lokalitami	není zjištěn
Přítomnost post-vulkanických jevů	v okruhu 100 km od lokality nejsou známy projevy vulkanické, ani postvulkanické aktivity za posledních 250 milionů let. aktivity
Potenciální přítomnost ledovce na lokalitě	není pravděpodobná
Potenciální změna hydrogeologického režimu na lokalitě vlivem zalednění (přítomnost permafrostu)	pravděpodobná

## B.5 Slučitelnost horninového prostředí s inženýrskými bariérami

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

- 1) Stabilní formou odpadu (pro úložiště VJP jde o vlastní matici paliva a pro úložiště VAO především o cementovou matici), z nichž se pouze velmi pomalu uvolňují radionuklidy.
- 2) Ukládacími obalovými soubory s životností minimální 10 000 let a průměrnou životností nejméně 100 000 let.

3) Tlumícím, výplňovým a těsnícím systémem, reprezentovaným zpravidla zhutněným bentonitem či jeho směsmi s jinými materiály.

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

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

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

### **B.5.1 Tepelné vlastnosti lokality**

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

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

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

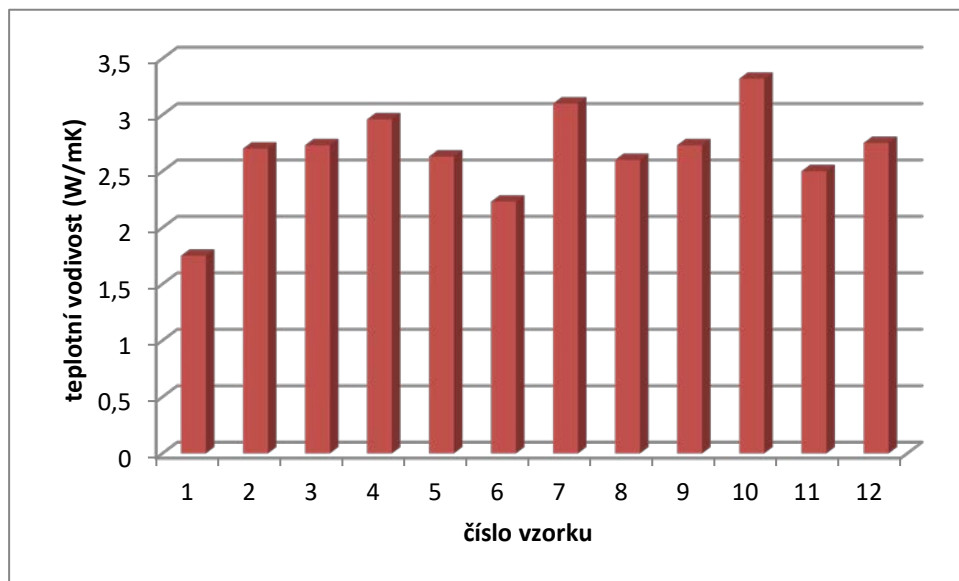
V prvních letech provozu HÚ jsou určující pro teplotu na rozhraní UOS/tlumící materiál tepelné vlastnosti bentonitu a tloušťka bentonitové vrstvy obklopující UOS, avšak z dlouhodobého hlediska je rozhodující geometrie úložiště a tepelné vlastnosti horniny (Kobylka 2017). Tepelné vlastnosti horninového prostředí jsou tak jedním z kritických vstupů pro dimenzování a hodnocení HÚ. Nejdůležitějším parametrem je pak součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ). 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 pararul z lokality Janoch jsou uvedeny na Obr. 16 (Sosna, 2017)



Obr. 16: Tepelná konduktivita pararul z lokality Janoch (Sosna, 2017)

Je vidět poměrně velký rozptyl hodnot, průměrně se tepelná vodivost měřených pararul z této lokality pohybuje kolem 2,67 W/mK.

### B.5.2 Hydraulické vlastnosti

Funkčnost inženýrských bariér (IB) ovlivňuje proudění podzemní vody a její chemismus. Směry a rychlosti proudění podzemní vody v granitovém masivu jsou závislé na puklinových systémech v okolí HÚ – rozevření, konektivitě a transmisivitě puklin. Vliv rychlého proudění vody přes úložné vrty má především vliv na rychlost eroze tlumícího materiálu a rychlost koroze ukládacího obalového souboru. V současné době však nejsou k dispozici údaje z hloubek úložiště.

### B.5.3 Mechanické (geomechanické) vlastnosti horninového prostředí

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

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

K hodnocení byly použity dostupné archivní podklady, představované veřejně přístupnými výzkumnými zprávami, převážně deponovanými v archivu Geofondu České geologické služby.

Tab. 12: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností pararul z lokality Janoch

Vlastnost	erlány		migmatitizované ruly		
	Vondra (1977)	Pazderník (1984) <sup>a,b</sup>	Pazderník (1989) <sup>b,c</sup>	Brož et al. (2005)	Navrátilová et al. (2017)
<b>Měrná hmotnost</b> [kg.m <sup>-3</sup> ]	2780	2804	2750	–	2697
<b>Objemová hmotnost</b> [kg.m <sup>-3</sup> ]	2726	2628	2558	2669	2663
<b>Celková pórovitost</b> [%]	1,81	6,30	7,00	–	1,35
<b>Nasákavost</b> [%]	0,50	2,60	2,55	0,37	–
<b>Rychlost šíření P-vln</b> [m.s <sup>-1</sup> ]	–	–	1892	–	5579 <sup>d</sup> / 4765 <sup>e</sup>
<b>Pevnost v prostém tlaku</b> [MPa]	56	106	38	–	73 <sup>d</sup> / 59 <sup>e</sup>
<b>Modul přetvárnosti</b> [MPa]	–	–	–	–	14075 <sup>d</sup> / 34510 <sup>e</sup>
<b>Poissonovo číslo</b> [-]	–	–	–	–	0,38 <sup>d</sup> / 0,14 <sup>e</sup>

\* Pórovitost stanovena jako otevřená pórovitost

Jak vyplývá z hodnot jednotlivých sledovaných vlastností, uvedených v Tab. 12, migmatitizované biotitické až sillimanit-biotitické ruly a erlány, které představují hlavní petrografické typy kandidátní lokality Janoch, lze v intaktním a neztvářené stavu charakterizovat jako hutné, kompaktní horniny s poměrně nízkou celkovou pórovitostí a nízkou nasákavostí. Měrná hmotnost odpovídá petrografickému složení obou horninových typů, tj. obsahu křemene, draselných živců, plagioklasů a biotitu jako dominantních minerálů migmatitizovaných rul a/nebo draselných živců, plagioklasů, diopsidu a kalcitu v případě erlánů. Vyšší hodnoty celkové pórovitosti rul v úrovni přibližně 6 – 7%, uváděné některými autory, jsou způsobeny navětráním analyzovaných horninových vzorků, odebíraných z průzkumných IG vrtů v přípoверхové zóně. Hodnoty rychlosti průchodu podélných ultrazvukových vln, udávané ve zprávě Navrátilové et al. (2017) v rozmezí přibližně 4,0 – 6,0 km.s<sup>-1</sup> se pohybují v rámci intervalu, obecně udávaného pro neztvářené ruly a obdobné kyselé krystalinické horniny (Milson 2003). Na základě pevnosti intaktních vzorků neztvářených biotitických až sillimanit-biotitických rul v prostém tlaku (cca 60 – 100 MPa v průměru, u některých dílčích měření až 120 MPa) je pak možno posuzované horniny lokality Janoch zařadit do třídy hornin vysokou, popřípadě až velmi vysokou pevností ve smyslu pevnostních klasifikací podle Bieniawského (1989) nebo Hoeka a Browna (1997). Průměrné hodnoty modulu přetvárnosti při zkoušce v prostém tlaku v úrovni zhruba 14 – 35 GPa a

Poissonova čísla 0,15 – ~0,30 korespondují se zjištěnými pevnostními vlastnostmi a jsou obdobné jiným krystalinickým horninám obdobného složení a stavby. Nízké hodnoty některých měření mechanických a přetvárných vlastností lze, stejně jako v případě pórovitosti a/nebo nasákavosti, přičíst na vrub vyššímu stupni navětrání biotitem bohatých hornin. Efekt poměrně zřetelného nárůstu pórovitosti a nasákavosti a naopak výrazného poklesu pevností a modulu přetvárnosti v důsledku navětrání je u hornin s výrazným zastoupením biotitu obecně znám a popisují ho např. Souček et al. (2018) v rámci srovnání vlastností biotitických rul z povrchových výchozů a migmatitizovaných biotitických rul a stromatitických biotitických migmatitů z prostoru PVP Bukov.

V dostupné literatuře se nepodařilo nalézt konkrétní údaje o napěťových poměrech v horninovém masivu na lokalitě Janoch. Na základě dosavadních znalostí mechaniky hornin (Zang a Stephansson 2010) a představ o geotektonickém vývoji Českého masivu (viz např. Franke 2000) lze s velkou pravděpodobností předpokládat, že primární, izotropní litostatické napěťové pole horninového masivu může být výrazně ovlivněno a deformováno tektonickými, popřípadě reziduálními silami. Tento předpoklad je však možno ověřit pouze přímými měřeními napětí horninového masivu in situ. Kvalifikovaným způsobem lze na lokalitě Janoch odhadnout pouze velikost vertikální složky napětí, která při objemové hmotnosti nevětralých migmatitizovaných biotitických rul přibližně  $2660 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  může v předpokládané úložné hloubce 500 m pod povrchem dosahovat cca 13,0 – 13,5 MPa. Dle evropské databáze napětí (Heidbach et al. 2016) lze očekávat generální trend působení maximální složky horizontálního napětí ve směru přibližně S-J.

#### **B.5.4 Geochemické vlastnosti**

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

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

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

Na základě dostupných informací o lokalitě Janoch (Navrátilová et al. 2018) a rekapitulace těchto informací hydrogeologem ČGS (L. Rukavičková) bylo provedeno zhodnocení dle

vybraných kritérií (Tab. 13). Vybraným relevantním zástupcem vod hlubšího oběhu na lokalitě Janoch byl vytipován vrt HV-2 (GDO 621882, hloubka 71 m, elektronická příloha č. 1). Vrt sice leží v širším okolí polygonu Janoch, nicméně velmi dobře reprezentuje podzemní vody na lokalitě v dané hloubce. Jedná se o hydrochemický typ Ca-HCO<sub>3</sub> s mírně zvýšeným obsahem Mg, který je pravděpodobně způsoben přítomností terciérních sedimentů v nadloží vzorkovaného intervalu. Takto slabě zvýšené obsahy hořčiku jsou v okolí polygonu velmi běžné.

Na první pohled se možným zdrojem hydrochemických dat zdá výzkumný strukturní vrt JS799 (GDO 383645, hloubka 731 m) v prostoru jaderné elektrárny Temelín. Nicméně zhodnocením analýz a technických zpráv se došlo k závěru, že chemické analýzy jsou díky znečištění v průběhu odběrů nepoužitelné (odběry vzorků byly provedeny v průběhu vrtných prací s krátkodobou čerpací zkouškou; používání různých typů maziv ve výplachu, odběry po karotážní zkoušce - rezistivimetrií atd.).

Následně se expertním posouzením rovněž došlo k závěru, že rozšíření souboru dat o další potencionální analýzy (GDO 383345, HJ-4 a GDO 383346, HJ-5 nebo GDO 383347, HJ-6) by nepřineslo přesnější informace o složení podzemních vod (např. snížení nejistot). Tato jediná analýza byla použita pro hodnocení lokality Janoch a poukazuje na významný nedostatek dat z větších hloubek.

Tab. 13: Vybrané geochemické indikátory pro lokalitu Janoch

Popis indikátoru	Hodnocení
Hodnota pH	pH = 7,4
Hodnota Eh	Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.
Rozpuštěný kyslík	Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.
Rozpuštěný CO <sub>2</sub> (TIC) pCO <sub>2</sub> < 10 <sup>-2</sup>	pCO <sub>2</sub> = 10 <sup>-2.07</sup>
Hodnota iontové síly (IS)	IS = 0,007 mol·l <sup>-1</sup>
Celkové rozpuštěné látky (TDS)	Hodnota TDS = 384 mg·l <sup>-1</sup>
Koncentrace Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S <sub>total</sub> , (CO <sub>2</sub> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	<b>Nejsou data pro určení rozsahu</b>
Koncentrace K <sup>+</sup> a Fe <sub>total</sub>	Hodnoty K <sup>+</sup> = 2,5 mg·l <sup>-1</sup> a Fe <sub>tot</sub> = 0,82 mg·l <sup>-1</sup>
Koncentrace agresivního (volného) oxidu v kombinaci s pH	CO <sub>2</sub> = 0,38 mg·l <sup>-1</sup> a pH = 7,4
Suma molární koncentrace dvojmocných iontů	suma Ca <sup>2+</sup> a Mg <sup>2+</sup> = 2,3 mmol·l <sup>-1</sup>
Celková koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC)	<b>Zjištěné informace nejsou postačující pro expertní posouzení lokality v rámci tohoto kritéria.</b>

### B.5.5 Mikrobiologické vlastnosti

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

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

### B.5.6 Plynopropustnost

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

Pro zhodnocení vlivu plynu na funkčnost HÚ je nutno zhodnotit geologické a hydrogeologické poměry v širším okolí HÚ (např. možnost vzniku stratigrafického trapu – tj. geologické struktury, která může zadržovat plynné fáze díky změnám v jejím horninovém složení, struktuře nebo facii). V současné době není dostatek dat pro posouzení této vlastnosti. Podrobněji je tato problematika diskutována ve zprávách SÚRAO (Mendoza, 2017, 2018)

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

Analýza zjištěných informací o lokalitě Janoch 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 1999) nevyhodnocuje z hlediska dopadu na člověka.

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

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

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

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

### B.6.1 Ložiskové poměry na lokalitě

Zdroje nerostných surovin jsou v polygonu ETE–jih přítomny ve třech ložiscích. Jde o suroviny štěrkopísek, stavební kámen, lignit a diatomit. V souvislosti s ust. § 18 odst. 2 písm. o) vyhlášky 378/2016 Sb. byla zjišťována i další místa zdrojů nebo dřívější těžby nerostných surovin. V ploše PÚZZZK se dle Tichého (1970) nalézají 13 těžeben, z nichž jedna je součástí ložiska U 5136600 Chlumeč. Zbylé lokality představují lokální, dávno opuštěné lomy na stavební kámen a drcené kamenivo založené v pararulách, erlanech, ortorulách a granitoidech, popř. v písčitych eluviích hornin s převahou křemenoživcové složky (nekvalitní písek). V jednom případě byly využívány málo kvalitní zahliněné terciérní štěrkopísky.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Všechny tehdy zkoumané těžebny jsou z dnešního pohledu nevhodné k využití. Jde o povrchová ložiska, která nemohou ovlivnit bezpečnost úložiště.

(Podrobněji viz zpráva Havlová et al., 2018b)

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

Na lokalitě ETE–jih nejsou registrována žádná stará (SDD) ani opuštěná (ODD) důlní díla, a nehrozí tedy střet s vylučujícími podmínkami vyhlášky 378/2016 Sb.

### **B.6.3 Vrtná prozkoumanost**

Zájmové území bylo vymezeno určeným polygonem a obalovou křivkou ve vzdálenosti 2 km. V oblasti se nacházejí hydrogeologické a inženýrskogeologické vrty a vrty provedené v rámci ložiskového průzkumu na uhlí. Distribuce vrtů je značně nerovnoměrná, vrtné práce byly převážně soustředěny na ložiskový průzkum a na inženýrské účely v okolí Dříteň. Žádné vrty v širším území nepřesahují hloubku 100 m, v samotném PÚZZZK nejsou vrty hlubší než 50 m (podrobněji viz Havlová et al., 2018b).

### **B.6.4 Zdroje podzemních vod**


Zvodnění mělkých částí krystalinika a sedimentů neogénu není dostatečné pro rozsáhlejší vodárenské využití, využitelné vydatnosti studní a hydrogeologických vrtů obvykle nepřesahují  $1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Obec Dříteň a další obce v blízkém okolí lokality jsou zásobovány prostřednictvím skupinových vodovodů Zliv–Olešník–Purkarec a Římov, jejichž zdroje leží mimo hodnocené území. Obyvatelé obce Nová Ves jsou zásobováni z domovních studní. Ochranná pásma vodních zdrojů se na lokalitě ani v jejím širším okolí nevyskytují (Havlová et al., 2018b).

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

Lokalita ETE–jih leží v území s mírně podprůměrným zemským tepelným tokem okolo  $50\text{--}60 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ .

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

Z analýzy plyne, že území lokality Janoch ve všech sledovaných parametrech jsou indicie pro vyloučení jednoznačně negativní. Jednoduchá geologická stavba a dobrá úroveň prozkoumanosti geologických a tektonických poměrů je jak z hlediska přímé dokumentace, tak i možnosti využití dokumentace vrtných prací příznivá. Sledované parametry pro nebezpečí průniku člověka do blízkosti hlubinného úložiště nepředstavují překážky pro zařazení polygonu ETE–jih do další etapy hodnocení.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

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

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

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

Povrchový areál bude v jednotlivých obdobích provozu zajišťovat následující činnosti:

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

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

### B.7.1 Seismicita

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

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

V okruhu 25 km nebyl nalezen žádný potenciálně aktivní zlom. Seznam zlomů je zpracován v kapitole B.1. a B.4.1.

### B.7.3 Povodně

Území leží na rozvodí Blanice a Vltavy. Většina zájmové území je odvodňována zejména levostrannými přítoky Vltavy. Lokalita Janoch se nachází v povodí potoka Strouha, u kterého není stanoveno  $Q_{100}$ . Vzhledem k morfologii a charakteru vodních toků je zřejmé, že záplavy na PA Janoch jsou velmi nepravděpodobné.

### B.7.4 Oběh podzemní vody

Charakteristikou oběhu podzemní vody, při jejímž dosažení je umístění jaderného zařízení zakázáno (§ 8, vyhláška č. 378/2016), je existence významných útvarů podzemních vod, u

nichž by mohlo dojít k trvalému znečištění radioaktivní látkou. Významné útvary podzemních vod se v lokalitě Janoch nenacházejí a složení podzemních vod nedosahuje hodnot agresivních vod (viz kapitola B.2).

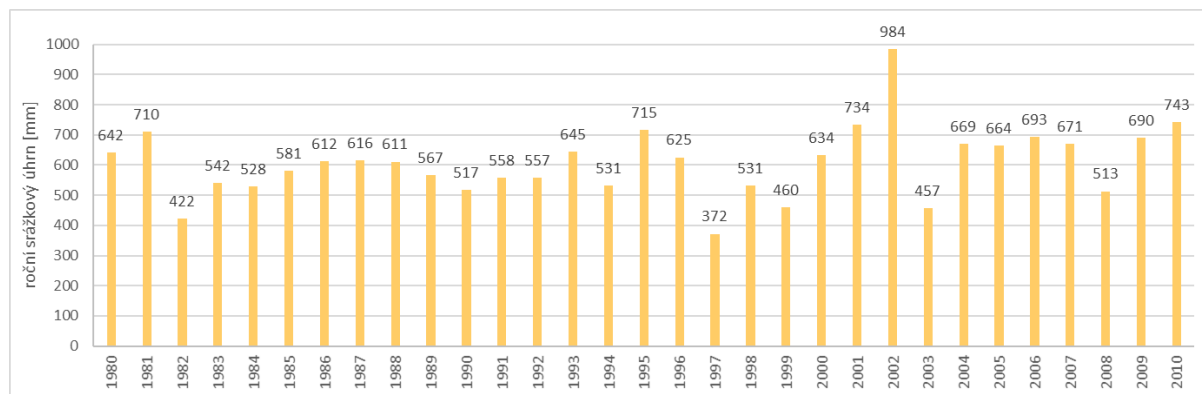
### B.7.5 Geodynamické a jiné nepříznivé jevy a geotechnické vlastnosti základových púd

Informace o inženýrskogeologických a geotechnických charakteristikách horninového masivu ve větších hloubkách byly v minulosti získány pouze v rámci realizace průzkumných prací mimo polygon ETE – jih a to v oblasti VD Hněvkovice a zejména jaderné elektrárny Temelín. Převážnou část území zaujímá rajon vysoko metamorfovaných hornin (Mv). V rámci tohoto rajonu je základová půda tvořena pararulami jednotvárné jednotky moldanubika v různém stupni zvětrání, které jsou jen zcela omezeně prostoupeny podružnými polohami žilných granitů, pegmatitů a křemene. Kromě poloh zcela zvětralé horniny a písčitojílovitých eluvií zpravidla omezené mocnosti představuje prostředí pararul základovou půdu s vysokou únosností. Určitým omezením tohoto rajonu může být plošně i hloubkově proměnlivá intenzita zvětrání a tedy i únosnost základové půdy. V rámci stavebních prací je u hlubších výkopů a výchozových partií nutné počítat s obtížnou rozpojitelností a těžitelností horniny hodnocenou třídou III. Hladina podzemní vody je v tomto horninovém prostředí nespojitá, vázaná na povrchovou silně rozvolněnou zónu horninového masivu a vzájemně propojené puklinové systémy, případně poruchové zóny. V rámci výstavby je nutné počítat s agresivitou podzemní vody způsobenou zvýšeným obsahem CO<sub>2</sub> a sníženým pH, hodnocenou ve smyslu ČSN EN 206-1 jako nízkou (XA1) až střední (XA2) Území tohoto rajonu je z celkového pohledu možné hodnotit jako oblast podmínečně vhodnou pro výstavbu (povrchovou i podzemní) (Navrátilová, Nol et al., 2018).

### B.7.6 Klimatické a meteorologické jevy

Lokalita Temelín zasahuje do dvou klimatických mírně teplých oblastí MT10 a MT11 charakterizovaných dle Quitt et al. (1971). Srážkové úhrny pro oblast MT10 jsou udávány v rozmezí 600 až 700 mm, pro oblast MT11 je uváděno 550 až 650 mm srážek. Nejbližší meteostanice s dlouhodobým záznamem atmosférických srážek se nachází v Bernarticích (485 m n. m.), dalšími stanicemi v širším okolí lokality jsou Nadějkov (616 m n.m.) a Tábor (459 m n.m.).

Roční srážkové úhrny za roky 1980 až 2010 ze stanice Bernartice jsou na Obr. 17. Dlouhodobý roční srážkový normál pro tuto stanici vychází 606 mm.



Obr. 17: Roční srážkové úhrny ze stanice Bernartice za roky 1980 až 2010.

Tato klimatická oblast se vyznačuje dlouhým teplým a mírně suchým létem, krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem a krátkou mírně teplou a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. Základní klimatické ukazatele jsou uvedeny v Tab.14.

*Tab.14: Klimatické ukazatele oblasti MT10*

Počet letních dní	40 - 50
Počet dní s průměrnou teplotou 10°C a více	140 - 160
Počet dní s mrazem	110 - 130
Počet ledových dní	30 - 40
Průměrná lednová teplota	-2 až -3 °C
Průměrná červencová teplota	17 – 18 °C
Průměrná dubnová teplota	7 – 8 °C
Průměrná říjnová teplota	7 – 8 °C
Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	100 - 120
Suma srážek ve vegetačním období	400 – 450 mm
Suma srážek v zimním období	200 – 250 mm
Počet dní se sněhovou pokrývkou	50 - 60
Počet zatažených dní	120 - 150
Počet jasných dní	40 - 50

Průzkumné území Temelín rozděluje rozvodnice dvou oblastí povodí III. řádu – na západě povodí Blanice a Otavy od Blanice po Lomnici (1-08-03) a na východě povodí Vltavy od Malše po Lužnici (1-06-03). Rozvodnice vede od obce Temelín zhruba S-J směrem přes Knín (488 m n. m.), v blízkosti předpokládané polohy HÚ se pak stáčí na vrchu Pakostov (529 m n.m.) směrem na ZSZ kolem obce Dříteň na hranici modelového území jižně od obce Radonice. Oblast homogenního bloku spadá do povodí Vltavy a přísluší ke dvěma rozvodím IV. řádu, jejichž rozvodnice přes plochu homogenního bloku má přibližně Z-V orientaci. Na severu se rozkládá povodí Struhy (1-06-03-0730), jižní část území náleží do povodí Rachačky (10-06-03-0710).

### **B.7.7 Biologické jevy**

Biologické jevy jsou v zájmovém území ovlivněny zemědělským hospodařením. Stupeň zemědělského hospodaření v zájmovém území je obvyklý v tomto klimatickém okrsku. Trvalé travní porosty řeší potřebu zeleného krmení hospodářských zvířat formou intenzivního způsobu hospodaření Z tohoto hlediska lze předpokládat, že hnojení, a zejména hnojení organické, a pesticidy mají výrazný vliv na mikrobiální aktivity v půdě, v přípovrchové zvodni i v povrchových vodách a také na jejich chemické složení (např. ionty NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) s následným vstupem do potravinových řetězců.

V další fázi prací se předpokládá, že bude proveden biologický monitoring, především ve vymezených územích povrchového areálu. Na základě výsledků pak bude možné podrobněji



vyhodnotit předpokládané vlivy na technologická zařízení, a nastavit soubor opatření tak, aby případné negativní důsledky byly eliminovány, případně zcela vyloučeny.

### B.7.8 Přírodní požáry

V případě umístění povrchového areálu ve variantě 1 (viz Obr. 1) západně, ve vzdálenosti od cca 100 m, se nachází drobné solitérní lesní porosty o ploše cca 5 ha až 0,7 km<sup>2</sup>. Severně, ve vzdálenosti cca 300 m se nachází drobné lesní porosty o ploše cca 5 ha. S ohledem na místní terénní a fyzické podmínky nelze nebezpečné šíření požáru z okolí PA vyloučit. Z důvodu minimalizace nebezpečí ohrožení požárem bude nutné na východní a jižní straně PA odstranit lesní porost do vzdálenosti min. 50 m od jeho hranice.


V případě varianty 2 poloha povrchového areálu se nachází přímo ve stávající zalesněné oblasti a je součástí rozsáhlého lesního porostu západně od Vltavy o ploše cca 50 km<sup>2</sup>. S ohledem na místní terénní a fyzické podmínky nelze nebezpečné šíření požáru z okolí PA vyloučit. Z důvodu minimalizace nebezpečí ohrožení požárem bude nutné do vzdálenosti min. 50 m od jeho hranice odstranit lesní porost.

### B.7.9 Pád letadla a jiných objektů

Možno pád letadla v oblasti kolem jaderné elektrárny Temelín je podrobně zpracována v zadávací bezpečnostní zprávě pro nový jaderný zdroj 3. a 4. bloku v lokalitě Temelín. V podstatě přímo nad povrchovou částí HÚ se nachází letový koridor horního vzdušného prostoru T709. V blízkosti prostoru lokality Janoch prochází 2 letové koridory: koridor M174 na severovýchod od povrchové části HÚ je vzdálený 6 km a koridor Z33 na jihovýchod od HÚ je vzdálený 6,5 km. V blízkosti prostoru lokality Janoch prochází 1 letový koridor spodního vzdušného prostoru: Z30 je vzdálený od povrchové části HÚ 15 km na jihovýchod. Tato vzdálenost je bezpečná pro průlety letadel. Bezletová zóna JE Temelín Ø 5 km + vzdušný prostor s omezeným letovým prostorem kolem JE Temelín Ø 45 km.

V práci Martinčíka et al, 2017 byly formulovány následující nejistoty:

- Na podkladě současného urychleného vývoje bezpilotních dopravních letadel a uplatňování řízení dopravy (pozemní i letecké) systémy umělé inteligence je vysoce pravděpodobné, že letový prostor a jeho řízení nad HÚ Janoch bude odlišný a momentálně je nepředvídatelný v důsledku očekávaného pokroku leteckého průmyslu během příštích let. Z tohoto důvodu bude nutné výše uvedené skutečnosti pravidelně aktualizovat.
- Úřad pro Civilní letectví vydává každoročně menší nebo dle potřeby rozsáhlé změny organizace vzdušného prostoru a pravidel jeho využívání, které je nutno sledovat.
- Z toho hlediska i z hlediska dosažení co nejvyšší úrovně ochrany HÚ je doporučeno požádat o ustanovení „bezletového prostoru“ pro civilní a vojenská letadla a současně požádat Ministerstvo dopravy o vydání zákazu budování jakýchkoliv nových letišť nejméně do vzdálenosti 10 km od HÚ.
- V období před zahájením stavebních prací na lokalitě Janoch by bylo vhodné, aby vláda ČR prostřednictvím Úřadu pro civilní letectví vytvořila potřebné dočasné nebo permanentní bezletové prostory, včetně upravení pravidel pro schvalování přímých letů dopravních letadel tak, aby nikdy nemohlo dojít k narušení chráněné oblasti.
- Jako nutná se jeví koordinace s vojenským letectvem (Ministerstvem obrany) pro ustanovení dočasné bezletové zóny v současných koridorech (nebo odklonění koridorů)

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

v době přepravy a překládání VJP až do chvíle, než bude palivo bezpečně uloženo v podzemí.

- Po konečném výběru lokality HÚ bude nutné kontaktovat ředitelství Letecké záchranné služby v Jihočeském kraji a na Vysočině ohledně upřesnění všech aktivně používaných heliportů.

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

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

#### **B.7.1 Kolize s ochrannými nebo bezpečnostními pásmy**

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

##### **B.7.1.1 Silniční ochranná pásma**

Polygonem prochází silnice II. třídy č. 105, která vede z pražské aglomerace jižním směrem až k Českým Budějovicím. Je dlouhá 128 km a je regionálně významná. Nejfrekventovanější je na trase České Budějovice - Hluboká nad Vltavou a v blízkosti Prahy a dále silnice II. třídy č. 122, která vede z Kočina a před obcí Smědeč se napojuje na silnici II. třídy č. 143. Její délka je ca 35 km.

Dopravní napojení Varianty I je navrženo ze stávající křižovatky silnic II/105 s II/122.

Napojení Varianty II je navrženo s ohledem na co možná největší eliminaci křížení se se železnicí. V této variantě je navržena nová úroňová křižovatka se stávající II/105 (Skořepa et al., 2018)

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

##### **B.7.1.2 Ochranná pásma dráhy**

Na území užšího polygonu ETE – jih se nenachází žádná železnice ani železniční vlečka. Požadavkem je zajištění nezávislosti nově budovaného hlubinného úložiště na železničním napojení v majetku nebo správě nestátních subjektů.

Dopravní napojení bude provedeno ze státní železnice na lokální neelektrizované jednokolejně trati č. 192 Číčenice - Týn nad Vltavou (maximální povolená rychlost 60 km/h) ve vzdálenosti 7 – 8 km od navrhovaného umístění povrchové části HÚ. Pro napojení areálu jsou navrženy 2 varianty umístění železniční vlečky ve dvou trasách směřujících do navrhované varianty umístění HÚ (vybraná Varianta II). Pro užší výběr je napojení navrženo ve dvou variantách, a to západně nebo východně od žst. Temelín (Skořepa et al., 2018)

Ochranné pásmo je 60 m od osy krajní koleje.

##### **B.7.1.3 Ochranná pásma plynovodu, ropovodu nebo jiného produktovodu**

Pro napojení přívodu zemního plynu bude využito potrubní trasy VTL u obce Dříteň. VTL přípojka bude vedena pro obě varianty shodnou trasou, pro Variantu II bude delší cca o 1 km. Středotlaký plynovod se v blízkosti navrhovaných lokalit pro umístění HÚ nevyskytuje.

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

#### **B.7.1.4 Ochranná pásma zařízení elektrizační soustavy**

Elektrická energie bude přivedena do areálu HÚ dvěma samostatnými nezávislými vedeními 22 kV. Napojení na elektrické vedení bude provedeno ze dvou napojovacích míst (místní rozvody elektrického vedení ČEZ VN s napětím 110 kV) poblíž obcí Kočín a Dříteň.

Ochranné pásmo nadzemního vedení je měřeno od krajního vodiče, do 35 kV – 7 m, do 110 kV – 12 m, do 220 kV – 15 m, do 400 kV – 20 m [3] na obě strany.

#### **B.7.1.5 Ochranná pásma zařízení na výrobu či rozvod tepelné energie**

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

#### **B.7.1.6 Ochranná pásma nadzemních a podzemních telekomunikačních vedení**

Telekomunikační vedení bude napojeno na dálkový metalický telekomunikační kabel vedoucí v blízkosti křižovatky Kočín – Býšov (Navrátilová et al., 2018)

Ochranné pásmo nadzemního vedení činí od krajního vodiče vedení (u zařízení vlastní telekomunikační síť držitele licence) 1 m na obě jeho strany (Zákon č. 348/2009 Sb.) Ochranné pásmo podzemního komunikačního vedení činí 1,0 m po stranách krajního vedení (Zákon č. 127/2005 Sb.)

#### **B.7.1.7 Ochranná pásma letišť a leteckých staveb**

Bezletová zóna JE Temelín Ø 5 km + vzdušný prostor s omezeným letovým prostorem kolem JE Temelín Ø 45 km (Navrátilová et al., 2018)

#### **B.7.1.8 Chráněné ložiskové území nebo dobývacího prostoru**

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

#### **B.7.1.9 Ochranná pásma zvláště chráněného území**

Zvláště chráněná území jsou území přírodovědecky či esteticky velmi významná nebo jedinečná a mají stanoveny podmínky jejich ochrany (národní parky, chráněné krajinné oblasti, národní přírodní rezervace, přírodní rezervace, národní přírodní památky, přírodní památky).

Z hlediska ochrany přírody se v místě stavby ani jejím širším okolí nenacházejí žádná zvláště chráněná území ve smyslu zákona č. 114/1992 Sb. (Zákon č. 114/1992 Sb.) Nejbližšími MCHÚ je PR Radomilická mokřina cca 6 km západně od obce Dříteň, 5 km jižně od řešené lokality leží PP Kameník, PP Blana, PP Karvaník a několik dalších MCHÚ.

Do prostoru stavby ani jejího širšího okolí nezasahuje žádná evropsky významná lokalita ve smyslu § 45a a § 45c zákona č. 114/1992 Sb. [6], ani se nepředpokládá její pozdější vymezení. Ve vzdálenosti cca 2,5 km jihovýchodně leží hranice EVL a PO Hlubocké obory, 4,5 km jihozápadně pak ještě PO Českobudějovické rybníky. Přimo do zkoumané plochy

žádná EVL ani PO nezasahuje. Zasahuje sem však mezinárodně významné území sítě EECONET, pokrývající široké okolí Vltavy.

Nevyskytují se zde žádné geoparky ani památné stromy. Nejbližší památný strom nachází v obci Litoradlice (Skořepa et al., 2018)

### **B.7.1.10 Ochranná pásma nemovité kulturní památky**

V zájmovém území Janoch se nacházejí dvě významné kulturní památky, tvrz Býšov a zámek Dříteň (Skořepa et al., 2018):

#### Tvrz Býšov

Hospodářský komplex dvora a tvrze Býšov leží 7 km jižně od Týna nad Vltavou v ochranném pásmu JE Temelín. Býšovská tvrz patří k jedné z nejlépe dochovaných drobných šlechtických staveb Vltavotýnska. Díky jejímu dlouhodobému využívání pro zemědělské účely nedošlo k téměř žádným stavebním úpravám, ani k její větší devastaci. Tvrz stojí na vyvýšeném prostranství, velmi dobře chráněném od okolí. Na východní straně je hluboké údolí s potokem a rybníkem, na severozápadě jsou další dva rybníky: Barbora a Pohrobný. Od jihu byla původně obranyschopnost sídla zvýšena příkopem, později proměněným na úvozovou cestu. Dnes vede k tvrzi silnice. Tvrz je veřejnosti přístupná, v současné době v rekonstrukci.

#### Zámek Dříteň

Zámek je jednopatrová barokní budova stojící uprostřed obce. Nad bosovaným portálem uprostřed rizalitu členěného pilastry je trojúhelníkový štít s hodinami, v ose nádvořího průčelí je půlválcový rizalit. Místnosti v přízemí jsou klenuté, v patře plochostropé. Po přestěhování školy do nové budovy (1982) je zámek, patřící JZD, téměř prázdný. Veřejnosti nepřístupný.

Dále se zde nacházejí mohylová pohřebiště z doby bronzové a železné, která odpovídají pojetí kulturní památky podle §2 zákona 20/1987 Sb., o státní památkové péči. Jedná se o tato pohřebiště (Skořepa et al., 2018):

Mohylové pohřebiště r.č. 38073/3-5500 v k.ú. Olešník

Mohylové pohřebiště r.č. 15594/3-5501 v k.ú. Olešník

Mohylové pohřebiště r.č. 20164/3-5526 v k.ú. Olešník

Mohylové pohřebiště r.č. 41856/3-5476 v k.ú. Knín a k.ú. Kočín

Mohylové pohřebiště r.č. 14306/3-5539 v k.ú. Knín

Mohylové pohřebiště r.č. 24901/3-5525 v k.ú. Jeznice

Mohylové pohřebiště r.č. 40671/3-191 v k.ú. Jeznice

Mohylové pohřebiště r.č. 37036/3-5524 v k.ú. Jeznice


Mohylové pohřebiště r.č. 26121/3-5523 v k.ú. Jeznice

Mohylové pohřebiště r.č. 17717/3-5270 v k.ú. Olešník

Mohylové pohřebiště r.č. 19949/3-175 v k.ú. Jeznice

Mohylové pohřebiště r.č. 36602/3-5275 v k.ú. Litoradlice

Mohylové pohřebiště r.č. 14241/3-5276 v k.ú. Litoradlice

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Mohylové pohřebiště r.č. 44642/3-5522 v k.ú. Litoradlice

Mohylové pohřebiště r.č. 36466/3-5473 v k.ú. Litoradlice

Výstavbou HÚ nebude narušeno žádné území kulturního nebo historického významu.

V případě zjištění archeologického nálezu bude umožněn záchranný archeologický výzkum ve smyslu zákona 20/1987 Sb., o státní památkové péči.

#### **B.7.1.11 Ochranná pásma vodního zdroje**

Na území polygonu Janoch se nevyskytuje žádný zdroj pitné vody pro veřejné účely ani do polygonu nezasahují žádná ochranná pásma vodních zdrojů ležících mimo polygon.

Okolní obce jsou zásobovány skupinovým vodovodem Zliv-Olešník-Dříteň, Purkarec. Zdrojem surové vody jsou 3 podzemní vrty o kapacitě 12,4 l/s, které jsou upravovány v úpravně vody Zliv.

Z úpravny vody je voda dopravována do vodojemu Chlum (300 m<sup>3</sup>, kóta 472,00/468,00 m n.m.). Z vodojemu Chlum je voda odváděna potrubím DN 200, pomocí čerpacích stanic na trase je distribuována do vodojemu Dříteň (2x 250 m<sup>3</sup>, kóta 470,87/467,57 m n.m.) a do vodojemu Chlumec (150 m<sup>3</sup>, kóta 509,00/506,00 m n.m.). Z vodojemu Chlumec je pak voda dopravovaná gravitačně do vodojemu Purkarec.

Vodojem Dříteň zásobuje gravitačně jedním řadem obce Dříteň, Libív, Velice a Nákří, druhý gravitační řad zásobuje Malešice a Chvalešovice s odbočkou přes ATS obec Kočín.

Z vodojemu Zdoba (3000 m<sup>3</sup>, 560,00/555,0 m n.m.) je zásobena JE Temelín a z jedné odbočky přes redukční ventil je zásobena obec Temelín.

Obec Nová Ves není napojena na systém zásobování pitnou vodou. Obyvatelé jsou zásobováni z domovních studní.

Areál HÚ bude napojen na vodojem Dříteň, kde bude nutné vybudovat čerpací stanici (Navrátilová et al., 2018)

#### **B.7.1.12 Ochranná pásma zdrojů léčivých minerálních vod**

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

#### **B.7.1.13 Zóny havarijního plánování jiného jaderného zařízení nebo stanovené podle jiného právního předpisu**

V zájmovém území Janoch a jejím bezprostředním okolí se nachází zóna havarijního plánování jaderného zařízení – JE Temelín. Do této zóny náleží všechny obce ležící v zájmovém území Janoch (Základní informace pro případ radiační havárie JE Temelín 2018 – 2019).

#### **B.7.1.14 Ochranné pilíře jam, celíků a pásem povrchových a důlních objektů**

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

### **B.7.2 Rozložení a hustota osídlení a jeho vývoj**

Dále je uveden výčet obcí nacházejících se v jednotlivých pásmech kolem lokalita Janoch s počtem obyvatel.



## Obce a sídla do vzdálenosti 10 km vzdušnou čarou

V pásmu I (0-10 km) žije cca 18 tisíc obyvatel. Hustota osídlení je zhruba 58 obyvatel/km<sup>2</sup>.

Nejbližšími dotčenými obcemi jsou: Nová Ves - část obce Olešník (asi 1,5 km od povrchového areálu HÚ), Kočín (2 km), Libív - část obce Dříteň (asi 3 km), Dříteň (3,5 km), Temelín (5 km), Jeznice (3 km), Litoradlice (3 km), Olešník (5 km).

### Obec Dříteň

Dříteň je obec v okrese České Budějovice, kraj Jihočeský, severozápadním směrem zhruba 12 km od Hluboké nad Vltavou a 21 km od Českých Budějovic. Rozloha obce představuje 4 607 ha. Dříteň se dále dělí na devět částí – Dříteň, Bílá Hůrka, Chvalešovice, Libív, Malešice, Radomilice, Strachovice, Velice, Záblatí a Záblatíčko. Ke dni 1. 1. 2017 zde žilo 1645 obyvatel. První písemná zmínka o vsi pochází z roku 1432. V 15. a 16. století byla Dříteň v majetku Malovců z Malovic, kteří sídlili na zdejší tvrzi a vlastnili řadu dalších vesnic v okolí.

**Libív** – Libív je malá vesnice, část obce Dříteň v okrese České Budějovice. Nachází se asi 1,5 km na jihovýchod od Dříteň. Je zde evidováno 11 adres. Libív leží v katastrálním území Dříteň o výměře 13,01 km<sup>2</sup>.

### Obec Olešník

Vesnice Olešník leží na území okresu České Budějovice a náleží pod Jihočeský kraj. Příslušnou obcí s rozšířenou působností je rovněž okresní město České Budějovice. Obec Olešník se rozkládá asi devatenáct kilometrů severozápadně od Českých Budějovic. Trvalý pobyt na území této středně velké vesnice mělo k 1. 1. 2017 úředně hlášeno 808 obyvatel. Olešník se dále dělí na tři části, konkrétně to jsou: Chlumeč, Nová Ves a Olešník.

### Obec Temelín

Temelín je obec v Jihočeském kraji, 6 km jihozápadně od Týna nad Vltavou. Zaujímá rozlohu 50,41 km<sup>2</sup>. Obec je známá především tím, že na jejím území je umístěna Jaderná elektrárna Temelín. V současné době je obec správním centrem pro dalších šest osad – Kočín, Lhotu pod Horami, Litoradlice, Sedlec, Zvěrkovice a Zaluží. K 1. 1. 2017 zde žilo 869 obyvatel.

K památkám v obci náleží zajímavá budova barokního špýcharu na místě původního vrchnostenského dvora. Do katastru obce spadá rovněž několik kilometrů vzdálená dochovaná unikátní tvrz Býšov, sídlo vladyckého rodu Býšovců z Býšova.

**Obec Kočín** – Kočín je malá vesnice, část obce Temelín v okrese České Budějovice. Nachází se asi 4 km na jih od Temelína. Prochází zde silnice II/122. Je zde evidováno 41 adres.

**Knín** - bývalá osada Knín je malá vesnice, část obce Temelín v okrese České Budějovice. Nachází se asi 5 km na jihovýchod od Temelína. Je zde evidováno 10 adres. Knín je také název katastrálního území o rozloze 6,1 km<sup>2</sup>.

### Obec Litoradlice

Litoradlice je malá vesnice, část obce Temelín v okrese České Budějovice. Nachází se asi 5,5 km na východ od Temelína. Je zde evidováno 35 adres. Litoradlice je také název katastrálního území o rozloze 10,78 km<sup>2</sup>.

### Obec Jeznice

Jeznice je vesnice ležící mezi Purkarcem a Litoradlicemi na levém břehu Vltavy. Sídlí v místní části města Hluboká nad Vltavou. V katastrálním území Jeznice leží i Buzkov.

Lokalita **Coufalka** – nachází se na území obce Temelín, k.ú. část obce Knín

Lokalita **Krejčárka** – nachází se na území obce Olešník, v k.ú. část obce Nová Ves

Lokalita **Rachačky** – hájovna se nachází na území města Hluboká, k.ú. část obce Purkarec, kaplička a studánka na území obce Olešník, na hranici k.ú. Jeznice a k.ú. Purkarec.

### Města ve vzdálenosti 10-20 km

V pásmu II žije zhruba 140 tisíc obyvatel, přičemž největší část tvoří obyvatelstvo samotného krajského města České Budějovice (94 tisíc obyvatel). Hustota osídlení v pásmu II je 148 obyvatel/km<sup>2</sup>.

Výčet všech měst a obcí v tomto pásmu by byl značně rozsáhlý a jsou tedy uvedena pouze města s více než 5000 obyvateli (počet obyvatel k 1.1.2017):

Vodňany	6 880
Hluboká nad Vltavou	5 253
Bechyně	5 129

### Města ve vzdálenosti 20-30 km

V pásmu III by byl výčet všech sídel značně rozsáhlý a jsou zde tedy uvedena pouze města s více než 5000 obyvateli (počet obyvatel k 1.1.2017):

Písek	29 966
Prachatice	10 943
Třeboň	8 366
Soběslav	7 002
Veselí nad Lužnicí	6 498

### B.7.3 Současné využití území

Širší posuzované území vymezuje prostor ohraničený ze západní strany silnicí II/105, z východní strany tokem řeky Vltavy. Jižní hranici tvoří osa obcí Chlumeč a Purkarec, severní pak komunikace vedoucí od elektrárny Temelín až ke hranici s řekou Vltavou. Středem tohoto území prochází souvislé pásmo lesního porostu. Okraje jsou lemovány zemědělsky obdělávanou půdou.

Širší území je zasaženo jednak přítomností jaderné elektrárny Temelín (cca 5 km od navrhovaného umístění HÚ), a dále lagunami po úpravě uranových rud „MAPE“ nedaleko obce Olešník. Krajina tvoří ucelený systém, kdy se střídají zemědělsky obdělávané plochy především v blízkosti páteřních komunikací a lesní pozemky zasahující až k toku řeky Vltavy. Reliéf je členitý a zahrnuje výškové nerovnosti, které musí být zváženy při návrhu stavby povrchové části hlubinného úložiště a stavbě přírodních komunikačních tras.

#### B.7.4 Vliv jiného jaderného zařízení

V Tab. 15 je uveden přehled jaderných zařízení na území ČR a jejich vzdálenost od povrchového areálu HÚ na lokalitě Janoch. V tabulce jsou barevně odlišeny jednotlivé typy JZ.

Tab. 15: Vzdálenost jaderných zařízení v ČR od HÚ v lokalitě Janoch

Název jaderného zařízení	vzdálenost [km]
Jaderná elektrárna Dukovany - ČEZ, a. s.	126,9
Jaderná elektrárna Temelín - ČEZ, a. s.	4,2
Mezisklad vyhořelého paliva - Dukovany	127,2
Sklad vyhořelého paliva - Dukovany	127,3
Sklad čerstvého jaderného paliva - Temelín	4,2
Sklad vyhořelého paliva - Temelín	4,2
ÚRAO Dukovany	127,7
ÚRAO Richard	156,8

Z údajů v tabulce vyplývá, že se v kritickém okolí HÚ Temelín (okruh 20 km) se nachází JE Temelín a sklady paliva, které jsou vzdáleny od lokality cca 4 km. Tato skutečnost bude muset být zohledněna v případě současného provozu více jaderných zařízení v lokalitě po roce 2065.

#### B.7.5 Celkové expertní zhodnocení lokality z hlediska ostatních faktorů vztahujících se k jaderným zařízením umístěným na povrchu

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



## 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. 16.

Tab. 16: 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

<sup>a)</sup> konzervativně navýšeno

Z celého inventáře byly vybrány jen takové radionuklidy, které jsou významné z hlediska vnitřního nebo zevního ozáření, přičemž nikdy nebyly opomenuty isotopy běžných biogenních prvků či jejich chemických analogů. Maximální uvolnitelná aktivita významných radionuklidů uvedených v následující tabulce představuje aktivitu, která by mohla uniknout za předpokladu poškození těsnosti všech palivových proutků bez uvažování jakýchkoli sekundárních bariér (filtrace, POS). Frakce zanedbaných RN představuje  $< 8,6 \cdot 10^{-4}$  celkové uvolnitelné aktivity respektive  $< 1,5 \cdot 10^{-2}$  z celkového potenciálního ozáření.

Filtrační stanice vzduchu z horké komory bude vícestupňové stavebnicové konstrukce, obdobné filtračním stanicím používaným na jaderných elektrárnách, a bude pro zachytávání aerosolů využívat vyměnitelné HEPA a ULPA filtry. Mezi filtračními stupni budou parciální tlaková čidla. Za posledním filtrem, před odtahem do komína, bude redundantní měřidlo

objemové aktivity (či dávkového příkonu). Čidla (tlaková i radiační) budou napojena na pult obsluhy a kontroly provozu horké komory. V případě mimořádné situace budou poskytovat vizuální i akustický alarm.

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

H-3, Kr-85: 0%,

I-129: 99,99%,

ostatní uvolnitelné radionuklidy: 99,9999%.

Za podmínek při fungování všech filtrů se uvažuje zdrojový člen uvedený v následující Tab. 17.

*Tab. 17: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivity POS se započtením filtrace (99,9999 %)*

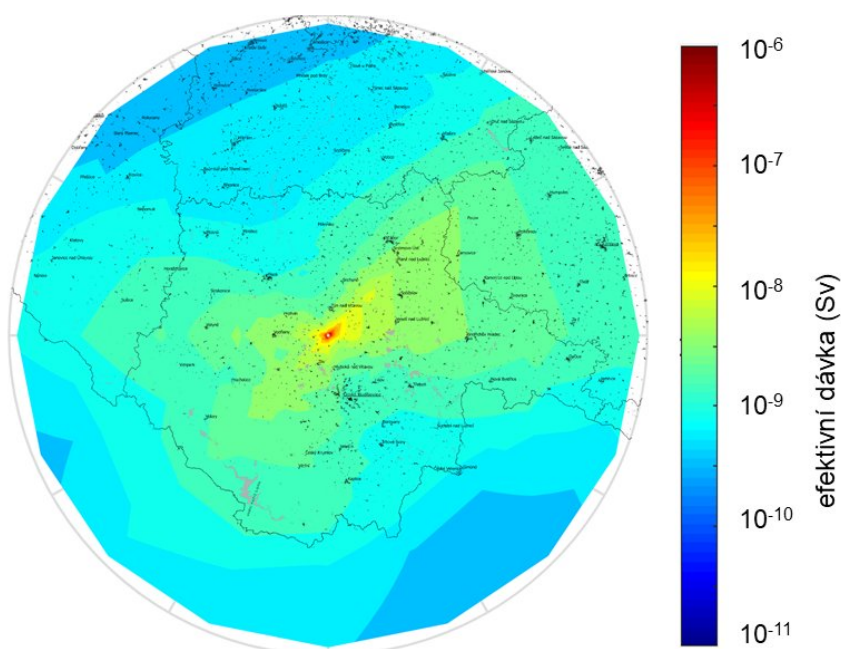
radionuklid	aktivita [Bq]	radionuklid	aktivita [Bq]
H-3	1,39E+11	Cs-137	1,08E+05
C-14	4,45E+00	Pu-238	2,76E+02
Kr-85	1,18E+12	Pu-239	1,58E+01
Sr-90	6,52E+04	Pu-240	2,82E+01
Y-90	6,52E+04	Am241	2,45E+02
I-129	1,39E+05	Cm-244	7,21E+01

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

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

K uvolnění aktivity při překládce v horké komoře může dojít buď v důsledku otevření POS, jehož palivo ztratilo těsnost během manipulace při přepravě (včetně uvažování pádu POS výše) nebo v důsledku pádu palivové kazety/palivového souboru při překládce. V případě otevření POS s netěsným palivem se předpokládá, že netěsností trpí maximálně 3% palivových proutků. Výpočet expozice reprezentativní osoby při dlouhodobém vypouštění je uveden na Obr. 18.





Obr. 18: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince

Součástí výpočtu bylo i stanovení geometricky omezené kolektivní efektivní dávky. Jejím cílem je zhodnotit dopad na nejbližší okolí a vyloučení malých příspěvků ve velmi vzdálených avšak hutě zalidněných oblastech. Geometrické omezení počítalo s plochou vymezenou kružnicí o poloměru 10, 25 a 30 km a středem v místě vypouštění. Poloměr 25 km byl zvolen s ohledem na vzdálenost k hranicím ČR od výpustě u lokality Janoch. Hodnoty takto omezené kolektivní efektivní dávky udává Tab. 18.

Tab. 18: Omezená kolektivní efektivní dávka

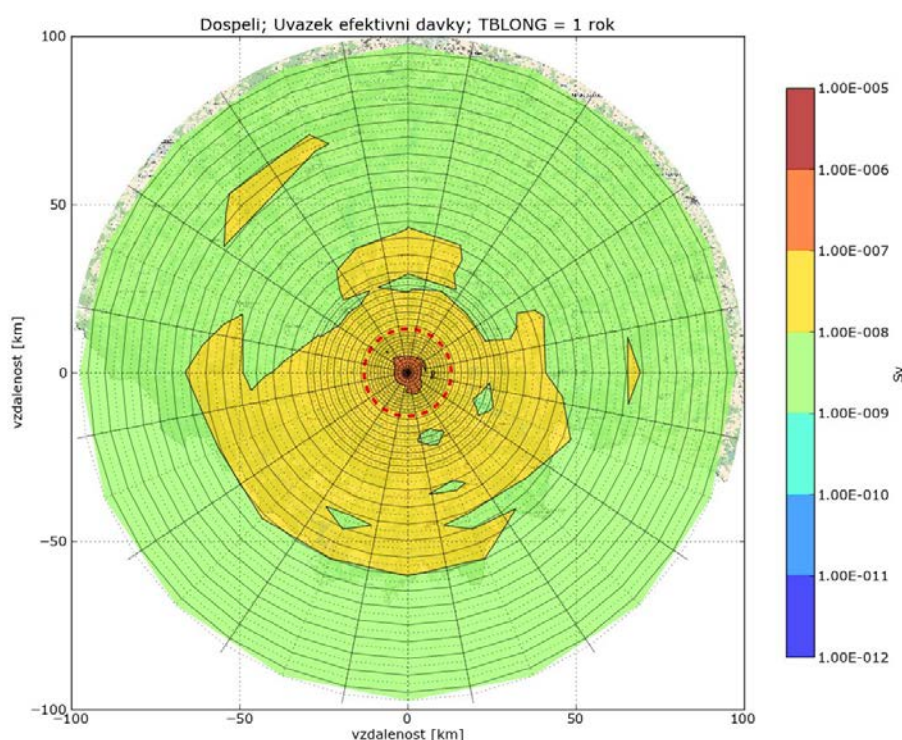
poloměr [km]	počet obyvatel (2011)	kolektivní efektivní dávka [man Sv]
10	19039	1,06E-04
25	210998	6,25E-04
30	276611	7,77E-04

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. 19.

Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %)

radionuklid	aktivita [Bq]	radionuklid	aktivita [Bq]
H-3	2,45E+11	Cs-137	9,50E+07
C-14	3,93E+03	Pu-238	2,44E+05
Kr-85	2,08E+12	Pu-239	1,40E+04
Sr-90	5,76E+07	Pu-240	2,49E+04
Y-90	5,76E+07	Am241	2,17E+05
I-129	2,46E+05	Cm-244	6,36E+04

Výsledky výpočtu pro mimořádnou událost s velmi malou pravděpodobností výskytu jsou uvedeny na Obr. 19.



Obr. 19: Vypočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro 16 směrů větrné růžice a referenčního dospělého jedince. (reprezentativní jedinec)

Výsledky pro odhad dopadu provozu horké komory na obyvatelstvo za běžné ročního provozu a pro mimořádnou, jednorázovou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky jsou shrnuty v Tabulka 20 a Tabulka 21.

Tabulka 20: 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	1,79E-07	2,14E-07	2,84E-04	0,5	0,1	29,3	70,1
2	202,5	2,67E-07	3,19E-07	1,94E-04	0,5	0,1	28,3	71,2
3	225	7,47E-07	8,90E-07	3,53E-04	0,7	0,1	35,5	63,8
4	247,5	5,51E-07	6,55E-07	3,89E-04	0,7	0,1	35,6	63,6
5	270	5,02E-07	5,99E-07	2,73E-04	0,5	0,1	33,8	65,7
6	292,5	2,33E-07	2,78E-07	5,75E-05	0,4	0,1	25,1	74,5
7	315	1,48E-07	1,76E-07	3,15E-05	0,4	0,1	25,0	74,6
8	337,5	1,47E-07	1,75E-07	1,59E-04	0,3	0,1	25,2	74,4
9	360	3,05E-07	3,63E-07	2,15E-04	0,3	0,1	23,4	76,2
10	22,5	3,57E-07	4,26E-07	8,63E-05	0,4	0,1	25,5	74,1
11	45	4,36E-07	5,19E-07	4,71E-05	0,4	0,1	23,3	76,3
12	67,5	3,00E-07	3,57E-07	6,18E-05	0,4	0,1	27,8	71,7
13	90	4,30E-07	5,13E-07	1,41E-04	0,4	0,1	25,9	73,6
14	112,5	3,39E-07	4,03E-07	1,83E-04	0,4	0,1	26,7	72,8
15	135	1,53E-07	1,82E-07	1,43E-04	0,5	0,1	25,7	73,8
16	157,5	1,30E-07	1,54E-07	8,42E-05	0,5	0,1	30,6	68,8

<sup>a)</sup> meteorologický směr větru

<sup>b)</sup> součet efektivní dávky z externího ozáření za jeden rok a úvazku efektivní dávky z příjmu během 1 roku od úniku na nejvíce exponovanou dlaždici

<sup>c)</sup> kolektivní efektivní dávka pro obyvatelstvo zasažené únikem v daném směru

Tabulka 21: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatnými rozptylovými podmínkami – 16 úniků do všech směrů větrné růžice

Směr větru (HARP)	Směr větru [°] <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	1,13E-06	1,29E-06	2,17E-03	1,33	8,13	64,60	25,94
2	202,5	1,14E-06	1,30E-06	1,03E-03	1,14	8,59	62,83	27,44
3	225,0	1,14E-06	1,30E-06	6,54E-04	1,32	7,34	67,88	23,46
4	247,5	1,15E-06	1,30E-06	1,23E-03	1,23	7,50	67,29	23,98
5	270,0	1,14E-06	1,30E-06	7,90E-04	1,21	7,95	65,39	25,45
6	292,5	1,19E-06	1,35E-06	3,54E-04	0,88	12,94	44,76	41,41
7	315,0	1,36E-06	1,55E-06	3,39E-04	0,87	13,09	44,14	41,90
8	337,5	1,20E-06	1,36E-06	1,09E-03	1,19	6,71	70,63	21,48
9	360,0	4,69E-06	5,33E-06	1,07E-03	0,98	9,05	61,03	28,94
10	22,5	3,68E-06	4,18E-06	5,10E-04	0,82	11,07	52,63	35,48
11	45,0	3,68E-06	4,18E-06	2,56E-04	0,66	11,51	50,83	37,00
12	67,5	5,42E-06	6,16E-06	4,75E-04	0,85	10,30	55,84	33,01
13	90,0	5,42E-06	6,16E-06	6,83E-04	0,95	10,77	53,82	34,45
14	112,5	5,42E-06	6,16E-06	9,18E-04	1,11	7,13	68,96	22,80
15	135,0	1,28E-06	1,46E-06	1,26E-03	1,26	9,37	59,41	29,96
16	157,5	1,13E-06	1,29E-06	1,07E-03	1,09	10,72	53,94	34,26

Za běžného ročního provozu, kdy se předpokládá dlouhodobé a rovnoměrné unikání aktivity lze předpokládat, že roční dávky v nejbližším okolí nepřekročí 0,75  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  u dospělého jedince a 0,89  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  pro nejvíce exponovanou skupinu dětí. Obecně je hlavní cestou ozáření ingesce radionuklidů: H-3, Sr-90 a Cs-137.

Pro málo pravděpodobnou, jednorázovou radiačně nejvýznamnější, mimořádnou situaci s částečně nefunkčním filtračním řetězcem a nejvíce nepříznivé povětrnostní podmínky (hustý déšť) nepřekročí u dospělého jedince součet efektivní dávky z externího ozáření a úvazku efektivní dávky z interního ozáření 5,4  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  respektive 6,2  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$  pro nejvíce exponovaného dětského referenčního jedince.

## B.9 Vliv šíření radioaktivních látek z podzemních prostor HÚ

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

Účel a kontext hodnocení vlivu šíření radioaktivních látek z podzemní prostor HÚ shrnutý v této zprávě je uveden v následující Tab. 22.

Tab. 22: 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 případný maximum vypočtené dávky



**Sociální předpoklady**

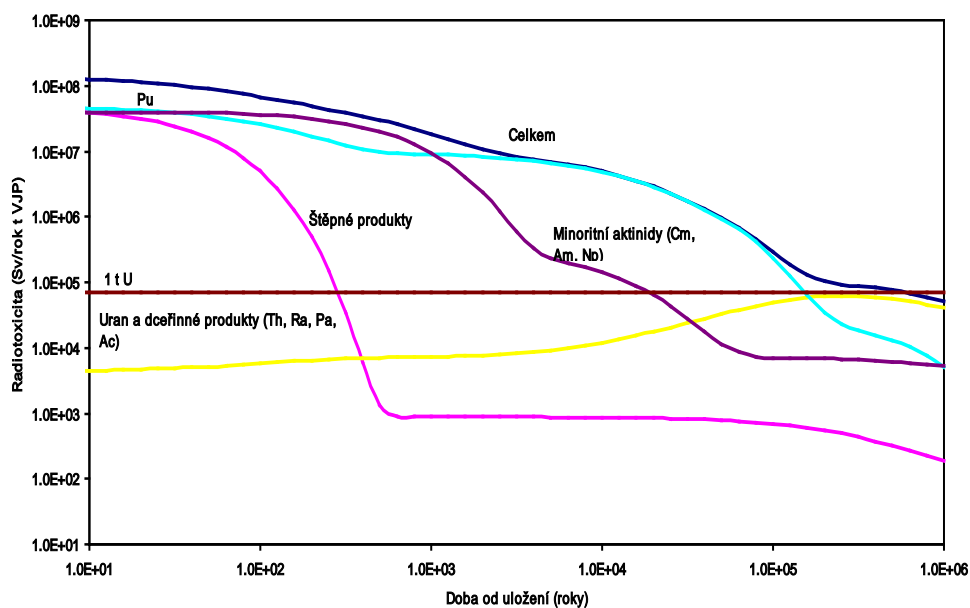
Zemědělská komunita

Moderní technologie a metody hospodaření v rostlinné i živočišné oblasti

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

### B.9.1 Časový rámec hodnocení

V § 9 odst. (2) vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) je vyžadováno navržení a zdůvodnění časového intervalu pro provedení bezpečnostního rozboru. I když celková aktivita vyhořelého jaderného paliva klesne na úroveň uranové rudy, ze které bylo palivo vyrobeno, za dobu zhruba 100 tisíc let (viz Obr. 20), 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. 20: 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

### **B.9.2 Transportní cesty a cesty ozáření**

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

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

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

Uvažované cesty ozáření (expozice) jsou obvykle následující:

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

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

### **B.9.3 Bezpečnostní funkce bariér úložiště**

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

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

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

Tyto bezpečnostní funkce plní především následující fyzické bezpečnostní bariéry:

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

Podrobněji jsou bezpečnostní funkce těchto komponent specifikovány v Tab. 23. Jde o předběžný seznam, který se bude dále rozšiřovat, modifikovat a upřesňovat na základě získávaných poznatků.

Tab. 23: 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 a snížit migraci radionuklidů do životního prostředí pomalým loužením 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 deformaci tlumícího materiálu snížením tloušťky mezi UOS a horninovým prostředím v důsledku 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, uhličitanu, chloridů a dalších korozi aktivních látek v tlumícím materiál)
T4	Tlumící materiál	Omezit mikrobiální korozi UOS (příklad požadavku: bobtnací tlak tlumícího materiálu musí být větší než 3MPa)
T5	Tlumící materiál	Zabránit pohybu UOS v úložném vrtu (příklad požadavku: bobtnací tlak tlumícího materiálu bude vyšší 0,2 MPa)
T6	Tlumící materiál	Bránit akumulaci plynů na rozhraní UOS/tlumící bariéra
T7	Tlumící materiál	Omezit vliv působení korozi aktivních látek na UOS (Příklad limitu pro úložné místo $O_2 = 0$ , $Cl < 2$ mol/l , $HS < 3$ mg/l, $NO_3 < 10^{-3}$ mol/l )
T8	Tlumící materiál	Omezit vliv vody na UOS (příklad požadavku: úložné místo v horninovém prostředí bez zvodnělých puklin z transmitivitou vyšší než $1 \times 10^{-9}$ 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 tlumící 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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. 20), 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).

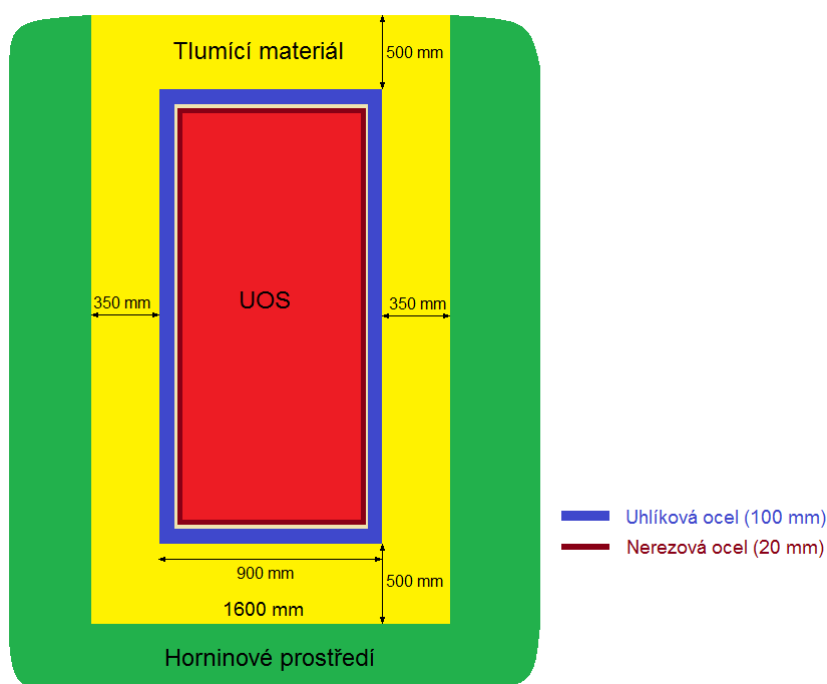
Identifikace všech VPU, které mohou ovlivnit bezpečnost úložiště je zcela zásadní pro provedení bezpečnostního rozboru hlubinného úložiště, neboť zanedbání nějakého procesu či události může výrazně ovlivnit výsledky bezpečnostního rozboru.

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 Koncepční modely normálního vývoje úložiště**

Pro normální scénář vývoje úložiště se předpokládá, že prvních 10 000 let nemůže dojít k uvolnění radionuklidů z UOS. Konzervativně odhadnutá průměrná životnost navržených UOS (viz kapitola B.9.8.2) je  $180\,000 \pm 33\,100$  let.



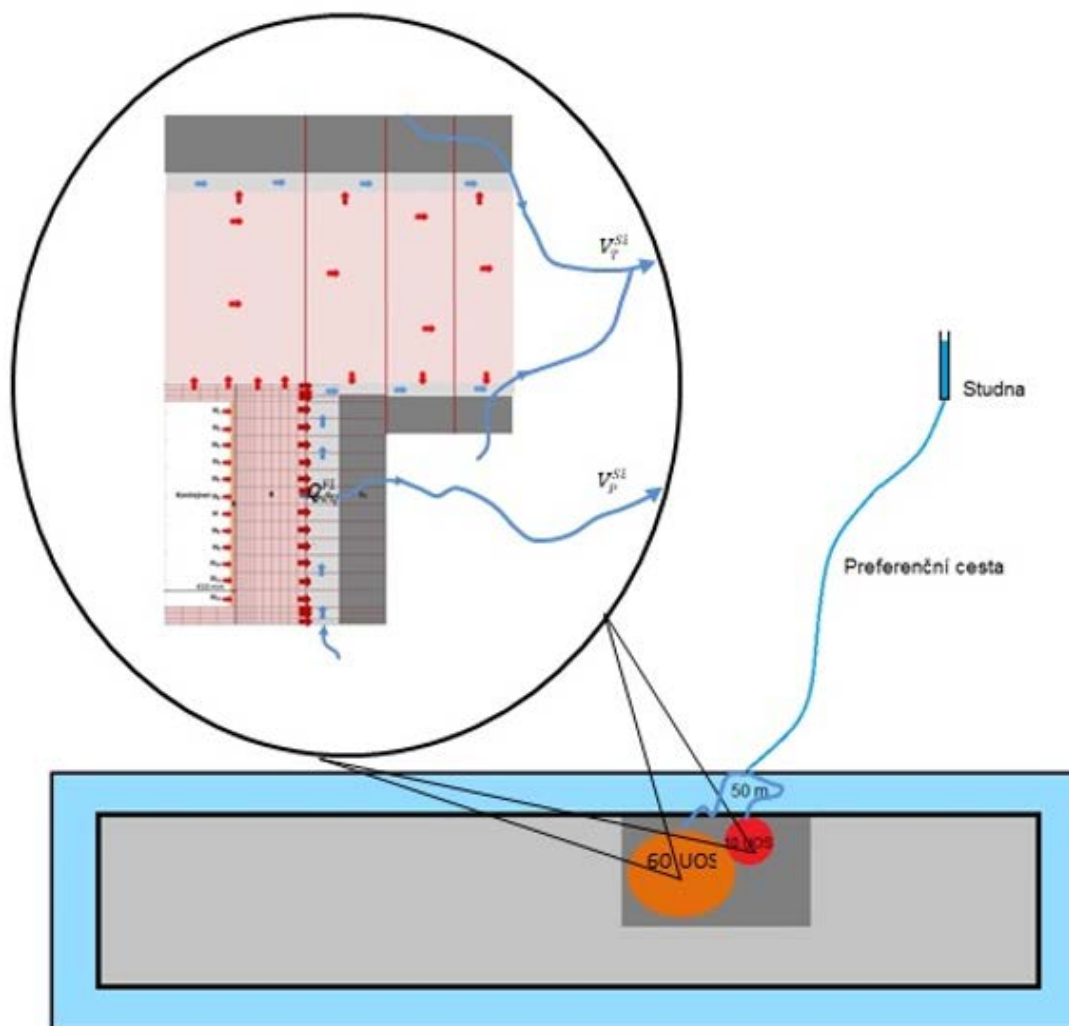
Obr. 21: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu

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. 22).



Obr. 22 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 Janoch, 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. 24, 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. 24: 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 v radioaktivních 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 ÚOS 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. 22, 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 uvažovány rozměry UOS a úložných vrtů pro palivo typu ETE a NJZ. Geometrie průřezu přístupových chodeb byla zjednodušena. Je uvažován pravoúhlý 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. 25. 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. 22.

Tab. 25: 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>		



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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 Bobrůvky. Současný koncept konstrukce ocelového UOS předpokládá, že jeden UOS bude obsahovat sedm nerezových vnitřních pouzder. Protože model reprezentuje druhou skupinu UOS jako jeden element Source, tento fakt nebyl v modelu uvažován.

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

V případě centrálního scénáře byl jako výchozí údaj pro výpočet toků v puklinách blízkého pole považován celkový objemový tok vody z pole blízkých interakcí do geosféry  $V_{cel}[\text{m}^3/\text{s}] = 9,14 \cdot 10^{-7} [\text{m}^3/\text{s}]$ . Tento tok odpovídá toku modelovým blokem na úrovni úložného prostoru o objemu  $50 \times 50 \times 50 \text{ m}^3$ , který protíná puklina s rozměry  $50 \times 50 \text{ m}$  při rozevření  $\delta = 7,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ . Pro simulaci puklin v bezprostředním okolí jsme zvolili stejnou hodnotu rozevření; pro DFN model se  $\delta$  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 kontejnerů, 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 kontejnerů,  $N_1$ , které selžou okamžitě v čase  $T_f = 1 \cdot 10^4 [\text{a}]$ , druhá skupina šedesáti kontejnerů,  $N_2$ , (1% z celkového počtu 6000 kontejnerů směřujících do uvažované drenážní báze Bobruvky (do drenážní báze Bobruvky směřuje 80% z celkového počtu UOS 7600. Tato skupina bude selhávat postupně, podle zprava ohraničeného Gaussova rozdělení se střední hodnotou ( $1,57 \cdot 10^5$  roků) a rozptylem ( $1,65 \cdot 10^4$  roků). Celkový objemový tok v každé z těchto skupin se rozdělí podle počtu UOS na dílčí toky,  $V^{S1,2}$ , okolo jednotlivých UOS jako:

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

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

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

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

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

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

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

kde apertura pukliny,  $\delta$ , 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:

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

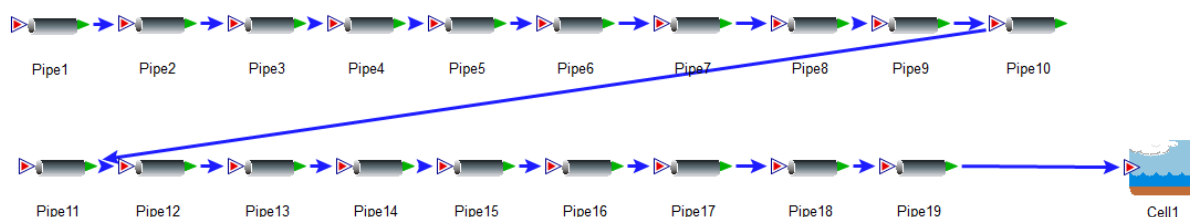
kde  $W$  je šířka pukliny rovna  $1 [\text{m}]$ .

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. 23).



Obr. 23 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.

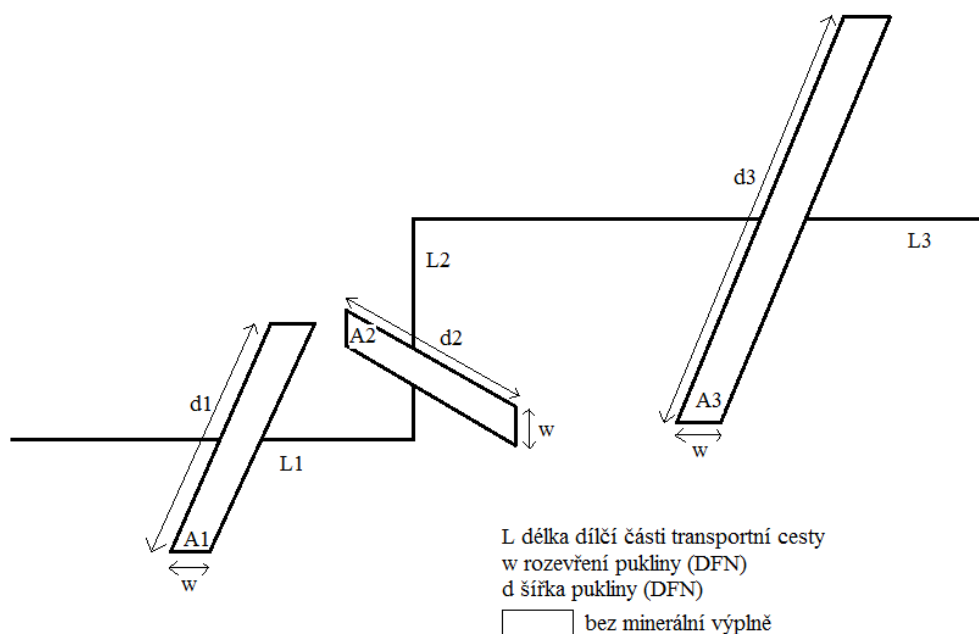
Transportní cesta je v modelu GoldSim charakterizována následujícími veličinami (Obr. 24):

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



6. Mocnost zóny pro difúzi do horninové matrice – předpokládá se neomezená mocnost této zóny

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



Obr. 24 Schéma DFN konceptu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Jako druhý způsob výpočtu průtočné plochy byl po dohodě se zadavatelem zvolen výpočet založený na znalosti průtočné plochy první části transportní cesty, na výpočtu kalibrovaného průtoku první částí transportní cesty (odpovídá vlastnímu úložišti), odhadu kinematické porozity a na předpokladu, že průtočná plocha v dalších částech transportní plochy roste přímo úměrně s průtokem danou částí transportní cesty. Vedle zmíněných předpokladů se dále uvažuje, že průtok podél transportní cesty narůstá jednak díky disperzi danou strukturou horninového prostředí a jednak díky změně hydraulických vlastností horninového prostředí. Pro výpočet průtočné plochy byly převzaty literární hodnoty kinematické porozity, přičemž se uvažuje hodnota  $1 \times 10^{-5}$  v úrovni úložiště a její lineární nárůst na hodnotu  $1 \times 10^{-4}$  v úrovni rozhraní geosféra/biosféra (Hjerpe et al., 2010).

Průtočná plocha jednotlivých částí transportní cesty je dána vztahem:

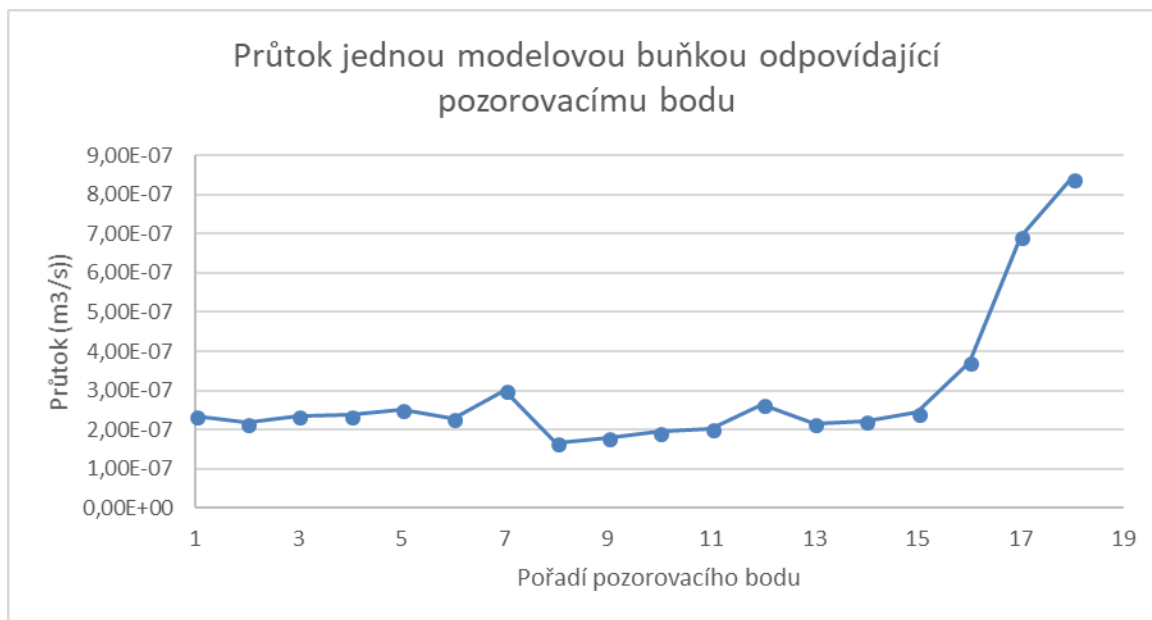
$$A_i = \frac{A_0 \cdot Q_i}{Q_0} \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{q_0}{q_i}, \quad (\text{B.4})$$

kde  $A_0$  je plocha čtyř modelových buněk představující průtočnou plochu úložiště,  $Q_0$  je průtok úložištěm,  $Q_i$  je průtok  $i$ -tou částí transportní cesty,  $\varepsilon_i$  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. 25 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. 25 Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty  $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

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

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

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

Při definování koncepčního modelu je brána v potaz řada zjednodušení, která jsou do koncepčního modelu vnášena. Například reálná puklinová síť je simulována jako jedna široká puklina (velká hodnota  $d$ ) dle Obr. 24 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.

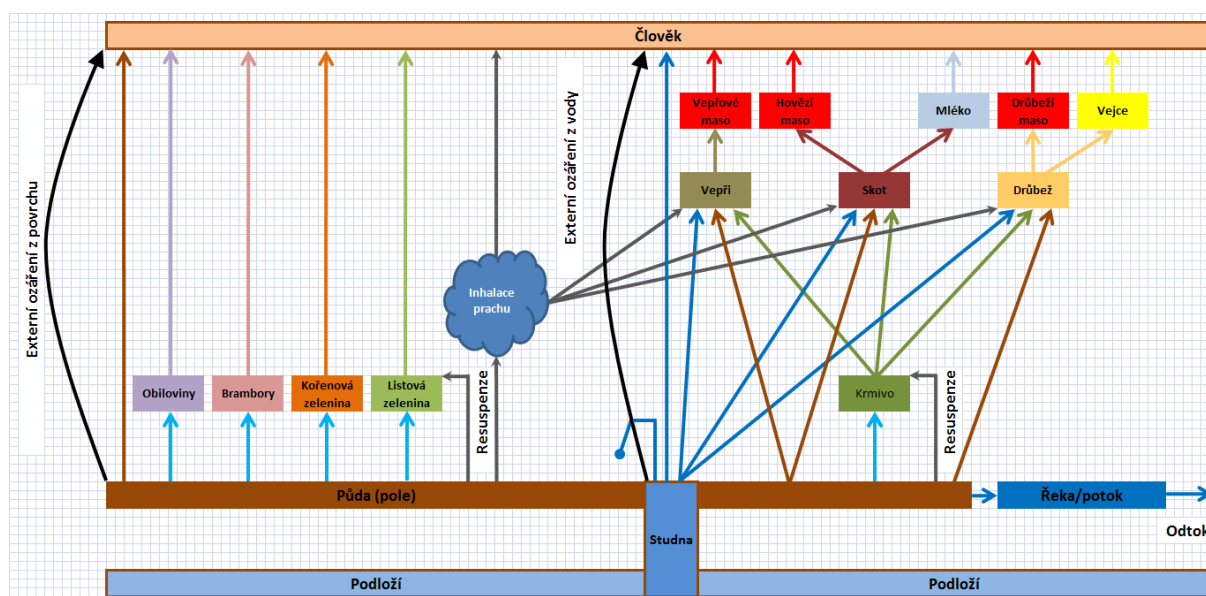
### B.9.6.1.3 Model biosféry

Model biosféry 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. 26.



Obr. 26: 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

puklina, tj. při výpočtu toku radionuklidů do drenážních míst SÚRAO navrhuje uvažovat pouze 6 080 UOS s VJP. Kolem úložných vrtů se předpokládá výskyt EDZ.

### B.9.6.2 Hodnocení kritičnosti

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

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

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

Další řešenou otázkou bylo provedení řady orientačních výpočtů, které z hlediska kritičnosti studovaly vybrané možné stavy několika zjednodušených modelů úložiště v dlouhodobém časovém horizontu. Vyplývá z nich, že kritičnost v úložišti není pro některé modely zcela vyloučena. Pro posouzení takových výsledků je však zásadně nutné vědět, jak k hodnocení stavu kritičnosti v době po uzavření úložiště přistupovat (zde je souvislost s legislativou) a současně umět odhadnout, jakou mají dané modelované stavy pravděpodobnost výskytu i zda, resp. do jaké míry, zvolené modely popisují z daného hlediska v dlouhodobém časovém intervalu realitu úložiště. Taková zjištění plynou ze znalostí scénářů mobility a akumulace jednotlivých izotopů, které je třeba do pro účely těchto studií do procesu hodnocení zapojit. Vývoj úložiště však probíhá tematicky paralelně a tyto souvislosti budou jistě řešeny v některém z dalších projektů.

## B.9.7 Vstupní data do modelů

### B.9.7.1 Inventář radionuklidů

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

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

- VVER-440 Gd-2M+ s průměrným obohacením 4,38 % a vyhořením 60 MWd/kg<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. 26.

Tab. 26: 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  $0,1 \mu\text{m.rok}^{-1}$  a rozptyl životnosti byl odhadnut pro chybu stanovení korozní rychlosti  $\pm 0,01 \mu\text{m.rok}^{-1}$ . 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.

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. 27).

Tab. 27: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu

Nuklid	IRF
<sup>14</sup> C	0,10
<sup>36</sup> Cl	0,16
<sup>79</sup> Se	0,07
<sup>90</sup> Sr	0,07
<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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Nuklid	IRF
<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. 28 a v Tab. 29 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  $\varepsilon$ ), se kterými pracuje model úložiště při popisu bentonitové tlumící vrstvy; při tom se vychází z předpokládané hodnoty objemové hmotnosti bentonitu ( $\rho_d = 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). V údajích o geometrickém faktoru  $G$  pro Po uvedeném ve zprávě (Trpkošová et al. 2017b) byla opravena zřejmá chyba – zde i ve vstupním souboru modelu je třeba uvažovat hodnotu 0,31, která platí i pro Ra.

Tab. 28: Hodnoty referenčních difuzivit  $D_w$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) 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	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-6}$
Ag	$1,70\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-6}$	Am	$1,0\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-5}$
Sn	$1,0\cdot 10^{-9}$	$1,0\cdot 10^{-7}$	Cm	$1,0\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-5}$

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

Tab. 29: Parametry bentonitové tlumicí vrstvy, které shrnují současné poznatky o těchto materiálech. Jsou uvedeny ve formátu, jenž se jenž načítá při modelování komplexní model úložiště připravený v prostředí GoldSim (Trpkošová et al. 2017b).

	kompaktovaný bentonit (Backfill 1)				kompaktovaný bentonit (Backfill 1)		
	$K_d$ [m <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. 30).

Tab. 30: 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>
Zr	1,82.10 <sup>-08</sup>	1,1.10 <sup>-04</sup>	3,5.10 <sup>-10</sup>

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. 31).

Tab. 31: 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
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



Prvek	$K_d$ dolní mez [ $m^3.kg^{-1}$ ]	$K_d$ [ $m^3.kg^{-1}$ ]	$K_d$ horní mez [ $m^3.kg^{-1}$ ]
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  $D_e(m^2 s^{-1})$  či  $D_w(m^2 s^{-1})$  (Tab. 32).

Tab. 32: Difúzní koeficienty  $D_e$  granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu.

Prvek	$D_e$ [ $m^2.s^{-1}$ ] dolní mez	$D_e$ [ $m^2.s^{-1}$ ]	$D_e$ [ $m^2.s^{-1}$ ] horní mez	$D_w$ [ $m^2.s^{-1}$ ]
Be	$1,20.10^{-14}$	$2,40.10^{-14}$	$2,40.10^{-13}$	$5,99.10^{-10}$
C	$8,0.10^{-16}$	$1,6.10^{-15}$	$1,6.10^{-14}$	$1,23.10^{-09}$
Cl	$1,3.10^{-15}$	$2,6.10^{-15}$	$2,6.10^{-14}$	$2,03.10^{-09}$
Ca	$2,50.10^{-14}$	$5,00.10^{-14}$	$5,00.10^{-13}$	$7,92.10^{-10}$
Mn	$1,25.10^{-13}$	$5,11.10^{-13}$	$5,11.10^{-12}$	$5,11.10^{-10}$
Co	$2,51.10^{-13}$	$5,11.10^{-13}$	$5,11.10^{-12}$	$5,11.10^{-10}$
Ni	$4,40.10^{-15}$	$8,8.10^{-15}$	$8,8.10^{-14}$	$6,81.10^{-10}$
Se	$8,30.10^{-15}$	$1,64.10^{-14}$	$1,64.10^{-13}$	$1,27.10^{-09}$
Sr	$5,010.10^{-14}$	$1,02.10^{-13}$	$1,02.10^{-12}$	$7,91.10^{-10}$
Zr	$6,40.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Nb	$6,40.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Mo	$6,40.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Tc	$9,50.10^{-16}$	$1,9.10^{-15}$	$1,9.10^{-14}$	$2,01.10^{-09}$
Pd	$6,450.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Ag	$1,10.10^{-14}$	$2,2.10^{-14}$	$2,2.10^{-13}$	$1,70.10^{-09}$
Sn	$6,45.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
I	$1,30.10^{-15}$	$2,6.10^{-15}$	$2,6.10^{-14}$	$2,00.10^{-09}$
Cs	$1,06.10^{-13}$	$2,13.10^{-13}$	$2,13.10^{-14}$	$2,10.10^{-09}$
Sm	$6,40.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Eu	$2,55.10^{-13}$	$5,11.10^{-13}$	$5,11.10^{-12}$	$5,11.10^{-10}$
Ho	$6,40.10^{-15}$	$1,29.10^{-14}$	$1,29.10^{-13}$	$1,00.10^{-09}$
Pb	$2,00.10^{-14}$	$4,00.10^{-14}$	$4,00.10^{-13}$	$9,30.10^{-10}$
Po	$2,00.10^{-14}$	$4,00.10^{-14}$	$4,00.10^{-13}$	$5,00.10^{-10}$
Ra	$1,85.10^{-14}$	$3,70.10^{-14}$	$3,70.10^{-13}$	$8,89.10^{-10}$



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	$D_w$ [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
Th	$9,50 \cdot 10^{-16}$	$1,90 \cdot 10^{-15}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$	$1,50 \cdot 10^{-10}$
Pa	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
U	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
Np	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
Pu	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
Am	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
Am	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$
Cm	$6,45 \cdot 10^{-15}$	$1,29 \cdot 10^{-14}$	$1,29 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{-09}$

### B.9.7.6 Vstupní data pro výpočet přenosu radionuklidů v biosféře

Model biosféry byl v souladu se zvoleným normálním scénářem vývoje hlubinného úložiště vytvořen na základě referenční biosféry typu zemědělská studna ERB2A dle projektu IAEA BIOMASS-6 (Husťáková, 2018). Konceptní model popisuje transport radionuklidů v životním prostředí a cesty ozáření, které odpovídají životním zvyklostem komunity žijící v oblasti, která bude podle předpokladů kontaminována radionuklidy uniklými z hlubinného úložiště. Pro matematický model biosféry (založený na vztazích uvažovaných pro referenční biosféru ERB2A) byla vyhledána odpovídající vstupní data a nastaveny odpovídající parametry počítačového modelu vytvořeného v programovém prostředí GoldSim (GOLDSIM 2014, 2017).

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

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

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

#### Koncentrace vody ve studni

Časový průběh koncentrace radionuklidů na výstupu z geosféry je výstupem z modelu vzdáleného pole, který je součástí komplexního modelu. Pokud je celková roční spotřeba vody lidskou komunitou (k pití, napájení hospodářských zvířat a zavlažování zemědělské půdy pro pěstování zemědělských plodin) vyšší než přítok kontaminované podzemní vody,

pak se uvažuje, že ve studni dojde k naředění vstupující podzemní vody nekontaminovanou vodou až do potřebného množství vody pro komunitu. Vzhledem k výsledkům provedené Socioekonomické analýzy (ppm factum research 2016), podle které se v okolí lokality nachází obce s méně než 500 obyvateli, byla zvolena velikost komunity 100 osob (spotřeba komunity je pokryta kontaminovanou vodou z 51%).

### Zavlažování zemědělské půdy a infiltrace

Pro výpočty je použita hodnota rychlosti zavlažování **0,2 m/rok** (tj. 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. 33.

Tab. 33: 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
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

Prvek	$K_d$ [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ]
Pd	0,18
Ag	0,38
Sn	1,6
I	0,0069
Cs	1,2
Sm	0,93
Ho	0,93
Po	0,21
Pb	2
Ra	2,5
Th	1,9
Pa	2
U	0,2
Np	0,035
Pu	0,74
Am	2,6
Cm	9,3

### Přenosové faktory půda - rostliny (zemědělské plodiny)

Přenosové faktory půda - rostlina v (Bq/kg čerstvé hmotnosti rostliny) na (Bq/kg suché hmotnosti půdy) pro zemědělské plodiny resp. potraviny rostlinného původu a krmivo pro hospodářská zvířata (vztahované na sušinu) jsou uvedeny v Tab. 34 (podrobnosti viz Husťáková, 2018)

Tab. 34: Přenosové faktory půda - rostlina

Prvek	Obiloviny	Listová zelenina	Kořenová zelenina	Brambory	Krmivo	Krmivo založeno na
	(Cereals)	(Leafy vegetable)	(Root crops)	(Tubers)	(Fodder)	
Be	0,0020	0,010	0,0015	0,0015	0,010	Listová z.
C	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	Vše
Cl	47	25	11	11	25	Listová z.
Ca	0,35	3,5	0,35	0,35	3,5	Listová z.
Co	0,0049	0,15	0,065	0,021	0,029	Tráva
Ni	0,0076	0,28	0,060	0,060	0,11	Tráva
Se	0,25	0,25	0,050	0,050	0,25	Listová z.
Sr	0,11	1,2	0,61	0,13	1,1	Pastva
Zr	0,0010	0,0040	0,0040	0,002	0,010	Pastva
Nb	0,014	0,017	0,017	0,0040	0,020	Pastva
Mo	0,80	0,51	0,32	0,32	0,80	Obiloviny
Tc	2	250	46	0,094	76	Pastva
Pd	0,040	0,15	0,040	0,040	0,15	Listová z.
Ag	0,25	0,00020	0,0010	0,0010	0,2	Pastva
Sn	0,0060	0,030	0,0060	0,0060	0,030	Listová z.

Prvek	Obiloviny	Listová zelenina	Kořenová zelenina	Brambory	Krmivo	Krmivo založeno na
	(Cereals)	(Leafy vegetable)	(Root crops)	(Tubers)	(Fodder)	
I	0,00036	0,0041	0,0047	0,0047	0,0037	Pastva
Cs	0,020	0,074	0,030	0,035	0,19	Pastva
Sm	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	Listová z.
Ho	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	Vše
Po	0,00024	0,0074	0,0058	0,0027	0,12	Pastva
Pb	0,011	0,080	0,0023	0,00052	0,092	Pastva
Ra	0,029	0,12	0,091	0,012	0,26	Tráva
Th	0,0027	0,00086	0,0011	0,00025	0,099	Pastva
Pa	0,000022	0,00047	0,00035	0,00035	0,00047	Listová z.
U	0,0077	0,043	0,025	0,028	0,072	Pastva
Np	0,0029	0,027	0,022	0,0057	0,034	Pastva
Pu	4,9E-06	8,3E-05	3,9E-04	1,5E-04	0,00030	Pastva
Am	0,000022	0,00027	0,00067	0,00015	0,0015	Pastva
Cm	0,000023	0,0014	0,00085	0,00015	0,00083	Pastva

### Výnosy zemědělských plodin

Výnosy zemědělských plodin (obilovin, listové zeleniny, kořenové zeleniny, brambor a krmiv-pícnin) byly převzaty z údajů dostupných na stránkách Českého statistického úřadu (viz Tab. 35).

Tab. 35: 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 krmiv vy-pěstovanými 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. 36.

Tab. 36: 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

Prvek	Kravné mléko	Hovězí maso	Vepřové maso	Drůbeží maso	Vejce
	(Cow's milk)	(Beef)	(Pork)	(Poultry)	(Eggs)
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. 37.

Tab. 37: Parametry použité pro hospodářská zvířata

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

### Pobytové časy pro hospodářská zvířata

U hospodářských zvířat se konzervativně uvažuje celodenní pobyt (**24 h/den**) venku v prostředí s nejvyšší prašností uvažovanou pro zemědělské činnosti  **$5,0 \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$** .

### Spotřební koš

V §67 odst. (3) vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h) je pro případ, kdy nejsou známa data lépe odpovídající situaci, při které dochází k ozáření, uvedeno doporučené množství požití vody v jednom roce pro reprezentativní osobu starší 15 let - **730 l/rok**. Tato hodnota je převzata pro roční spotřebu vody reprezentativní osobou. Při výpočtu je uvažována hodnota příjmu půdy reprezentativní osobou **0,0083 kg/rok**. V Tab. 38 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. 38: 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:

- 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 ozáření 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. (SUJB 2016h) je pro případ, že nejsou známa data lépe odpovídající situaci, při které dochází k ozáření, uvedeno doporučené množství vdechovaného vzduchu v jednom roce pro reprezentativní osobu starší 15let - **8 500 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. 39 pro každou aktivitu reprezentativní osoby uvedeny příslušné pobytové časy, prašnosti vzduchu, rychlosti dýchání a způsob výpočtu zevního ozáření.

Tab. 39: 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

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]	-
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. (SUJB 2016h) stanoví pro výpočet úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření v Příloze č. 3:

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

Tyto konverzní faktory (viz Tab. 40) budou použity při výpočtu celkové roční efektivní dávky pro reprezentativní osobu, konkrétně příspěvků z příjmu radionuklidů požitím (ingescce) a příjmu radionuklidů vdechnutím (inhalace).

Tab. 40: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím

Radionuklid	Požití (ingescce)	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>
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>



Radionuklid	Požítí (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]
Cs-137	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$3,9 \cdot 10^{-08}$
Sm-151	$9,8 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-09}$
Ho-166m	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$
Po-210	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$
Pb-210	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$
Ra-226	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$
Ac-227	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$
Th-228	$7,2 \cdot 10^{-08}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$
Ra-228	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$
Th-229	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$
Th-230	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$
Pa-231	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$
Th-232	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$
U-233	$5,1 \cdot 10^{-08}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$
U-234	$4,9 \cdot 10^{-08}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$
U-235	$4,7 \cdot 10^{-08}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$
U-236	$4,7 \cdot 10^{-08}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$
Np-237	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$
Pu-238	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$
U-238	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$
Pu-239	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$
Pu-240	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$
Am-241	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$
Pu-241	$4,8 \cdot 10^{-09}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$
Pu-242	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$
Am-242m	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$
Am-243	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$
Cm-244	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$
Cm-245	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$
Cm-246	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$

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

Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření použité k výpočtu dávky na reprezentativní osobu ze zevního ozáření jsou uvedeny v Tab. 41. Pro výpočet ozáření z povrchu kontaminované půdy jsou konzervativně použity hodnoty faktorů pro nekonečnou hloubku půdy.

*Tab. 41: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody*

Radionuklid	Požítí (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)	Radionuklid
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]	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>
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>

Radionuklid	Požítí (ingesce)	Vdechnutí (inhalace)	Radionuklid
	DCing [Sv/Bq]	DCinh [Sv/Bq]	DCext <sub>w</sub> [[Sv/s]/[Bq/m <sup>3</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. 42.

Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech jsou uvedeny v Tab. 43.

Tab. 42: 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. 43: 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).

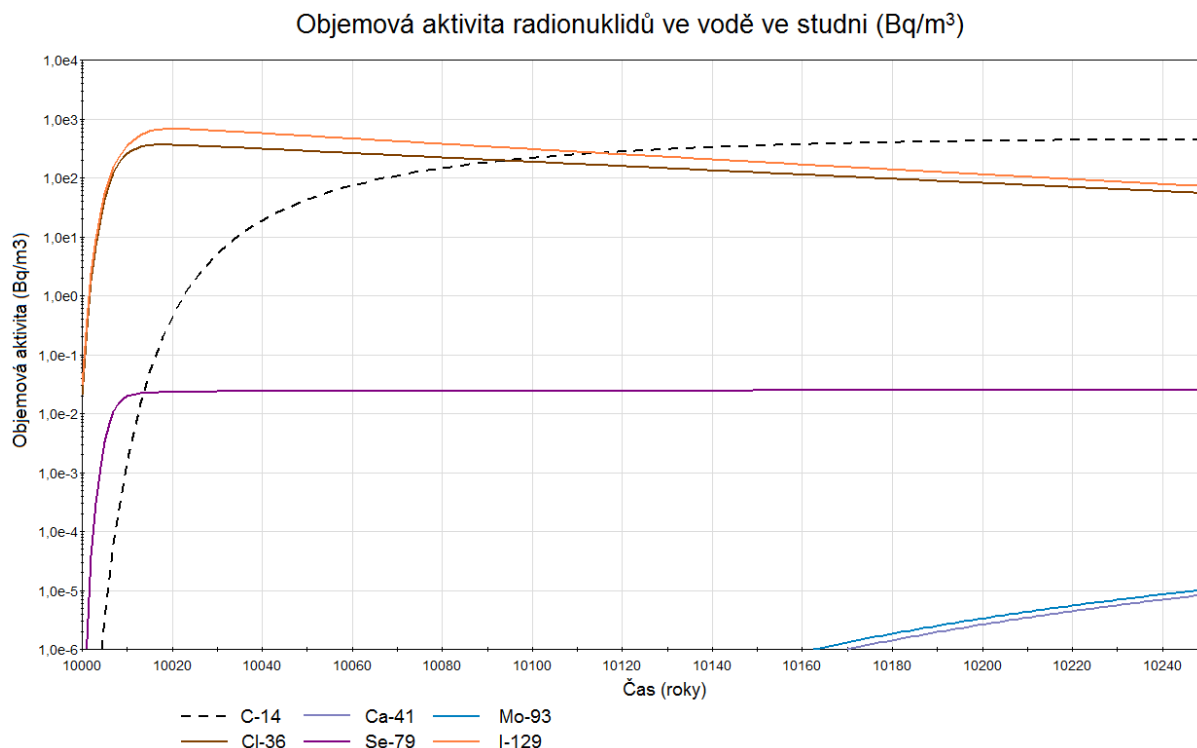
Dalšími výstupy hodnocení jsou koncentrace/měrné aktivity radionuklidů podél transportní cesty a v životním prostředí:

- 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. 27.

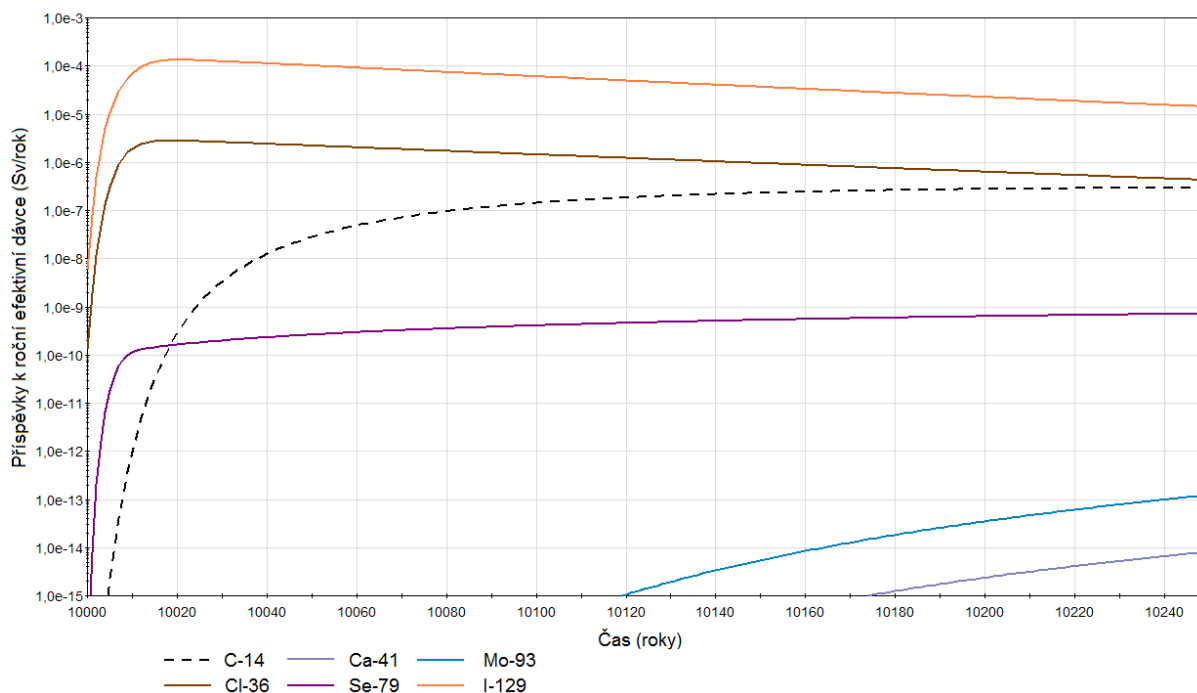


Obr. 27: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra (Bq/m<sup>3</sup>) - (0-10250 let)

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce jsou uvedeny v grafu na Obr. 28 a celkové výsledky shrnuty v Tab. 44.



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



Obr. 28: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

Tab. 44: 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>	10 020
Příspěvek jednotlivých <b>cest ozáření</b> k roční efektivní dávce		
Příjem radionuklidů požitím ( <b>ingesce</b> )	<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
<b>Listová zelenina</b>	<b><math>3,22 \cdot 10^{-2}</math></b>	10 020
Kořenová zelenina	$3,38 \cdot 10^{-3}$	10 020

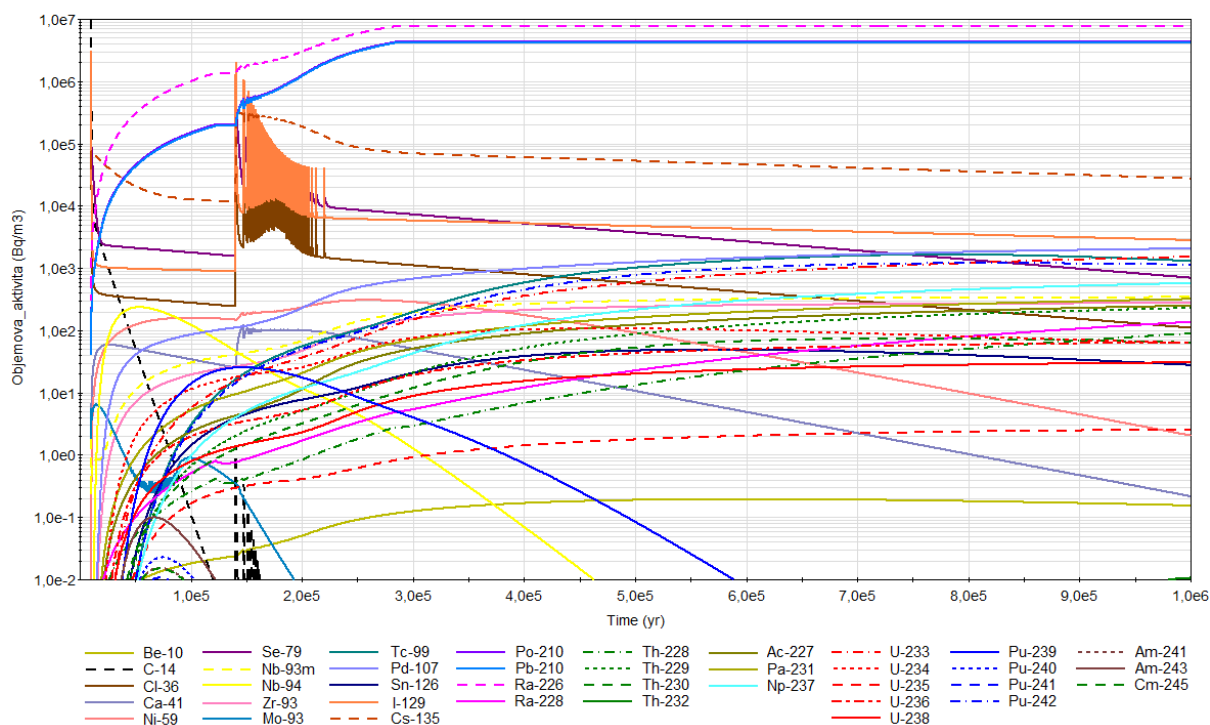
Deterministický výpočet Časový interval hodnocení <b>0 - 10 250 let</b>	Maximální hodnota [mSv/rok]	Doba dosažení maximální hodnoty
Brambory	$4,59 \cdot 10^{-3}$	10 021
Hovězí maso	$1,55 \cdot 10^{-3}$	10 020
<b>Mléko</b>	<b><math>3,69 \cdot 10^{-2}</math></b>	10 020
Vepřové maso	$2,40 \cdot 10^{-3}$	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

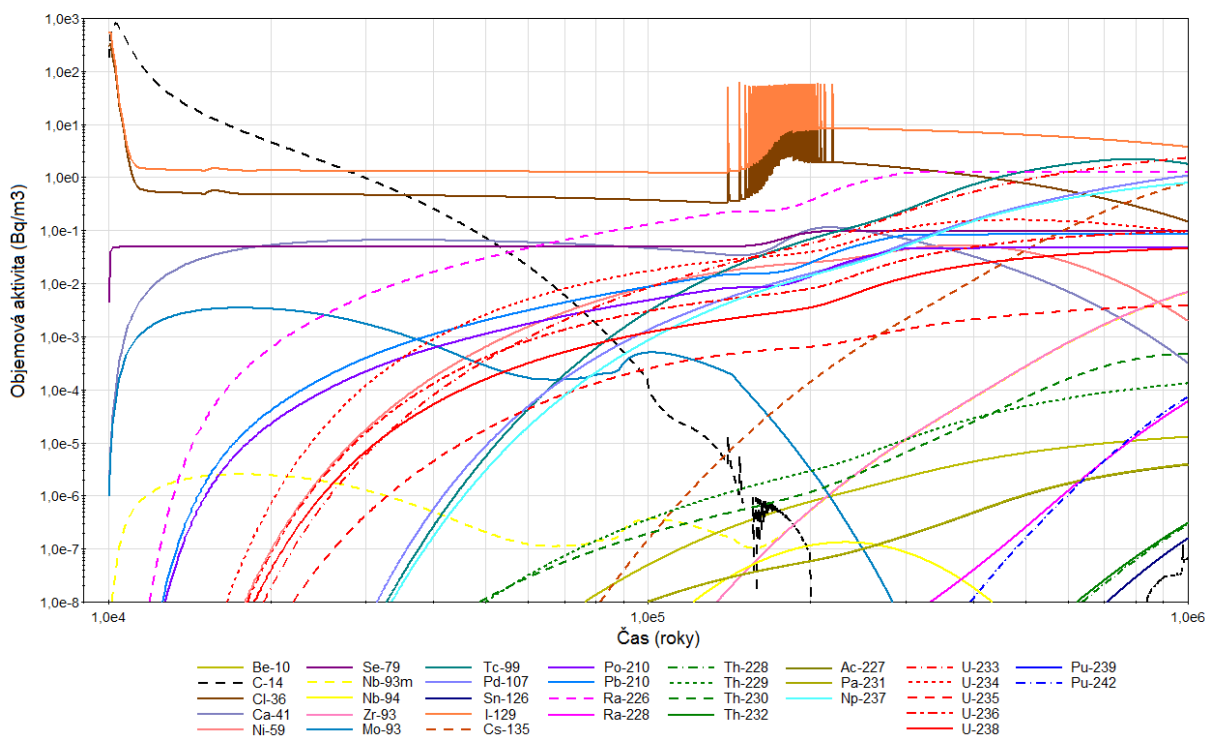
V časovém intervalu hodnocení 0 - 10 250 let maximum vypočtené roční efektivní dávky na reprezentativní osobu dosahuje hodnoty **0,136 mSv/rok** (54,4% dávkové optimalizační meze) v roce 10 020 (20 let po náhlém poškození 10 UOS současně v jednom roce). K výsledné hodnotě dávky nejvíce přispívají radionuklidy 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. 29 a Obr. 30.

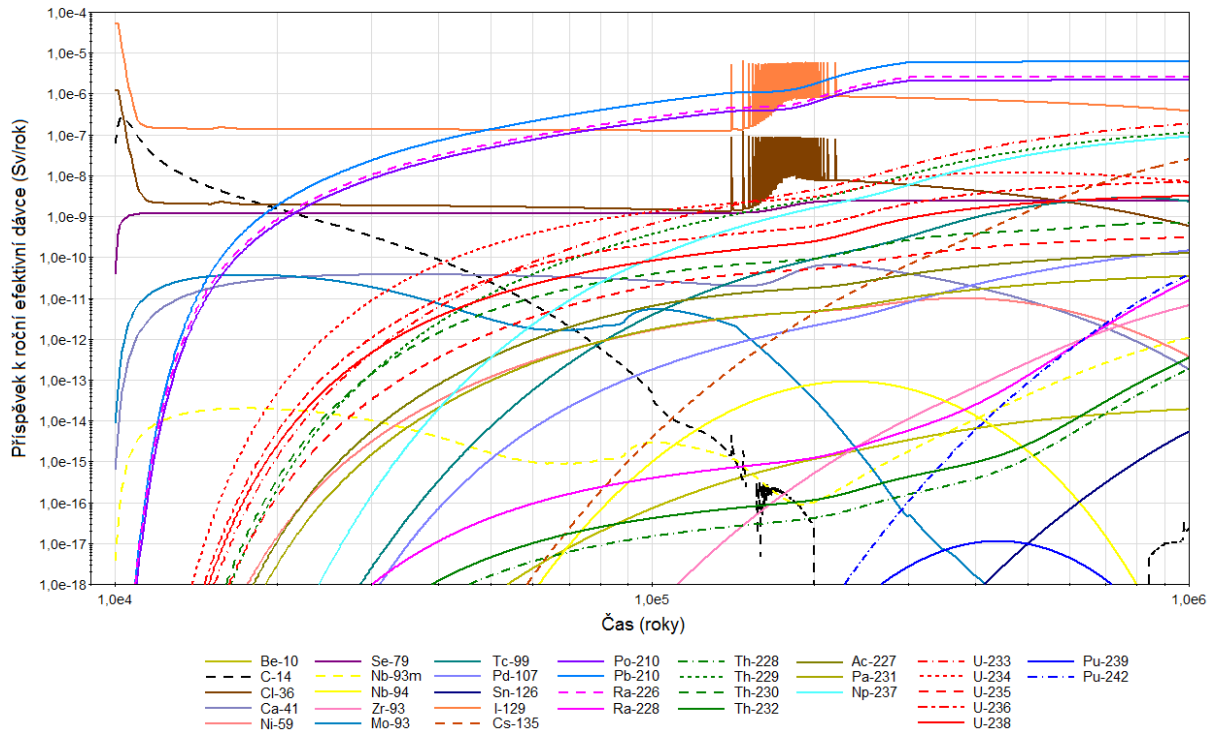
**Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole (Bq/m<sup>3</sup>)**

 Obr. 29: 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. 30: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry (Bq/m<sup>3</sup>) - (0-1000000 let)



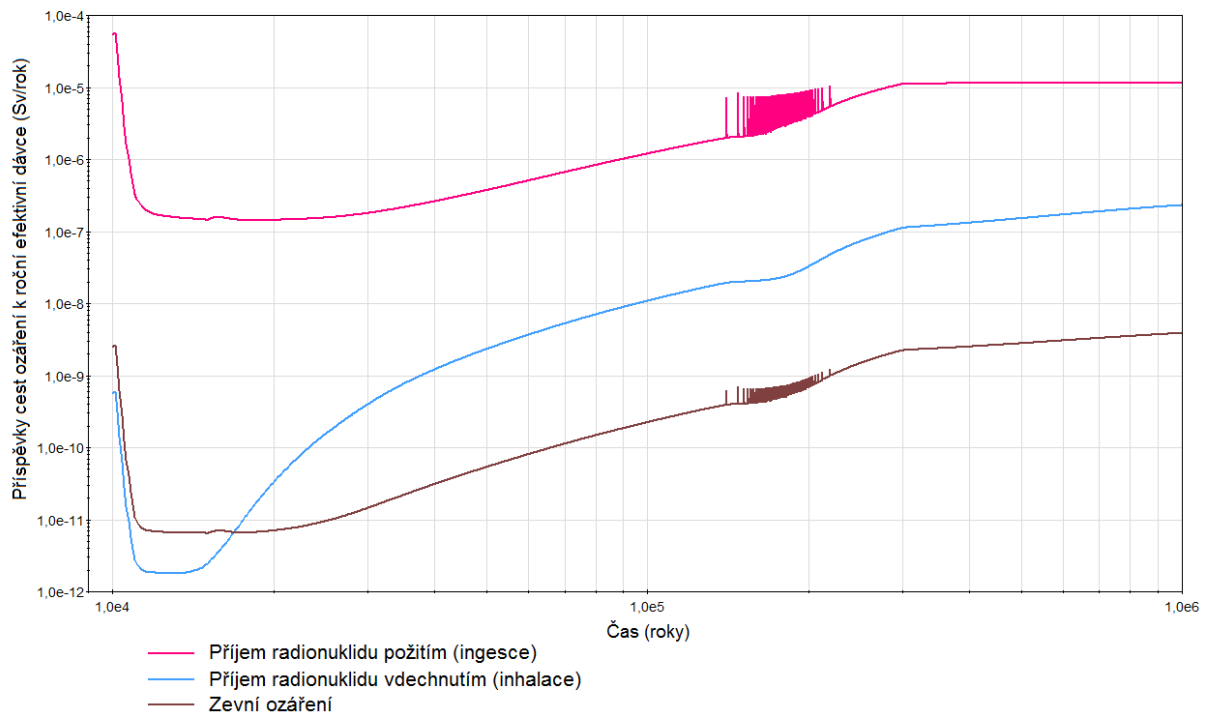
Na Obr. 31 jsou uvedeny příspěvky jednotlivých radionuklidů k čochní efektivní dávce, na Obr. 32 příspěvky jednotlivých expozičních cest na Obr. 33 maximální příspěvky radionuklidů k efektivní dávce.

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

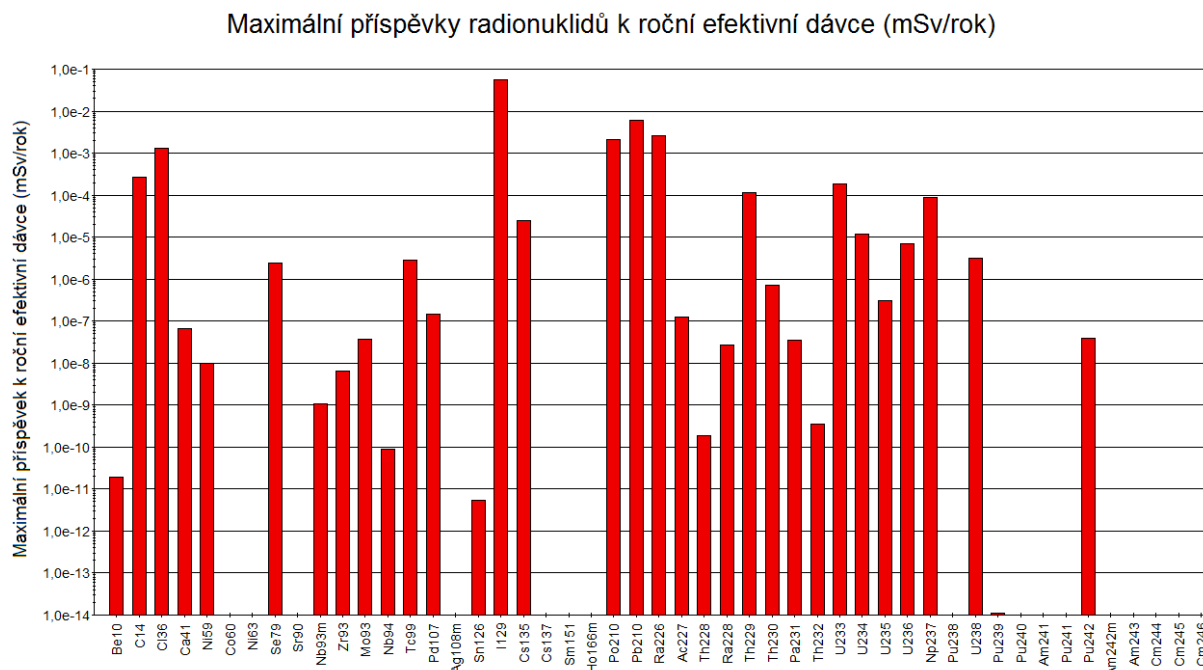


Obr. 31: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (Sv/rok)

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



Obr. 32: Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce (Sv/rok) - (0-1 milion let) (0 - 1000000 let)



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

Celkové výsledky jsou shrnuty v Tab. 45.

Tab. 45: 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 výpočetního kódu PAGODA vyvinutého ve společnosti Quantisci (QuantiSci, 1990). Tento výpočet je založen na průměrných hodnotách pro krystalinické prostředí (viz Tab. 24). 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:

$$C_n^C = \frac{M_n}{\alpha_j^C V^C} \quad (1)$$

,kde  $V^C$  je volný objem UOS,  $M_n$  je celkové množství radionuklidu v oblasti UOS a  $\alpha_j^C$  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:

$$F_j(t) = -2\pi r_0 DL\varepsilon \left. \frac{\partial C_j}{\partial r} \right|_{r=r_0} \quad (2)$$

,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 advekčně-disperzní rovnice, která zahrnuje difúzi radionuklidů do neproudící vody v matici horniny:



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

,kde  $v^G$  je rychlost vody v pórech (m/rok),  $D^G$  je disperzní koeficient v horninovém prostředí ( $m^2/rok$ ),  $\varepsilon^G$  je kinematická porozita,  $\varepsilon^M$  je porozita v matici horniny,  $\Omega^M$  je smáčený povrch pukliny ( $m^2/m^3$ ) a  $w$  je vzdálenost do horninové matrice. Uvnitř matrice se migrace radionuklidů řídí běžnou difúzní rovnicí zahrnující sorpci radionuklidů.

Výpočet dávky v biosféře byl zjednodušen na scénář studně o kapacitě 10 000 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 lokality Janoch jde o radionuklidy ze 73 obalových souborů (Podobná hodnota je uvedena i v bezpečnostních zprávách Posiva (Hjerpe et al., 2010).

Pro ředění toku radionuklidů z horninového prostředí do studně se využívá hodnota kapacity využívané studně. V tomto zjednodušeném scénáři předpokládáme, že studna využívaná pouze k celoročnímu pití vody má kapacitu 10000 m<sup>3</sup>/rok. Maximální aktivita <sup>129</sup>I na rozhraní geosféra/biosféry při okamžitém, málo pravděpodobném, poškození všech 4294 obalových souborů směřujících do dominantní drenáže řeky Vltava byla spočítána na hodnotu 3,99 x 10<sup>8</sup> Bq/m<sup>3</sup> zhruba za 5000 let po okamžitém poškození obalových souborů, což při výše uvedených předpokladech odpovídá hodnotě efektivní dávky 3,2 x 10<sup>-2</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).

## 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 B.3.a B.5). Je možno konstatovat, že na základě expertního hodnocení nebyly v lokalitě Janoch zjištěny charakteristiky, která by vylučovaly umístění hlubinného úložiště.


V rámci kapitoly B.7 byly rovněž zhodnoceny vlastnosti území z hlediska požadavků na umístění jaderných zařízení umístěvaná na povrchu či blízko povrchu. Ani zde nebyla zjištěna charakteristika, při jejichž dosažení by umístění povrchového jaderného zařízení bylo zakázáno.

### **B.11 Požadavky na projekt jaderného zařízení vzešlé z hodnocení území k umístění jaderné zařízení**

Projekt hlubinného úložiště a zvolené inženýrské bariéry mohou výrazně ovlivnit bezpečnost hlubinného úložiště, zejména v koncepci úložiště umístěného v puklinovém, krystalickém prostředí. Bezpečnost hlubinného úložiště může být rovněž výrazně ovlivněna dobou skladování vyhořelého jaderného paliva. Čím delší skladování, tím menší jsou nároky na potřebný podzemní prostor a tím snadněji bude možno vybrat vhodné prostředí bez výrazných puklin, který by mohly přivést vodu k obalovým souborům s VJP a odvádět radionuklidy do životního prostředí. Bez znalosti prostředí v hloubce úložiště je však obtížné navrhovat lepší materiály pro obalové soubory, lepší těsnící 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**

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 budou možno vybrat vhodné prostředí bez výrazných puklin, který by mohly přivést vody k obalovým souborům s VJP a odvádět radionuklidy do životního prostředí. Bez znalosti prostředí v hloubce úložiště je však obtížné navrhovat lepší materiály pro obalové soubory, lepší těsnící systémy či ekonomicky optimální řešení designu úložiště. Tato kapitola bude více relevantní v dalších stádiích vývoje hlubinného úložiště.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

## B.13 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
- 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.13.1 Vyhořelé jaderné palivo

Do HÚ bude ukládáno nepřeprocessované VJP z provozovaných jaderných elektráren EDU1-4, ETE1-2, dále z plánovaných 3 nových bloků EDU5 a ETE3-4 a nepřeprocessované nízko-obohacené palivo z výzkumných reaktorů.

#### B.13.1.1 Základní parametry VJP

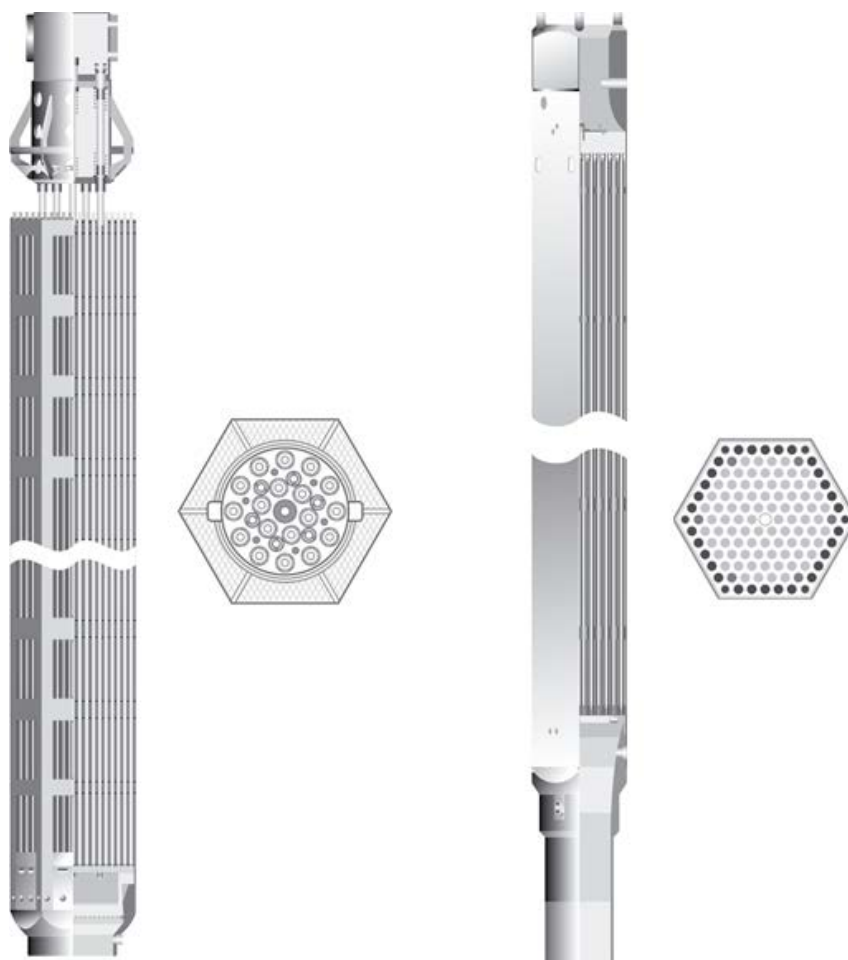
Přehled základních parametrů uvažovaného VJP je uveden v Tab. 46. U všech elektráren (i NJZ) se předpokládá doba provozu 60 let a doba mezi vyjmutím paliva z reaktoru a uložením do HÚ 65 let. Stávající jaderné bloky mají maximální vyhoření 60 MWd/kg. Pro NJZ se předpokládá vyšší maximální vyhoření a to 70 MWd/kg. Za uvedených předpokladů vychází celkový počet **UOS 7 600 ks**.

Tab. 46: 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.13.1.2 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. 34.



Obr. 34: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm)

Palivový proutek (Obr. 35) je nejdůležitější součástí jaderného paliva a také základní stavební jednotkou výpočetního modelu vyhoření paliva.





Obr. 35: 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.13.1.3 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.47. Aktivity vybraných klíčových radionuklidů přepočítané na jeden UOS a na celkovou aktivitu všech palivových souborů z EDU, ETE a NJZ jsou uvedeny v Tab. 48.

Tab.47: 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. 48: 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.13.1.4 Tepelný výkon UOS

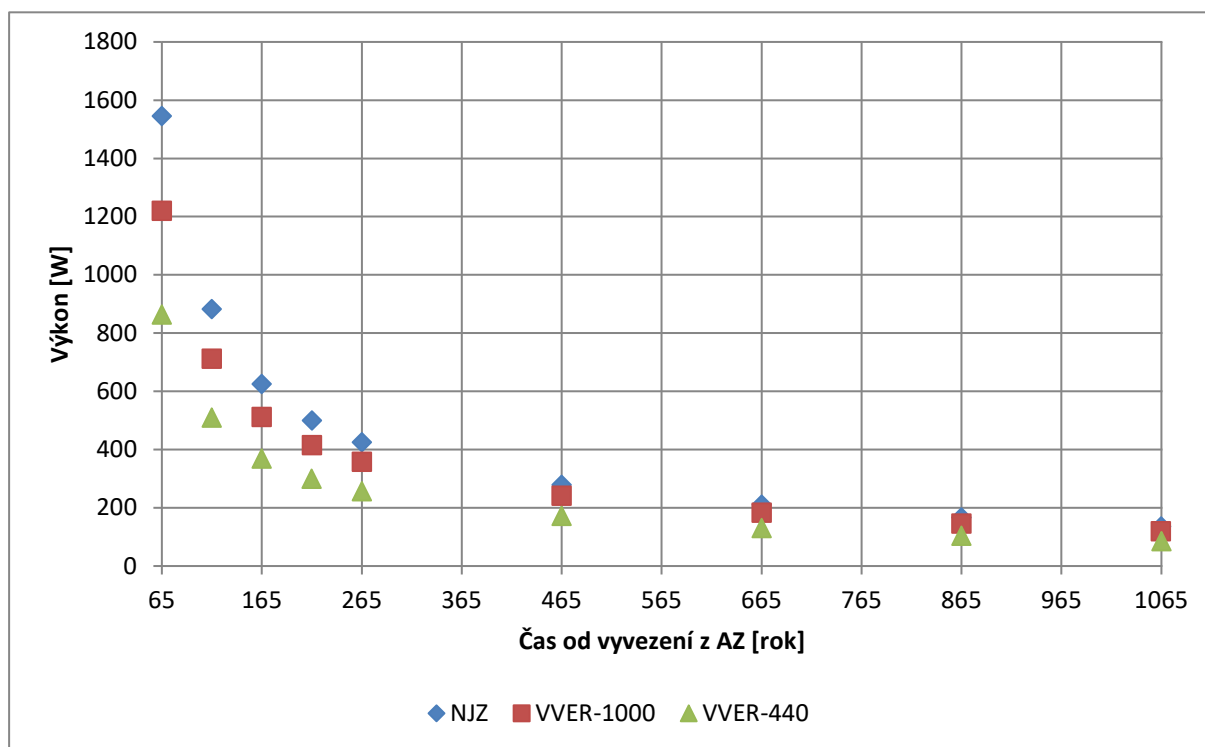
Zbytkový výkon pro jeden UOS s VJP byl spočítán pro následující varianty PS:

- 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 jsou uvedeny v Tab. 49. Grafické znázornění zbytkového výkonu pro jeden UOS je na Obr. 36.

Tab. 49: Zbytkový výkon na jeden 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. 36: Zbytkový výkon na jeden UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ:

### B.13.1.5 Příkon ekvivalentní dávky UOS

V programu MCNP5 (X-5 Monte Carlo team, 2010) byl vytvořen zjednodušený dvourozměrný model jednotlivých typů kontejnerů. Toto přiblížení je konzervativním odhadem skutečné geometrie UOS. Provedené výpočty zohledňují aktualizované rozměry UOS. Rozměry pro UOS paliva VVER-440 byly převzaty z řízené dokumentace Škoda JS (Ae 17004) – varianta 2. Rozměry UOS pro VVER-1000 a paliva NJZ byly odhadnuty na základě této aktualizace při zachování mezery mezi palivovými soubory a vnitřním pouzdrům UOS. Zachována byla také tloušťka jednotlivých částí UOS. Rozměry konstrukcí obalových souborů použitých ve výpočetních modelech jsou uvedeny v Tab. 50.

Tab. 50: 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. 51.

Tab. 51: 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	neutrony
VVER-440 Gd-2M	2,34	11,41	13,75
VVER-440 Gd-2M+	2,4	11,54	13,94
VVER-1000	2,25	11,61	13,86
NJZ	3,69	13,44	17,14
Typ paliva	Příkon ekvivalentní dávky ve vzdálenosti 1 m od UOS [mSv.h <sup>-1</sup> ]		
	neutrony	fotony	neutrony
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.13.2 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)

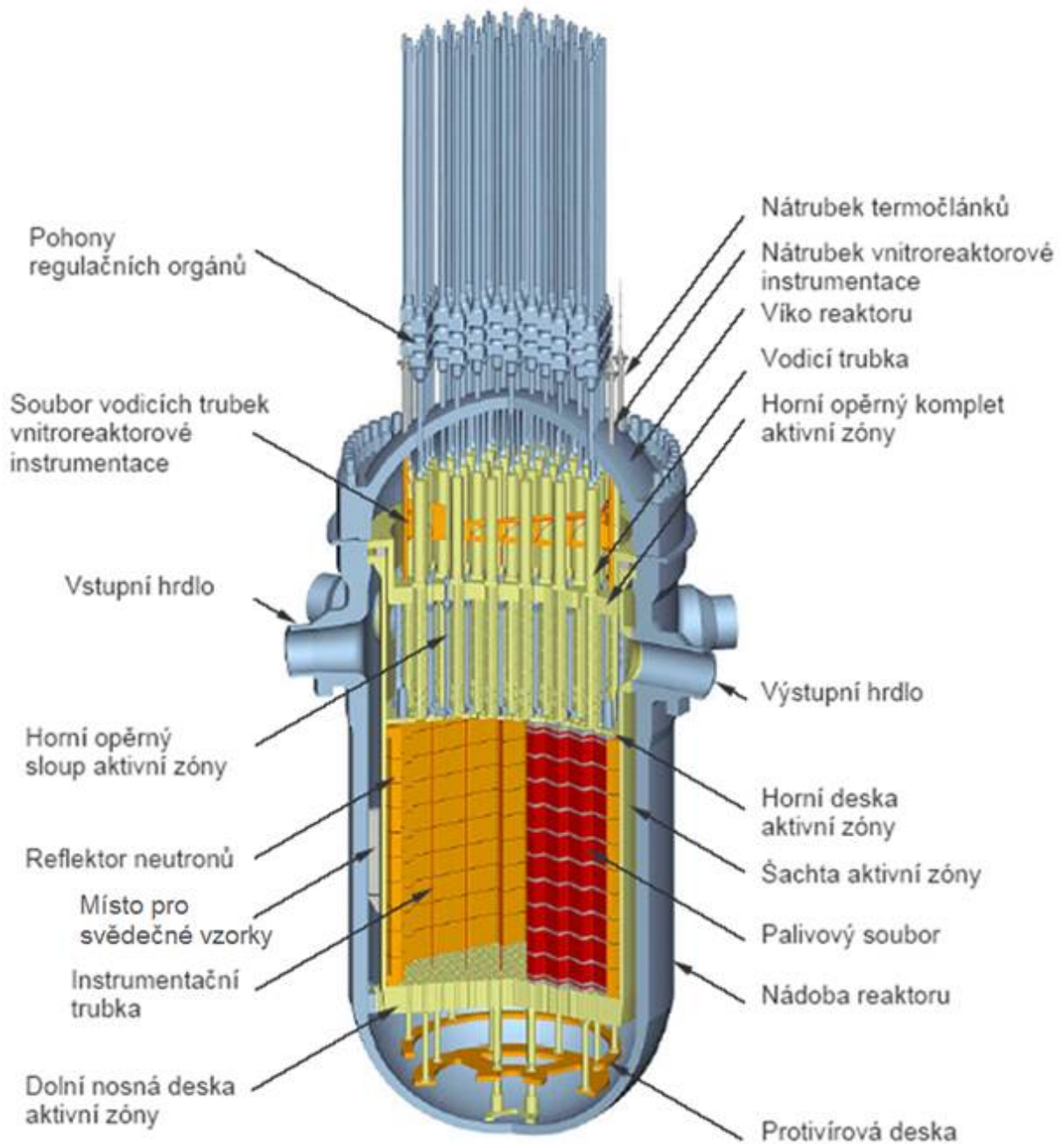
#### B.13.2.1 JE Temelín

V Tab. 52 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. 37.

Tab. 52 : 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
serpentinový 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. 37: Vertikální řez reaktoru VVER-1000

V Tab. 53 jsou uvedeny měrné aktivity klíčových radionuklidů technologických částí reaktoru po ukončení provozu reaktoru: koš AZ, šachta reaktoru, TNR, návar TNR. Celková aktivita po 40 letech od konce provozu se sníží a to přibližně o dva řády v závislosti na tom, který radionuklid převažuje v dané části reaktoru.

Tab. 53: 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. 54. V tabulce jsou současně uvedeny měrné aktivity těchto materiálů na konci provozu a v době ukládání.

Tab. 54: 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. 55 představují celkovou aktivitu sledovaných radionuklidů (pro oba bloky JE Temelín) v konstrukční oceli, nerezové oceli a betonu v době plánovaného ukládání do HÚ.

Tab. 55: 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	C-14	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.13.2.2 JE Dukovany

Hmotnostní bilance technologických částí, počet a hmotnost betonových kontejnerů pro jeden reaktor VVER-440 je uvedena v Tab. 56. Celková hmotnost a počet betonových kontejnerů je spočítán pro všechny 4 reaktory JE Dukovany.


Tab. 56: 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. 57 a Tab. 58 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. 57: 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Tab. 58: 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. 59.

Tab. 59: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany

Materiál	aktivita [Bq]			
	C-14	Ca-41	C-14	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.13.2.3 Vyřazování NJZ

V dlouhodobých plánech provozovatele jaderných elektráren se počítá s výstavbou, provozováním a následně i s vyřazováním z provozu dvou nových bloků v JE Temelín a jednoho nového bloku v JE Dukovany. V JE Temelín se uvažuje o reaktoru s výkonem 2 000 MW, dobou provozu 60 let. Pro JE Dukovany se uvažuje blok o výkonu max. 1 700 MW, s dobou provozu 60 let. Souhrnné hodnoty hmotnostní bilance a měrné aktivity pro všechny bloky NJZ jsou stanoveny za uvedených předpokladů a pro okamžité vyřazování z provozu, viz Tab. 60.

Tab. 60: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro všechny plánované bloky a pro okamžité vyřazování z provozu 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.13.2.4 Vyřazování výzkumného reaktoru LVR-15

Návrh způsobu vyřazování výzkumného jaderného reaktoru LVR-15 (Centrum výzkumu Řež s.r.o.) z provozu předpokládá, že reaktor bude v provozu 35 let a aktivní biologické stínění (beton) nebude ukládáno v HÚ. Seznam materiálů určených do HÚ zahrnuje:

- nádobu reaktoru, ocel 08Ch18N10T, uvažovaná hmotnost 7 900 kg
- koš AZ, horizontální kanály a tepelná kolona, hliník AlMg5, hmotnost 275 kg
- absorpční tyče, 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. 61.

Tab. 61: 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.13.3 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.13.3.1 Vyrořené jaderné palivo z výzkumného reaktoru LVR-15

##### Palivo IRT-4M s obohacením pod 20%

V současné době používané palivo IRT-4M s obohacením pod 20 % (19,7 %) je po vytažení z reaktoru skladováno u původce (Centrum výzkumu Řež s.r.o., resp. ÚJV Řež, a. s.) a neuvažuje se o jeho přepracování v Ruské federaci. Provozem reaktoru LVR-15 vznikne odhadem 320 ks VJP IRT-4M. Palivové soubory budou skladovány tzv. suchým způsobem v transportních OS (Škoda VPVR/M) následně budou přeloženy do speciálně vyvinutých OS pro uložení do HÚ. Požadovaný počet OS Škoda VPVR/M pro vzniklé množství palivových souborů je 9 ks a jejich skladování je uvažováno ve Skladu VAO v ÚJV Řež, a. s.

##### Vysoce obohacené palivo

V minulosti používané vysoce obohacené palivo bylo na základě mezinárodních úmluv předáno k přepracování do Ruské federace. Po roce 2024 bude přepracované palivo v podobě vitrifikátu přivezeno na dvakrát zpět do České republiky a později uloženo v HÚ. Vitrifikát bude před uložením do HÚ skladován v ÚJV Řež, a. s. Hmotnosti vitrifikátu

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

s celkovou aktivitou a celkovým objemem pro obě přepravy jsou uvedeny v Tab.62. Aktivita vybraných klíčových radionuklidů jsou shrnuty v Tab. 63.

Tab.62: 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. 63: 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.13.3.2 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. 64 jsou uvedeny aktivity alfa, beta a gama zářičů a celkové hmotnosti RAO pocházející z ÚJV Řež, a. s. a RAO předané do režimu skladování ostatními institucionálními původci. Referenční datum, ke kterému je stanovena aktivita od ostatních původců, je 31. 10. 2016. Referenční datum pro aktivity jednotlivých položek RAO z ÚJV Řež, a. s. je datum předání RAO ke skladování. V Tab. 64 je odhad celkové aktivity tohoto RAO k 1. 1. 2003. Skutečná hodnota aktivity k referenčnímu datu z roku 2003 se příliš neliší od uvedené hodnoty, protože se jedná o radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu. Podrobný přehled položek RAO předaných do



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

režimu skladování v přípovrchovém úložišti ÚRAO Richard je uveden ve zprávě (Touš et al., 2018).

Tab. 64: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard z ÚJV Řež, a. s. a od ostatních původců

RAO	celková hmotnost [kg]	aktivita alfa [Bq]	aktivita beta+gama [Bq]
ÚJV (1. 1. 2003)	27 645	2,22E+12	4,08E+12
mimo ÚJV (31. 10. 2016)	20 071	1,50E+13	4,34E+14

### B.13.3.3 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. 65 představuje přehled ZIZ podle radionuklidů s jejich celkovou aktivitou k datu 10. 12. 2015. V Tab.66 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. 65: 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>	

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

Tab.66: 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 nadcházejících generací. Bezpečnost je založena na dlouhodobé životnosti systému inženýrských bariér a na příznivých charakteristikách hostitelských hornin.

Další bezpečnostní cíle, které byly vzaty v úvahu při návrhu technického řešení HÚ:

- a) předcházení havarijním podmínkám, které mohou vzniknout za provozu HÚ,
- b) zmírnění důsledků havarijních podmínek, pokud k nim za provozu dojde,
- c) zajištění, že prakticky vyloučenou skutečností jsou:
  1. radiační havárie, při které není dostatečný čas pro zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo („časná radiační havárie“), a
  2. radiační havárie, která vyžaduje neodkladná ochranná opatření pro obyvatelstvo, která nelze omezit místně nebo časově („velká radiační havárie“),
- d) vytvoření podmínek pro to, aby při projektování HÚ bylo realizovatelné zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace, zvládnutí radiační mimořádné události (pokud by vznikla i přes zajištění podle písmene c) výše) a zabezpečení při nakládání s radioaktivním odpadem a při vyřazování z provozu HÚ a
- e) zohlednění
  1. mezinárodních zkušeností z umístování HÚ,
  2. mezinárodních zkušeností z vývoje technického řešení HÚ a
  3. stavu vědy a techniky.

### C.2 Plnění principů bezpečného využívání jaderné energie

Princip ochrany do hloubky bude z hlediska dlouhodobé bezpečnosti VJP zajištěn ukládacími obalovými soubory, viz kapitola C.3.1, tlumící bariérou viz kapitola C.3.2, výplní chodeb viz kapitola C.3.3, těsněním a injektáží hornin viz kapitola 0 a vlastnostmi horninového prostředí.

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

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

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

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

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

#### C.3.1 Ukládací obalový soubor

Ve smyslu vyhl. 329/2017 Sb. (SUJB 2017a) § 6 odst. (3) UOS plní funkci fyzické bezpečnostní bariéry. Ukládací obalové soubory pro VJP musí tedy splnit náročné požadavky zejména po uzavření úložiště.

Požadavky na UOS je možno specifikovat následovně:

- zajištění jaderné bezpečnosti
  - podkritičnost (během všech manipulací s VJP po dobu uložení, a to jak během normálního provozu, tak při projektových haváriích)
  - odvod zbytkového tepelného výkonu (z důvodu zachování vlastností tlumící bariéry nesmí teplota vnějšího povrchu UOS překročit 95°C)
- zajištění radiační ochrany
  - zamezení úniku radioaktivních látek (těsnost UOS nejen v provozní fázi, ale i v dlouhodobém časovém horizontu)
  - radiační ochranu personálu (v případě UOS pro HÚ není stínění hlavním faktorem ovlivňujícím jeho řešení, požadavky na radiační ochranu personálu mohou být zajištěny přídatnými konstrukčními prvky)
- zajištění provozní bezpečnosti (možnost provádění bezpečných manipulací s UOS při nakládání s VJP).

Další požadavky pro splnění životnosti dílů UOS 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)

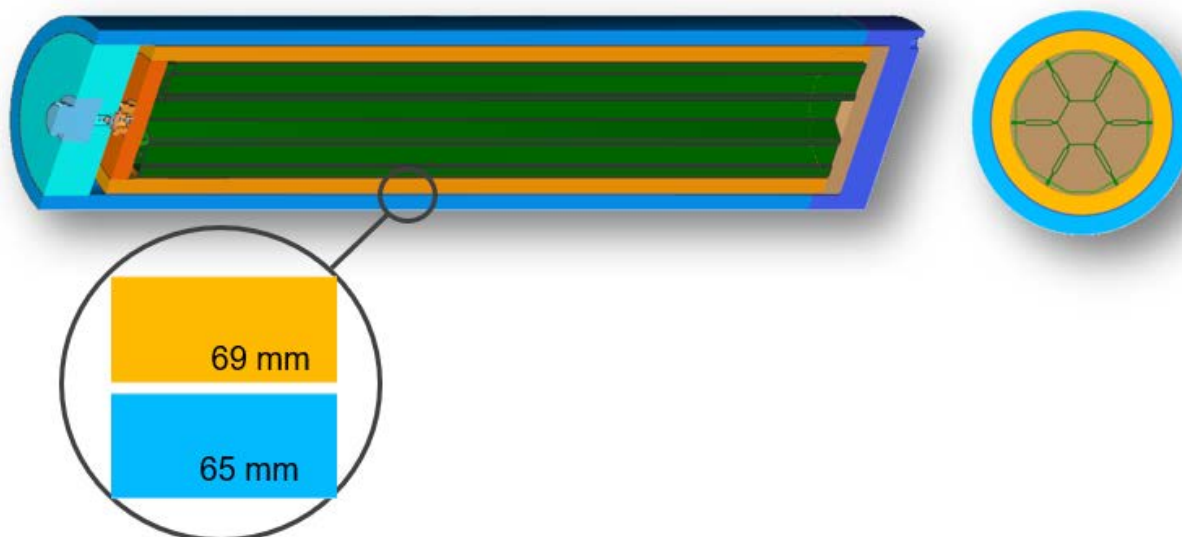
UOS pro VJP musí splnit rovněž požadavky uvedené ve vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SUJB 2016g), neboť jde o obalový soubor typu D, který podléhá typovému schvalování.

Dále uvedené referenční UOS vycházejí z dosavadních výsledků projektu „Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku“, který probíhá od roku 2013 a jeho ukončení je plánováno na rok 2021.

Z 13 zvažovaných variant UOS různé konstrukce a různých materiálů se v současné době předpokládá dále rozpracovat následující 2 varianty.

### Varianta UOS č. 2

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

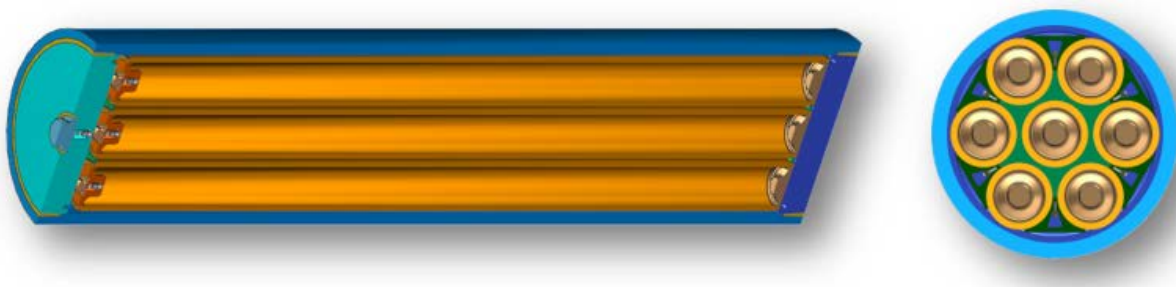


Obr. 38: Varianta UOS č. 2 (pro 7 PK VVER 440, s vnějším obalem z uhlíkové oceli, vnitřní pouzdro z nerezové oceli a vnitřní vestavby z nerezové oceli)

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

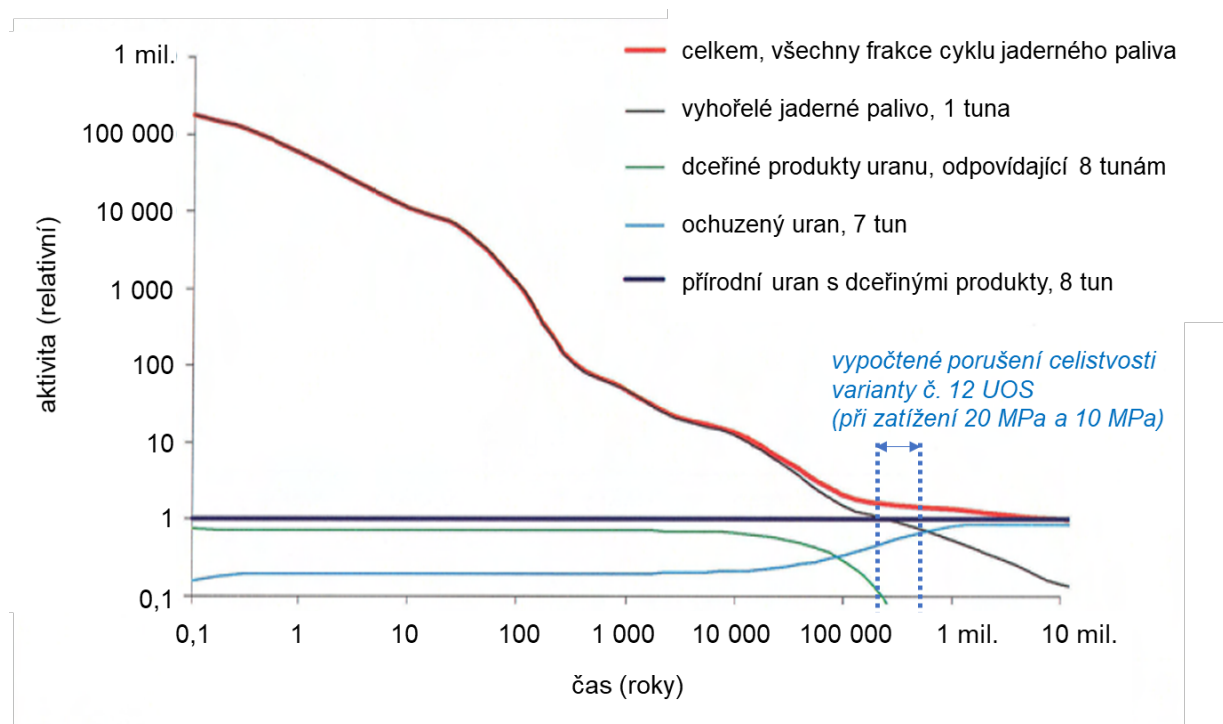
V současné době nejvíce perspektivní se jeví varianta UOS, která uvažuje se samostatnými pouzdry pro každou palivovou kazetu (u paliva pro VVER 440) viz následující obrázek, respektive pro každý palivový soubor (u paliva pro VVER 1000).



Obr. 39: Varianta UOS č. 12 (pro 7 PK VVER 440, vnější obal z uhlíkové oceli, sedm nerezových vnitřních pouzder a vestavba zajišťující vzájemnou polohu vnitřních pouzder)

Výše uvedený UOS má tu hlavní výhodu, že každé ze sedmi nerezových pouzder je samostatně zavařeno a je tak zmenšena pravděpodobnost (při vadě svaru/svářů) současného úniku RA látek ze všech PK.

Na následujícím obrázku je do grafu SKB (1997) (obdobu Obr. 20) s porovnáním průběhu aktivity 1 tuny vyhořelého jaderného paliva s průběhem aktivity 8 tun přírodního uranu (z 8 tun přírodního uranu vznikne cca 1 tuna obohaceného uranu použitého k výrobě paliva a cca 7 tun ochuzeného uranu) orientačně zakresleno „vypočtené porušení celistvosti varianty UOS č. 12“. Z obrázku je zřejmé, že životnost UOS, i při nejvyšším výpočtovém zatížení, výrazně přesahuje dobu 10 tisíc let, kdy je aktivita VJP jen řádově vyšší než aktivita přírodního uranu s dceřinými produkty, z kterého VJP vzniklo.



Obr. 40: 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)

V prvním přiblížení lze podle výše uvedeného obrázku říci, že samotný UOS zabráni po dostatečnou dobu nepřijatelnému úniku radioaktivních látek z VJP. To platí, i když projektovaná životnost UOS ve smyslu přílohy č. 2 k vyhlášce č. 379/2016 Sb. (SUJB 2016g) bude kratší (bude odpovídat době porušení celistvosti vnějšího přebalu).

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

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



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

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

### C.3.2 Tlumící bariéra

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

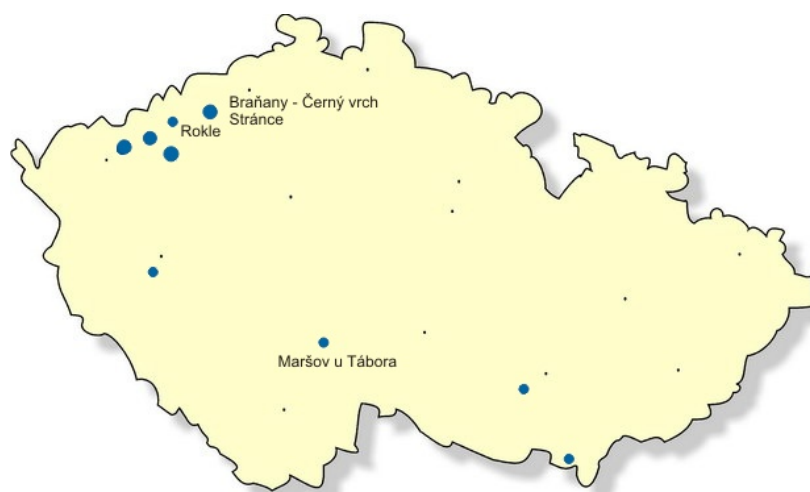
Referenčním materiálem jsou prefabrikované tvárnice z bentonitu zhutněné na objemovou hmotnost 1550 – 1750 kg/m<sup>3</sup>. Zároveň se řeší alternativa v podobě bentonitových pelet, jejichž výhodou je snadná výroba a manipulace.

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 těžených. V témže roce bentonit těžily tři organizace: Sedlecký kaolin a. s., Božíčany, KERAMOST a. s., Most a KSB s.r.o. Božíčany.

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



Obr. 41: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online)

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

Charakteristika bentonitu využívaného pro výzkum (B75)

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

Bentonit B75 byl testován v řadě projektů, např. Mock-Up Josef (Šťástka 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 následující tabulce.

Tab. 67: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karnland, 2010)

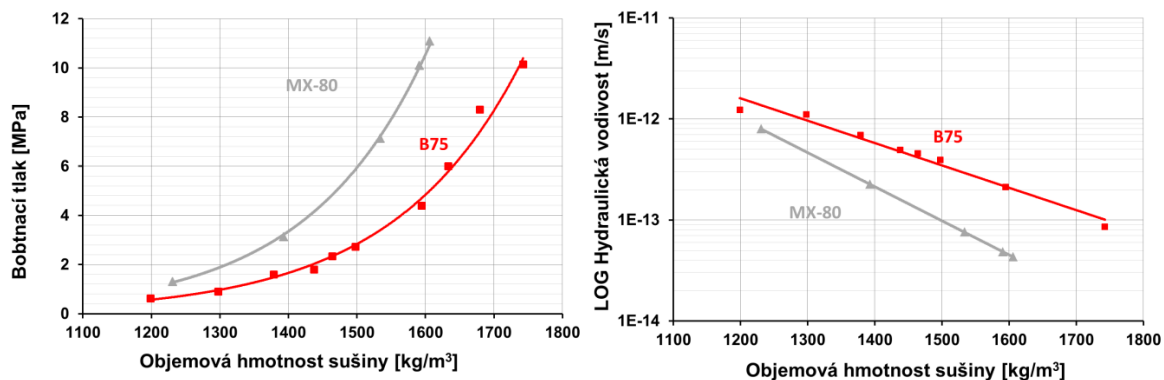
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>B75 [hm%]</b>	49,83	15,35	2,82	10,9	3,74	0,09	2,88	2,01	0,67	1,05	0,63	3,66
<b>MX-80 [hm%]</b>	65,9	21,5	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 ÚOS a migraci radionuklidů od ÚOS.

Bobtnací tlak a hydraulická vodivost jsou závislé na mineralogickém a chemickém složení a také na zhuštění materiálu (objemové hmotnosti sušiny). České bentonity se v těchto parametrech příliš neliší, výraznější rozdíl je v porovnání se sodným bentonitem MX-80 (viz Obr. 42), který vykazuje lepší těsnicí vlastnosti. Lepších těsnicích vlastností lze také dosáhnout větším zhuštěním vzorku – navýšením objemové hmotnosti sušiny (viz Obr. 42).

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.



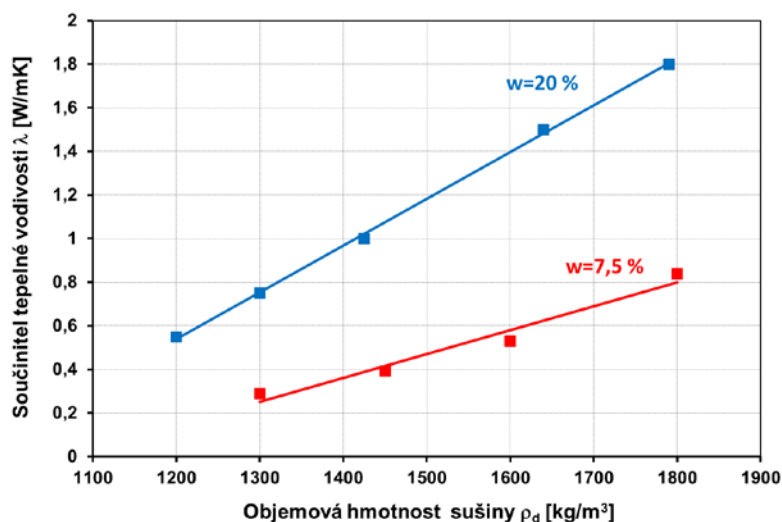
Obr. 42: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhuštění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).

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

### Tepelné vlastnosti bentonitu

Tepelné vlastnosti popisují, jak rychle je materiál schopen odvést teplo od tepelného zdroje. Schopnost materiálu vést teplo může být popsáno pomocí součinitele tepelné vodivosti. Tento parametr je zásadní pro výpočítání minimální vzdálenosti mezi ÚOS 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. 43: 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 ÚOS 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 ÚOS např. o 5 %, tak by se vlastnosti (hydraulická vodivost a bobtnací tlak) mohly zlepšit např. o 15 %, přičemž vždy záleží na hodnotě objemové hmotnosti sušiny, viz zpráva (Pacovský et al., 2017).

Injektáž bude použita pro utěsnění a zpevnění horninového prostředí na požadované parametry například při výstavbě těsnících zátek. Jako injektážní hmotu se budou využívat jednosložkové nebo dvousložkové injektážní pryskyřice (např. Purlnjekt, CarboPur atp.) s dobrými hydroizolačními a průsaky těsnícími vlastnostmi. Jakmile se tato hmota dostane do kontaktu s vodou, zvětší svůj objem a rychle se (v závislosti na teplotě a množství použitého

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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.

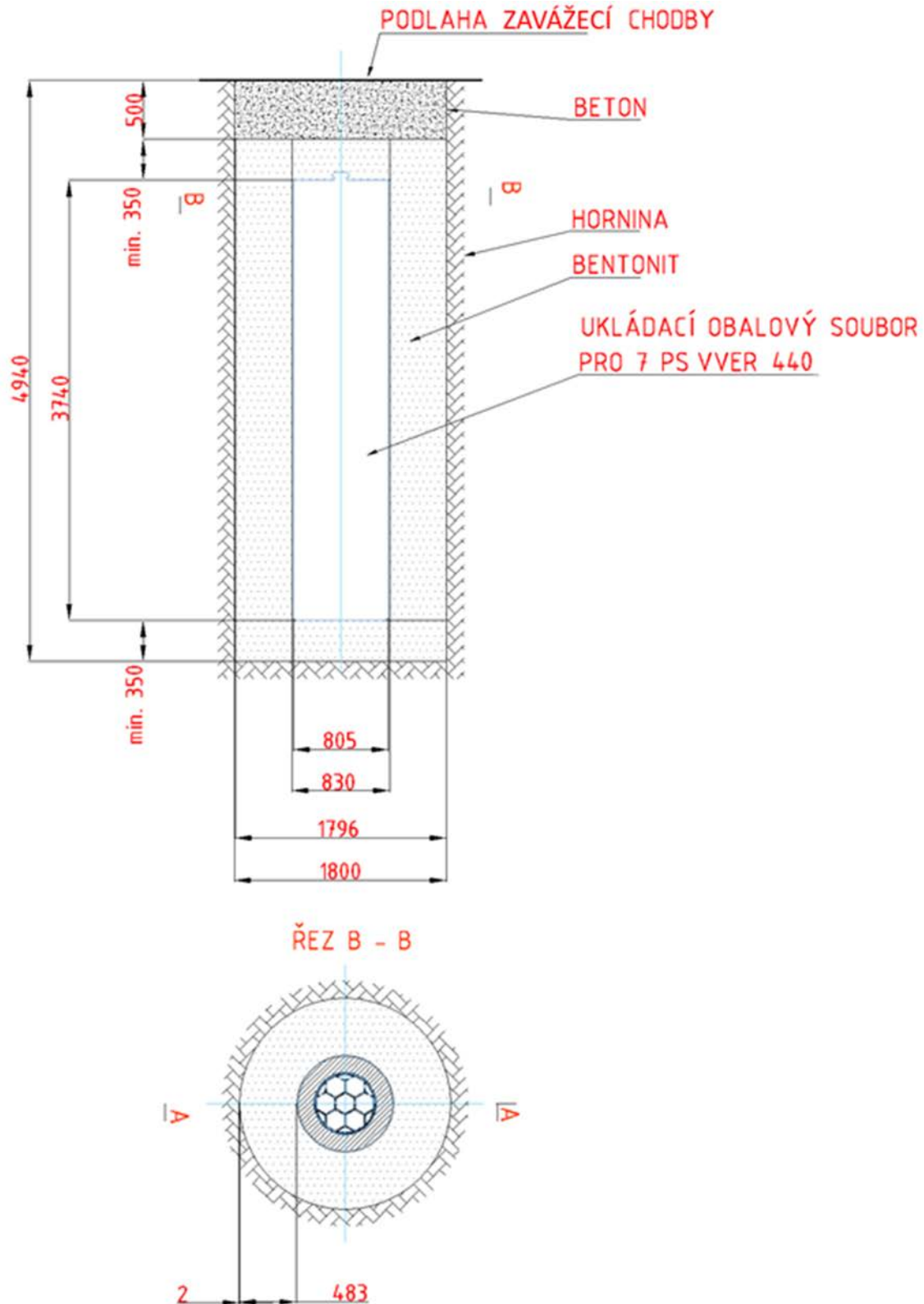
Ve finském výzkumu podle zprávy (Pacovský et al., 2017) byly zkoušené různé způsoby zaplnění spáry (písek, bentonitová pasta - tekutá směs bentonitu s vodou, různé druhy bentonitových pelet). Nejlepší výsledky, dle finského referenčního návrhu HÚ, byly prokázány pro bentonitové pelety. Bentonitové pelety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

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



Obr. 44: Vertikální uložení UOS (VVER 440) (Grünwald et al. 2017)



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

### C.4.1 Umístění povrchového areálu

Povrchový areál je ve vybrané variantě II umístěn v katastrálním území Knín, téměř výhradně na lesním pozemku viz výkres „Situace širších vztahů, Varianta 2“ (Příloha D.2 této studie). Situace řešení povrchového areálu je zřetelná z výkresu „Vybraná varianta - var. 2“ (Příloha D.3 této studie). Na tomto výkresu je uvedeno umístění stavebních objektů povrchového areálu. 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.

Hlavní příjezdy do povrchového areálu pro pěší, automobilovou a železniční dopravu se nacházejí na západní straně PA. Oba příjezdy jsou opatřeny vrátnicemi. Uvnitř areálu se pak nacházejí 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. Výdušná jáma I. (SO 57) má samostatný střežený prostor uvnitř PA. Střežený prostor musí plnit požadavky vyhlášky č. 361/2016 Sb. (SUJB 2016e).

V jihovýchodní části střeženého prostoru se nachází portál s tunelem vedoucím k DuSO 41, z kterého vede úklonná chodba – úpadnice na horizont mínus 500 m, a jedna z výdušných jam (SO 58). Mimo střežený prostor se nachází těžební věž a na ní navazující objekty.

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.

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

#### C.4.2.1 Rozdělení do funkčních celků

Povrchový areál je rozdělen do následujících funkčních celků – modulů:

##### **Modul M1 – těžební modul**

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

##### **Modul M2 – manipulace a ukládání RAO a VJP, tzv. aktivní provozy**

M2 je rozdělen na povrchovou část M2a a podzemní část M2b. Součástí modulu M2 bude pracoviště IV. kategorie ve smyslu AZ (SUJB 2016a).

**M2a** – Zajišťuje pro modul M2b veškeré administrativní a správní činnosti spojené s příjmem, evidencí a manipulací s POS, kontrolou prázdných UOS, jejich příjmem, skladováním a plněním, a jejich přípravou k definitivnímu uložení v podzemí. Též vytváří zázemí pracovníků pracujících v modulu M2b vč. nezbytných činností k zajištění ochrany jejich zdraví při práci, zajištění pracovních pomůcek a oděvů apod.

Objekty tohoto modulu jsou umístěny ve střeženém prostoru, který je oplocen a vstup je umožněn vrátnicí aktivních provozů pouze tam příslušejícím pracovníkům.

**Modul M3 – personálně správní**

Je součástí hlavního oploceného prostoru s kontrolovaným vstupem přes vrátnici. Modul poskytuje servisní služby provozu HÚ v oblasti ekonomických, personálních, správních agend, služeb zaměstnancům areálu HÚ a dalších administrativně-správních agend. Součástí tohoto modulu je objekt infocentra, který bude přístupný veřejnosti a bude sloužit k informování veřejnosti o problematice ukládání RAO. Běžný přístup veřejnosti bude omezen pouze na prostory infocentra. Bez povolení nebude mít veřejnost přístup do zbylých prostor povrchového areálu.

**Modul M4 – dopravně obslužný modul**

Zajišťuje dopravní obsluhu (silniční, železniční, pěší) uvnitř PA. Součástí je propojení komunikacemi (silniční, pěší) mezi jednotlivými objekty uvnitř PA, železniční seřadiště umožňující manipulaci s POS uvnitř PA. Součástí navržených komunikací jsou také chodníky pro pěší pohyb pracovníků, vnější parkoviště a vnější oplocení celého PA.

**Modul M5 – příprava bentonitu**

Provozní soubory tohoto modulu zajistí plynulou výrobu bentonitových výrobků pro plynulé ukládání obalových souborů s RAO a VJP. Součástí modulu M5 jsou prostory pro skladování surovin a výrobu i skladování hotových bentonitových výrobků.

**Modul M6 – dílny a sklady**

Prostory pro údržbu, opravy a skladování materiálů pro dobu výstavby HÚ a pro vlastní provoz HÚ.

**Modul M7 – média**

Zajišťuje provozní media pro jednotlivé činnosti v HÚ (elektrickou energii, tlakový vzduch, zemní plyn, teplo, pitnou vodu, technologickou vodu). Součástí jsou objekty pro zásobování a skladování těchto médií, objekty rozvodů infrastruktury po PA, ČOV a terénní úpravy.

**Modul M8 – zacházení s rubaninou**

Obsahuje stavební objekty, které slouží k manipulaci s rubaninou, jejímu nutnému transportu mimo oplocenou část PA, její úpravě a skladování.

**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.

**C.4.2.2 Stavební objekty**

Stavební objekty na povrchu mají značení SO. Jejich přehled je v následující tabulce.

Tab. 68: Seznam stavebních objektů

SO	Název stavebního objektu
SO 01	Šachetní budova se skipozásobníkem
SO 02	Těžní věž
SO 03	Strojovna těžního stroje
SO 04	Kaloriferna
SO 05	Centrální trafostanice a rozvodna, náhradní zdroj

<b>SO</b>	<b>Název stavebního objektu</b>
SO 06	Kompresorovna
SO 07	Výroba a akumulace chladicí vody
SO 08	Sklad výbušnin
SO 09	Sklad olejů
SO 10	Sklad plynů
SO 11	Centrální dílny
SO 12	Skladováhala
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 2x150m <sup>3</sup>
SO 18	Odkalovací jímka důlních vod
SO 19	Čistírna důlních vod
SO 20	Požární zbrojnice
SO 21	Železniční vlečka
SO 22	Podzemní odběrový zásobník
SO 23	Meziskládka
SO 24	Podzemní dopravníková chodba
SO 25	Sušící zařízení
SO 26	Výroba a sklad bentonitových polotovarů
SO 27	Míchárna bentonitové směsi
SO 28	Zásobníky 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 38	Podzemní násypka
SO 39	Meziskládka odvalu

SO	Název stavebního objektu
SO 40	Meziskládky rubaniny na 5 dnů
SO 41	Provozní budova aktivních provozu
SO 42	Centrální čistírna odpadních vod
SO 43	Garáž lokotraktoru
SO 44	Vnitřní komunikace
SO 45	Vrátnice aktivních provozů
SO 46	Mezisklad prázdných obalových souborů pro přepravu VJP a RAD
SO 47	Železniční vrátnice aktivních provozů
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 I.
SO 58	Objekt výdušné jámy II.
SO 59	Portál tunelu
SO 60	Objekt měření odpadních vod
SO 61	Přívodní komora VZT
SO 62	Retenční nádrž

Umístění SO viz výkres „Vybranná varianta - var. 2“ uvedený v Příloze D.3 této studie. Podrobnější popis modulů a SO a jejich vybavení jsou uvedeny ve zprávě (Navrátilová et al. 2018).

#### C.4.2.3 Napojení na infrastrukturu

##### Místo a délka silničního napojení

Napojení je navrženo s ohledem na co možná největší eliminaci křížení se železnicí. Je navržena nová úroňová křižovatka se stávající II/105 v cca km 110,6 provozního staničení této komunikace. Toto nové napojení vyhovuje z hlediska nejmenší dovolené vzájemné vzdálenosti křižovatek pro silnice II. třídy a návrhovou rychlost 70 km/h. Tato vzdálenost je 1,0 km. Nejbližší křižovatka silnice II/105 s II/122 a II/105 s MK Nová Ves se nachází ve vzdálenosti cca 1,2 km.

### **Napojení vlečky na železniční trať**

Dopravní napojení bude provedeno ze státní železnice na lokální trati Čičenice - Týn nad Vltavou (západně nebo východně od žst. Temelín) ve vzdálenosti 7 – 8 km od navrhovaného umístění povrchové části HÚ. Pro napojení areálu jsou navrženy 2 varianty umístění železniční vlečky ve dvou trasách směřujících do navrhované lokality umístění HÚ. Popis obou variant je uveden ve zprávě (Navrátilová et al. 2018).

### **Zásobování elektrickou energií**

Napojení areálu hlubinného úložiště na elektrickou energii je řešeno variantně ze dvou zdrojů – napojovacích míst. Bude využito místních rozvodů ČEZ VN s napětím 110 kV. Trasa napojení obou variant vychází zhruba o stejné délce, podle zvoleného místa napojení se bude pohybovat v rozmezí 1 - 2,5 km. Podrobnosti jsou uvedeny ve zprávě (Navrátilová et al. 2018).

### **Pitná voda - přípojka**

Areál HÚ se předpokládá napojit na vodojem Dříteň, kde bude nutné vybudovat čerpací stanici, která dopraví vodu do navržených věžových vodojemů 2x 150 m<sup>3</sup>, které budou umístěny v areálu. Přívodní řad min. DN 80. Variantně lze areál zásobovat z případně nově vybudovaného podzemního vrtu – nutno ověřit kapacity.

### **Kanalizace dešťová**

Dešťové vody budou v areálu sváděny systémem dešťové kanalizace, na kterou budou napojeny střešní svody a uliční vpusti. Následně budou dešťové vody svedeny přes sedimentační nádrž do retenční zdrže, ze které budou regulovaně vypouštěny do vodního toku Strouha. Pokud to místní hydrogeologické podmínky dovolí, budou dešťové vody zasakovány do podloží.

### **Kanalizace splašková**

Areál HÚ bude mít v areálu vybudovanu vlastní ČOV na splaškové vody. Na ČOV budou svedeny vody z běžných provozů. Vyčištěné odpadní vody budou scedeny do vodního toku Strouha.

### **Důlní vody**

Důlní vody budou odvedeny na čistírnu důlních vod a následně budou částečně použity pro provoz důlních strojů. Zbylá část důlních vod bude po vyčištění použita pro plnění požární nádrže nebo bude vypuštěna do venkovní kanalizace a následně vypuštěna do nejbližší vodoteče, tj. do vodního toku Strouha.

### **Kanalizace aktivních provozů**

Aktivní provozы představují pracovní procesy odehrávající se v objektu DuSO 41. V rámci těchto procesů bude použita voda pro různé technologické operace. Nadbilanční vody, které prošly aktivními procesy budou vyčištěny a vypouštěny do kanalizace. Na výstupu z kontrolovaného pásma bude instalovaná jímka pro výstupní kontrolu těchto vod. Vyhovující vyčištěné odpadní vody budou odvedeny mimo kontrolované pásmo. Nevyhovující odpadní vody z aktivních provozů budou ještě v rámci kontrolovaného pásma odvedeny zpět do úpravy (odparka, cementace koncentráta z odparky, uložení RAO v HÚ).

## Zemní plyn

Pro napojení přívodu zemního plynu bude využito potrubní trasy VTL u obce Dříteň. Středotlaký plynovod se v blízkosti navrhovaných lokalit pro umístění HÚ nevyskytuje.

## Napojení na telekomunikační síť

Sdělovací vedení bude napojeno na dálkový metalický sdělovací kabel vedoucí v blízkosti křižovatky Kočín – Býšov.

### 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. 69: 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 úpravna vody
16.PS 03	Potrubní rozvody a příslušenství tep. sítě
16.PS 04	Kogenerační jednotka 3 MW
16.PS 05	Vzduchotechnika kotelny
17.PS 01	Zařízení vodojemů 2 x 150 m <sup>3</sup>
18.PS 01	Zařízení odkalovací jímky
19.PS 01	Zařízení čistírny důlních vod



<b>PS</b>	<b>Název</b>
20.PS 01	Zařízení požární zbrojnice
24.PS 01	Zařízení podzemní dopravníkové chodby
25.PS 01	Sušící zařízení (bentonit)
26.PS 01	Technologie pro výrobu bentonitových polotovarů
27.PS 01	Zařízení mícháreny bentonitové směsi
28.PS 01	Skladové hospodářství pojiva a vody
29.PS 01	Zařízení transportní
30.PS 01	Zařízení betonárky (výroba bentonitových prefabrikátů)
32.PS 01	Zařízení mostní váhy
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	Príjem a ukládání VJP
41.PS 02	Príjem 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	Potrubi rozvody
41.PS 12	Radiační kontrola
41.PS 13	Speciální kanalizace
41.PS 14	Vzduchotechnické zařízení
41.PS 15	Zdroj chladu
41.PS 16	Výměníková stanice
41.PS 17	Kompresorovna
41.PS 18	Náhradní zdroj elektrické energie
41.PS 19	Měření a regulace pomocných technologií

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

PS	Název
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).

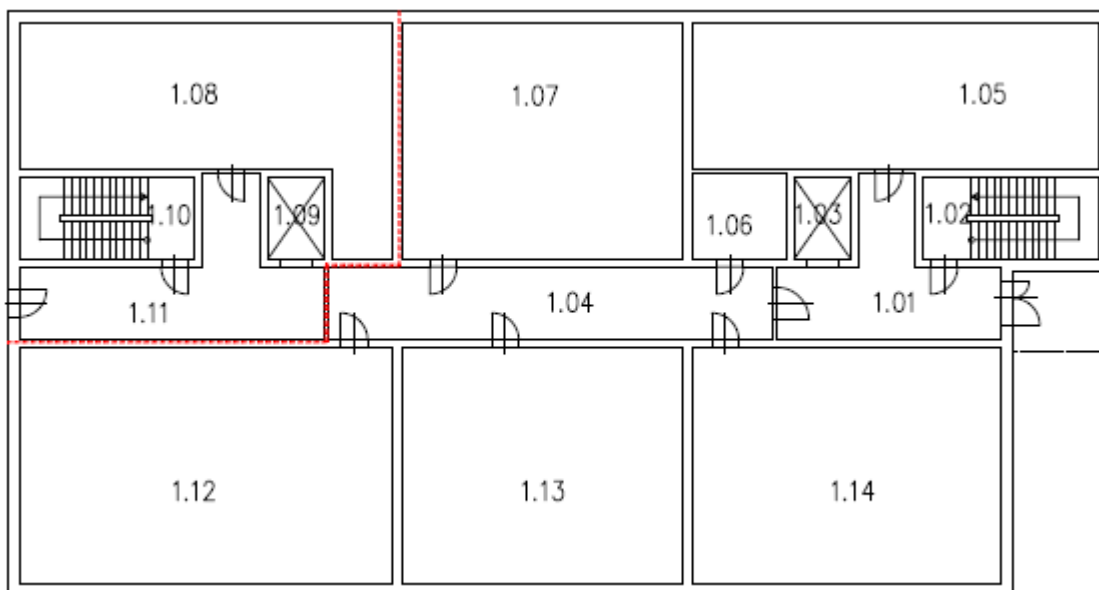
#### C.4.2.5 Dispoziční uspořádání a technologické vybavení provozní budovy aktivních provozů

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

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

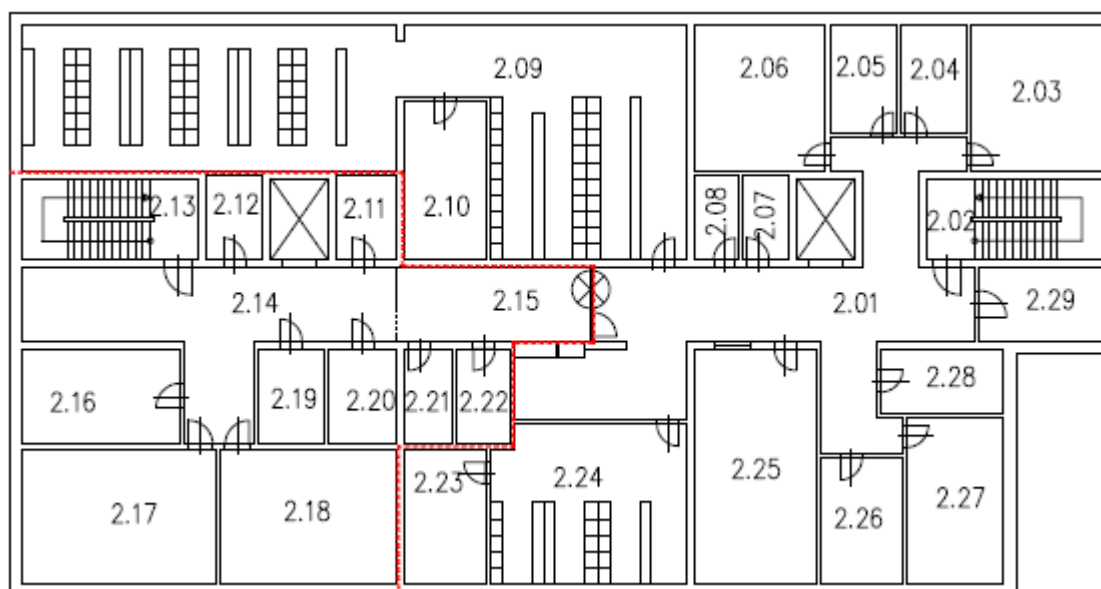
V 1. NP budou umístěny hlavně místnosti technického zázemí. V části MKP budou umístěny hlavní vstup do objektu, komunikační prostory, výměňiková stanice, kompresorovna, trafostanice, hlavní rozvodna, rozvodna a náhradní zdroj. V části KP potom další schodiště a výtah do dalších podlaží, rezervní místnost, 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.



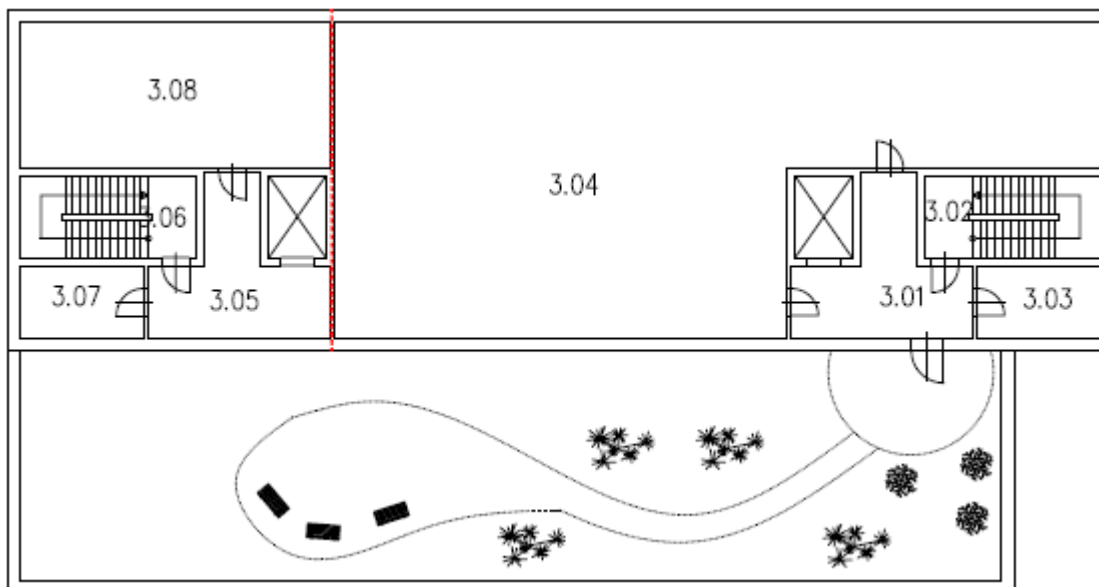
Obr. 45: 1. nadzemní podlaží SO 41

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. 46: 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. 47: 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.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

#### **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 41 budou na odvodu obsahovat speciální filtrační stanice pro zachytávání radioaktivních látek ve vzdušině. Předpokládaná účinnost filtrační stanice je uvedena v kapitole B.8.

Podrobnější informace o 41.PS 14 jsou uvedeny v referencích (Navrátilová et al. 2018 a Fiedler et al., 2010a).

#### **C.4.2.6.4 41.PS 15 - Zdroj chladu**

V objektu SO 41 bude umístěn zdroj chladu určený pro vzduchotechniku a technologii přípravy a úpravy VJP a RAO. Zdrojem chladu budou vodou chlazené kompresorové chladiče umístěné ve strojovně chlazení dispozičně řešené společně se strojovnou VZT v nejvyšším nadzemním podlaží SO 41. Kompresorové chladiče budou chlazené vodou z chladících věží umístěných na zemi u objektu SO 41.

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

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

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

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

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

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

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

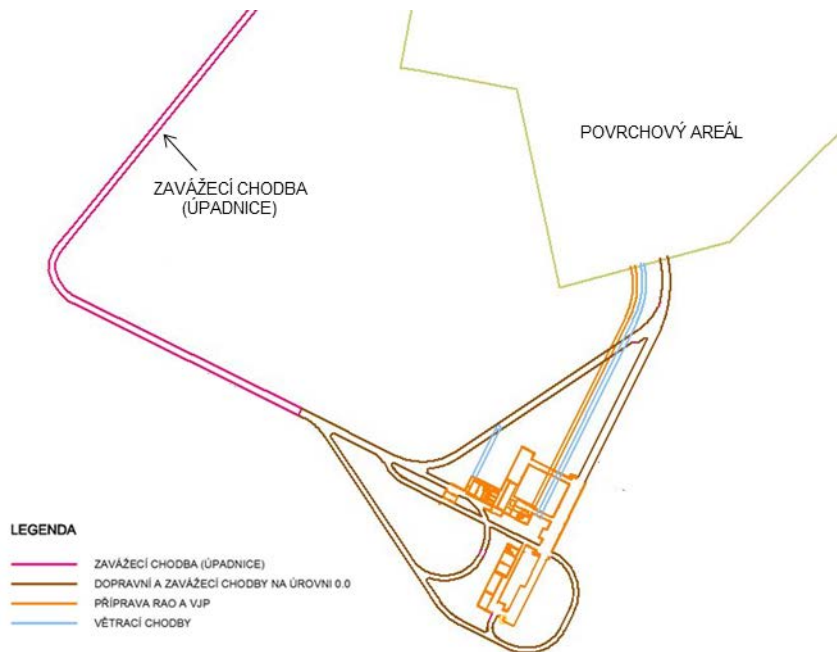
Podrobnější informace o 41.PS 21 jsou uvedeny ve zprávě (Fiedler et al., 2010a).

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

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

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

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



Obr. 48: Schéma napojení DuSO 41 na povrchový areál

### Horizont 0 m - Objekt přípravy VJP a RAO pro uložení (DuSO 41)

Umístění objektů využívá morfologii terénu k vytvoření zářezu vlečky a portálu pro přímý vjezd vagónu s POS z PA až do objektu DuSO 41, který je celý vystavěn v podzemí. DuSO 41 je napojen na další stavby v podzemí úklonnou závazecí chodbou (úpadnicí). Objekt má samostatný vstup vzduchu a výdech použitých vzdušnin s filtrověntilačním zařízením.

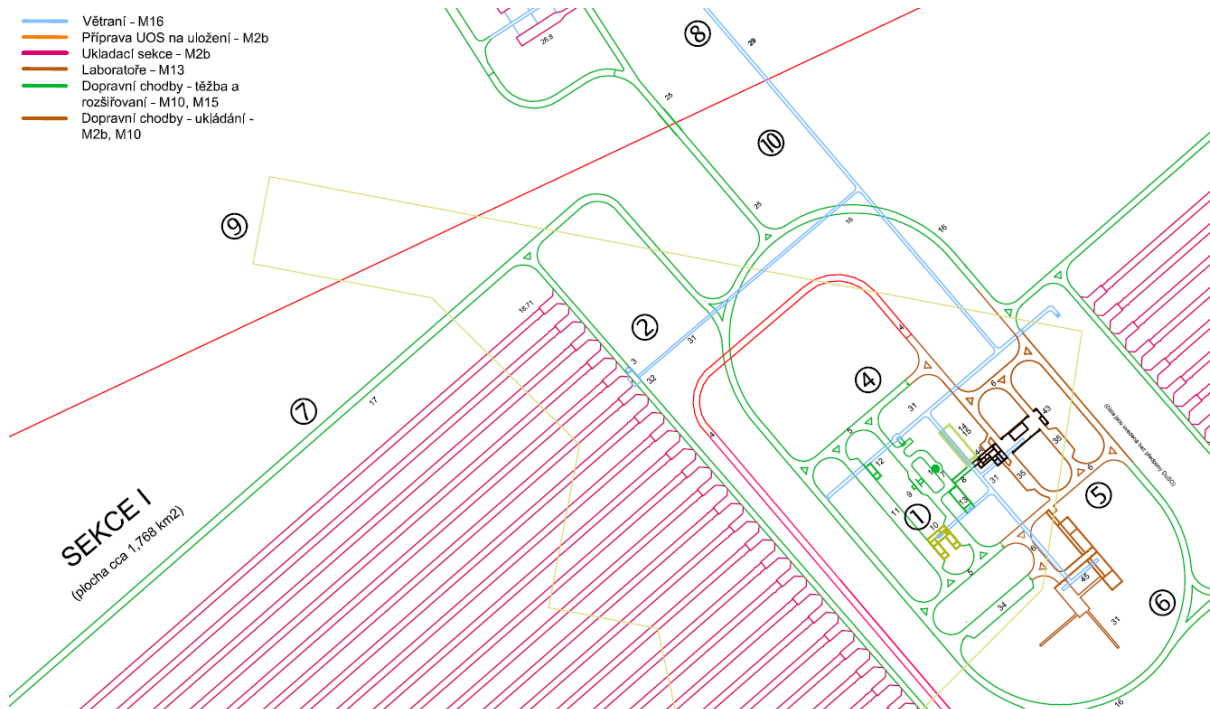
### Horizont -250 m

Horizont slouží k výstavbě a k přečerpávání důlních vod na povrch. Horizont je přístupný z těžební jámy (DuSO 01) a z úklonné závazecí chodby (DuSO 04). Na tomto horizontu je rovněž umístěna podzemní laboratoř (DuSO 42).

### Horizont -500 m - Ukládací horizont

Na horizontu -500 m jsou situovány sekce pro ukládání VJP, komory pro ukládání ostatních RAO, konfirmační laboratoř a technické zázemí pro úsek výstavby HÚ i úsek ukládání. K tomuto horizontu je přidružen horizont -485 m, na kterém se nacházejí větrací chodby a komíny (DuSO 31) a větrací stanice (DuSO 32) a jsou sem zavedeny větrací chodby komor ukládání RAO (DuSO 29).





Obr. 49: Schéma ukládacího horizontu -500m

(1 - těžební jáma, 2 - výdušná jáma, 4 - technické zázemí úseku výstavby, 5 - technické zázemí úseku ukládání, 6 - okružní chodba, 7 - zavážecí chodba, 8 - větrací chodby, 9 - průmět povrchového areálu, 10 - zavážecí chodba)

### Horizont -550 m - Čerpací horizont

Horizont je vybudován pro čerpání vod z hlubinného úložiště. Na horizontu jsou zbudovány náraziště těžební jámy (DuSO 46), trafostanice a rozvodna (DuSO 47), čerpací stanice (DuSO 48), žumpové chodby (DuSO 49) a spojovací chodby (DuSO 50). Na horizontu je ukončen větrací komín spojující tento horizont s horizontem -500 m.

### C.5.2 Uspořádání a technologické vybavení objektů

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

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


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

#### C.5.2.1 Rozdělení do funkčních celků

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

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

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

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

#### **Modul M10 – Modul dopravní**

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

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

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

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

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

#### **Modul M13 – Modul konfirmační laboratoř**

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

#### **Modul M14 – Modul zázemí úseku výstavby**

Modul zázemí úseku 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.

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. 70: Seznam důlních stavebních objektů*

<b>DuSO</b>	<b>Název důlního stavebního objektu</b>	<b>Modul</b>
DuSO 01	Těžební jáma	M15, M16, M17
DuSO 02	Spojovací dopravní tunely na úrovni 0.	M10
DuSO 03	Výdušná jáma I	M16
DuSO 04	Úklonná zavážecí chodba (úpadnice)	M10
DuSO 05	Spojovací chodby na úseku výstavby (horizont -500 m.)	M10
DuSO 06	Spojovací chodby na úseku ukládání (horizont -500 m.)	M10
DuSO 07	Náraziště těžní jámy (horizont -500 m.)	M14
DuSO 08	Spojovací chodba s turniketem (horizont -500 m.)	M14
DuSO 09	Násyp do skipostanice s dozornou (horizont -500 m.)	M15
DuSO 10	Dílny a opravný dopravních mechanismů, sklad náhradních dílů (horizont -500 m.)	M14
DuSO 11	Remíza a odstavná plocha dopravních mechanismů (horizont -500 m.)	M14
DuSO 12	Sklad PHM a mazadel (horizont -500 m.)	M14
DuSO 13	Rozvodna (horizont -500 m)	M14
DuSO 14	Shromaždiště osob a stanice první pomoci (horizont -500 m.)	M14
DuSO 15	Zkušebna (horizont -500 m.)	M14
DuSO 16	Okružní chodba (horizont -500 m.)	M10
DuSO 17	Zavážecí chodba ukládací sekce I	M10
DuSO 18	Ukládací tunel s manipulační nikou (sekce I) - DuSO 18.1 (označení jednotlivých tunelů pořadovým číslem)	M11
DuSO 19	Zavážecí chodba ukládací sekce II	M10
DuSO 20	Ukládací tunel s manipulační nikou (sekce II) - DuSO 20.1 (označení jednotlivých tunelů pořadovým číslem)	M11
DuSO 25	Zavážecí chodba ukládací sekce RAO	M10
DuSO 26	Ukládací komory RAO (DuSO 26.1 – 26.16)	M12
DuSO 29	Hlavní a sběrné větrací chodby komor ukládání RAO	M16
DuSO 30	Větrací vrtky komor ukládání RAO	M16
DuSO 31	Větrací chodby a komíny provozních objektů (horizont -485 m)	M16
DuSO 32	Větrací stanice (horizont -485 m)	M16
DuSO 33	Chodba plnicích čerpadel výplňového materiálu (komory RAO)	M10
DuSO 34	Remíza soupravy TBM	M14
DuSO 35	Remíza dopravních mechanismů pro úsek ukládání	M2b, M10
DuSO 36	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont -250 m)	M14
DuSO 37	Rozvodna (horizont -250 m)	M14



DuSO	Název důlního stavebního objektu	Modul
DuSO 38	Přečerpávací stanice důlních vod (horizont -250 m)	M17
DuSO 39	Spojovací chodby na horizontu -250 m	M10
DuSO 40	Větrací stanice (horizont -250 m)	M16
DuSO 41	Příprava VJP a RAO pro uložení včetně překládacího uzlu, horké komory a souvisejících aktivních provozů	M2b
DuSO 42	Podzemní laboratoř (horizont -250 m)	M13
DuSO 44	Technické zázemí úseku ukládání (horizont -500 m)	M2b
DuSO 45	Konfirmační laboratoř (horizont -500 m)	M13
DuSO 46	Náraziště těžní jámy TJ-1S (horizont -550 m)	M14
DuSO 47	Trafostanice a rozvodna (horizont -550 m)	M14
DuSO 48	Čerpací stanice důlních vod (horizont -550 m)	M17
DuSO 49	Žumpové chodby (horizont -550 m)	M17
DuSO 50	Spojovací chodby na horizontu -550 m	M10
DuSO 51	Větrací komín z horizontu -550 na horizont -500 m	M16

### C.5.2.3 Důlní provozní soubory

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

Tab. 71: Seznam důlních provozních souborů

DuPS	Název	Zařízení
DuPS 01	Těžní zařízení těžební jámy	DuPS obsahuje těžní stroj pro těžbu rubaniny, dopravu osob a materiálů. DuPS dále zajišťuje manipulaci s dopravními nádobami, zařízení pro dopravu rubaniny a překládku technologických zařízení pro ražbu
DuPS 02	Náraziště těžní jámy (-250 m)	DuPS zajišťuje manipulaci s dopravními nádobami pro dopravu rubaniny, tj. jejich narážení a vyrážení a jejich nucený posun. Rovněž zajišťuje překládku technologických zařízení pro ražbu a provoz.
DuPS 03	Náraziště těžební jámy (-500 m)	Obdoba DuPS 02, ale pro větší vytížení.
DuPS 04	Náraziště těžební jámy (-550 m)	Obdoba DuPS 02, navíc technologie vybavení čerpací stanice, čerpání z jámové tůně a omezení propadu.
DuPS 05	Těžní zařízení výdušné jámy	DuPS obsahuje těžní zařízení pro havarijní jízdu osob z podzemí.
DuPS 06	Zařízení opravy dopravních mechanismů	DuPS obsahuje technologické vybavení pro běžné a střední opravy dopravních

DuPS	Název	Zařízení
		mechanizmů.
DuPS 07	Zařízení remízy dopravních mechanismů	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou kontrolu dopravních mechanismů (tlakovzdušnou přípojku s možností huštění pneumatik, agregát mytí techniky včetně zachycování kalů atp.).
DuPS 08	Důlní mechanizmy	Je uvažována klasická ražba horizontálních důlních děl pomocí trhačí práce. Pro razicí práce se uvažuje s použitím vrtacích vozů se dvěma až třemi lafetami a nakládacími bagry. Doprava rubaniny se uvažuje převážně kolejová. Zařízení pro vrtání ukládacích vrtů je v DuPS 13.
DuPS 09	Trafostanice a rozvodna (-550 m)	DuPS zajišťuje napájení elektrozařízení na horizontu -550 m. Hlavními spotřebiči zde jsou: větrací stanice na horizontu a čerpací stanice. Silové rozvody budou přivedeny těžní jámou a zokruhovány jámou výdušnou.
DuPS 10	Zařízení zkušebny	Zkušebna bude vybavena přístroji a nástroji potřebnými k zajištění projektovaných úkolů.
DuPS 11	Větrací stanice (-500 m)	DuPS 11 soustrojí ventilátoru a elektromotoru včetně regulačních zařízení. Předpokládá se sací způsob větrání s použitím axiálního ventilátoru.
DuPS 12	Zařízení remízy TBM	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou údržbu a očistu vrtacího zařízení. Předpokládá se vybavení základním potřebným nářadím a rozvodem stlačeného vzduchu.
DuPS 13	Souprava TBM	DuPS obsahuje komplet soustrojí na zřizování ukládacích vrtů.
DuPS 14	Zařízení remízy dopravních mechanismů úseku ukládání (-500 m)	DuPS obsahuje zařízení pro běžnou kontrolu dopravních mechanismů.
DuPS 15	Dopravní prostředky pro přepravu UOS a betonkontejnerů	DuPS obsahuje speciální dopravní prostředky uzpůsobené pro přepravu UOS a betonkontejnerů.
DuPS 16	Rozvodna (-250 m)	DuPS zajišťuje napájení přečerpávací stanice a větrací stanice. Silové kabely jsou přivedeny těžní jámou a zokruhovány jámou větrací.
DuPS 17	Přečerpávací stanice (-250 m)	DuPS zajišťuje přečerpání důlních vod z horizontu -250 m na povrch. Předpokládá se osazení přečerpávací stanice třemi agregáty (provoz, rezerva).
DuPS 18	Větrací stanice (-250 m)	DuPS zajišťuje větrání horizontu. Předpokládá se, že z vtažného větrního

DuPS	Název	Zařízení
		proudu vedeného vtažnou jámou.
DuPS 19	Zařízení podzemní laboratoře (-250 m)	Prozatím není specifikováno.
DuPS 21	Zařízení konfirmační laboratoře	Prozatím není specifikováno.
DuPS 22	Čerpací stanice (-550 m)	DuPS zajišťuje čerpání důlních vod z horizontu -550 m do přečerpávací stanice (DuPS 17).
DuPS 23	Čerpání z jámové tůně	DuPS zajišťuje čerpání důlních vod z jámové tůně těžní jámy do úrovnových žumpových chodeb.
DuPS 24	Trubní řady čerpání vod	DuPS zahrnuje řady čerpání z jámové tůně, z čerpací stanice na horizontu -550 m do přečerpávací stanice na horizontu -250 m a odtud na povrch do čistírny důlních vod.
DuPS 25	Rozvody 6 kV	DuPS zahrnuje silové rozvody jámami na horizonty do trafostanice a dále k největším spotřebičům (ventilátory, čerpadla).
DuPS 26	Rozvody NN	DuPS zahrnuje nízkonapěťové rozvody z trafostanic v podzemí k jednotlivým odběrním místům.
DuPS 27	Rozvody slaboproudu	DuPS řeší rozvody v jednotlivých objektech (jedná se o rozvody k řídicím a kontrolním prvkům).
DuPS 28	Trubní rozvody požární vody	DuPS zajišťuje na nárazištích jednotlivých horizontů stálou možnost odběru vody v množství nejméně 400 l/min. při hydraulickém přetlaku 0,25 MPa.
DuPS 29	Trubní rozvody stlačeného vzduchu	DuPS zahrnuje trubní rozvody od kompresorovny na povrchu na jednotlivé horizonty včetně horizontálních rozvodů k místům spotřeby. Hlavní rozvod bude veden těžební jámou a zokruhován jámou vtažnou.
DuPS 30	Osvětlení	DuPS zahrnuje osvětlení podzemních důlních děl a komor.

#### C.5.2.4 Umístění horké komory

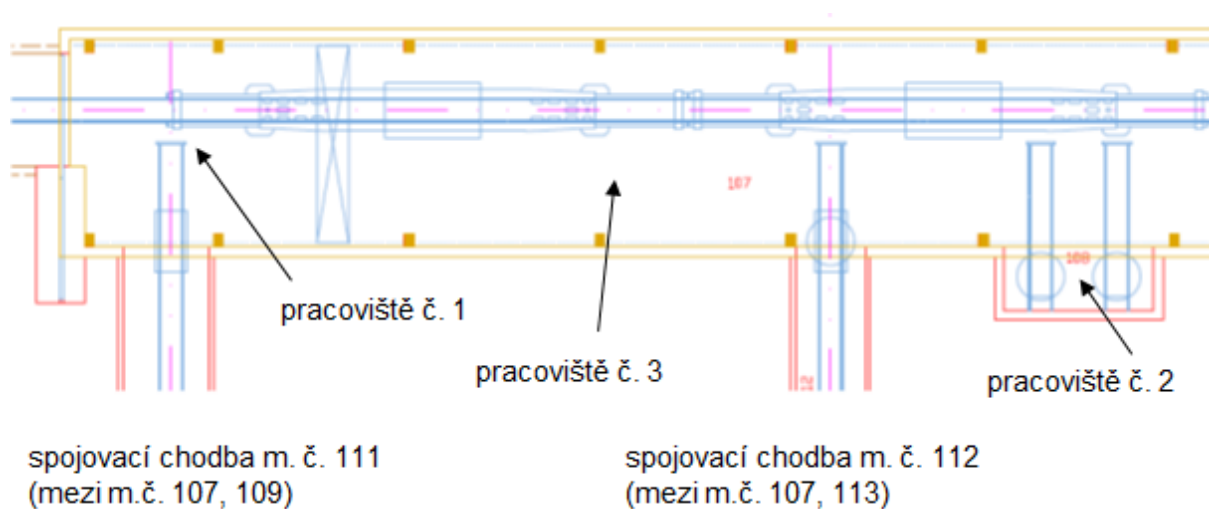
Horká komora je zařízení překládacího uzlu, hermeticky oddělené od ostatního prostoru, ve kterém bude prováděno přeložení VJP z POS do UOS. Horká komora je součástí objektu aktivních provozů (Modul M2b, DuSO 41) na úrovni  $\pm 0$  m. DuSO 41 bude umístěn do vyhloubeného prostoru ve skalním masivu, následně bude zasypan zeminou a celý prostor bude překryt betonovou deskou odolnou proti vnějším vlivům.

Přístup k horké komoře je zajištěn železničním tunelem vedoucím ze střeženého prostoru povrchového areálu do haly příjmu (m.č. 107).

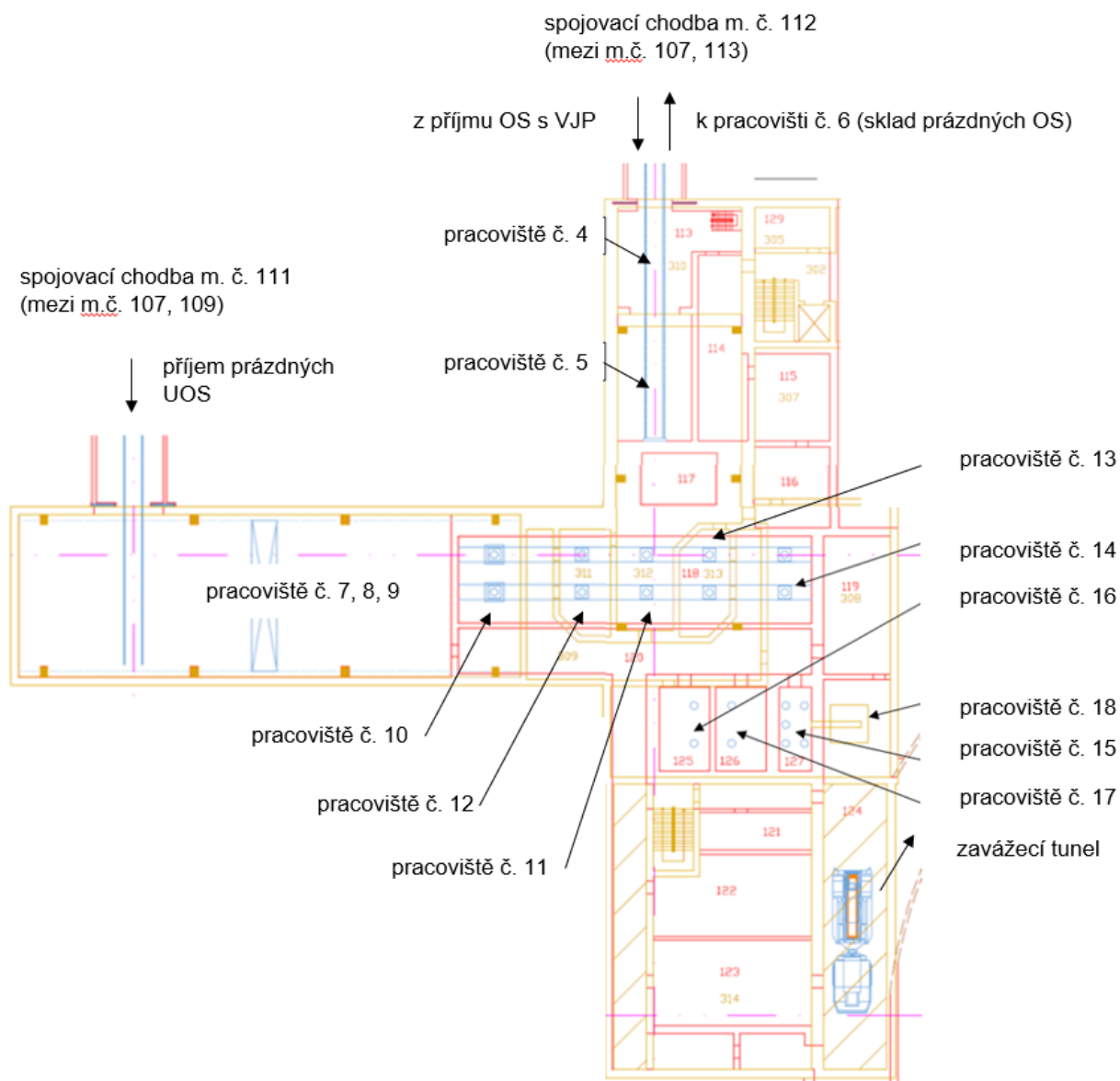




Hala příjmu (m.č. 107) je jednou chodbou (m.č. 112) spojena s pracovištěm č. 4 (manipulace s POS) a druhou chodbou (m.č. 111) s pracovišti č. 7, 8, 9 (manipulace s prázdnými UOS). Schéma pracovišť souvisejících s POS a UOS je uvedeno na následujících obrázcích.



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



Obr. 51: Schéma pracovišť č. 4 až 18

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

### C.5.2.5 Technologické vybavení horké komory

Technologie související s činnostmi přeložení VJP z POS do UOS a jejich základní charakteristiky podle zprávy (Fiedler et al., 2010a):

#### Manipulátor v horké komoře

Stroj slouží k manipulaci s VJP a víky UOS a POS uvnitř horké komory:

- obdoba zavázečích stroje na JE
- rozchod kolejové dráhy mostu: 8,5 m
- zdvih prac. tyče: 6,5 m
- nosnost záchyty: 1t /1,5t /8t
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 30 kW

**Stend s řezací aparaturou**

Stroj - slouží k odřezávání zavařených vík POS:

- rozměry řezu:  $\varnothing$  1800 - 2050 mm
- tloušťka: 30 mm
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 1 kW

**Stend s utahovákem šroubu**

Stroj - slouží k demontáži vík u POS s přišroubovaným víkem:

- roztečná kružnice šroubů:  $\varnothing$  1954 mm
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 1 kW

**Stend svařování - I**

Stroj slouží k přivaření primárního víka UOS. Zařízení stendu:

- svařovací automat
- zařízení pro kontrolu kvality svaru
- zařízení pro opravy svaru
- zařízení pro vakuování vnitř. pouzdra
- zařízení pro plnění vnitř. pouzdra UOS heliem a pro kontrolu těsnosti
- kamerové zařízení se záznamem
- rozměry:  $\varnothing$  3 x 2 m
- dálkové ovládání
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 5 kW

**Stend svařování - II**

Stroj - slouží k přivaření sekundárního víka UOS. Zařízení stendu:

- svařovací automat
- zařízení pro kontrolu kvality svaru
- zařízení pro opravy svaru
- zařízení pro vakuování vnitř. pouzdra
- zařízení pro plnění vnitř. pouzdra UOS heliem a pro kontrolu těsnosti
- kamerové zařízení se záznamem
- rozměry:  $\varnothing$  3 x 2 m
- dálkové ovládání
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 5 kW

**Sklad VJP s překrytím v horké komoře**

Suchý bazén 4 x 3 m, hloubka 6 m, kompaktní provedení

Skladovací kapacita: 120 kazet VJP VVER 440, 26 palivových souborů VJP VVER 1000

Zařízení skladu:

- skladovací mříž pro VJP 440
- skladovací mříž pro VJP 1000
- překrytí s pohonem - dálkové ovládání
- oblicovka bazénu
- ventilace



- kamerové zařízení se záznamem
- napájení: 3 PEN, 380V, 50Hz, 10 kW,

### Mezisklad plných UOS

Suchý bazén 5 x 3 m, hloubka 6,5 m

Skladovací kapacita: 3 UOS VVER 440, 3 UOS VVER 1000

Zařízení meziskladu:

- ukládací mříž
- oblicovka bazénu
- ventilace

(překrytí je specifikováno samostatně),

### Box pro otryskávání

Slouží k otryskání povrchu UOS před provedením ochranného nástřiku (pokud bude tento nástřík prováděn).

Zařízení boxu:

- otryskávací zařízení - 2 komplety
- zařízení pro kontrolu kvality 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 Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

- 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 využitelný horninový blok vychází z 3D strukturně-geologického modelu lokality Janoch viz (Obr. 2) o výměře 4,67 km<sup>2</sup>.

Pro návrh technického řešení podzemní části jsou známy pouze parametry horniny potenciálně využitelného bloku uvedené v následující tabulce.

Tab. 72: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků

typ horniny	Rd	Rt	E	v	$\rho$
	[MPa]	[MPa]	[GPa]	[-]	[kg.m <sup>-3</sup> ]
pararuly v povrchových výchozech ve střední a východní části polygonu	30,4 až 114,1	1,3 až 9,8	6,58 až 67,41	0,09 až 0,76	2621 až 2733

*Rd* – pevnost v prostém tlaku

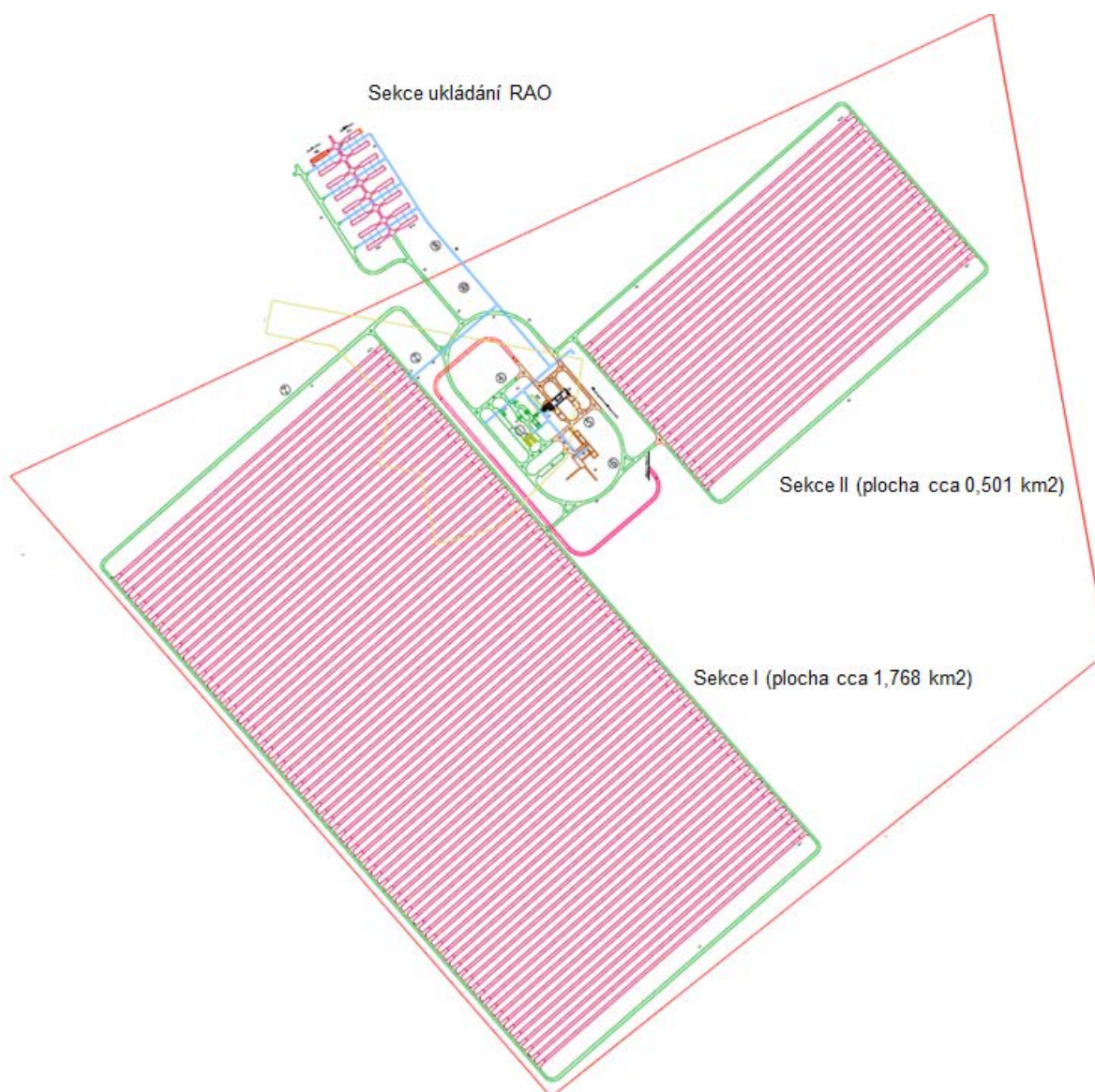
*Rt* – pevnost v prostém tahu

*E* – modul pružnosti

*v* – Poissonův součinitel

$\rho$  – měrná hmotnost

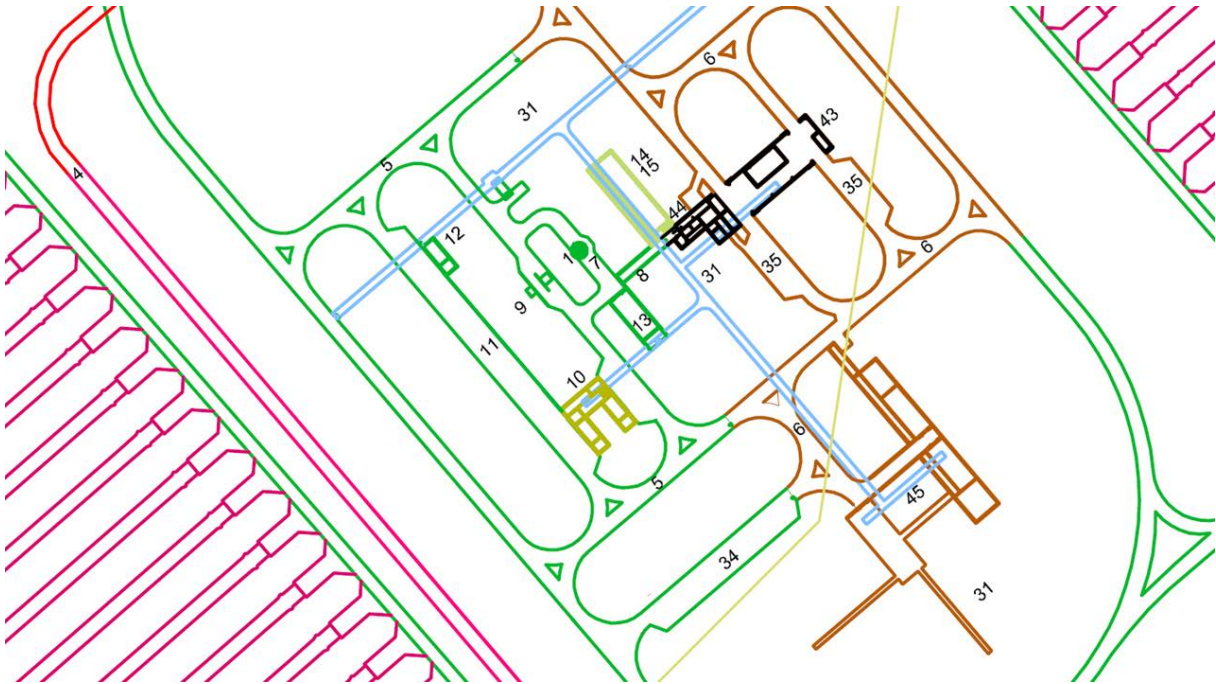
Schéma umístění úložných prostor při vertikálním ukládání VJP (Sekce I a Sekce II) v horninovém bloku je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 52: Schéma umístění úložných prostor v horninovém bloku na horizontu -500 m.

Schéma umístění DuSO na horizontu -500 m (střední část předcházejícího obrázku) je znázorněno na následujícím obrázku.





Obr. 53: Schéma umístění DuSO na horizontu -500 m.

(1- DuSO 01 Těžební jáma, 4- DuSO 04 Úklonná zavážecí chodba (úpadnice), 5- DuSO 05 Spojovací chodby na úseku výstavby (horizont -500 m.), 6- DuSO 06 Spojovací chodby na úseku ukládání (horizont -500 m.), 7- DuSO 07 Náraziště těžní jámy, 8- DuSO 08 Spojovací chodba s turniketem (horizont -500 m.), 9- DuSO 09 Násyp do skipostanice s dozornou, 10- DuSO 10 Dílny a opravy dopravních mechanismů, sklad náhradních dílů, 11- DuSO 11 Remíza a odstavná plocha dopravních mechanismů, 12- DuSO 12 Sklad PHM a mazadel, 13- DuSO 13 Rozvodna, 14- DuSO 14 Shromaždiště osob a stanice první pomoci, 15- DuSO 15 Zkušebna, 31- DuSO 31 Větrací chodby a komíny provozních objektů (na horizont -485 m), 34- DuSO 34 Remíza soupravy TBM, 35- DuSO 35 Remíza dopravních mechanismů pro úsek ukládání, 43- u vertikálního ukládání neobsazeno, 44- DuSO 44 Technické zázemí úseku ukládání, 45- DuSO 45 Konfirmační laboratoř, žlutou čarou průmět hranice povrchového areálu)

### 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.

Přívod vzduchu na ukládací horizont ukládání VJP a RAO bude jednak těžební šachtou DuSO 01 a jednak vzduchem přivedeným přes úpadnici, železniční tunel a samostatnou přívodní šachtu v portálu tunelu. V obou přívodních místech budou osazeny ohřivače pro ohřev vzduchu min. na +2°C. Jako medium pro ohřev bude použita pára (184°C) nebo horká voda (130/70°C). K odvodu mdlých větrů z podzemí slouží výdušná jáma I (DuSO 03), která vede z povrchu (SO 57) na horizont -500 m. Horizonty -550 m, -500 m a -485 m jsou propojeny větracím komínem (DuSO 51). Odvodní potrubí vzduchu z DuSO 41 bude vedené samostatným vrtem (tunelem) až do výdušné jámy II (SO 58) u portálu tunelu vybavené automatickým monitorovacím zařízením. Do této výdušné jámy s monitoringem bude také

přivedeno odvodní potrubí z VZT jednotek kontrolovaného pásma SO 41. Odpadní vzduch z prostor mimo kontrolované pásmo bude vyveden přímo do ovzduší.

Modul větrání obsahuje následující důlní a povrchové stavební objekty:

Vtažná důlní díla:

- DuSO 01 - Těžební jáma
- DuSO 02 - Spojovací dopravní tunely na úrovni 0
- DuSO 04 - Zavážecí chodba (úpadnice)
- DuSO 41 - m.č. 314 Přívodní strojovna VZT
- DuSO 41 - m.č. 318 Komora přívodních ventilátorů
- DuSO 41 - m.č. 320 Přívodní chodba VZT

Větrací chodby a komíny:

- DuSO 29 - Sběrné větrací chodby komor ukládání RAO
- DuSO 30 - Větrací vrty komor ukládání RAO
- DuSO 31 - Větrací chodby a komíny provozních objektů na horizontu - 500 m, -485 m
- DuSO 51 - Větrací komín z horizontu -550 na horizont -500 m
- DuSO 41 - m.č. 504 Nasávací objekt haly příjmu
- DuSO 41 - m.č. 505 Nasávací objekt haly betonkontejnerů.

Výdušná díla:

- SO 57 - Objekt výdušné jámy I. vč. fyzické ochrany (povrchová část)
- DuSO 03 - Výdušná jáma I
- DuSO 32 - Větrací stanice (horizont -485 m)
- DuSO 40 - Větrací stanice (horizont -250 m)
- DuSO 41 - m.č. 503 Komora odvodních ventilátorů
- DuSO 41 - m.č. 506 Výdušná chodba
- DuSO 41 - m.č. 106 Místnost měření plyných výpustí
- SO 58 - Objekt výdušné jámy II. vč. fyzické ochrany (povrchová část)

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

Větrání samotné horké komory bude provedeno jako podtlakové s aktivní filtrací, viz kapitola C.4.2.6.3 (41.PS 14 - Vzduchotechnické zařízení) a vzduchovým obtokem.

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

### C.5.3.2 Odvodnění

Modul čerpání důlních vod (Modul M17) koncepčně řeší kumulaci a transport důlních vod (průsakových a technologických) na povrch do čistírny důlních vod (SO 19).

Součástí modulu jsou následující DuSO:

DuSO 01 Těžební jáma

DuSO 38 Přečerpávací stanice důlních vod (horizont -250 m),

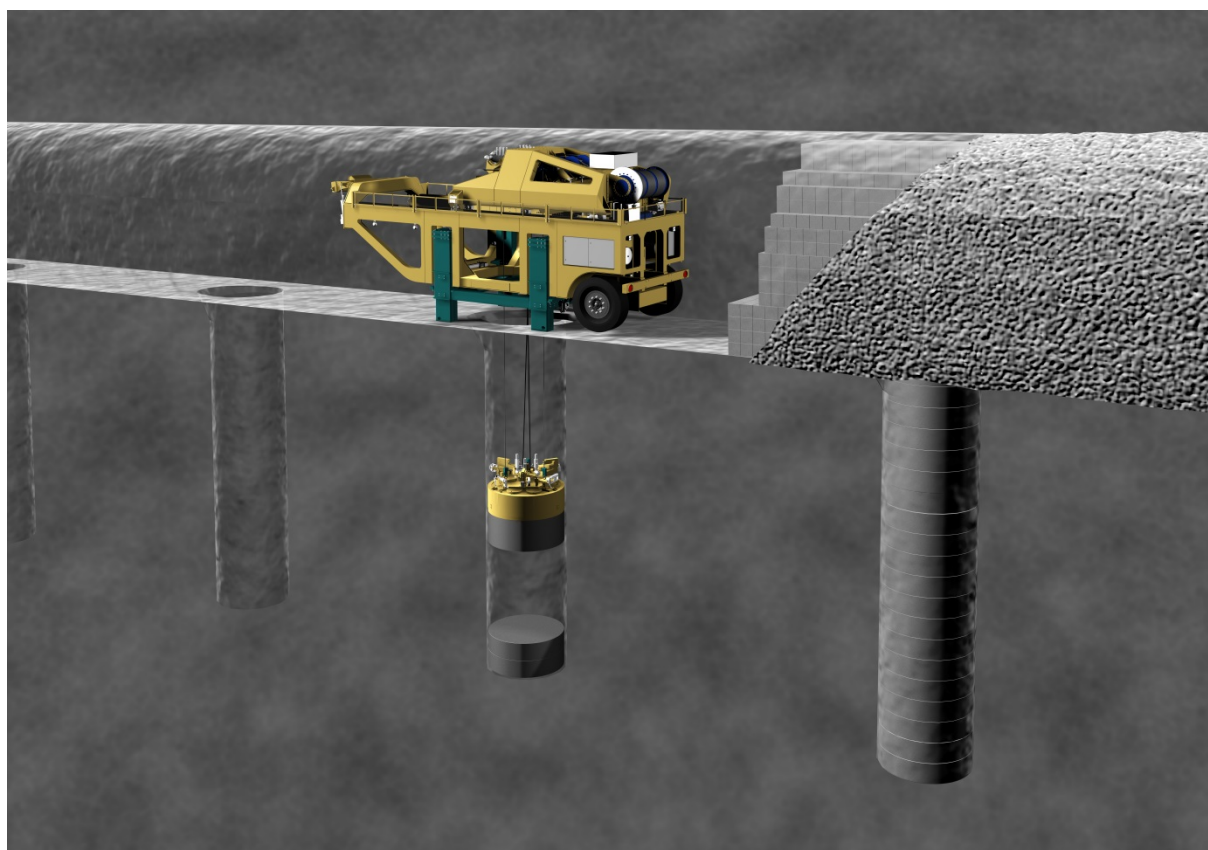
DuSO 48 Čerpací stanice důlních vod (horizont -550 m),

DuSO 49 Žumpové chodby (horizont -550 m).

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

### C.5.3.3 Technologie pro nakládání s RAO a přepravu

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. 54: Manipulace s bentonitem, Finsko





Obr. 55: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko

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

#### **C.5.3.4 Geometrie úklonné zavázeční chodby a chodeb spojovacích**

Úklonná zavázeční chodba (DuSO 04) bude sloužit především k dopravě UOS a RAO na ukládací horizont, dále bude sloužit k dopravě bentonitových bloků do ukládacích vrtů, výplňových materiálů chodeb a rozměrných částí zařízení pro ražbu.

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

#### **C.5.3.5 Geometrie jam, včetně jejich vstrojení**

Hlavním dopravním objektem výstavby je těžební jáma (DuSO 01) pro dopravu osob, těžbu rubaniny a spouštění materiálů. Jáma bude vyhloubena do hloubky cca -580 m s tím, že na horizontech cca -250 m, -500 m a -550 m budou vyražena náraziště. Vnitřní průměr jámy bude 7 m, obezdívka dle skutečného stavu horninového masivu se předpokládá zhruba z 15% betonová a dále z cca 30% svorníková se sítí a stříkaným betonem.

Těžební jáma bude vybavena dvojím těžním zařízením; pro dopravu osob a spouštění materiálů z horizontů -250 m a -550 m dvouetážovou klecí s protizávažím a pro těžbu rubaniny z ukládacího horizontu (-500 m) dvojčinným skipovým zařízením o užitečném objemu dopravní nádoby minimálně 10 tun.

Výdušná jáma I. s převýšením nad terén 15 m, bude vyhloubena na horizont -500 m a bude vybavena těžním zařízením pro havarijní jízdu osob z podzemí. Navržen je jednobubnový

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

težní stroj. Výdušná jáma II., s převýšením nad terén také 15 m, bude vyhloubena pouze do hloubky potřebné pro odvedení vzdušnin z DuSO 41. Podrobnější informace o jámách a jejich vystrojení jsou uvedeny ve zprávách (Fiedler et al. 2010) a (Fiedler et al. 2010a).

### C.5.3.6 Konfirmační laboratoře

Modul M13 konfirmační laboratoře je objektivě rozdělen na dvě části podzemní laboratoř (DuSO 42) a konfirmační laboratoř (DuSO 45). Obě části zajišťují výzkumnou podporu a verifikaci postupů ukládání VJP a RAO. Konfirmační laboratoř (DuSO 45) je zřízena na horizontu -500 m. V současné době není známa její přesná velikost ani dispozice jednotlivých místností. Podzemní laboratoř (DuSO 42) je zřízena na horizontu -250 m. V současné době není rovněž známa její přesná velikost ani dispozice jednotlivých místností. V laboratořích budou potvrzovány základní předpoklady o chování a vlastnostech horninového masívu. Vybudování laboratoří předchází zahájení provozu, jelikož je nutné prokázat splnění odpovídajících požadavků vlastností masívu ovlivňující dlouhodobou bezpečnost HÚ (chemismus, tepelné, difúzní, sorpční a elektromigrační parametry, aj.).

## 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 přípovrchoých 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 odpojena lokomotiva a další manipulace budou prováděny již lokotraktorem, který je součástí vybavení hlubinného úložiště.

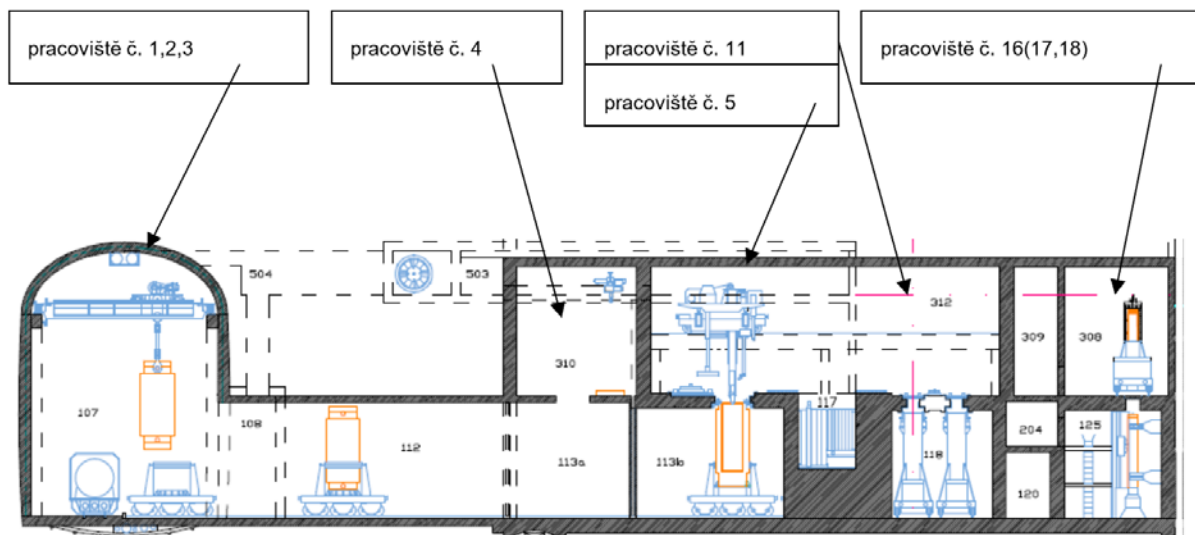
Podle zpráv (Pospíšková et al., 2012) a (Navrátilová et al. 2018) budou prováděny dále uvedené činnosti. Novější zpráva (Navrátilová et al. 2018) se od zprávy (Pospíšková et al., 2012) liší zejména tím, že horká komora byla přemístěna do podzemí.

#### C.6.1.1 Příjem POS s VJP

První z vagónů s POS bude vtlačén lokotraktorem do haly příjmu (m.č. 107 v DuSO 41). Tato hala je vybavena portálovým jeřábem nosnosti 150/5 tun, který bude sloužit k manipulacím s POS. Pomocí tohoto jeřábu budou prováděny veškeré manipulace s POS – tj. vztyčování a jeho přesun ve svislé poloze.

Před vlastním vztyčováním POS se v hale provede demontáž tlumičů nárazu, vizuální kontrola POS a kontrola jeho povrchové aktivity. Následně se na horní čepy upevní úvazy a pomocí jeřábu 150/5 t provede jeho vztyčení do svislé polohy otočením kolem dolních čepů POS a dále bude nad tlumičem zabudovaným do podlahy spuštěn z vagónu nad podlahu a několik decimetrů nad podlahou přenesen na speciální přepravní vůz, na kterém se zasune do dočasného skladu plných POS (m.č. 108; pracoviště č. 2). Zde bude připojen na monitorovací systém, kterým se sleduje teplota a tlak v POS.

V dočasném skladu se plný POS skladuje až do doby, než se ve skladovací mříži skladu VJP v horké komoře uvolní potřebný prostor pro uložení celého obsahu POS.



Obr. 56: Přeprava POS z Haly příjmu k HK

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

Když se v horké komoře uvolní potřebný prostor pro vyjmutí celého obsahu VJP z POS, POS se odpojí od monitorovacího zařízení a na pracovišti č. 3 se přeloží na samohybný el. vůz pro transport POS, který jezdí kyvadlově po kolejové dráze spojovací chodbou m.č. 112 mezi halou příjmu a překládky (m.č.107) a místností příjmu POS (m.č.113), a převez se na stanoviště pro demontáž sekundárního víka (pracoviště č. 4 viz obr. Schéma pracovišť, kapitola C.5.2.4 Umístění horké komory).

Na tomto pracovišti, které je obsluhováno jeřábem 16/5t instalovaným v m.č. 310 nad m.č. 113a, se demontuje sekundární víko a odloží na podstavec. Na primární víko POS se namontuje pomocný záchyt, který bude využíván při dalších manipulacích s primárním víkem v horké komoře. POS se přesune na další pracoviště pod přepravním otvorem do horké komory (pracoviště č. 5).


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

Po přistýkování POS k otvoru se překrytí otevře a nad otvor najede pojízdná plošina se stendy pro demontáž primárního víka (pracoviště č. 5). Stendy pracují v automatickém režimu a jsou řízeny dálkově. Když se primární víko uvolní, plošina se stendy odjede stranou a manipulátorem se primární víko sejme z POS a odloží na podstavec v horké komoře.

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

POS bude uzavřen sekundárním víkem. Samohybný elektrický vůz převez po případné dekontaminaci POS zpět do haly příjmu a na vagónu do SO 46 (mezisklad prázdných POS).



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

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

Operace spojené s příjmem prázdných UOS se provádějí v hale příjmu UOS (pracoviště č. 7 až 9 viz Obr. 51) na standu překlápění. Zde se provede vizuální kontrola, kontrola rozměrů a geometrie, průchodnost trubek UOS pomocí makety VJP a vyzkouší se správné dosednutí primárního a sekundárního víka. Zkontrolovaný UOS se uloží ve svislé poloze do skladu prázdných UOS, který je součástí haly příjmu UOS.

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

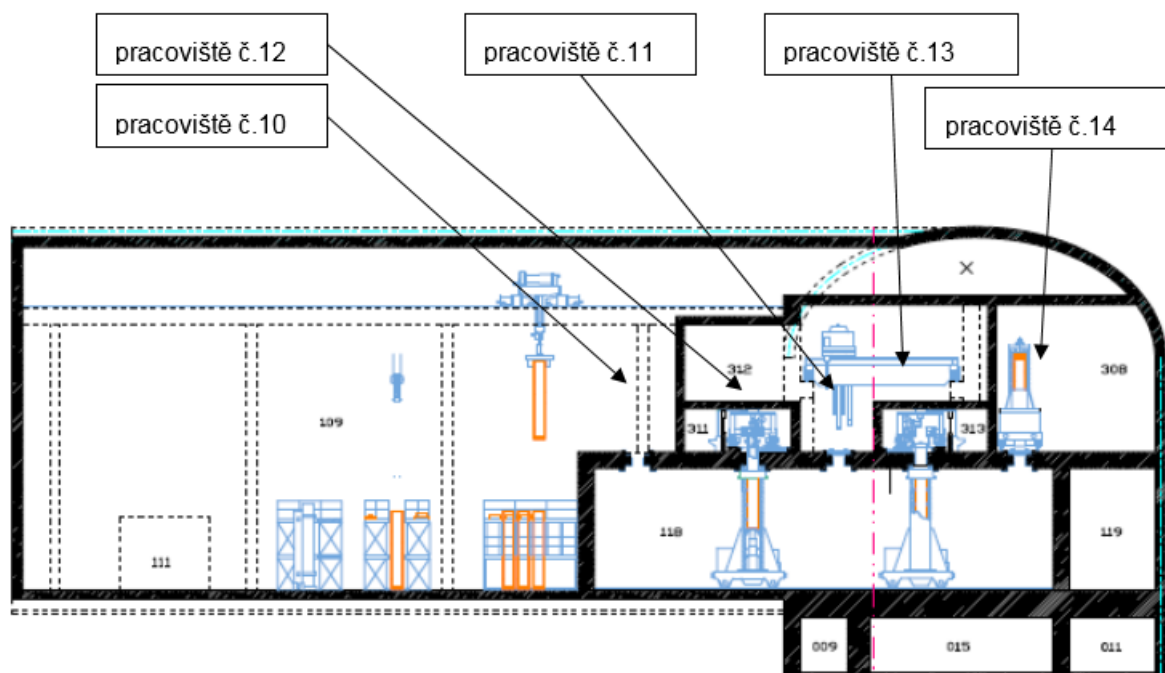
Zavážení VJP do UOS a všechny technologické operace na plných UOS se provádí na dvou paralelních linkách, které mohou pracovat souběžně. Jedna linka je trvale nastavená pro práci s UOS 440 a druhá pro UOS 1000. Zařízení obou linek je téměř totožné a v případě potřeby je možné linku provozovat i pro druhý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

### **C.6.1.5 Zavážení VJP do UOS**

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

UOS se jeřábem přenese nad pracoviště č. 10, kde se zasune do stínícího válce samohybného vozíku. Potom se UOS na vozíku přesune pod přepravní otvor do horké komory na pracoviště č. 11. Na vozíku se zdvihne přídatné stínění do pracovní polohy a přistykne se k vlnovci rámu překrytí. Otevře se překrytí otvoru a hydraulické zvedací zařízení zvedne UOS do pracovní polohy. Manipulátorem horké komory se postupně sejmou z UOS sekundární i primární víko. Tím je UOS připravený k zavezení VJP.

Otevře se překrytí prostoru mříže s VJP v horké komoře a manipulátor postupně vyjímá z mříže určené VJP a vkládá je do připraveného UOS. Práce s VJP probíhá v automatickém režimu. Po naplnění UOS manipulátor vloží zpět do UOS primární víko. Zaplněný UOS je spuštěn do transportní polohy, otvor do horké komory se uzavře a vozík s UOS se přesune pod otvor boxu svařování - I (pracoviště č. 12).



Obr. 57: Pracoviště zavážení VJP

#### C.6.1.6 Přivaření primárního víka UOS, kontrola přivaření

Vozík se navede na souřadnice osy otvoru. Na vozíku se zdvihne přídavné stínění do pracovní polohy a přistykne se k vlnovci rámu překrytí. Potom se otevře překrytí otvoru a UOS se zvedne do pracovní polohy ke stendu pro svařování (pracoviště č. 12). Svařovacím automatem se přivaří primární víko k vnitřnímu pouzdru. Kvalita svařování se průběžně sleduje. Po zavaření se nejprve vakuovacím zařízením vysaje vzduch z vnitřního pouzdra, pak se pouzdro zaplní heliem a provede se heliová zkouška těsnosti.

#### C.6.1.7 Přivaření sekundárního víka UOS, kontrola přivaření, plnění dusíkem

UOS se spustí do přepravní polohy, překrytí otvoru se uzavře a samohybný vozík s UOS se přesune zpět pod přepravní otvor do horké komory (pracoviště č. 11). Zde se stejným postupem jakým bylo vloženo do UOS primární víko, vloží i sekundární víko. Potom se samohybný vozík s UOS přesune pod otvor do boxu svařování - II (pracoviště č. 13). Zde se přivaří sekundární víko. Po přivaření se provede zkouška těsnosti heliem a vnitřní prostor vnějšího přebalu se vakuuje a vyplní dusíkem.

#### C.6.1.8 Uložení plných UOS v meziskladu

Upravený UOS (s přivařeným primárním a sekundárním víkem a zkontrolovaným na těsnost) je už možné uložit v meziskladu plných UOS (pracoviště č. 15). UOS se v samohybném vozíku spustí do přepravní polohy a přesune se pod přepravní otvor pracoviště č. 14. Nad otvor najede překládací zařízení, které je určeno pro přepravu plného UOS mezi pracovištěm č. 14 a meziskladem plných UOS. Překládací zařízení spustí otvorem ve stropu místnosti záchyt, kterým uchopí UOS a vtáhne ho do svého stínicího válce. V meziskladu plných UOS spustí UOS do skladovací mříže. Překládací zařízení je uzpůsobeno tak, aby bylo možné ukládat v meziskladu plných UOS ve dvou řadách (pracoviště č. 15). Zde může být plný UOS skladován do doby, než se uvolní kapacita na dalších pracovištích a může být provedena povrchová ochrana.

### C.6.1.9 Povrchová úprava UOS

Samohybným vozíkem se plný UOS převezze z meziskladu plných UOS nad box pro otryskání povrchu. UOS se otvorem v podlaze místnosti spustí do boxu, kde se ustaví na otočný stůl. Podél UOS pojíždí ve vertikálním směru otryskávací zařízení. Po ukončení operace se provede kamerou kontrola kvality povrchu. Pokud se bude provádět ochranný nástřík, UOS se přeloží do boxu ochranného nástříku. Ochranný žárový nástřík se provádí rovněž ve svislé poloze. Hotový UOS se zkontroluje a uloží se buď zpět do meziskladu plných UOS nebo se přeloží přímo do přepravního prostředku, který ho dopraví do podzemí.

### C.6.1.10 Přeprava UOS do podzemí

Mobilní kolová souprava pro transport UOS do podzemí najede pod otvor ve stropu zavážecí chodby, stínící válec kolové soupravy se překloupí do svislé polohy. Nad otvor najede samohybný vozík se zavěšeným UOS. Ze samohybného vozíku se spustí UOS stínícím válcem do lůžka mobilní kolové soupravy. Potom se stínící válec překloupí do vodorovné přepravní polohy. Mobilní kolová souprava sjede úklonnou zavážecí chodbou na úroveň ukládacího horizontu (- 500 m).

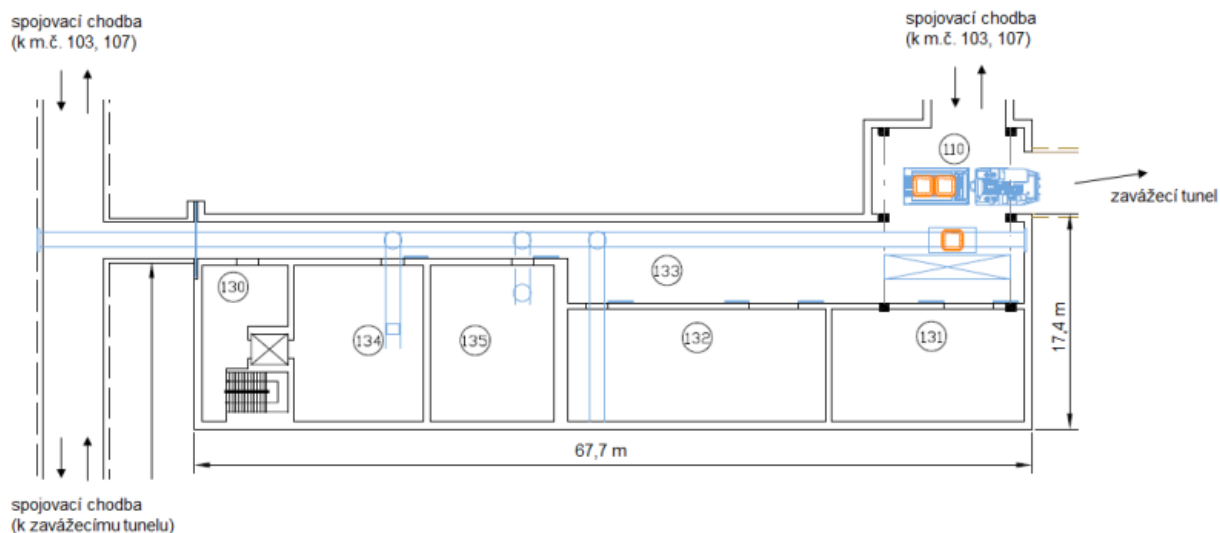
V případě vertikálního ukládání se dále používá technologie uvedená v kapitole C.5.3.3 Technologie pro provoz (ukládání) a dopravu.

### C.6.1.11 Příprava RAO pro uložení

Kapitola se týká do HÚ ukládaných RAO, jiných než VJP. Činnosti s RAO (vysokoaktivní radioaktivní odpady neuložitelné do přípovrchových úložišť nebo podzemních úložišť a vlastními odpady z provozu HÚ) lze rozdělit do následujících skupin:

- příjem a příprava prázdných betonkontejnerů (BK) k plnění,
- příjem sudů s RAO,
- příjem prázdných sudů a jejich plnění vlastními RAO,
- příjem betonkontejnerů s RAO,
- plnění betonkontejnerů sudy s RAO a jejich příprava k uložení,
- plnění betonkontejnerů vlastními RAO a jejich příprava na uložení.
- zavezení betonkontejneru na ukládací horizont RAO
- uložení BK s RAO do ukládací komory

Všechny výše popsané manipulace budou probíhat výhradně na pracovištích s KP v podzemních prostorách DuSO 41.



Obr. 58: 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 (Navrátilová et al. 2018), (Pospíšková et al., 2012) a (Fiedler et al., 2010a).

### C.6.1.12 Monitorování

Rozsah monitorování je v této fázi přípravy HÚ stanoven v obecných rámcích. Podrobný plán monitoringu bude zpracován na základě vlastního projektu HÚ, a to jak v části pro výstavbu – geotechnický monitoring, tak i v části pro provoz – program monitorování dle vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h). Oba dokumenty jsou totiž pevně svázány s konkrétním podrobným projektovým řešením HÚ.

#### C.6.1.12.1 Geotechnické monitorování

Geotechnické monitorování je soubor měření, pozorování a hodnocení zaměřený na sledování a kontrolu reakce horninového prostředí na stavbu tunelu a sledování indukovaných účinků v okolí stavby, v zóně poklesů a v zóně sledování.

S ohledem na vysokou rychlost mechanizovaných ražeb oproti konvenčním ražbám musí být některé metodiky monitorování prováděny metodami kontinuálního monitorování s dálkovým přenosem dat. Tím bude umožněno včas a účinně reagovat na případné anomálie, v čase okamžité, projevy horninového prostředí.

Kontinuálním monitorováním se rozumí bezobslužný sběr dat v předem nastavených intervalech a jejich automatizované zpracování. Kontinuální monitorování bude zahájeno v dostatečném předstihu před vlastními ražbami (v řádu týdnů), aby byl zdokumentován původní „klidový“ stav horninového prostředí, a aby byly, pokud možno eliminovány případné parazitní vlivy (změny teploty, tlaku, slunečního osvětlení atd.) na výsledky měření ještě před ražbami.

#### C.6.1.12.2 Monitorování podzemních vod

Důležitou součástí monitorování je monitorování podzemních vod. Z toho důvodu se provádí měření:

- množství vody vytékající z tunelu po dobu výstavby,
- hydrostatických tlaků podzemních vod,
- změn hladiny podzemních vod v širším okolí tunelu v hydrogeologických vrtech,
- změn vydatnosti pramenů a povrchových toků v širším okolí tunelu,
- chemického složení podzemních vod,
- teploty.

Vodní režim v území se předpokládá sledovat dlouhodobě již před počátkem razicích prací, tak aby mohl postihnout i např. změny výšky hladiny podzemní vody dlouhodobějšího charakteru vlivem vývoje klimatu.

#### **C.6.1.12.3 Program monitorování podle vyhlášky č. 422/2016 Sb.**

Prostřednictvím monitorování osob, pracoviště a okolí se sleduje dodržení podmínek RO osob vstupujících na pracoviště a radiační situace v okolí úložiště.

Monitorování se zajišťuje osobními dozimetry, systémem stabilních měření s přenosem dat, dále přenosnými přístroji a systémem odběru a vyhodnocování vzorků z měřících míst.

Základní informace ze stabilních kontinuálních měření monitorujících pracoviště určená pro nakládání s VJP a RAO a z monitorování okolí jsou přenášeny do počítačového systému RK.

Počítačový systém RK zabezpečí zpracování, prezentaci a archivaci dat ze stabilních kontinuálních měření pro zabezpečení informovanosti obsluhy. Součástí tohoto počítačového systému a stabilních měření RK bude opticko - akustická signalizace překročení nastavených úrovní. Součástí počítačového systému bude též systém elektronické osobní dozimetrie.

Rozsah monitorování pracoviště:

- monitorování dávkových příkonů záření gama a příkonu dávkových ekvivalentů neutronů
- monitorování radioaktivních aerosolů a plynů v ovzduší na pracovištích HÚ
- monitorování povrchové kontaminace pracoviště a předmětů

Rozsah osobního monitorování:

- osobní dozimetrie pro osoby vstupující do KP
- kontaminace osob na výstupu z KP v hygienickém zázemí
- měření vnitřní kontaminace osob
- stanovení dávek

Rozsah monitorování výpustí:

- Monitorováním plyných výpustí ve ventilačních komínkách
- Monitorováním kapalných výpustí na hranici areálu HÚ

Rozsah monitorování okolí:

- Monitorování okolí v monitorovacích místech.

Program monitorování bude respektovat požadavky vyhlášky č. 360/2016 Sb. (SUJB 2016d) a vyhlášky č. 422/2016 Sb. (SUJB 2016h).

S ohledem na technický vývoj nejsou uváděny konkrétní přístroje pro zajištění monitorování, které bude odpovídat stavu techniky v době zpracování projektu v rozsahu požadovaném pro stavební řízení.

V oblasti monitoringu se SÚRAO účastní mezinárodního projektu Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure (MoDeRn) 2020. Projekt Modern 2020 navazuje na výstupy projektu MoDeRn, který probíhal v období 2009–2013. Tématikou je monitoring hlubinného úložiště v různých fázích provozu a po jeho uzavření. MoDeRn 2020 je rozčleněn do čtyř ideových celků:

- strategie: zpracování metodiky potřeb monitorovaných parametrů pro potřeby bezpečnostního hodnocení, příprava strategie monitorování a doporučení monitorovacího plánu;
- technologie: výzkum a vývoj (R&D) technologií, včetně přenosových technologií, dlouhodobých napájecích zdrojů, senzorů a dalších komponent;
- demonstrace a praktická implementace: demonstrace inovativních technik;
- zapojení stakeholderů: nalezení cesty, jak zapojit do procesu všechny zúčastněné subjekty a začlenit relevantní požadavky do programu monitorování.

### C.6.1.13 Nakládání s RAO

Nakládáním s RAO jsou činnosti, které se budou provádět v HÚ v souvislosti se shromažďováním, tříděním, zpracováním, úpravou, skladováním a ukládáním RAO.

Činnosti nakládání s RAO jsou sběr, třídění, zpracování a úpravu všech druhů odpadů, které vzniknou v kontrolovaném pásmu. Systémy nakládání s RAO budou vybaveny moderními technologiemi zajišťujícími úpravu RAO do formy vhodné pro uložení při zohlednění základních principů při nakládání s RAO.

Úprava RAO změnou jejich fyzikálních nebo chemických vlastností, popřípadě jejich obalem bude provedena tak, aby byla zajištěna jejich bezpečná přeprava, skladování a uložení. Úprava radioaktivních odpadů bude zahrnovat zpevňování radioaktivních odpadů a jejich vpravení do obalových souborů. Obalové soubory budou zvoleny tak, aby vydržely spolehlivě namáhání při následných manipulacích a přepravě a aby nakládání s nimi bylo bezpečné. Před vypuštěním vzdušin z HÚ budou odloučeny zachytitelné radioaktivní látky z kontaminovaných vzdušin filtrací. Systémy budou vybaveny tak, aby nedošlo k nekontrolovanému úniku radionuklidů do životního prostředí. Při zpracování pevného odpadu budou použity ověřené technologie, jako je třídění, fragmentace, lisování.

### C.6.2 Uzavírání úložiště


Ukládání VJP a ostatních RAO se předpokládá v dlouhém časovém období. Navržené řešení umožňuje souběžný průběh etap výstavby, provozu, vyřazování z provozu a uzavírání HÚ ve smyslu vyhlášky č. 377/2016 Sb. (SUJB 2016f) §7 c).

Po ukončení provozu úložiště budou provedeny demontáže zařízení a demolice stavebních objektů aktivních provozů a jejich uložení do HÚ.

Dále se předpokládá odstranění všech objektů s výjimkou objektu SO 15, který bude sloužit pro činnosti po uzavření úložiště, zejména k monitoringu. Zároveň bude zachována část technické infrastruktury pro provoz a dopravní obsluhu tohoto objektu. V rámci rekultivace ostatního území povrchového areálu budou provedeny zemní práce a rozprostřena ornice pro navrácení území do ZPF.

Závěrečné činnosti uzavírání úložiště budou připravovat lokalitu na institucionální kontrolu viz kapitola C.7 Požadavky na institucionální kontrolu.



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		<i>TZ 302/2018</i>

## C.7 Požadavky na institucionální kontrolu

Po uzavření úložiště bude v přiměřeném rozsahu kontinuálně pokračovat sledování lokality úložiště z důvodu kontroly zajištění bezpečnosti a hodnocení vlivu na okolí (zabezpečení institucionální kontroly), která se předpokládá po dobu 300 – 500 let. Výsledky budou mimo jiné sloužit i k informování veřejnosti.

V souladu s bezpečnostním cílem uvedeným v kapitole 5.1 pod písmenem e) položka 2. se SÚRAO účastní mezinárodního projektu Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations (RK&M). Projekt RK&M si klade za cíl navrhnout strategii uchování dat a informací (znalostí) po dlouhé období, aby bylo zachováno povědomí o místě, kde jsou uskladněny vysoce aktivní odpady.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Náhled na topografickou situaci PÚ ZZZK Janoch a blízkého okolí .....	30
Obr. 2: Horizontální řez detailním 3D strukturně geologickým modelem lokality ETE–jih na úrovni –37,65 m. n. m. (cca 500 m hloubky) a lokalizace předpokládaného homogenního bloku (žlutý polygon). .....	31
Obr. 3: Úrovně popisu lokality lokality Janoch .....	36
Obr. 4: Náhled na účelovou geologickou mapu lokality Janoch .....	37
Obr. 5: Mapa zlomových struktur v širším okolí lokality Janoch (Temelín-jih) (okruh 25 km od lokalizace zájmového území černou linií), červený polygon – rozsah 3D strukturně geologických modelů, menší černý polygon – lokalita Janoch (Temelín-jih) .....	38
Obr. 6: Schéma zlomů na lokalitě Janoch a v širším okolí v rozsahu regionálního 3D strukturně geologického modelu.....	39
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 a zlomové sítě. Bodové symboly reprezentují centroidy katastrů obcí .....	41
Obr. 8: Mapa reliéfu lokality Janoch s vyznačenými infiltračními oblastmi pro projektované HÚ.....	53
Obr. 9: Pozice lokality Janoch, homogenních bloků a hydrogeologických údajů v databázi vrtné prozkoumanosti ČGS. ....	55
Obr. 10: Rozdíl modelové hydraulické výšky v přípovrchové vrstvě a v úrovni HÚ .....	57
Obr. 11: Vypočtená místa drenáže pro podzemní vodu z projektovaného HÚ .....	58
Obr. 12: Schématické řezy se znázorněním horizontální a vertikální vzdálenosti drenáže podzemní vody z prostoru projektovaného HÚ (fialové šipky) a homogenních bloků (modré šipky).....	59
Obr. 13: Modelová hydraulická vodivost zlomových zón.....	60
Obr. 14: Rozložení průměrných rychlostí proudění v [m.rok-1] z prostoru HÚ v modelu proudění.....	62
Obr. 15: Trajektorie proudění z prostoru HÚ, do drenážních oblastí, okamžité modelové rychlosti proudění.....	63
Obr. 16: Tepelná konduktivita pararul z lokality Janoch (Sosna, 2017).....	77
Obr. 17: Roční srážkové úhrny ze stanice Bernartice za roky 1980 až 2010. ....	85
Obr. 18: Výpočet celkové expozice (efektivní dávka z externího ozáření a úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření) pro dlouhodobé vypouštění a referenčního dospělého jedince....	97
Obr. 19: 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).....	98

Obr. 20: Srovnání potencionální radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a jeho jednotlivých složek s potencionální radiotoxicitou 1 t uranové rudy.....	102
Obr. 21: Geometrie úložného vrtu včetně ukládacího obalového souboru a tlumícího materiálu .....	108
Obr. 22 Schéma transportní cesty od HÚ do životního prostředí .....	109
Obr. 23 Transportní cesta představující geosféru v modelu v GoldSim .....	114
Obr. 24 Schéma DFN konceptu.....	115
Obr. 25 Vývoj průtoku jednou modelovou buňkou příslušející danému pozorovacímu bodu. Průtok v poslední 19. části transportní cesty (přípovrchová vrstva) nabývá hodnoty $2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .....	117
Obr. 26: Koncepční model výpočtu dávek na reprezentativní osobu z uvažovaných cest ozáření .....	118
Obr. 27: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na rozhraní geosféra/biosféra ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) - (0-10250 let) .....	141
Obr. 28: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce ( $\text{Sv}/\text{rok}$ ).....	142
Obr. 29: Objemová aktivita radionuklidů uvolněných z blízkého pole ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) .....	144
Obr. 30: Objemová aktivita radionuklidů v podzemní vodě na výstupu z geosféry ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) - (0-1000000 let).....	144
Obr. 31: Příspěvky jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce ( $\text{Sv}/\text{rok}$ ).....	145
Obr. 32: Příspěvky jednotlivých cest ozáření k roční efektivní dávce ( $\text{Sv}/\text{rok}$ ) - (0-1 milion let) (0 -1000000 let).....	146
Obr. 33: Maximální příspěvek jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce ( $\text{mSv}/\text{rok}$ ) .	146
Obr. 34: Celkový a radiální pohled na palivo VVER-1000 (levá strana, výška 457 cm) / VVER-440 (pravá strana, výška 322 cm).....	153
Obr. 35: Schéma palivového proutku.....	154
Obr. 36: Zbytkový výkon na jeden UOS pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ: .....	157
Obr. 37: Vertikální řez reaktoru VVER-1000.....	160
Obr. 38: 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).....	170
Obr. 39: 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) .....	171
Obr. 40: Relativní aktivita přírodního uranu a všech frakcí, které vznikají při použití stejného množství přírodního uranu v jaderném palivovém cyklu .....	171
Obr. 41: Mapa ložisek českých bentonitů (Evidovaná ložiska nerostů, online).....	172
Obr. 42: Bobtnací tlak (vlevo) a hydraulická vodivost (vpravo) v závislosti na zhutnění vzorku (objemové hmotnosti sušiny).....	173
Obr. 43: 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 ( $w=7,5 \%$ ) .....	174



Obr. 44: Vertikální uložení UOS (VVER 440) (Grünwald et al. 2017).....	177
Obr. 45: 1. nadzemní podlaží SO 41 .....	185
Obr. 46: 2. nadzemní podlaží SO 41 .....	186
Obr. 47: 3. nadzemní podlaží SO 41 .....	187
Obr. 48: Schéma napojení DuSO 41 na povrchový areál .....	189
Obr. 49: Schéma ukládacího horizontu -500m.....	190
Obr. 50: Hala příjmu s vlečkou a meziskladem POS s VJP (pracoviště č. 2, m.č. 108).....	196
Obr. 51: Schéma pracovišť č. 4 až 18 .....	197
Obr. 52: Schéma umístění úložných prostor v horninovém bloku na horizontu -500 m.....	201
Obr. 53: Schéma umístění DuSO na horizontu -500 m.....	202
Obr. 54: Manipulace s bentonitem, Finsko.....	204
Obr. 55: Manipulace s UOS, spouštění UOS do svislého vrtu, Finsko .....	205
Obr. 56: Přeprava POS z Haly příjmu k HK .....	207
Obr. 57: Pracoviště zavážení VJP .....	209
Obr. 58: Příprava RAO pro uložení.....	211

## Seznam tabulek

Tab. 1: Harmonogram přípravy a realizace HÚ .....	16
Tab. 2: Požadavky na posuzované vlastnosti podle vyhlášky č. 378/2016 Sb. (SUJB 2016b) .....	18
Tab. 3: Doporučení IAEA SSG 14, příloha 1.....	23
Tab. 4: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení .....	50
Tab. 5: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro hodnocení lokality Janoch .....	64
Tab. 6: Délka transportní cesty a doba zdržení – statistické vyhodnocení. ....	66
Tab. 7: Doporučené hodnoty difúzních koeficientů pro horniny Českého masivu (Havlová et al. 2017) a experimentální hodnoty pro vzorky migmatitu z lokality PVP Bukov (Verner et al. 2017).....	67
Tab. 8: Rozpustnosti screeningových radionuklidů ve vodě lokality Janoch.....	68
Tab. 9: Hodnoty ředění pro jednotlivá povodí drenáže .....	68
Tab. 10: Vybrané kvantitativní parametry indikátorů pro oblast Transportní charakteristiky lokality Janoch (Havlová et al., 2018) .....	68
Tab. 11: Vybrané parametry indikátorů a jejich ohodnocení .....	75
Tab. 12: Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních a mechanických vlastností parafinů z lokality Janoch .....	78
Tab. 13: Vybrané geochemické indikátory pro lokalitu Janoch.....	80
Tab.14: Klimatické ukazatele oblasti MT10.....	86

Tab. 15: Vzdálenost jaderných zařízení v ČR od HÚ v lokalitě Janoch.....	94
Tab. 16: Uvolnitelnost radionuklidů při porušení těsnosti palivových proutku.....	95
Tab. 17: Zdrojový člen uvažující únik 3 % uvolnitelné aktivity POS se započtením filtrace (99,9999 %).....	96
Tab. 18: Omezená kolektivní efektivní dávka .....	97
Tab. 19: Zdrojový člen uvažující únik 5,3 % uvolnitelné aktivit POS se započtením filtrace (účinnost 99,95 %) .....	98
Tabulka 20: Souhrnné výsledky pro roční rovnoměrné uvolňování během normálního provozu .....	99
Tabulka 21: Souhrnné výsledky pro scénář s 5,3 % únikem se špatně fungující filtrací a špatnými rozptylovými podmínkami – 16 úniků do všech směrů větrné růžice.....	100
Tab. 22: Účel a kontext hodnocení bezpečnosti .....	101
Tab. 23: Bezpečnostní funkce bariér hlubinného úložiště .....	104
Tab. 24: Transportní parametry potenciálních lokalit pro umístění HÚ.....	110
Tab. 25: 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 .....	111
Tab. 26: Aktivita radionuklidů použitá ve výpočtech.....	120
Tab. 27: Hodnoty IRF dle Johnson et al. (2004) použité k deterministickému výpočtu.....	122
Tab. 28: 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 úložišť.....	123
Tab. 29: 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). .....	124
Tab. 30: Doporučené hodnoty rozpustností pro uvažované prvky a jejich horní a spodní limity. Doporučené hodnoty byly výpočetně určeny v práci Klajmon et al. (2016), zatímco limity byly převzaty na základě expertního odhadu z dalších literárních zdrojů. ....	125
Tab. 31: Sorpční parametry granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu (Havlová et al. 2018).....	126
Tab. 32: Difúzní koeficienty $D_e$ granitové vrstvy navržené pro použití v komplexním modelu stávajícího projektu. ....	127
Tab. 33: Distribuční koeficienty pro zemědělskou půdu .....	129
Tab. 34: Přenosové faktory půda - rostlina .....	130
Tab. 35: Výnosy zemědělských plodin.....	131
Tab. 36: Přenosové faktory pro přestup přijaté aktivity do živočišného produktu .....	132
Tab. 37: Parametry použité pro hospodářská zvířata .....	133
Tab. 38: Spotřební koš (reprezentativní osoba, dospělý, centrální scénář).....	134

Tab. 39: Přehled parametrů pro jednotlivé aktivity reprezentativní osoby .....	135
Tab. 40: Konverzní faktory příjmu radionuklidu požitím a vdechnutím .....	136
Tab. 41: Dávkové konverzní faktory pro zevní ozáření z půdy, vzduchu a vody .....	138
Tab. 42: Vstupní data specifická pro jednotlivé druhy rostlin (zemědělských plodin) .....	139
Tab. 43: Koncentrace stabilního C v rostlinách (zemědělských produktech) a živočišných produktech .....	140
Tab. 44: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot v období 0-10 250 let.....	142
Tab. 45: Maximální hodnoty vypočtených dávek a časy dosažení těchto maximálních hodnot (0-1000000 let).....	146
Tab. 46: Přehled základních parametrů VJP a odhad množství VJP pro HÚ .....	153
Tab.47:Seznam klíčových radionuklidů z VJP, pro které jsou hodnoty aktivit a hmotností uvedeny v Databázi VJP .....	155
Tab. 48: Celková aktivita klíčových radionuklidů pro EDU, ETE i NJZ a aktivita přepočítaná na jeden UOS.....	156
Tab. 49: Zbytkový výkon na jeden UOS pro všechny typy JE .....	157
Tab. 50: Rozměry UOS použité ve výpočetních modelech pro VVER-440, VVER-1000 a NJZ .....	158
Tab. 51: Příkon ekvivalentní dávky na povrchu UOS a ve vzdálenosti 1m od UOS .....	158
Tab. 52 : Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí reaktoru pro postupné vyřazování z provozu doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Temelín .....	159
Tab. 53: 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 .....	161
Tab. 54: Měrné aktivity a hmotnosti různých materiálů na konci ozařování a pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín.....	161
Tab. 55: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro postupné vyřazování z provozu pro oba bloky JE Temelín .....	161
Tab. 56: Hmotnostní bilance aktivovaných technologických částí doplněné o počet a hmotnost betonových kontejnerů pro JE Dukovany .....	162
Tab. 57: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů v technologických částech reaktoru (šachta reaktoru, koš AZ, návar TNR a TNR) pro JE Dukovany .....	162
Tab. 58: Měrné aktivity vybraných klíčových radionuklidů pro technologické části reaktoru (tepelná izolace, dno koše AZ a serpentinitový beton) pro JE Dukovany.....	163
Tab. 59: Celková aktivita vybraných klíčových radionuklidů v jednotlivých typech materiálů pro všechny 4 bloky JE Dukovany .....	163
Tab. 60: Odhadovaná měrná aktivita a hmotnost různých materiálů pro všechny plánované bloky a pro okamžité vyřazování z provozu NJZ.....	163



Tab. 61: Odhad počtu betonových kontejnerů pro konstrukční a technologické části výzkumného reaktoru LVR-15 pro postupné vyřazování.....	164
Tab.62: Celková aktivita, objem a hmotnost vitrifikovaného VJP pro obě přepravy.....	165
Tab. 63: Aktivita vybraných klíčových radionuklidů z 1. a 2. přepravy vitrifikovaného VJP z výzkumného reaktoru LVR-15 .....	165
Tab. 64: Celková hmotnost RAO a aktivita alfa, beta a gama zářičů v režimu skladování v ÚRAO Richard z ÚJV Řež, a. s. a od ostatních původců.....	166
Tab. 65: Přehled ZIZ používaných na území ČR podle obsažených radionuklidů a jejich sumární aktivity k referenčnímu datu 10. 12. 2015 .....	166
Tab.66: Přehled ZIZ užívaných na území ČR podle jejich klasifikace (Databáze ZIZ, SÚJB) .....	167
Tab. 67: Silikátová analýza B75 (Vašíček et al., 2016) a MX-80 (Karnland, 2010).....	173
Tab. 68: Seznam stavebních objektů.....	179
Tab. 69: Seznam provozních souborů .....	183
Tab. 70: Seznam důlních stavebních objektů .....	192
Tab. 71: Seznam důlních provozních souborů.....	193
Tab. 72: Geotechnické parametry horniny potenciálně využitelných bloků .....	201

## 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>
- BALATKA B., KALVODA J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. – Geografie – Sborník České geografické společnosti, 113, 3, Praha, 205–222.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York, 272 pp.
- BUKOVSKÁ Z. A VERNER K. ED.( 2017): Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov. Závěrečná zpráva, 351 s. MS SÚRAO.
- BÜTTNER S., KRUHL J. H. (1997): The evolution of a late-Variscan high-T/low-P region: the southeastern margin of the Bohemian massif – Geol Rundsch 86, 21–38.
- ČERNÍK M., STEINOVÁ J., ŠEVCŮ A., BURKARTOVÁ K., ČERNÁ K., MIKEŠ J., ŠPAČEK P., DOBREV D., ČERNOUŠEK T., STOULIL J. (2017): Mikrobiální koroze za podmínek hlubinného úložiště pro koncepci ocelový UOS – zhutněný bentonit, zpráva SÚRAO, číslo 196/2017, 61 str.
- ČERNÍK M., STEINOVÁ J., ŠEVCŮ A., MIKEŠ J., ŠPAČEK P., DOBREV D., ČERNOUŠEK T., STOULIL J. (2016): Mikrobiální koroze za podmínek hlubinného úložiště pro koncepci ocelový UOS – zhutněný bentonit – Průběžná technická zpráva. Zpráva SÚRAO, 71/2016, 52 str.

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

- 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 ÚOS č. 14E1054. ÚJV-14407
- ČERVINKA R., VOPÁLKA D., ADAM R., BRÁZDA L., DRTINOVÁ B., HOFMANOVÁ E., KITNEROVÁ J., RAMEŠOVÁ L. REIMITZ D., ŠIMÚTHOVÁ Z., ŠTAMBERG K., VETEŠNÍK A. (2015): Transport radionuklidů z úložiště / vstupní parametry a procesní modely pro hodnocení transportu radionuklidů přes inženýrské bariéry, 1. průběžná zpráva. Technická zpráva č. 2015/18, SÚRAO
- ČERVINKA, R., GONDOLLI, J., KLAJMON, M., TOMÁŠOVÁ, Z., RUKAVIČKOVÁ, L., ŘIHOŠEK, J., PACHEROVÁ, P., ZEMAN, J., VENCELIDES, Z. (2017): Chování horninového prostředí/Příprava geochemického modelu úložiště – Definice vstupních dat a příprava modelů, průběžná zpráva. Technická zpráva číslo 125/2017. SÚRAO, 118 str.
- ČERVINKA R., GONDOLLI, J., KOLOMÁ K. (2016): Eroze bentonitu a její dopad na dlouhodobé chování inženýrských bariér hlubinného úložiště a transport. Závěrečná zpráva projektu Eroze bentonitu a její dopad na dlouhodobé chování inženýrských bariér hlubinného úložiště a transport radionuklidů. ÚJV Řež, a. s. ÚJV- Z 4495
- ČERVINKA R., KLAJMON M., ZEMAN J., VENCELIDES Z., Příprava geochemického modelu – geochemické výpočty a model reakčního transport, Technická zpráva SÚRAO, 2018
- DĚDEČEK P. (2017) Stanovení tepelných vlastností horninových vzorků pro akci Moldanubikum, vodnost umístění podzemního úložiště, dokument 3310-př/17-22, 2017
- DOBREV D., GONDOLLI J., MENDOZA MIRANDA A. N., STEINOVÁ J., ZUNA M. (2017a): Korozní zkouška v přírodním granitoidním prostředí, Technická zpráva SÚRAO, číslo 194/2017, 162 str.
- Dobrev D., Kašpar V., Zuna M., Norma A., Mendoza M. (2017b): Test omezení koroze UOS využitím drenážní vrstvy v úložných vrtech, Technická zpráva SÚRAO, číslo 199/2017.
- ECKERMAN K., HARRISON, J., MENZEL, H.-G., CLEMENT, C.H. (2012): Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP Publication 119, Ann. ICRP 41(s), 2012
- FIEDLER F., OUBRAM J., ERÖS J., VOZÁR M., HAMŠÍK J., PRACHAŘ I., BLAŽEK J., KOTNOUR P. (2010a): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, II. etapa – Varianty řešení a jejich návrh, F. Technologická část, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS.
- FIEDLER F., OUBRAM J., BENEŠOVÁ A. a kol. (2010): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, II. etapa – Varianty řešení a jejich návrh, E. Stavební část nadzemní, Technická zpráva, ÚJV Řež, EGP INVEST, EPP, Škoda JS.
- FIŠERA M. (1982a): Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 22-414 Protivín. – ÚÚG Praha.
- FIŠERA M. (1982b): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 22-414 Protivín. – ÚÚG 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.
- FRANKE, W. (2000): The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. Geological Society, London, Special Publications, 179: 35–61.
- GNOJEK I. (2013): Vyjádření k aeromagnetické mapě širšího okolí JE Temelín zpracované ÚFZ. – MU Brno, 2013.
- 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
- GRUNTORÁD J., KAROUS M. (1972): Geoelektrické metody průzkumu. I. Stejnoseměrné metody. – SPN Praha.
- GRÜNWARD L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F, KOBYLKA D., BITTNER Z., ZAHRADNÍK O. (2017): Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Závěrečná zpráva. Technická zpráva číslo 134/2017. – SÚRAO, Praha
- HAVLOVÁ V., VIDENSKÁ K., GONDOLLI J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., RUKAVIČKOVÁ L. (2015), Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalinických hornin a migrační parametry hornin českého masivu, Technická zpráva SÚRAO, 13/2015
- HAVLOVÁ V. (2018a): Hierarchizace kritérií či indikátorů vhodnosti lokalit a způsob hodnocení lokalit. Technická zpráva v přípravě, SÚRAO, Praha
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., POLÁK, M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BUKOVSKÁ Z. (2018b): Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění HÚ VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti – Lokalita Na Skalním, Technická zpráva SÚRAO, 279/2018
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., POLÁK, M., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J., ČERVINKA R., BUKOVSKÁ Z. (2018c): Hodnocení vhodnosti lokality pro umístění HÚ VJP a RAO z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, Technická zpráva SÚRAO, xxx/2018
- HAVLOVÁ V., KOLOMÁ K., BRÁZDA L., RUKAVIČKOVÁ L. (2017): Odhad hodnot transportních parametrů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin Českého masivu. – Technická zpráva č. 102/2017, SÚRAO, Praha.
- HAVLOVÁ V., VIDENSKÁ K., GONDOLLI J., MILICKÝ M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., RUKAVIČKOVÁ L. (2015): Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin českého masivu. Technická zpráva č. 13/2015. SÚRAO, Praha.

- 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
- HEIDBACH O., CUSTODIO S., KINGDON A., MARIUCCI M.T., MONTONE P., MÜLLER B., PIERDOMINICI S., RAJABI M., Reinecker J., REITER K., TINGAY M., WILLIAMS J., ZIEGLER M. (2016): Stress Map of the Mediterranean and Central Europe 2016, GFZ Data Service, doi:10.5880/WSM.2016.001.
- HOEK E., BROWN E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8): 1165–1186.
- HROCH T. A PAČES T. (2015): Erozní stabilita lokalit. Závěrečná zpráva. – TZ 25/2015, SÚRAO. Praha.
- CHÁB J., SUK M. (1977): Regionální metamorfóza na území Čech a Moravy. – Knihovna ÚÚG, sv. 50 – ÚÚG Praha, 156 s.
- CHLUPÁČ I., BRZOBOHATÝ R., KOVANDA J., STRÁNÍK Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – Academia Praha, 436 s.
- CHLUPÁČ I., ŠTORCH P. (1992): Regional division of the Bohemian Massif in Czech Republic. – Report of Committee for Regional Geologic Classification. – Čas. Mineral. Geol. 37: 257–275.
- IAEA (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, MAAE, Vienna, 2011
- IAEA (2012): Safety Standards, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Wastem Specific Safety Guide, No. SSG-23, IAEA, Vienna 2012
- IAEA (2015): Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, Specific Safety Guide, No. SSG-35. – International Atomic Energy Agency, Vienna, 2015.
- IAEA (2016): Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements No. NS-R-3 (Rev. 1), IAEA Safety Standards, Vienna 2016
- IPCC (2013): Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – 1535 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- ICRP(1999):Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste, ICRP publication 81, ICRP Annals of the ICRP, September 1999
- JOHANSEN, O. (1975): Thermal conductivity of soils. Ph.D. thesis, Trondheim, Norway. (CRREL Draft Translation 637, 1977). ADA 044002.

- JOHNSON, L., POINSSOT, C., FERRY, C., LOVERA, P. (2004): Estimates of the Instant Release Fraction for 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)
- KAROUS M. (1989): Geoelektrické metody průzkumu. – SNTL Praha a ALFA Bratislava.
- KLAJMON M., HAVLOVÁ V., ČERVINKA R., KOLOMÁ K., RUKAVIČKOVÁ L. (2016): Migrační procesy radionuklidů v prostředí krystalických hornin a migrační parametry hornin Českého masivu: Výpočet rozpustnosti radionuklidů v podmínkách podzemních vod Českého masivu. Technická zpráva č. TZ 104/2016. 73 s. – SÚRAO. Praha
- KOBYLKA D. (2017): Inventarizace zdrojového členu a jeho charakteristiky – optimalizace vzdálenosti UOS, průběžná zpráva SÚRAO, 4Q, 2017
- KOLOMÁ K. 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., JELÍNEK J., SKÁCELOVÁ Z., FÁROVÁ K. (2017): Morfostrukturní analýza širšího okolí průzkumných území HÚ pomocí DPZ. Závěrečná zpráva – MS SÚRAO Praha.
- KOŠLER J., KONOPÁSEK J., SLÁMA J., VRÁNA S. (2014): U–Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif. – Journal of the Geological Society, 171, 83–95.
- KOTNOUR P., ČERMÁK J., DOBREV D., GONDOLLI J., KÁRNÍK D., KOUŘIL M., KRÁL L., KŘÍŽOVSKÝ M., LOVECKÝ M., MACÁK P., MATAL O., MATOUŠEK J., PECHMANOVÁ E., STOULIL J., ŠIK J., VÁVRA M., ŽALOUDEK J. (2017): Průběžná technická zpráva 3. Etapa, zpráva Škoda JS, Ae 17004Dok, 156 str.
- KRÁSNÝ, J., et al. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav. Praha.
- KRÖNER A., WENDT I., LIEW T. C., COMPSTON W. (1988): U-Pb zircon and Sm-Nd model ages of high-grade Moldanubian metasediments, Bohemian Massif, Czechoslovakia – Contrib. Mineral. Petrol., 99, 257–266.
- 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.
- LINNEEMAN U., PEREIRA F., JEFFRIES T. E., DROST K., GERDES A. (2008): The Cadomian Orogeny and the opening of the Rheic Ocean: the diacrony of geotectonic processes




- constrained by LA-ICP-MS U–Pb zircon dating (Ossa–Morena and Saxo – Thuringian zones, Iberian and Bohemian massifs). – *Tectonophysics*, 461, 21–43.
- LINNER M. (1996): Metamorphism and partial melting of paragneisses of the Monotonous Group, SE Moldanubicum (Austria). – *Mineral. Petrol.*, 58, 215–234.
- MAREK J., SKOŘEPA J., NAVRÁTILOVÁ V., SKOPOVÝ J., SLOVÁK J., TESAŘ M., ČERNÝ J. (2005): Kritéria pro zúžení vybraných lokalit a kategorizace tektonických zón zjištěných v rámci projektu. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- MARKOVÁ L. (2011): Úvod do kontroly kritičnosti úložiště před a po jeho uzavření, Zpráva ÚJV 13801, Listopad 2011
- MAŠEK J. (1986a): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 22-441 Purkarec. – ÚÚG Praha.
- MAŠEK J. (1986b): Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 22-441 Purkarec. – ÚÚG Praha.
- MELNYK T. W., SKEET A. (1986): An improved technique for determination of rock porosity. – *Can. J. Earth Sci.* 23, 1068 - 1074.
- MENDOZA A. (2017): Gas generation and migration in clay media as a result of anaerobic steel corrosion. Technická zpráva číslo 187/2017. – SÚRAO, Praha
- MENDOZA A. (2018): Experimental devices for measuring gas generation and transport in bentonite. Technická zpráva číslo 2018. - SÚRAO, Praha
- MILSON J. (2003): *Field Geophysics*. 3rd edition. John Wiley & Sons Ltd., 232 pp.
- MÍSAŘ Z. (1983): Geologická mapa 1 : 25 000 24–311 Velké Meziříčí. – Přírodovědecká fakulta Karlovy Univerzity, Praha.
- MÍSAŘ Z., DUDEK A., HAVLENA V., WEISS J. (1983): Regionální geologie ČSSR I. – Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- MURPHY J. B., EGUILUZ L., ZULAUF G. (2002): Cadomian orogens, peri-Gondwanan correlatives and Laurentia–Baltica connections. – *Tectonophysics*, 352, 1–9.
- MURPHY J. B., GUTIERREZ-ALONSO G., NANCE R. D., FERNANDEZ-SUAREZ J., KEPPIE J. D., QUESADA C., STRACHAN R. A., DOSTAL J. (2006): Origin of the Rheic Ocean: Rifting along a Neoproterozoic suture? – *Geology*, 34, 5, 325–328.
- MŽP (2016) Surovinové zdroje České republiky, Statistické údaje do roku 2016, 25. Vydání ČGS, 10/2017
- NANCE R. D., MURPHY J. B., STRACHAN R. A., D'LEMONS R. S., TAYLOR G. K. (1991): Late Proterozoic tectonostratigraphic evolution of the Avalonian and Cadomian terranes. – *Precambrian Res* 53, 41–78.
- NAVRÁTILOVÁ, V., NOL, O., KAŠPAR, R., LANČA, D., MIŠUREC, J., NEDVĚD, J., RAJCHL, M., SOSNA, K., ŠINDELÁŘ, M., TLAMSA, J., VOJTĚCHOVSKÁ, A. (2017): Zpráva o provedení geologicko-výzkumných prací na lokalitě ETE–Jih. – Technická zpráva č. 126/2017. Sdružení Moldanubikum, Praha, 280 s.
- NAVRÁTILOVÁ V., NOL O., et al. (2018), Souhrnná závěrečná zpráva ETE-jih, Hodnocení PÚ ZZZK a návrh navazujících geologických prací, Technická zpráva SÚRAO 222/2018



- NAVRÁTILOVÁ V., TLAMSA, J., SOSNA K., SKOŘEPA Z., NOŽIČKA L., BROTÁNEK F., KRUPÍČKOVÁ L., KOUBOVÁ R., ŠINDELÁŘOVÁ J., HEJRAL J., PROVAZNÍK J. (2018): Předběžná studie proveditelnosti - lokalita ETE-jih, AQUATEST a.s., SG Geotechnika a.s., Valbek, spol. s r.o., Technická zpráva SÚRAO, číslo 222/2018
- NÝVLT D. (2008): Paleogeografická rekonstrukce kontinentálního zalednění Šluknovské pahorkatiny. – Ph.D. thesis, 103 pp., Faculty of Science, Charles University, Praha.
- NÝVLT D., DOBROVOLNÝ P. (2015): Klimatická stabilita území. Technická zpráva č. 22/2015. SÚRAO, Praha.
- 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., Pavlík, J. (1967): Závěrečná zpráva o geotechnickém posouzení základových poměrů staveniště viaduktu přes údolí řeky Jihlavy ve Velkém Meziříčí (dálnice Praha – Brno, stavba č. 16). Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum Žilina, závod Brno, 23 s. + 7 příloh.
- PAZDERNÍK, O. (1989): TEMELÍN JE – REAKTOR 4. HVB. GEOLOGICKOPRŮZKUMNÉ PRÁCE. STAVEBNÍ GEOLOGIE, PRAHA, 40 s. + 52 PŘÍLOH.
- PERTOLDOVÁ J., VRÁNA S. (2009): Foreword to the special volume on „Geological development of the region at the NE periphery of the Moldanubian Zone, eastern part of the Bohemian Massif.“ – Journal of Geosciences, 54, 2, 85–86.
- PERTOLDOVÁ J., KOŠULIČOVÁ M., VERNER K., ŽÁČKOVÁ E., PERTOLD Z., KONOPÁSEK J., VESELOVSKÝ F., KOŠLER J. (2014): Geochronology and petrology of pyroxene – garnet skarns (eastern Bohemian Massif): implications for the source and evolution of the Variscan continental crust. – J Geosci, 59, 2014.
- 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.
- PISKAČ J. (ED.) (2013): JE Temelín. Zpracování podkladů pro zprávu ZBZ ETE 3,4 v části doplňujících průzkumů. Vyhodnocení digitálního modelu reliéfu (DMR 4G) v užší lokalitě ETE 3,4. – Záv. zpráva. MS, ÚJV Řež, Energoprůzkum Praha, ČGS Praha, Jihočeské muzeum Č. Budějovice.
- 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
- PRACHAŘ I. (2014a): JE Temelín. Zajištění doplňujících průzkumů. 3. etapa díla. Souhrnné vyhodnocení doplňujících průzkumů. Zhodnocení zlomové tektoniky v užší lokalitě ETE. – Závěrečná zpráva. Energoprůzkum Praha spol. s r.o.

- PRACHAŘ I. (2014b): Lokalita JE Temelín – Komplexní charakteristika lokality z hlediska splnění geologických a seismologických požadavků na lokalitu jaderného zařízení. – Expertní zpráva, Revize 2. Praha, Horní Počernice.
- 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.
- RACEK M., ŠTÍPSKÁ P., POWELL R. (2008): Garnet-clinopyroxene intermediate granulites in the St. Leonhard Massif of the Bohemian Massif; ultrahigh-temperature metamorphism at high pressure or not? Processes in granulite metamorphism. – *J. Metamorph Geol* 26, 253–271.
- RATAJ, J., FRÝBORT, J., FEJT, F., HERALTOVÁ, L. (2015): Databáze VJP pro bezpečnostní rozboru, Technická zpráva č. 11/2015. SÚRAO, 2015
- SCHALLER M., VON BLANCKENBURG F., HOVIUS N., KUBIK P. W. (2001): Large-scale erosion rates from in situ-produced cosmogenic nuclides in European river sediments. – *Earth Planet. Sci. Lett.* 188, pp. 441–458.
- SCHENKOVÁ Z., KOTTNAUER P. (2009): Investigation of the Recent Crustal Movements of the Eastern Part of the Bohemian Massif Using. – *Acta Research Reports*, No. 18, 17–25.
- SCHOVÁNEK P. (1978a): Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 22-432 Vodňany. – ÚÚG Praha.
- SCHOVÁNEK P. (1978b): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 22-432 Vodňany. – ÚÚG Praha.
- 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.
- 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.
- SKB (1997): Spent nuclear fuel – how dangerous is it? A report from the project „Description of risk“, TR-97-13, March 1997
- SKB (1999): Deep repository for spent nuclear fuel; SR 97 – Post-closure safety, SKB Technical Report 99-06, 1999
- SKB (2010A): Design, production and initial state of the closure, TR-10-17, December 2010
- SKB (2010B): Mass transfer between waste canister and water seeping in rock fractures. Revisiting the Q-equivalent model. TR-10-42. SKB, Stockholm, Sweden
- SKB (2011): SKB report, Long-term safety for the final repository at Forsmark, TR-11-01, March 2011

 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018


- SKOŘEPA et al., 2018, Studie vlivů na životní prostředí (EIA) – lokalita ETE-jih, SÚRAO, Praha, 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).
- SUJB (2012): Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Interpretace kritérií pro umístování jaderných zařízení a návrh jejich průkazů. Bezpečnostní návod BN-JB-1.14, SÚJB, 2012
- SUJB (2016a): Zákon č. 263/2016 Sb. ze dne 14. července 2016, atomový zákon
- SUJB (2016b): Vyhláška č. 378/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o umístění jaderného zařízení.
- SUJB (2016c): Vyhláška č. 358/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
- SUJB (2016d): Vyhláška č. 360/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o monitorování radiální situace
- SUJB (2016e): Vyhláška č. 361/2016 Sb. ze dne 17. října 2016 o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu
- SUJB (2016f): Vyhláška č. 377/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III nebo IV. kategorie
- SUJB (2016g): Vyhláška č. 379/2016 Sb. ze dne 7. listopadu 2016 o schválení typu některých výrobků v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření a přepravě radioaktivní nebo štěpné látky
- SUJB (2016h): Vyhláška č. 422/2016 Sb. ze dne 14. prosince 2016 o radiální ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- SUJB (2017a): Vyhláška č. 329/2017 Sb. ze dne 26. září 2017 o požadavcích na projekt jaderného zařízení
- 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).
- ŠALANSKÝ K. (1986): Geofyzikální poměry. – In: Mašek, J. (ed): Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 22-441 Purkarec. – ÚÚG Praha.
- ŠALANSKÝ K. ET AL. (1966): Letecké mapování, oblast V, Jižní Čechy. – ÚÚGf Praha.
- ŠPAČEK P., PRACHAŘ I., VALENTA J., ŠTĚPANČIKOVÁ P., ŠVANCARA J., PISKAČ J., PAZDÍRKOVÁ J., HANŽLOVÁ R., HAVÍŘ J., MÁLEK J. (2011): Quaternary activity of the Hluboká Fault. Final report on research project. – MS ÚFZ MU Brno. 199 s.
- ŠTĚDRÁ V., SOEJONO I., PALEČEK M., RAJCHL M., VRÁNA S, ŠTOR T., KAROUS M., NIKL P. (2015): Nezávislé vyhodnocení tektonických poměrů v užší lokalitě elektrárny Temelín. Závěrečná hodnotící zpráva projektu 544002 (oponovaná verze). – ČGS, Praha.
- ŠTÁSTKA J, PACOVSKÝ A KOL. (2016): XI. Dílčí zpráva Mock-Up-Josef (prodloužení 2016), ČVUT, Praha.
- ŠVANCARA J. (2013): Stanovisko k záměru zlomů v geologických mapách 1:25 000 v okolí Temelína na základě aeromagneticky detekovaných linií magnetické diskontinuity. – MS, ÚFZ, MU Brno.

- 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., HUSŤÁKOVÁ, H. ET A KOLEKTIV., Bezpečnostní zpráva dlouhodobé bezpečnosti HÚ na lokalitě Kraví hora, Technická zpráva SÚRAO, /2018, v přípravě
- TYRÁČEK J., WESTAWAY R., BRIDGLAND D. (2004): River terraces of the Vltava and Labe (Elbe) system, Czech Republic, and their implications for the uplift history of the Bohemian Massif. – Proceedings of the Geologists Association, 115, pp. 101–124.
- UHLÍK J., ČERNÝ M., BAIER J., MILICKÝ M., POLÁK M., GVOŽDÍK L., KRÁLOVCOVÁ J., GRECKÁ M., RUKAVIČKOVÁ L. (2016): Regionální hydrogeologické modely lokalit. Technická zpráva číslo 100/2017. PROGEO, s.r.o., Rožtoky u Prahy.
- VALENTA J. (2008): Geofyzikální průzkum staveniště jaderné elektrárny Temelín. – ÚSMH AV ČR.
- VAŠÍČEK R. (2017): Laboratorní zkoušky na bentonitu BaM, zpráva k zakázce SÚRAO (č. obj. BAM OV2017-6132)
- VAŠÍČEK, R., L. HAUSMANNOVÁ, J. ŠŤÁSTKA, 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>.

- VETEŠNÍK, A., REIMITZ, D., VOPÁLKA, D. (2016): Neurčitostní a citlivostní analýza detailního modelu pole blízkých interakcí umožňujícího studovat vliv bodové koroze na tok radionuklidů z pole blízkých interakcí. Závěrečná zpráva číslo 30/2016, SÚRAO
- VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDROVIC L., KOVÁČIK M., STEINEROVÁ L. (2015): Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Metodický pokyn SÚRAO MP 22. – SÚRAO, Praha, 41 s.
- VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDROVIC L., KOVÁČIK M., STEINEROVÁ L., DUSÍLEK P., WOLLER F. (2017): Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Metodický pokyn SÚRAO MP 22, rev. 3 SÚRAO, Praha
- VONDRA J. (1977): Českobudějovicko II. Surovina – kámen. Etapa průzkumu – vyhledávací. Stav ke dni 30.6.1977. - Geindustria, Praha (P026490)
- VON RAUMER J. F., STAMPFLI G. M., BOREL G., BUSSY F. (2002): Organization of pre-Variscan basement areas at the north-Gondwanan margin. – *Int. J. Earth Sci.*, 91, 35–52.
- VON RAUMER J. F., STAMPFLI G. M. (2008): The birth of the Rheic Ocean. Early Palaeozoic subsidence patterns and subsequent tectonic plate scenarios. – *Tectonophysics*, 461, 1–4, 9–20.
- VRÁNA S., ŠTĚDRÁ V. (ED.) (1997): Geological Model of Western Bohemia Related to the KTB Borehole in Germany. – *Journal of Geological Sciences. ČGS.* Praha. 240 s.
- VRÁNA S. (1977a): Základní geologická mapa ČSSR 1:25 000 22-423 Týn nad Vltavou. – ÚÚG Praha.
- VRÁNA S. (1977b): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 ČSSR 1:25 000 22-423 Týn nad Vltavou. – ÚÚG Praha.
- Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod
- WENRA (2014): Wenra document, Radioactive Waste Disposal Facilities Safety Reference Levels, 22 December 2014
- WOLLER F. (2006): Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště. Zkrácená závěrečná zpráva sdružení GEOBARIÉRA. Technická zpráva – MS SÚRAO Praha.
- WOLLER F. (2017): Bentonit - potenciální ložisko suroviny pro potřeby HÚ, SÚRAO interní zpráva
- X-5 MONTE CARLO TEAM (2010): MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Los Alamos National Laboratory, 2010
- ZÁKON č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- ZÁKON č. 314/2009 Sb. – Úplné znění zákona č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)



 <b>SÚRAO</b>	<b>Studie ZBZ pro umístění HÚ v lokalitě Janoch</b>	Evidenční označení:
		TZ 302/2018

ZÁKON č. 127/2005 Sb, - Zákon o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů

ZÁKON č. 114/1992 Sb. – Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny

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

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.

„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)

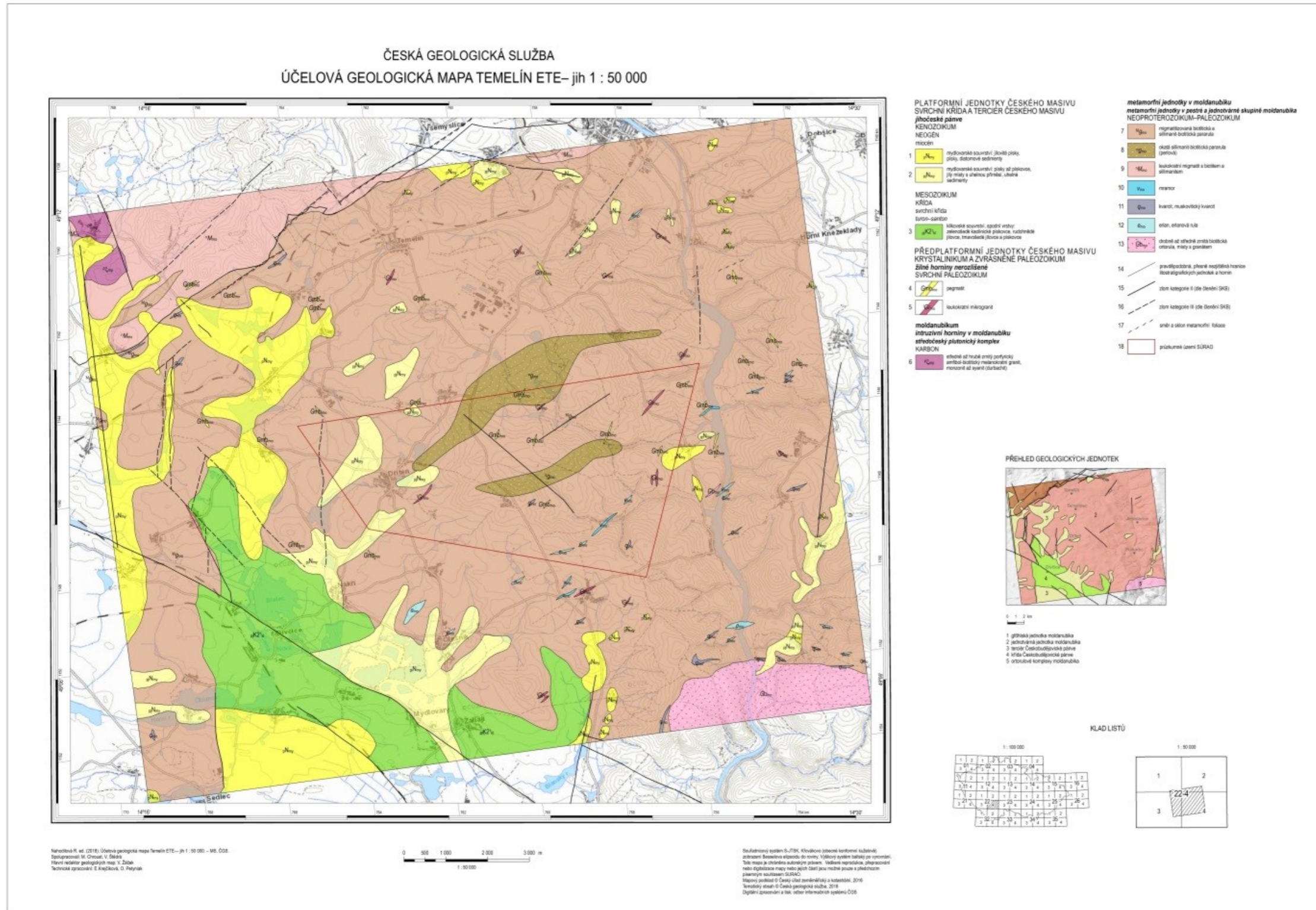
NERA project – zdroj dat o historických zemětřeseních do roku 1990 [online]. Dostupné z: <http://www.seismicportal.eu/>

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



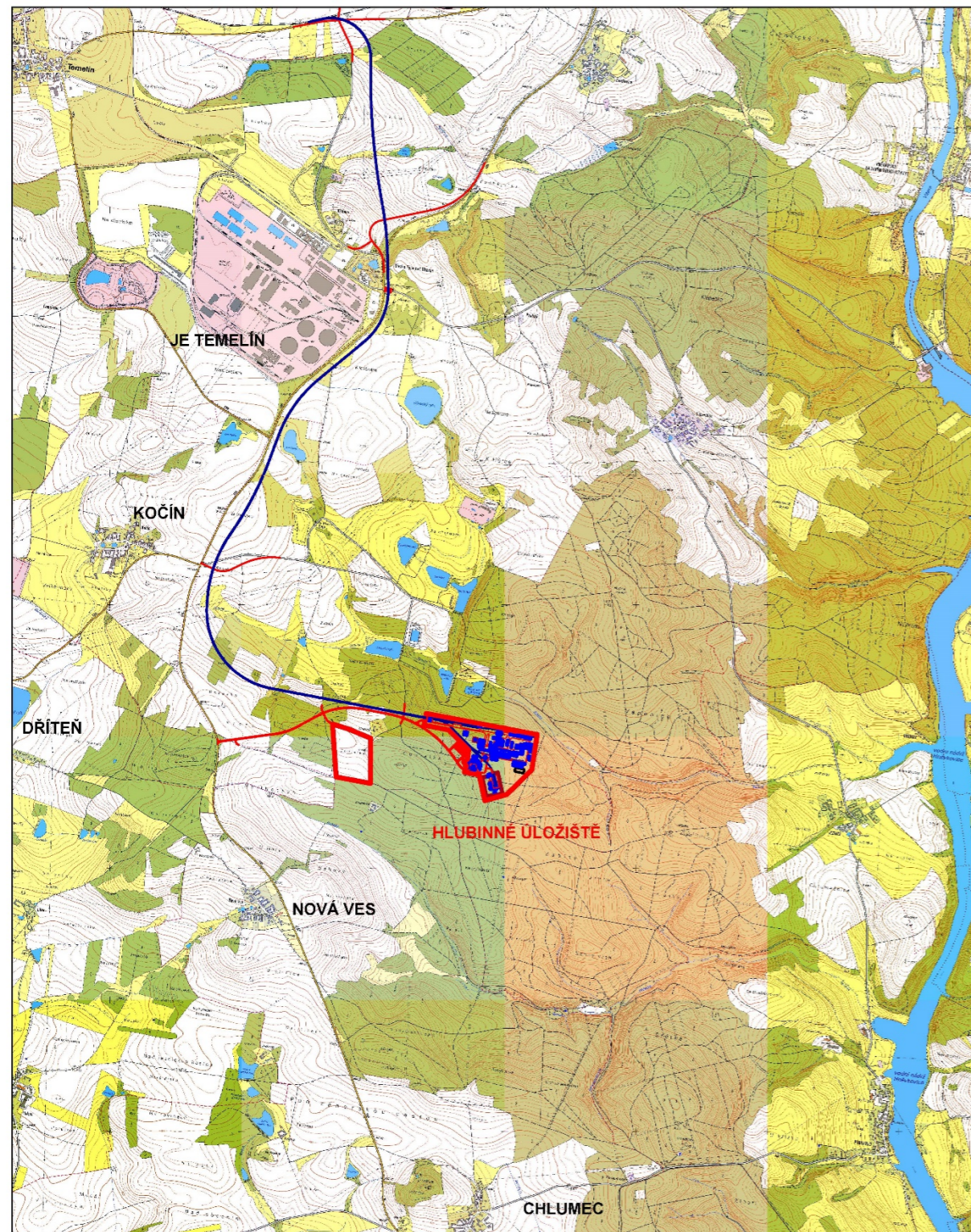
D PŘÍLOHY

D.1 Mapa - Účelová geologická mapa kandidátské lokality Janoch (Temelín ETE-jih) 1:50 000, ČGS

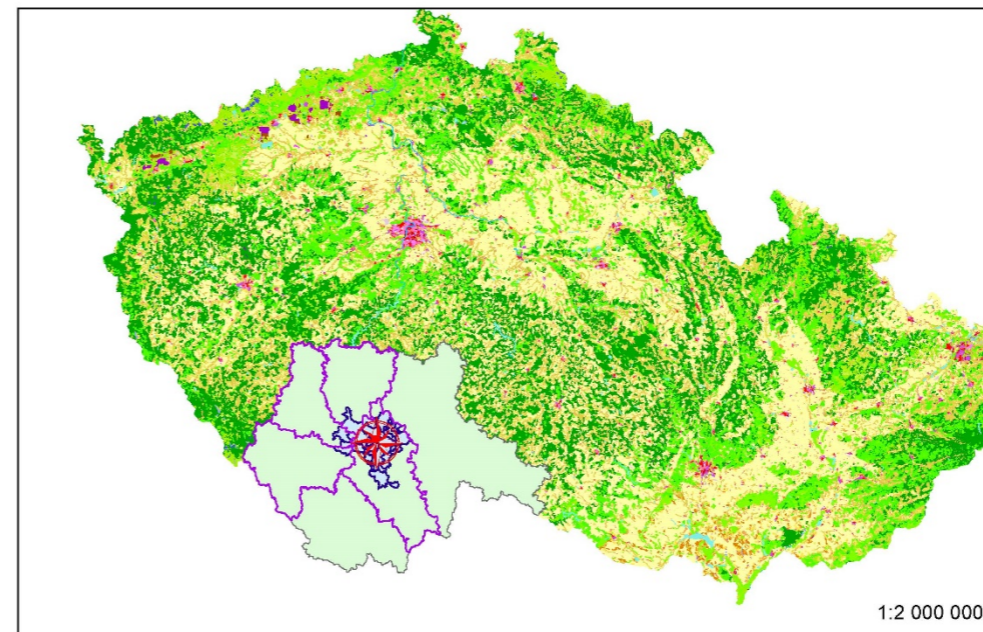




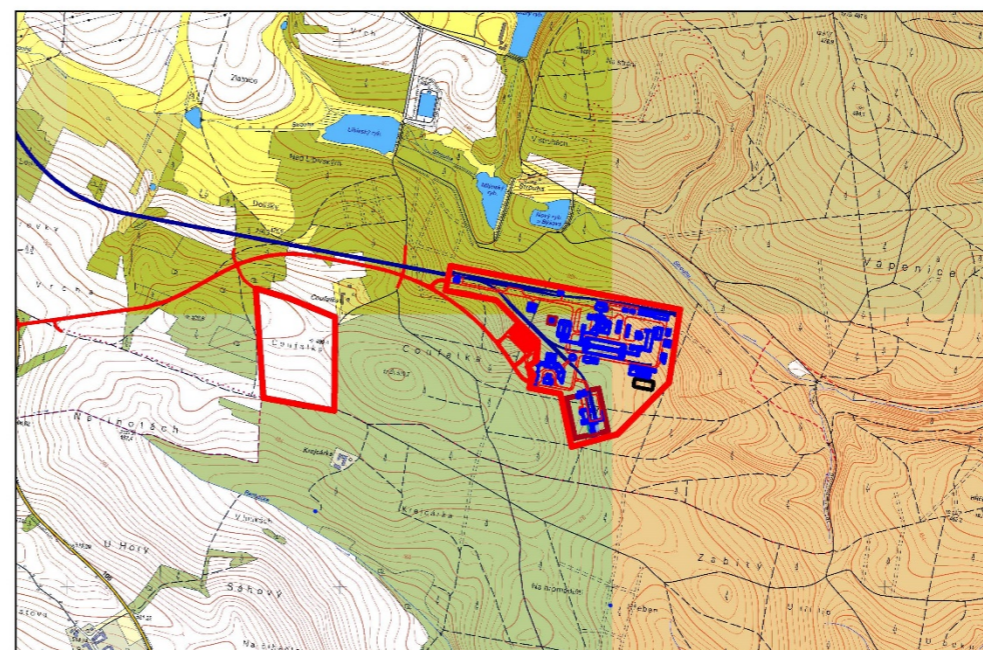
D.2 Výkres - Situace širších vztahů, Varianta 2, Obr. č. 5a, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018)



1:25 000



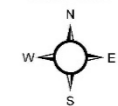
1:2 000 000



1:15 000

Legenda

- hranice\_areálu
- hranice okresu
- hranice obce
- Obce
- Jihočeský kraj



Hlubinné úložiště radioaktivního odpadu v polygonu ETE - jih  
Varianta 2  
SITUACE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ  
Obr. č. 5



D.3 Výkres - Vybraná varianta - var. 2, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018)



**SEZNAM NAZEMNÍCH STAVEBNÍCH OBJEKTŮ**

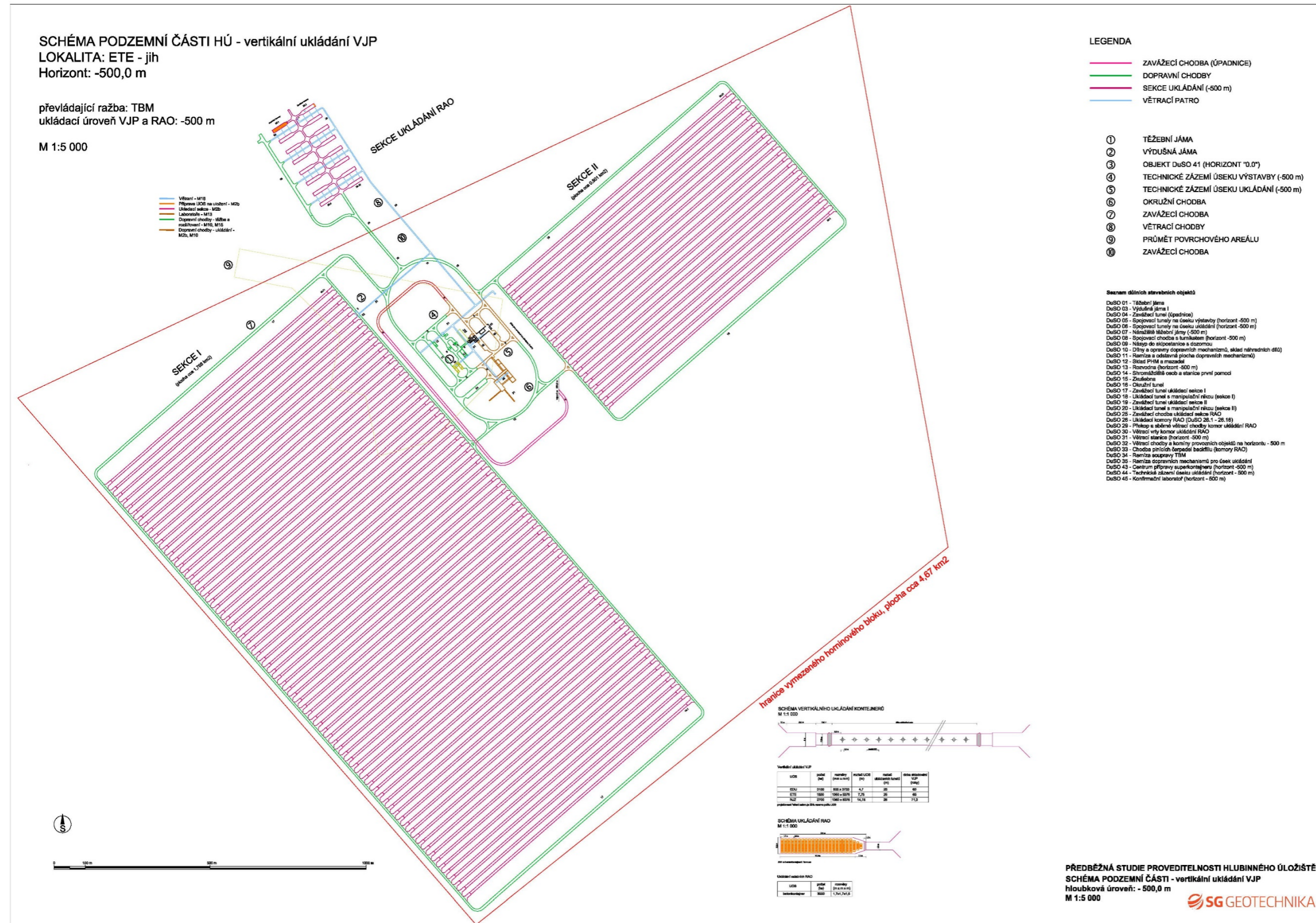
SO 01	Šachty (soubor) a skopozitum
SO 02	Šachty
SO 03	Sazení dříví
SO 04	Kašna
SO 05	Čerpadla (soubor) a nádrž, nádrž
SO 06	Kompostárna
SO 07	Výhled a údržbové objekty
SO 08	Štětí
SO 09	Štětí
SO 10	Štětí
SO 11	Čerpadla
SO 12	Štětí
SO 13	Informační centrum, vstříška, odtok, odtok
SO 14	Šachty, kompostárna, štětí
SO 15	Prostor pro budoucí vstříšku a rozšíření HÚ
SO 16	Čerpadla
SO 17	Vodní nádrž
SO 18	Čerpadla
SO 19	Čerpadla
SO 20	Čerpadla
SO 21	Čerpadla
SO 22	Podzemní objekty
SO 23	Muzikální
SO 24	Podzemní dopravní chodba
SO 25	Štětí
SO 26	Výhled a údržbové objekty
SO 27	Mojířny
SO 28	Čerpadla
SO 29	Krytí štětí
SO 30	Výhled a údržbové objekty
SO 31	Čerpadla
SO 32	Štětí
SO 33	Čerpadla
SO 34	Dopravní most
SO 35	Prostor pro
SO 36	Výhled a údržbové objekty
SO 37	Čerpadla
SO 38	Čerpadla
SO 39	Čerpadla
SO 40	Čerpadla
SO 41	Prostor pro budoucí vstříšku a rozšíření HÚ
SO 42	Čerpadla
SO 43	Čerpadla
SO 44	Čerpadla
SO 45	Výhled a údržbové objekty
SO 46	Čerpadla
SO 47	Čerpadla
SO 48	Čerpadla
SO 49	Čerpadla
SO 50	Čerpadla
SO 51	Čerpadla
SO 52	Čerpadla
SO 53	Čerpadla
SO 54	Čerpadla
SO 55	Čerpadla
SO 56	Čerpadla
SO 57	Čerpadla
SO 58	Čerpadla
SO 59	Čerpadla
SO 60	Čerpadla
SO 61	Čerpadla
SO 62	Čerpadla

LEGENDA PLOCH	LEGENDA
Nové objekty	Hranice areálu
Zešedlé plochy	Objekty nové
Vodní plocha	Oplotení
Nové domovníky	Objekty střežený prostor
Parkovací stáje	Nové domovníky
Chodníky	Nové železniční vstříšky
	Katastr
	Zábor - výhledy
	Zábor - výhledy
	Výhled na stavbu ETE

**PŘEDBĚŽNÁ STUDIE PŘEDVÍDÁNÍ  
HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ  
VYBRANÁ VARIANTA - VAR. 2  
M 1:1 000**



D.4 Výkres - Schéma podzemní části HÚ - vertikální ukládání VJP, výkres z Předběžné studie proveditelnosti hlubinného úložiště ETE jih (Navrátilová et al. 2018)



# NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



**SÚRAO**

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: [info@surao.cz](mailto:info@surao.cz)

[www.surao.cz](http://www.surao.cz)