

# TECHNICKÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ 2025 (rev.1)

Autoři: Lucie Hausmannová a kol.

Praha, rok 2025



**NÁZEV ZPRÁVY:** Technické řešení hlubinného úložiště 2025 (rev.1)

**IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU:** Technická zpráva TZ 848/2025 REV.1

**BIBLIOGRAFICKÝ ZÁPIS:** HAUSMANNOVÁ L, AUGUSTA J. DOHNÁLKOVÁ M., GOLUBKO A., LAHODOVÁ Z., MATUŠKOVÁ E., MECOVÁ M., SMUTEK J., VALTER M., VENCL M. (2025): Technické řešení hlubinného úložiště 2025 (rev.1), SÚRAO TZ 848/2025 REV.1, Praha.

**ŘEŠITELÉ:** Správa úložišť radioaktivních odpadů

## Revizní list:

<b>Strana/ kapitola</b>	<b>Povaha změny</b>	<b>Datum</b>	<b>Zpracoval</b>	<b>Schválil</b>
str. 15/ kap. 2.1.1	Přepočet počtu palivových souborů pro NJZ a počtu UOS	3.9. 2025	Lucie Hausmannová	
Str. 32/ kap. 3.4.1	Přepočet celkového počtu ukládacích vrtů plus 20 % rezervy	3.9. 2025	Lucie Hausmannová	

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Popis systému hlubinného úložiště</b>	<b>13</b>
2.1	Inventář	14
2.1.1	Vyhořelé jaderné palivo	14
2.1.2	Ostatní vysokoaktivní odpady	15
2.1.3	Středněaktivní odpad	16
2.2	Povrchový areál	18
2.2.1	Překládací uzel a objekt přípravy RAO a VJP	20
2.3	Podzemní areál	20
2.3.1	Způsob ražby	20
2.3.2	Hlavní důlní díla	21
2.3.3	Ukládací horizont	23
<b>3</b>	<b>Ukládací část pro VJP/VAO</b>	<b>26</b>
3.1	Hloubka ukládacího horizontu	27
3.2	Způsob uložení UOS	29
3.3	Ukládací chodby	31
3.4	Ukládací vrty	31
3.4.1	Ukládací vrty pro UOS s VJP	31
3.4.2	Ukládací vrty pro ostatní VAO	32
3.5	Ukládací obalový soubor – UOS	32
3.5.1	UOS pro VJP z jaderných elektráren	32
3.5.2	UOS pro VJP z LVR-15	33
3.5.3	UOS pro přepracované palivo	33
3.6	Buffer	34
3.6.1	Hlavní výplň	35
3.6.2	Vyrovnávací vrstva dna	35
3.6.3	Výplň technologických mezer	36
3.7	Distanční blok	38
3.7.1	Hlavní výplň	39
3.7.2	Výplň technologických mezer	39
3.8	Backfill	39
3.9	Zátka ukládací chodby	41
<b>4</b>	<b>Ukládací část pro SAO</b>	<b>43</b>
4.1	Ukládací komora pro SAO	44

4.2	Obalové soubory pro SAO.....	45
4.3	Výplňový materiál komory .....	48
4.4	Zátka ukládací komory .....	49
<b>5</b>	<b>Uzavírání úložiště.....</b>	<b>50</b>
5.1	Výplně při uzavírání.....	50
5.1.1	Výplň prostor na ukládacím horizontu .....	50
5.1.2	Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka) .....	50
5.1.3	Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch) .....	51
5.2	Zátky pro uzavírání .....	51
5.2.1	Zátka na ukládacím horizontu .....	51
5.2.2	Zátka tlaková a těsnicí.....	52
5.2.3	Zátka uzavírací.....	53
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Reference.....</b>	<b>56</b>

## Seznam použitých zkratk:

AZ	aktivní zóna jaderného reaktoru
ČBÚ	Český báňský úřad
EDU	jaderná elektrárna Dukovany
ETE	jaderná elektrárna Temelín
HÚ	hlubinné úložiště
JE	jaderná elektrárna
JZ	jaderné zařízení (dle definice ze zákona č. 263/2016 Sb.)
LaP	limity a podmínky
LVR-15	lehkovodní výzkumný reaktor tankového typu o tepelném výkonu 10 MW
NJZ	nový jaderný zdroj
OS	obalový soubor
PA	povrchový areál
PS	palivový soubor
RAO	radioaktivní odpad
SAO	středněaktivní odpad
SMR	malý modulární reaktor (Small Modular Reactor)
SO	stavební objekt
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
TBM	tunelový razicí stroj (Tunnel Boring Machine)
TZ	technická zpráva
UOS	ukládací obalový soubor
URZ	uzavřené radionuklidové zářiče
ÚRAO	úložiště radioaktivního odpadu
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VPVR/M	kontejner na suché skladování a přepravu jaderného paliva jaderného paliva z výzkumných reaktorů
VVER-440	tlakovodní reaktor východního typu s nominálním elektrickým výkonem 440 MW (reaktory v EDU)

VVER-1000 tlakovodní reaktor východního typu s nominálním elektrickým výkonem  
1000 MW (reaktory v ETE)

ZIZ zdroj ionizujícího záření

## Vysvětlení pojmů:

### **Buffer**

Buffer je inženýrská těsnicí a současně tlumicí bariéra, která bude umístěna okolo UOS ve vrtu. Její hlavní funkcí je ochrana UOS a retardace migrace radionuklidů v případě porušení UOS.

### **Backfill**

Backfill je inženýrská bariéra, jejíž funkcí je vyplnění ukládacích chodeb a tím i jejich utěsnění. Zároveň bude udržovat buffer na místě tak, aby nedošlo k jeho vybobtnání do ukládací chodby a tím i ztrátu jeho vlastností.

### **Dávka, radiologická dávka**

Je úhrnné ozáření referenčního jedince z externího ozáření kvantifikovaného efektivní dávkou a interního ozáření kvantifikovaného úvazkem efektivní dávky.

### **Drenážní báze**

Drenážní báze jsou místa, kde se podzemní voda zapojuje do proudění povrchových vod. Primárním recipientem podzemní vody jsou sedimenty údolních niv a následně říční síť.

### **Hlubinné úložiště (HÚ)**

Úložiště radioaktivního odpadu umístěné stovky metrů pod zemským povrchem a určené pro ukládání vysokoaktivního odpadu (vyhl. 378/2016 Sb., § 2).

### **Institucionální RAO**

Radioaktivní odpad, který vzniká jinde, než při provozu jaderných reaktorů v JE, tj. při využití zdrojů IZ v průmyslu, výzkumu, medicíně.

### **Inženýrská bariéra**

Člověkem vytvořená bariéra bránící transportu radionuklidů. Inženýrskou bariérou jsou například ukládací obalové soubory a těsnicí materiály na bázi bentonitu (viz také *Buffer* a *Backfill*).

### **Obalový soubor pro SAO**

Obalový soubor pro středně aktivní odpady, který je ve tvaru kvádra a umožňuje umístění až 4 ks ocelových sudů o objemu 216 l.

### **Podmínky přijatelnosti**

Bezpečnostní, technické a administrativní podmínky a meze pro charakteristické vlastnosti radioaktivního odpadu, který je přijímán k nakládání (Koncepce 2019).

### **Ukládací obalový soubor (UOS)**

Ukládací obalový soubor slouží jako primární fyzická bariéra pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště.

### **Uzavřený radionuklidový zářič (URZ)**

Radionuklidový zdroj, jehož úprava zapouzdřením nebo ochranným překryvem zajišťuje zkouškami ověřenou těsnost a vylučuje za předvídatelných podmínek použití a opotřebování únik radionuklidu (dle zákona č. 263/2016 – Atomový zákon). Pro účely této zprávy se budou do této kategorie řadit i zářiče s propadlou zkouškou těsnosti.

## Abstrakt

Tento dokument stručně shrnuje technické řešení hlubinného úložiště (HÚ) radioaktivního odpadu v České republice. Jedná se o popis aktualizovaný k roku 2025. V úvodu dokumentu je popsán inventář, jakožto zásadní vstup při návrhu HÚ. Dále je popsán stručně celý komplex hlubinného úložiště a jeho rozdělení na povrchový a podzemní areál.

Hlavní část dokumentu je zaměřena na podzemní část HÚ, konkrétně na ukládací sekce a inženýrské bariéry, které jsou pro dlouhodobou bezpečnost zásadní. Pro každou komponentu jsou shrnuty návrhové parametry.

## Klíčová slova

Hlubinné úložiště, inženýrské bariéry, buffer, backfill, UOS 440, UOS 1000, VJP, výplň

## Abstract

This document summarizes the technical solution of the deep geological repository (DGR) of radioactive waste in the Czech Republic. This is a description updated for 2025. At the beginning of the document, the inventory is described, as an essential input for the design of the DGR. Next, the entire DGR complex and its parts divided into surface and underground areas are briefly described.

The main part of the document is focused on the underground part of the DGR, specifically on disposal sections and engineering barriers, which are essential for long-term safety. Design parameters are summarized for each component.

## Keywords

Deep geological repository, engineered barriers, buffer, backfill, WDP 440, WDP 1000, SNF

# 1 Úvod

Technické řešení hlubinného úložiště radioaktivního odpadu v ČR je vyvíjeno od devadesátých let minulého století (Holub et al. 1999). V průběhu let dochází ke zpřesňování vstupních informací, ať už o horninovém masivu, nebo inventáři a dosažení nových vědeckých poznatků v této oblasti. Účelem dokumentu je shrnutí aktuálně uvažovaných technických parametrů pro hlubinné úložiště a jeho komponenty. Zároveň jsou v této zprávě uvedeny odkazy na zásadní dokumenty SÚRAO popisující koncept českého řešení HÚ, což dělá z této zprávy zdroj relevantních a aktuálních informací.

Ve zprávě je obecně popsán celý systém hlubinného úložiště s detailnějším zaměřením na podzemní část. Jedná se o technický popis příslušných podzemních děl, inženýrských bariér a komponent v návaznosti na aktuálně předpokládaný inventář, horninové prostředí, použitou technologii výstavby a konfiguraci ukládacího místa.

Dokument je připraven tak, aby mohl být pravidelně aktualizován v intervalech navazujících na strategické milníky SÚRAO spojených např. s výběrem finální a záložní lokality pro umístění HÚ. V těchto intervalech lze očekávat upřesnění především na základě dat z výzkumu a vývoje inženýrských bariér a komponent, projektového řešení a dat z potenciálních lokalit pro umístění HÚ.

Tento dokument je již třetí aktualizací Technického řešení HÚ, navazuje na zprávu TZ 711/2023 (Hausmannová et al. 2023) a předchozí zprávy TZ 580/2022\_rev.1 (Dohnálková et al. 2022b) a TZ 580/2022 (Dohnálková et al. 2022a).

Hlavními změnami a upřesněními této aktualizace oproti TZ 711/2023 jsou:

1. Zdůvodnění hloubky ukládacího horizontu
2. Přepočítaný inventář dle připravované Koncepce, která by měla vyjít na konci roku 2025 (nově: 4 NJZ a 6 SMR oproti původním: 3 NJZ)
3. Změna výšky UOS 440 z 3790 mm na 3810 mm kvůli konstrukčním úpravám
4. Upozornění na připravovanou aktualizaci výšky bufferu a hloubky ukládacího vrtu ve spojitosti se změnou výšky UOS 440 (viz bod 3)

## 2 Popis systému hlubinného úložiště

Postup nakládání s vyhořelým jaderným palivem a ostatními RAO nesplňujícími podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť v České republice je navržen na základě požadavku na zajištění dlouhodobé ochrany životního prostředí uložením odpadů do hlubinného úložiště dle připravované Koncepce nakládání s RAO a VJP, která by měla vyjít na konci roku 2025. Hlubinné úložiště má zajistit dlouhodobou izolaci uložených odpadů pomocí tzv. multibariérového systému neboli skupinou přírodních a inženýrských bariér a konstrukčních řešení, které fyzicky brání úniku radionuklidů do biosféry po dobu nebezpečnosti těchto odpadů. Do vlastního hlubinné úložiště se budou ukládat všechny odpady nepřijatelné pro uložení do stávajících povrchových nebo přípovrchových úložišť.

Technické řešení úložiště reflektuje požadavky dané ze zákona č. 263/2016 Sb., § 45, které obecně formulují požadavky pro jaderné zařízení bez jaderného reaktoru a úložiště radioaktivního odpadu:

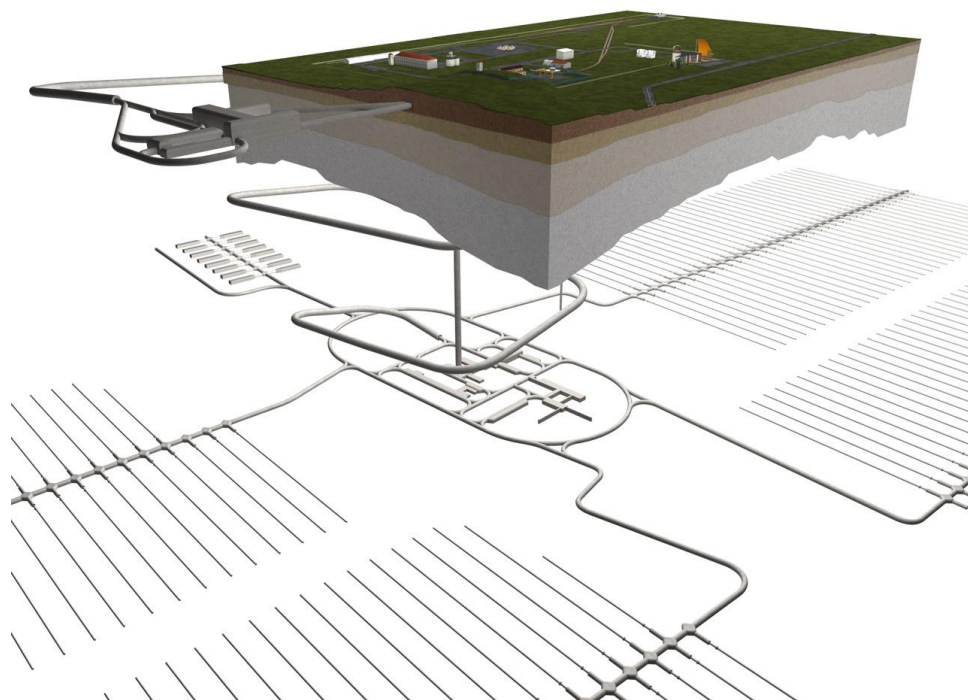
- a) fyzikálně znemožnit vznik kritického a nadkritického stavu,
- b) zajišťovat odvod vytvářeného tepla, a
- c) zajistit stínění a zabránit úniku radioaktivní látky a šíření ionizujícího záření do životního prostředí.

Další zásadní požadavek na jakoukoliv činnost se zdrojem ionizujícího záření v plánovaných expozičních situacích, HÚ nevyjímaje, je, aby dávka, kterou z této činnosti může obdržet reprezentativní osoba nepřekročila dávkovou optimalizační mez, která je dle zákona č. 263/2016 Sb., § 82 stanovena na 0,25 mSv za rok.

Hlubinné úložiště jako komplex je tvořeno z povrchového areálu a podzemní části (Obr. 1).

Povrchový areál bude sloužit pro zajištění provozu celého HÚ. Nachází se zde veškeré administrativní budovy, technické zázemí pro výstavbu HÚ včetně podzemní části, technické zázemí pro vlastní provoz HÚ s nezbytnými technickými a technologickými objekty k zajištění bezpečnosti a funkčnosti provozu. Součástí povrchového areálu je také objekt překládacího uzlu pro přejímku dovezených RAO a VJP a horká komora pro překládku VJP do UOS, případné přebalení RAO a zpracování RAO vznikajících z provozu HÚ. Preferovaným uspořádáním překládacího uzlu je umístění objektů s horkými komorami pod povrchem. Návaznost s překládacím uzlem (místem přejímky RAO) bude předmětem projektového řešení dle místních podmínek zvolené finální lokality.

Povrchový areál bude s podzemní částí propojen dvojicí úpadních tunelů (toto projektové řešení ještě bude procházet aktualizací, je možné že přístup do podzemí bude kombinací svislého důlního díla a úpadnice). Největší část podzemního komplexu tvoří samotné ukládací prostory. První část bude pro vysokoaktivní odpady (VAO) a vyhořelé jaderné palivo (VJP). Tato část je rozdělena do dílčích sekcí, které se budou razit a zprovozňovat postupně, podle potřeby prostor k ukládání s ohledem na postupnou produkci VAO a VJP. Druhá část bude určena pro ukládání středněaktivních odpadů (SAO).



Obr. 1 Schéma hlubinného úložiště, podzemního a povrchového areálu

## 2.1 Inventář

Do vlastního hlubinné úložiště se bude ukládat vyhořelé jaderné palivo, odpad vzniklý při vyřazování jaderných zařízení a všechny odpady nepřijatelné pro uložení do stávajících povrchových a přípovrchových úložišť. Po ukončení provozu stávajících úložišť se bude do HÚ ukládat i institucionální odpad (Podlaha a Trtílek 2023, TZ 676/2023).

### 2.1.1 Vyhořelé jaderné palivo

Koncept HÚ vychází z požadavků na uložení VJP ze stávajících jaderných elektráren Dukovany (EDU) a Temelín (ETE), výstavby 4 nových jaderných zdrojů (NJZ) a výstavby až 6-10 malých modulárních reaktorů (tzv. SMR) dle Aktualizace inventáře a vlastností radioaktivních odpadů určených pro HÚ (Podlaha a Fejt 2024b). Ukládací koncept předpokládá přímé uložení VJP (bez přepracování). U všech velkých bloků (i NJZ) je uvažována doba mezi vyjmutím paliva z aktivní zóny (AZ) reaktoru a uložením do HÚ 65 let. Pro SMR není zatím stanovena potřebná doba chlazení VJP. Předpokládaný inventář VJP byl aktualizován a je uveden v SÚRAO zprávě Podlaha a Fejt 2024b. Některé parametry (jako např. vývoj tepelného výkonu UOS v čase) budou aktualizovány v následujícím období, až budou známy podrobnosti z provozu NJZ nebo typy SMR apod. Předpokládaný počet palivových souborů plánovaných pro uložení a s tím související počet ukládacích obalových souborů a jejich tepelný výkon v době uložení do HÚ je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 Přehled základních parametrů produkce VJP pro JE. Hodnoty označené ( )/\*\* jsou určeny inženýrským odhadem (Fejt 2024)

Reaktor	VVER-440	VVER-1000	NJZ	SMR
Počet bloků	4	2	4	6
Vyhoření (MWd/tHM)	64 000	55 000	55 000	45 000
Provoz (rok)	60	60	60 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup>
Celkový počet PS	19 537	5 578	11 719 <sup>**</sup>	11 684
Celková hmotnost uranu (t)	2 518	2 553	(5 050) <sup>**</sup>	4 377
Výkon UOS ( )	655	1 125	(1 045) <sup>*</sup>	(908) <sup>*</sup>
Počet PS v UOS	7	3	(3) <sup>*</sup>	(3) <sup>*</sup>
Celkový počet UOS	2 791	1 860	(3 907) <sup>**</sup>	(3 895) <sup>*</sup>
Šířka PS (mm)	144,0 <sup>a</sup>	234,0 <sup>b</sup>	zatím neznámá	zatím neznámá
Délka PS (mm)	2 601,5 <sup>a</sup>	4 520 <sup>b</sup>		

<sup>a</sup> dle (TVEL, 2022)

<sup>b</sup> dle (Westinghouse Nuclear 2022)

<sup>c</sup> celkový počet PS a ostatní související parametry byly přepočteny na 60 let provozu JE

\* inženýrský odhad

\*\* inženýrský odhad (původní hodnoty pro palivo z JE s hrubým výkonem bloku 1200 MWe byly přepočítány pro palivo z JE s hrubým výkonem 1055 MWe)

## 2.1.2 Ostatní vysokoaktivní odpady

Do hlubinného úložiště budou dále ukládány také ostatní vysokoaktivní odpady. Tyto odpady popsané ve zprávě SÚRAO TZ 676/2023 (Podlaha a Trtílek 2023) budou umístěny do stejné sekce jako VJP, jedná se o:

- RAO z přepracování VJP z výzkumného reaktoru LVR-15 (tzv. vitrifikát) a
- vyhořelé nepřepracované palivo z výzkumného reaktoru LVR-15.

V Tab. 2 jsou uvedeny vlastnosti vitrifikátu, který vznikl přepracováním vyhořelého paliva z výzkumného reaktoru LVR-15. Vitrifikát bude vrácen z Ruské federace do České republiky ve dvou plánovaných přepravách v roce 2026 a 2033. Podrobnější informace o vitrifikátu jsou uvedeny ve zprávě Podlaha a Trtílek (2023).

Tab. 2 Bilance RAO z přepracování VJP z výzkumného reaktoru LVR-15 (Podlaha a Trtílek 2023)

	Počet OS s VAO	Objem VAO (m <sup>3</sup> )	Hmotnost VAO (kg)	Hmotnost VAO, vč. obalů	Měrná aktivita VAO <sup>a</sup> (Bq/kg)	K datu <sup>b</sup>
První přeprava	2	0,1468	367	591	4,49E+12	12/2026
		0,1492	373	597		

	Počet OS s VAO	Objem VAO (m <sup>3</sup> )	Hmotnost VAO (kg)	Hmotnost VAO, vč. obalů	Měrná aktivita VAO <sup>a</sup> (Bq/kg)	K datu <sup>b</sup>
Druhá přeprava	1	0,190	475	699	4,39E+12	2033

<sup>a</sup> všech radionuklidů obsažených ve vitrifikátu

<sup>b</sup> datum, ke kterému se vztahuje měrná aktivita z předchozího sloupce

Do HÚ bude ukládáno i VJP, která vzniklo a vzniká z provozu reaktoru LVR-15. Provozem ostatních výzkumných reaktorů LR-0, VR-1 a VR-2 nevzniká VJP, či nebude vznikat vzhledem k jejich malému tepelnému výkonu a omezené době provozu. Vzniká pouze mírně ozářené jaderné palivo, které bude po ukončení provozu reaktorů pravděpodobně použito na jiném výzkumném reaktoru nebo recyklováno.

VJP z reaktoru LVR-15 bude skladováno v přepravních OS ŠKODA VPVR/M ve Skladu VAO v ÚJV Řež, a. s. Celková produkce VJP pro prodloužený provoz reaktoru do roku 2038 je odhadnuta na 390 PS, to odpovídá kapacitě 11 OS ŠKODA VPVR/M.

### 2.1.3 Středněaktivní odpad

Do hlubinného úložiště bude také ukládán středněaktivní a nízkoaktivní odpad, který nesplňuje limity a podmínky přijatelnosti pro uložení do přípovrchových úložišť. Tento odpad bude ukládán ve stejném komplexu hlubinného úložiště jako VJP, ale v oddělené části (sekce SAO). Umístění sekcí VJP/VAO a SAO musí eliminovat ovlivnění bezpečnostních funkcí jednotlivých sekcí. Hmotnost RAO ukládaných v sekci SAO je odhadován na cca 9 460 t (Podlaha 2024a).

Jedná se o níže vyjmenované odpady dle (Podlaha a Trtílek 2023):

- RAO z vyřazování JE z provozu,
- RAO z vyřazování výzkumného reaktoru LVR-15 z provozu,
- institucionální RAO a
- uzavřené radionuklidové zdroje (URZ).

Odhady množství odpadu z vyřazování JE z provozu se liší dle zvoleného přístupu. Při uložení RAO bezprostředně po ukončení provozu JE vzniká více odpadu, ale rozdíl oproti postupnému vyřazování není nijak zásadní (Podlaha a Trtílek 2023).

Soupis SAO určený k uložení do HÚ z 1 bloku EDU a ETE pro variantu postupného vyřazování je v Tab. 3 a Tab. 4. Údaje uvedené v Tab. 5 sumarizují hmotnosti materiálů z 1 bloku NJZ pro okamžité vyřazování, v Tab. 6 jsou shrnuty hmotnosti materiálů z 1 bloku SMR pro okamžité vyřazování. V Tab. 7 je uvedena hmotnost RAO z vyřazování reaktoru LVR-15 předpokládané k uložení do HÚ.

Tab. 3 Soupis hmotnosti SAO uvažovaných pro ukládání v HÚ pro 1 blok EDU, varianta postupné vyřazování

Název dílu	Hmotnost (t)
Šachta reaktoru	53,0
Koš aktivní zóny	8,8
Vnitřní povrch tlakové nádoby	10,1
Tepelná izolace	14,0
Serpentinitový beton	38,5

Název dílu	Hmotnost (t)
Dno koše aktivní zóny	13,2
Vnější povrch tlakové nádoby	90,9
Serpentinitový beton okraj aktivní zóny	38,5
Blok ochranných trub	18,0
Vnitřní opláštění serpentinitového betonu	4,0
Vstupní a výstupní potrubí do 1 m od tlakové nádoby	8,0
Konstrukční beton aktivovaný	200,0
Aktivované předměty – čidla, kabely	14,3
<b>Celkem (zaokrouhloeno na celé tuny)</b>	<b>511</b>

Tab. 4 Soupis hmotností SAO uvažovaných k ukládání v HÚ pro 1 blok ETE, varianta postupné vyřazování

Název dílu	Hmotnost (t)
Plášť aktivní zóny	35,0
Šachta reaktoru	58,1
Návar tlakové nádoby	22,7
Tlaková nádoba reaktoru	204,0
Tepelná izolace	20,5
Serpentinový beton před ionizačními kanály	32,1
Vnitřní opláštění serpentinitového betonu	22,6
Ocelové podpěry PS	10,2
Blok ochranných trub	17,1
Kanály ionizačních komor	5,3
Nosný kroužek	11,4
Opláštění stavebního betonu pod serpentinitem	1,4
Aktivované předměty – čidla, kabely	4,3
<b>Celkem (zaokrouhloeno na celé tuny)</b>	<b>444</b>

Tab. 5 Soupis hmotností SAO uvažovaných k ukládání v HÚ pro 1 blok NJZ, varianta okamžité vyřazování

Název dílu	Hmotnost (t)
Ocel	488,1
Ostatní (aktivované předměty z provozu)	5,1
Serpentinitový beton	38,5
<b>Celkem (zaokrouhloeno na celé tuny)</b>	<b>532</b>

Tab. 6 Soupis hmotností SAO uvažovaných k ukládání v HÚ pro 1 blok SMR 470 MWe, varianta okamžité vyřazování

Název dílu	Hmotnost (t)
Ocel	307
Ostatní (aktivované předměty z provozu)	28
Serpentinitový beton	77
<b>Celkem (zaokrouhloeno na celé tuny)</b>	<b>412</b>

Tab. 7 Množství RAO z vyřazování reaktoru LVR-15 určené k uložení do HÚ

Název dílu	Hmotnost (kg)
Reaktorová nádoba s nerezovými vestavbami (k uložení do HÚ se uvažuje pouze dolní část nádoby)	4 220

Název dílu	Hmotnost (kg)
Hliníkové vestavby reaktorové nádoby	387
Regulační tyče	10
Beryliový reflektor (standardní bloky 27 ks, atypické bloky 6 ks)	14 815
Části smyček, sondy, ozařovacích kanálů	
<b>Celkem</b>	<b>19 432</b>

Pro odpad z vyřazování jaderných zařízení uvedených výše, a stejně tak pro ostatní SAO, se aktuálně pracuje s konceptem uložení v obalovém souboru (OS), který je popsán v kapitole 4.2. Celkový odhadovaný počet OS z vyřazování je uveden souhrnně v Tab. 8.

Do hlubinného úložiště bude také uložen institucionální RAO, který je zatím v režimu skladování v úložišti radioaktivních odpadů (ÚRAO) Richard. Jedná se o RAO, které nesplňuje limity a podmínky přijatelnosti k uložení do stávajících ÚRAO. Odhad budoucí produkce tohoto RAO vychází z bilance RAO přijímaného ke skladování od r. 2005 do r. 2014 (Podlaha a Trtílek 2023). Celkově se bude jednat o cca 2000 sudů, což odpovídá asi 500 OS pro SAO.

Mezi RAO ukládaného do HÚ je nutné zahrnout i zdroje ionizujícího záření (ZIZ) o vysokých aktivitách, mezi které patří především uzavřené radionuklidové zdroje. Skutečné množství OS se ZIZ bude záviset na množství zdrojů s radionuklidy, které se budou v ČR používat a na maximální aktivitě radionuklidů, kterou bude možné v jednom obalovém souboru uložit. Stanovit počet OS na základě dnes dostupných informací není možné, proto byl vytvořen inženýrský odhad vycházející z obecných charakteristik. V práci (Podlaha a Trtílek 2023) bylo odhadnuto, že pro uložení ZIZ bude třeba cca 261 kusů OS.

Předpokládaný počet obalových souborů, na základě inventáře SAO, je shrnut v Tab. 8.

Tab. 8 Odhadnutý počet OS pro SAO na základě údajů z (Podlaha a Trtílek 2023)

Typ SAO	Odhadnutý počet OS pro SAO
4 bloky EDU, postupné vyřazování	2 045
2 bloky ETE, postupné vyřazování	275
4 bloky NJZ, okamžité vyřazování	952
6 bloků SMR okamžité vyřazování	1 004
LVR-15 vyřazování	20
Institucionální odpady	500*
Zdroje ionizujícího záření (URZ)	261
<b>Celkem</b>	<b>5181</b>

\*SÚRAO odhad počtu OS, které nebudou splňovat limity a podmínky pro uložení v ÚRAO Richard

## 2.2 Povrchový areál

Povrchový areál bude obsahovat objekty technického zázemí pro přípravu a ukládání VJP a RAO (samotný objekt přípravy a ukládání VJP a RAO bude umístěn v přípovrchové části), objekty nutné pro výstavbu podzemní části (ražby), včetně jejich technického zázemí, a dále objekty zajišťující pobyt pracovníků, ostrahu, administrativu, informační služby, komunikace atd. Areál je zatím navržen v obecném rozsahu požadavků na zajištění předpokládaných činností. Konkrétní uspořádání objektů a jejich skladba je předmětem konkrétního projektového řešení dle místních podmínek lokality. Mimo povrchový areál vlastního HÚ budou

ve vazbě na podzemí umístěny objekty pro větrání podzemní části. Všechny objekty musí být opatřeny systémem fyzické ochrany.

Povrchový areál se bude skládat z nejaderné a jaderné části. Podrobné členění staveb bude souviset s konkrétními podmínkami dané lokality, především budou-li se příslušné objekty povrchového areálu nacházet v rámci areálu HÚ, nebo mimo areál HÚ.

Povrchový areál by měl obsahovat následující stavby:

- Areál jaderného zařízení (JZ) – jedná se o objekty povrchového areálu umístěné ve střeženém prostoru, spojené s přípravou RAO a VJP pro uložení, které jsou součástí JZ dle zákona č. 263/2016 Sb., tzn. plní provozní funkci. Na povrchu se jedná také o některé objekty řešící vnitroareálová média - např. větrací objekty podzemní části, měření odpadních vod, přírodní komora vzduchotechniky, speciální kanalizace a dekontaminační stanice.
- Dílny a sklady – zabezpečují základní údržbářské, opravárenské práce v areálu, skladování materiálu pro dlouhodobou potřebu výstavby HÚ, pro jeho zprovoznění, a i pro fázi samotného ukládání obalových souborů s VJP a RAO. Jedná se například o sklad olejů, sklad výbušnin, sklad technických plynů, centrální dílny a nejaderná skladová hala. Tyto objekty budou umístěny v rámci povrchového areálu HÚ – s výjimkou skladu výbušnin, který bude jak uvnitř povrchového areálu, tak v podzemní části jako důlní stavební objekt. Sklad výbušnin bude splňovat požadavky vyhláškou ČBÚ č. 99/1995 Sb. o skladování výbušnin. Bude řešeno v dalších stupních projektové dokumentace.
- Požární ochrana – jedná se o budoucí objekty související s požární ochranou: stanice báňské záchranné služby, požární zbrojnice a požární nádrž. Legislativně je požární zabezpečení podzemí zajištěno vyhláškou ČBÚ č. 22/1989 Sb. o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí, část šestá – požární ochrana a vyhláškou ČBÚ č. 2/1994 Sb., kterou se stanoví podmínky pro stavbu a provoz důlního požárního vodovodu. Z hlediska báňské legislativy je hlubinné úložiště posuzováno jako důl ostatní (neplynující, neuhelný), viz vyhláška ČBÚ č. 22/1989 Sb. §172, odst.2.
- Zpevněná skládka rubaniny – mezideponie, objekt zacházení s rubaninou bude umístěn mimo povrchový areál.
- Administrativní stavební objekty – jedná se především o objekty personálně správní: centrální administrativní budova, centrální kuchyně s jídelnou atp. a související vnitroareálová infrastruktura, tzn. především objekty charakteru dopravně obslužného a nejaderné objekty vnitroareálových médií.
- Informační centrum – jedná se o objekty jako informační centrum, bufet, vrátnice a související části dopravně obslužné a jiné vnitroareálové infrastruktury.
- Ostatní – bude upřesněno v závislosti na konkrétních podmínkách dané lokality a na zpřesňujících požadavcích.

O těchto stavbách se nyní uvažuje, že budou vymístěny mimo vlastní povrchový areál v HÚ:

- Příprava bentonitu – jedná se o objekty spojené s přípravou bentonitu. Předpokladem je, že všechny jeho části budou vymístěny mimo povrchový areál HÚ.
- Zacházení s rubaninou – jedná se o objekty spojené s manipulací s rubaninou. Předpokladem je, že všechny jeho části budou vymístěny mimo povrchový areál HÚ – s výjimkou zpevněné skládky, která bude jak uvnitř, tak mimo areál.

## 2.2.1 Překládací uzel a objekt přípravy RAO a VJP

Jedná se o stavební objekt v přípovrchové části úložiště, jehož primární součástí je horká komora, která slouží pro překládání obsahu přepravních obalových souborů do ukládacích obalových souborů v hermeticky uzavřených prostorách.

Tento stavební objekt slouží k zajištění příjmu, vyložení a skladování VJP v meziskladu umístěném v areálu horké komory. Dále se zabývá příjmem, přípravou a kontrolou prázdných ukládacích obalových souborů, jejich skladováním, plněním a přípravou ke konečnému uložení v podzemním areálu hlubinného úložiště. Zároveň slouží k příjmu a přípravě RAO pro uložení. Bude obsahovat část pro přípravu VJP, část pro přípravu RAO a společné části.

V dalších stupních projektové dokumentace bude aktualizována objektová skladba a budou revidována navržená technická řešení v požadované podrobnosti.

## 2.3 Podzemní areál

Podzemní areál a jeho koncepční návrh vychází z požadavku na zajištění funkčnosti a bezpečnosti hlubinného úložiště ve všech životních fázích jeho vývoje (výstavba, provoz, vyřazování z provozu, uzavírání, období po uzavření). Podzemní areál je komplexem dvou částí, z nichž jedna se skládá z ukládacích sekcí pro trvalé uložení VAO/VJP a druhá slouží pro ukládání SAO. Obslužnost podzemního areálu je zajištěna obslužnými chodbami, technologickými podzemními objekty (dílny, sklady, odvodnění, čerpání důlních vod a větrání) a spojením s povrchovým areálem.

### 2.3.1 Způsob ražby

Při ražbě podzemního díla jako je HÚ v krystalinických horninách lze uvažovat dva rozdílné ražební postupy – mechanizovanou ražbu (TBM) a konvenční ražbu, tzv. „drill and blast“. Ve fázi zužování počtu lokalit z 9 na 4 byly uvažovány obě metody, kdy byly zpracovány studie umístitelnosti na 7 lokalitách (Špinka et al. 2020) a studie proveditelnosti pro lokality Janoch (Zahradník et al. 2020b) a Na Skalním (Zahradník et al. 2020a). Při uvažování obou ražebních postupů jsou pak kladeny rozdílné nároky např. na povrchový areál, manipulace, objemy výplňového materiálu a cenu (Ikonnen 2023). Rozdíly v požadavcích ražebních postupů na lokality jsou z hlediska výběru finální a záložní lokality méně významné a nevedou k odlišení lokalit. Proto SÚRAO v roce 2023 rozhodla, že pro navazující etapy prací je žádoucí pracovat pouze s jedním technickým řešením, které umožní efektivnější, a především hospodárnější postup prací. Výběr jednoho řešení také přispěje k časové optimalizaci, která je nutná pro naplnění Nařízení Komise EU 2022/1214 z 9.3. 2022, konkrétně zprovoznění HÚ v roce 2050, tedy o 15 let dříve, než bylo plánováno a je uvedeno v Koncepci nakládání s RAO a VJP (2019).

Při výběru mezi mechanizovanou ražbou (TBM) a „drill and blast“ bylo zásadní, že obě metody jsou známé a používané a na základě stávajících znalostí lze obě považovat za použitelné pro ražbu HÚ. Každá metoda má však své výhody a nevýhody pro hlubinné úložiště (Ikonnen 2023).

Pro navazující etapy bylo rozhodnuto o použití **konvenční ražby, kdy rozhodujícím faktorem byla její časová i prostorová flexibilita**. Oproti klasickým podzemním stavbám se hlubinné

úložiště bude razit na etapy v dlouhém časovém horizontu. Nejprve bude vyražena štola na ukládací horizont a poté budou probíhat charakterizační práce pro získání více informací o horninovém masivu na ukládacím horizontu. Následně se budou budovat další podzemní díla na ukládacím horizontu, a to s prodlevami ve výstavbě, při kterých se bude jen ukládat. Pro takto přerušovaný způsob ražby se použití TBM stává méně výhodným a v určitých ohledech komplikovaným. Konvenční ražba umožňuje lepší přístup k čelbě pro potřeby geologické charakterizace a snadnější řešení při zastižení nestandardních geologických poměrů. Konvenční metoda má i další výhody v podobě menšího profilu, s čímž je spojen menší objem rubaniny, menší objem potřebných výplňových materiálů a jednodušší řešení při vystrojení tunelu.

### 2.3.2 Hlavní důlní díla

Hlavními důlními díly označujeme důlní díla ústící na povrch. Jsou to zejména přístupové cesty do podzemí (odtěžovací tunel, zavážecí tunel, větrací objekty – jámy nebo vrty) sloužící primárně pro dopravu osob, materiálů a odpadů do podzemí a dále pro zajištění větrání podzemního areálu hlubinného úložiště.

Budou pravděpodobně vytvořeny dvě úpadnice – pro ražbu a pro samotné zavážení VJP a RAO, aby v době zahájení provozu HÚ, za současné výstavby dalších úseků HÚ, byla ražba oddělena od úseku přípravy a ukládání. Rovněž osoby obsluhující úsek ražeb, resp. úsek ukládání, se za běžného provozu HÚ dopravují na pracoviště vzájemně oddělenou cestou. Odtěžovací a zavážecí tunel jsou od sebe odděleny fyzickými zábranami, ale umožňují současné provětrávání obou prostor. Technické řešení se dvěma úpadnicovými tunely je ideální z hlediska řešení mimořádných událostí, jelikož umožňuje zkrátit únikové cesty realizací únikových propojek mezi dvojicí paralelních tunelů. Zavážecím úpadnicovým tunelem bude přiváděn čerstvý vzduch a odtěžovacím úpadnicovým tunelem bude znečištěný vzduch odváděn. Případně je možná i kombinace svislého důlního díla a úpadnice.

#### 2.3.2.1 Zavážecí tunel

Zavážecí tunel je úpadním tunelem převládajícím v podélném sklonu maximálně 1:10. Délka tunelu je závislá na podélném sklonu díla a výškovém rozdílu mezi portálem tunelu na povrchu a ukládacím horizontem. Tento tunel slouží pro přepravu a zavážení VJP a ostatních RAO na ukládací horizont, pro dopravu osob, materiálů a rubaniny mezi povrchem a ukládacím horizontem. Z hlediska provozní bezpečnosti plní funkci únikové cesty.

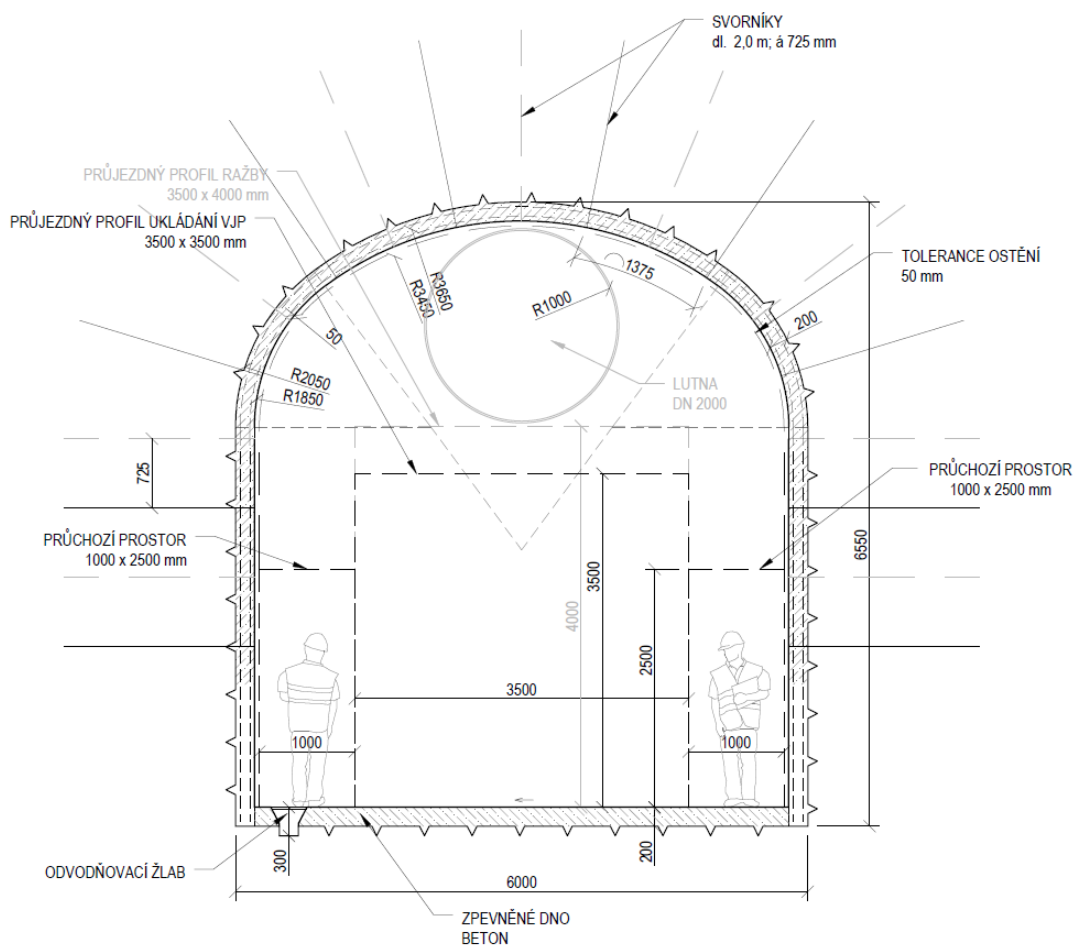
Návrhové parametry zavážecího tunelu (Butovič et al. 2020) pro vybraný způsob konvenční ražby:

- tvar výrubu: klenutý,
- výška tunelu: 6 550 mm,
- šířka tunelu: 6 000 mm a
- způsob vyztužení: dle zastižených geologických podmínek.

Příčný řez zavážecím tunelem je zobrazen na Obr. 2. Geometrie úpadnicových tunelů bude aktualizována v dalších stupních projektové dokumentace.

### 2.3.2.2 Odtěžovací tunel

Odtěžovací tunel je vedený paralelně k zavážecímu tunelu a slouží k transportu rozpojené horniny na povrch (kolovými dopravními prostředky, alt. pásovými dopravníky). Transport rubaniny směrem k odtěžovacímu tunelu probíhá v rámci ukládacího horizontu vyraženými páteřními a spojovacími chodbami. Odtěžovací tunel zároveň slouží k dopravě pracovníků úseku ražeb a výstavby. Z hlediska provozní bezpečnosti plní funkci únikové cesty. Návrhové parametry odtěžovacího tunelu jsou shodné se zavážecím tunelem. Příčný řez odtěžovacím tunelem je na Obr. 2. Geometrie úpadnicových tunelů bude aktualizována v dalších stupních projektové dokumentace.



Obr. 2 Příčný řez zavážecím/odtěžovacím tunelem (Butovič et al. 2020)

### 2.3.2.3 Svislá důlní díla

Dle parametrů dané lokality bude vybráno řešení se svislými důlními díly (těžní jáma, vtažná jáma) dle Grünwald et al. (2017) a Butovič et al. (2020) nebo varianta se soustavou větracích vrtů. V aktualizaci vybraných částí referenčního řešení budou zpracovány tyto varianty technického řešení a jeho návrhové parametry.

### 2.3.3 Ukládací horizont

Na ukládacím horizontu se nachází systém páteřních a spojovacích chodeb, které propojují ukládací sekce, to vše je doplněno nezbytným technickým zázemím pro manipulaci, zavezení a uložení UOS/OS.

#### 2.3.3.1 Ukládací sekce

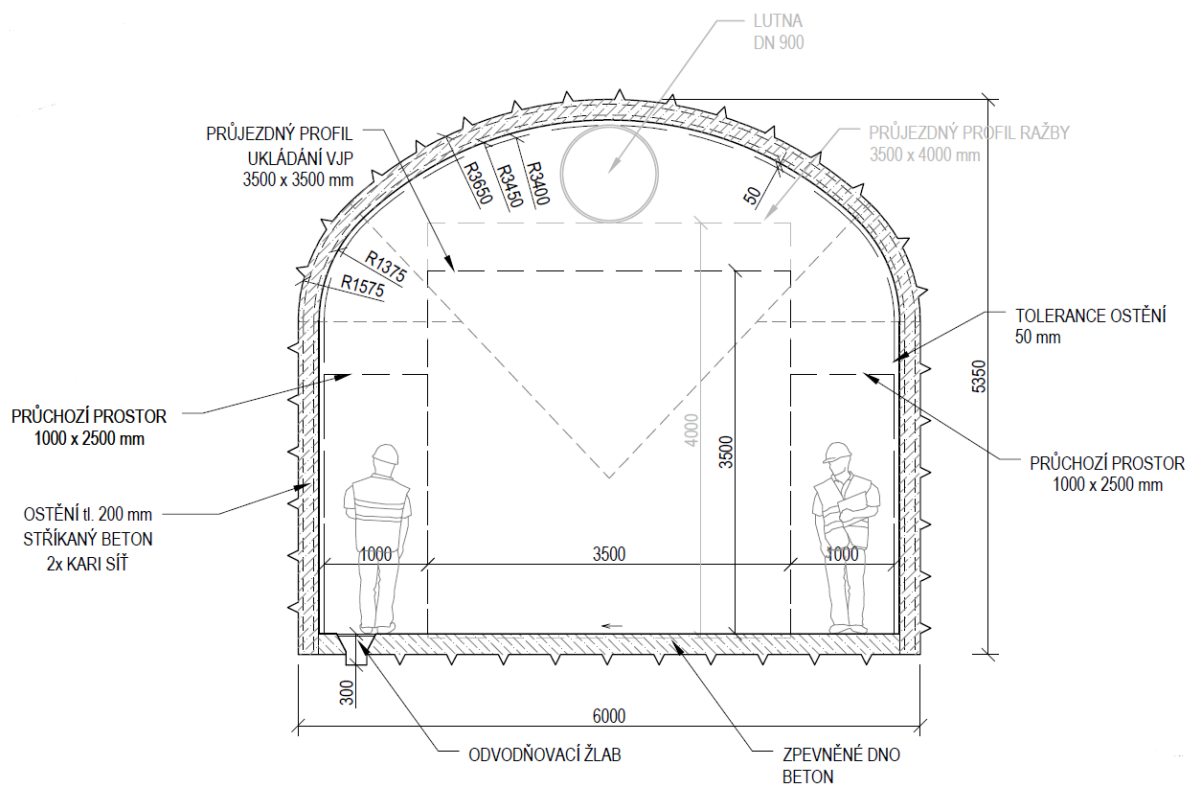
Sekce pro ukládání radioaktivního odpadu jsou projektovány v potenciálně využitelných horninových blocích (o horninových blocích na jednotlivých lokalitách více ve Špinka et al. 2020a, Špinka et al. 2020b, Zahradník et al. 2020, Butovič et al. 2020). Uvažovaná je část pro VAO/VJP se dvěma sekcemi (viz kapitola 3) na ukládacím horizontu a část pro SAO (viz kapitola 4), která může být popř. umístěna i v jiné hloubce než sekce VAO/VJP. Velikost příčných profilů pro jednotlivé druhy RAO bude aktualizována v dalších stupních projektové dokumentace – jedná se o páteřní, spojovací a zavážeční chodby pro VAO/VJP a zavážeční prostory pro SAO (chodby, síla, kaverny) – a bude dána mimo jiné rozměry dopravních mechanismů a finálních velikostí UOS/OS.

Projektové řešení nyní uvažuje uložení UOS s VJP do svislých vrtů jednotlivě, přičemž každý UOS s VJP je ve vrtu obložen a z každé strany utěsněn bufferem (tlumicí a těsnicí bariérou). Zatím se uvažuje, že v jedné ukládací chodbě bude ukládán vždy jeden typ odpadu, tj. buď VJP nebo VAO.

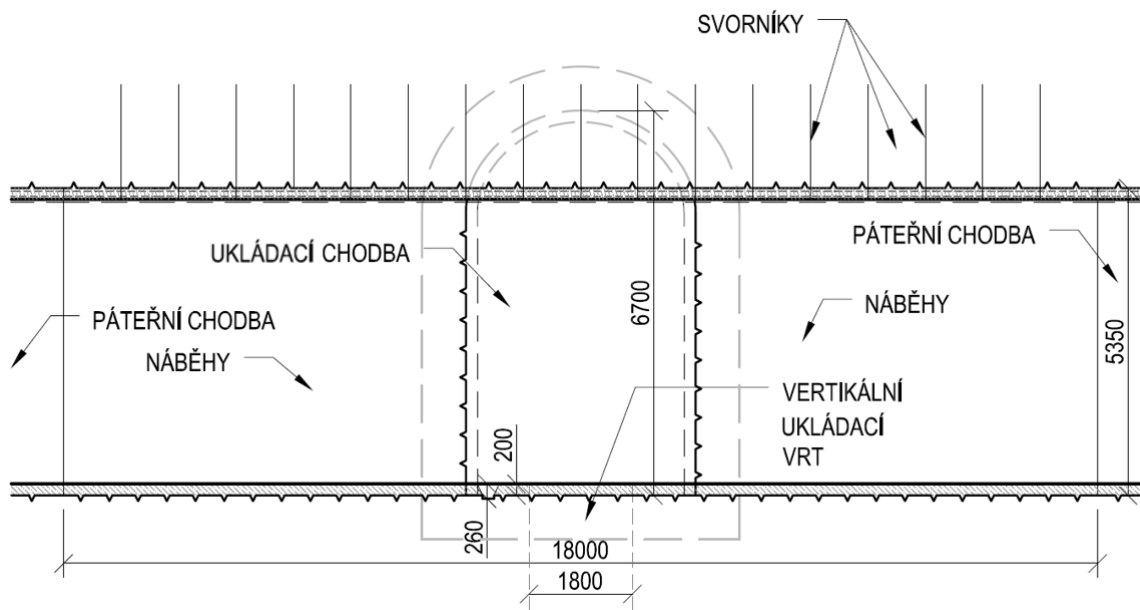
Pro ukládání SAO bude v rámci některé budoucí aktualizace projektového řešení stanovena geometrie ukládacích prostor (chodby, kaverny nebo síla), obalového souboru pro uložení SAO a výplňový materiál ukládacích prostor SAO (na bázi cementu nebo bentonitu).

#### 2.3.3.2 Páteřní a spojovací chodby

Páteřní chodby jsou hlavními chodbami spojující technické zázemí úseku ražeb a výstavby, resp. úseku přípravy a ukládání, s ukládacími prostory umístěnými v potenciálně využitelných horninových blocích na ukládacím horizontu VJP/VAO. Z páteřních chodeb jsou raženy ukládací chodby, ve kterých jsou umístěny svislé ukládací vrty. Rozměry chodeb a vrtů budou aktualizovány v dalších stupních projektové dokumentace – v následujících obrázcích jsou uvedeny rozměry z předchozích stupňů projektové dokumentace. Příčné řezy těmito chodbami jsou znázorněny na Obr.3 a Obr.4.



Obr.3 Příčný řez páteřní/spojovací chodbou (Butovič et al. 2020)



Obr.4 Příčný řez ukládací chodbou (Butovič et al. 2020)

Dle projektové dokumentace před aktualizací (Špinka et al. 2020a; Špinka et al. 2020b; Zahradník et al. 2020 a Butovič et al. 2020) mají páteřní chodby klenutý průřez se svislými stěnami šířky 6,0 m a výšky 5,35 m a ukládací chodby mají klenutý průřez se svislými stěnami šířky 4,0 m a výšky 6,7 m. Minimální příčné rozměry průjezdných profilů pro použitou techniku k uložení UOS se uvažují 3,5 m pro šířku profilu a 3,5 m pro výšku profilu. Tyto hodnoty platí zároveň pro zavážecí tunel, páteřní chodbu a spojovací chodbu. Pro ukládací chodby se uvažuje profil min. šířky 3,5 m a min. výšky 5,5 m.

Bylo uvažováno, že ukládací zařízení bude zároveň sloužit jako přepravní, tj. od naložení UOS v prostorách u horké komory po přesun UOS k místu uložení až po samotné uložení UOS do připraveného vrtu. Z tohoto důvodu jsou rozměry průjezdného profilu pro zavážecí tunel a páteřní chodby na ukládacím horizontu VJP shodné. Jinak tomu je u ukládací chodby, kde je nutné manipulační zařízení s UOS naklonit před samotným uložením do vertikální polohy.

### 2.3.3.3 Technické zázemí na ukládacím horizontu

Technickým zázemím v této části podzemního areálu hlubinného úložiště je myšlen systém chodeb a dalších stavebních objektů realizovaných na ukládacím horizontu s cílem zajištění plynulé podpory výstavby a následného provozu úložiště.

- Profily objektů a chodeb jsou závislé na průjezdných profilech budoucí mechanizace.
- Prostory technického zázemí musí být stavebně odděleny na prostory zajišťující výstavbu a prostory zajišťující ukládání.

Tento stavební objekt sdružuje objekty a procesy spojené s vlastním uložením UOS do ukládacího vrtu. Mezi procesy, které se řadí do tohoto objektu patří konečné uzavírání ukládacích vrtů, včetně zaplňování ukládací chodby výplňovým materiálem (tzv. backfillem).

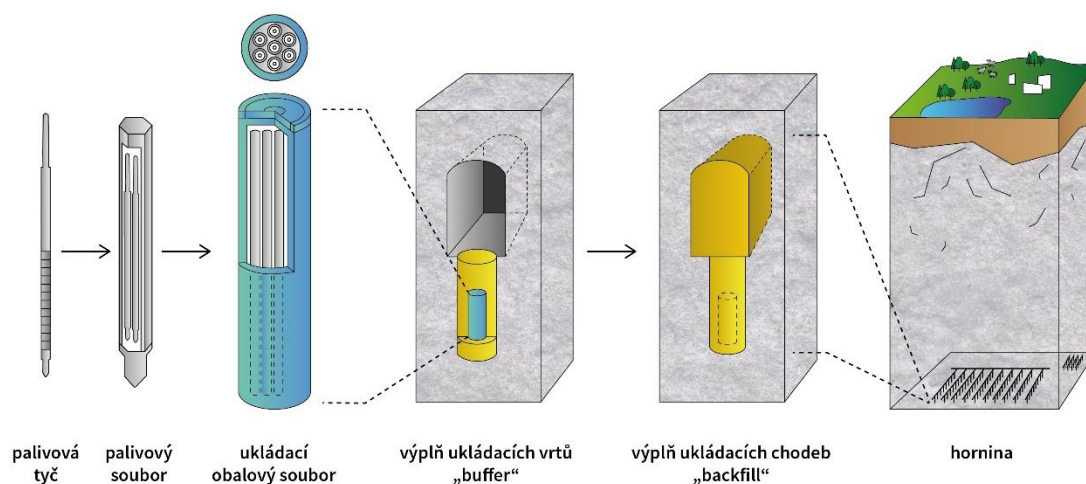
Spolu s technickým zázemím úseku přípravy a ukládání (např. rozvodna elektrické energie, dílny pro opravu a údržbu strojních mechanismů, požární sklad, sklad mazadel, úsek mytí a údržby) a technickým zázemím úseku ražeb a výstavby (obdobná objektová skladba jako technické zázemí úseku přípravy a ukládání, navíc např. jímka s čerpací stanicí) a jejich společnými částmi (např. shromaždiště osob, stanice první pomoci a zkušebna) je vytvořeno technické zázemí podzemní části hlubinného úložiště.

### 3 Ukládací část pro VJP/VAO

Ukládací část pro vysoko aktivní odpad je určena jak pro samotné vyhořelé jaderné palivo z jaderných elektráren (viz 2.1.1), tak i ostatní vysokoaktivní odpady (viz 2.1.2). V návaznosti na produkci VJP k uložení do HÚ a geometrickém uspořádání vhodných horninových bloků je část členěna do dílčích sekcí pro optimalizaci souběhu výstavby a provozu HÚ.

Nepřepřacované vyhořelé jaderné palivo bude v hlubinném úložišti trvale uloženo v ukládacích vrtech, v UOS obklopených bufferem (tlumicí a těsnicí bariéra). Stejně tak se předpokládá uložení ostatních VAO. Přístupové chodby k těmto vrtům, tzv. ukládací chodby budou vyplněny backfillem a uzavřeny zátkou. Zatím se uvažuje, že v jedné ukládací chodbě bude ukládán vždy jeden typ odpadu, tj. buď VJP nebo VAO.

Český ukládací koncept byl vyvinut na základě švédského konceptu KBS-3 (SKB 2010) přizpůsobeného pro krystalinické horninové prostředí českého masivu, viz Obr. 5. Zásadní odlišností oproti švédskému konceptu je použití ocelového ukládacího obalového souboru (Matulová et al. 2023) a českého Ca-Mg bentonitu (Hausmannová et al. 2018; Svoboda et al. 2022).



Obr. 5 Schéma ukládání VJP v hlubinném úložišti

V ukládacích sekcích pro VJP/VAO se nacházejí jednotlivé ukládací chodby, ve kterých jsou ukládací vrty. Počet ukládacích sekcí, osová vzdálenost mezi chodbami a počet chodeb budou aktualizovány v rámci projektových prací (Tab. 9). Konečná volba těchto geometrických parametrů bude kromě inventáře podmíněna vlastnostmi horninového masivu vybrané finální lokality.

V současnosti se na základě výpočtů a odhadnutých charakteristik lokalit uvažuje předběžná geometrie ukládacích chodeb, viz Tab. 9 (dle Špinka et al. 2020a, Špinka et al. 2020b, Zahradník et al. 2020 a Butovič et al. 2020).

Tab. 9 Geometrie ukládacích prostor pro VJP dle lokality

Lokalita	Počet ukládacích sekcí pro VJP/VAO	Osová vzdálenost mezi ukládacími chodbami	Počet ukládacích chodeb	Celková délka všech ukládacích chodeb
Březový potok	2	35,5 m	103	79 km
Horka	2	25,5 m	88	94 km
Hrádek	2	35,5 m	72	72 km
Janoch	2	25,5 m	122	88 km

Základní parametry pro ukládací sekce pro VJP a ostatní VAO jsou:

- dlouhodobá bezpečnost bude hodnocena v časovém rámci od uzavření HÚ do 1 000 000 let (Vrba et al. 2023),
- hloubka umístění cca 500 m pod drenážní bází (viz kapitola 3.1) a
- minimální potřebná plocha pro podzemní část hlubinného úložiště je závislá na tepelných vlastnostech lokalit (Grünwald et al. 2017): 197 ha na hypotetické lokalitě. Pro 4 vybrané lokality se ukládací plocha dle Špinko et al. (2020a), Špinko et al. (2020b), Zahradník et al. (2020) a Butovič et al. (2020) uvažuje následující: 291 ha (Březový potok), 250 ha (Horka), 269 ha (Hrádek) a 236 ha (Janoch).

### 3.1 Hloubka ukládacího horizontu

Technické řešení hlubinného úložiště radioaktivního odpadu v ČR je vyvíjeno od devadesátých let minulého století (Holub et al. 1999) a je průběžně aktualizováno a zpřesňováno, zejména s ohledem na prohlubující se úroveň geologického poznání lokalit. V této kapitole jsou shrnuty informace využitě pro stanovení odhadu hloubky podzemní části HÚ.

Dle vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb. k posuzování území pro umístění jaderného zařízení, konkrétně požadavku a) § 18 určeného pro hlubinné úložiště je uvedeno, že je třeba posuzovat hloubkový dosah a rozměr vhodného horninového masivu pro umístění hlubinného úložiště a vzdálenost geologických rozhraní a tektonických poruch, které mohou působit jako cesty pro transport radioaktivních látek.

V metodickém pokynu SÚRAO MP22 Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokalit se uvádí (Vokál et al. 2017), že potenciálně využitelné bloky horniny pro umístění podzemní části HÚ musí být v takové hloubce, aby bylo zamezeno přístupu člověka k odpadu, ovlivnění úložiště procesy probíhajícími na povrchu a zabráněno rychlé migraci radionuklidů ke zvodnělým poruchovým zónám. Za dostatečnou hloubku úložiště pro uložení vyhořelého jaderného paliva se považuje několik set metrů (min. 300 m) pod povrchem země (MAAE 2011). Na základě těchto předpokladů vychází jako minimální hloubka umístění podzemní části HÚ 300 m pod zemským povrchem, přičemž je potřeba zohlednit určitou rezervu, která je dána především geologickými poměry dané lokality a požadavky na průkaz bezpečnosti HÚ. Při pohledu na konkrétní příklady úložišť v krystalinických horninách v zemích s rozvinutou přípravou hlubinného úložiště, jako je například Onkalo ve Finsku, byla stanovena hloubka zhruba 400 metrů pod povrchem, zatímco úložiště Forsmark ve Švédsku počítá s hodnotou 450 metrů pod povrchem.

Při porovnávání a výběru lokalit HÚ v ČR v roce 2020 byla konzervativně uvažována hloubka HÚ 500 m pod povrchem. Při tomto konzervativním rozhodnutí byly zohledněny aspekty zejména však vliv zpětné eroze, a výskyt permafrostu na území ČR. V případě studia vlivu zpětné eroze lze vyjít z předpokladu, že eroze a denudace představují procesy, které probíhají selektivně, a jejich intenzita může být výrazně rozdílná v závislosti na lokálních podmínkách. O intenzitě a charakteru erozních a denudačních procesů, které probíhaly v minulosti, vypovídá geomorfologická charakteristika území. Jednotlivé typy reliéfu jsou výsledkem dlouhodobého působení exogenních a endogenních činitelů na zemský povrch. Interpretaci procesů probíhajících v minulosti můžeme následně aplikovat do predikce budoucího morfologického vývoje jednotlivých oblastí (Hroch 2015). Na území ČR jsou tyto procesy zastoupeny především mechanickým a chemickým zvětráváním hornin a mechanickou erozí materiálu. Intenzita a převažující typ exodynamických procesů včetně denudace a eroze závisí především na geomorfologických vlastnostech území, klimatu, vegetaci a způsobu využití krajiny (např. Fairbridge 1968, Gaudie 2004). Permafrost, který v následujícím glaciálu pravděpodobně dosáhne hloubky přes 200 m, omezí rychlost eroze, protože zabrání cirkulaci podzemní vody a jejímu odtoku. Bude mít proto ochranný účinek. V následujícím interglaciálu však tání permafrostu vytvoří otevřené pukliny subhorizontální orientace. To povede ke zrychlení cirkulace podzemní vody do hloubky až 200 m, k změnám petrofyzikálních vlastností nadloží a ke zrychlení eroze způsobené odtokem vody jak z permafrostu, tak z tajícího severského ledovce přes území ČR. Rychlost eroze a denudace se zvyšuje po ukončení zalednění a následném odtoku ledovcové vody (Hroch 2015). S ohledem na budoucí zalednění, které bude na území dnešní severní Evropy převažovat v příštích 100 tisících letech a také s ohledem na výzdvih Českého masivu je nutné počítat s rychlostí eroze a následné denudace od 0,5 do 30 m za 100 tisíc let (Czudek 2005). Horní limit je odhad, který odpovídá zrychlení vodní eroze v následném interglaciálu a spodní limit odpovídá ledové době a periglaciálnímu klimatu na uvažovaných lokalitách během celého období 100 tisíců let (Hroch 2015). V žádném z předchozích vrcholných glaciálů na území ČR nebylo širší území zkoumaných potenciálních lokalit zaledněno, a proto nelze s přímým vlivem ledovce na tyto lokality počítat ani v budoucích 100 tisících letech (Nývlt et. al. 2015).

Další podmínkou pro návrh hloubkové úrovně připravovaného HÚ je stanovení lokálních nebo regionálních drenážních bází. Drenážními bázemi jsou obvykle povrchové toky, místní vodoteče a prameny, jako i zóny křížení vodních toků s významnými zlomovými zónami. Drenážní báze jsou tedy bodová nebo liniová rozhraní průniku podzemní vody do povrchových odtokových systémů odvodňujících dané území. Plocha odvodňovaného území je z pohledu zkoumání odtoku vody z krajiny tzv. drenážním územím (Vondrovic et al. 2019; Krásný et al. 2012). Vzdálenost drenážních bází od předběžně navrženého umístění připravovaného HÚ je pro všechny čtyři potenciální lokality (Březový potok, Horka, Hrádek, Janoch) zpracováno ve zprávách (Havlová et al. 2018abcd).

Při návrhu hloubkové úrovně podzemní části HÚ je potřeba zohlednit i teplotu horninového prostředí, přičemž se uvažuje o nárůstu teploty o 2,3-3,0°C na 100 metrů při průměrném tepelném toku (geotermální gradient). Čím nižší bude nadloží, tím menší teplotní rozdíl lze v hloubce očekávat. Teplota v hloubce úložiště bude ale rovněž podmíněna dalším parametrem – tepelnou vodivostí hornin, ve kterých bude HÚ budováno (Dědeček et. al 2020).

Všechny tyto faktory jsou důležité pro stanovení optimální hloubky pro hlubinné úložiště, s důrazem na bezpečnost, životnost a ekonomickou proveditelnost. Komplexní analýza všech

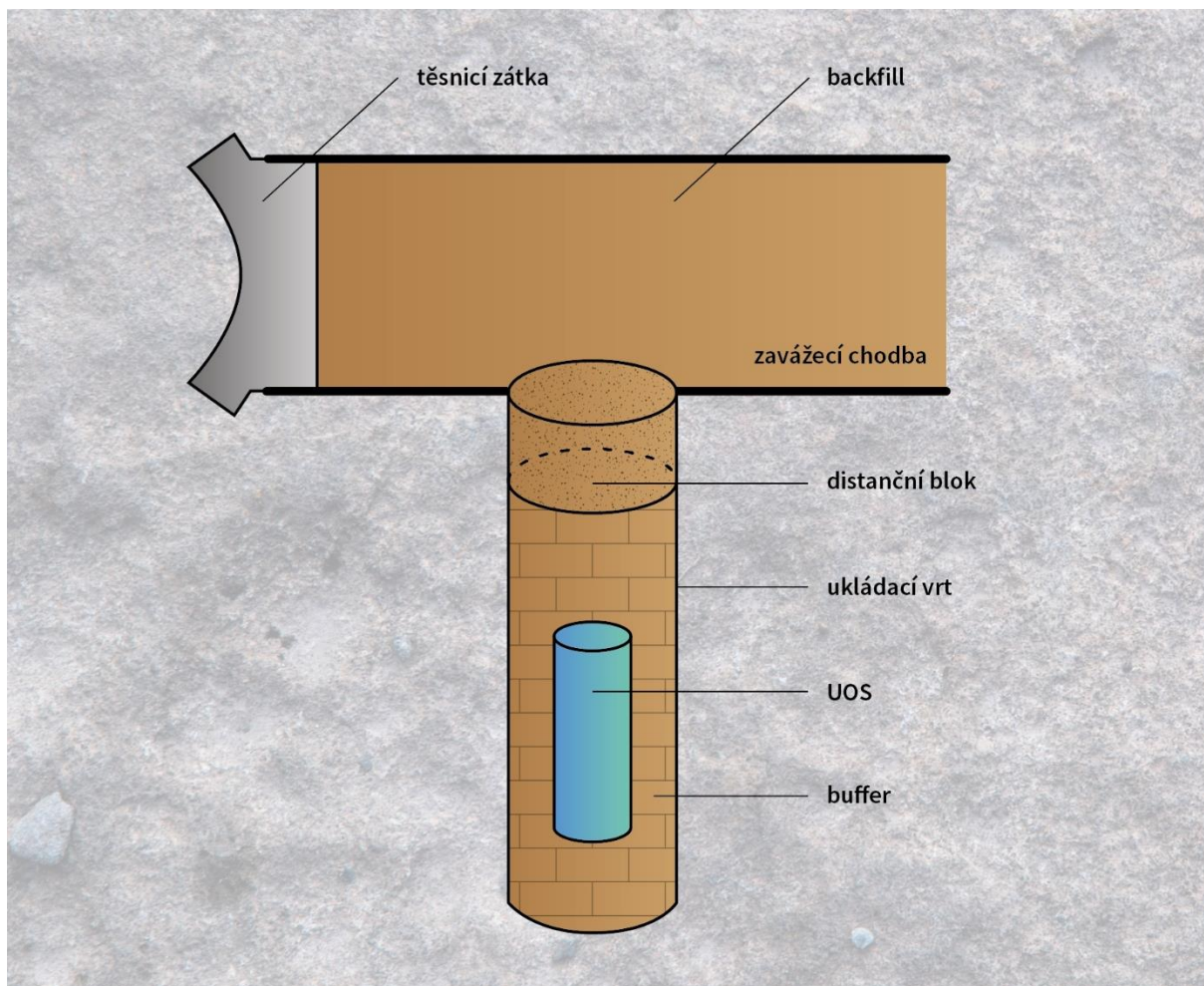
těchto okrajových podmínek je nezbytná pro navržení úložiště, které bude schopné efektivně a bezpečně izolovat jaderný odpad.

Hloubka 500 metrů pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu je akceptovatelná, s konzervativním přístupem zohledňujícím 300 metrů eroze a 200 metrů permafrostu (výpočet byl proveden nad daty Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace. mapové aplikace ČÚZK pro analýzu výškopisu <https://ags.cuzk.cz/av/>). Tato hloubka respektuje všechny dosavadní veřejně známé parametry. Hloubku úložiště pro potřeby definice technického řešení HÚ v ČR lze uvažovat jako -500 metrů od topograficky nejnižšího bodu na povrchu homogenních bloků. Tento nejnižší bod odpovídá lokální drenážní bázi daného homogenního bloku. V případě využití dvou nebo tří homogenních bloků v rámci jedné lokality, lze dosáhnout podmínky úložiště na jedné úrovni, pokud budou nejnižší topografické body těchto bloků ekvivalentní. Tato optimalizace by mohla přinést efektivitu v případě využití více homogenních bloků v rámci jedné lokality při projektování HÚ.

## 3.2 Způsob uložení UOS

Při návrhu technického řešení hlubinného úložiště je důležitým faktorem, jak bude umístěn UOS, jestli vertikálně vždy po jednom v ukládacím vrtu (viz Obr. 1 a Obr. 6), či horizontálně v delších vrtech, kde by bylo umístěno vždy několik UOS za sebou. SÚRAO v minulosti pracovala s vertikálním způsobem uložení UOS (Holub et al. 1999), horizontálním způsobem uložení UOS (Pospíšková et al. 2011), ale i s oběma najednou (Špinka et al. 2020, Zahradník et al. 2020b, Zahradník et al. 2020a), což znamená, že vznikla dvě technická řešení. Pro navazující etapy prací je však žádoucí pracovat pouze s jedním technickým řešením, které umožní efektivnější, a především hospodárnější postup prací. Výběr jednoho řešení také přispěje k časové optimalizaci, která je nutná pro naplnění Nařízení Komise EU 2022/1214 z 09.03.2022, konkrétně zprovoznění HÚ v roce 2050, tedy o 15 let dříve, než bylo plánováno a je uvedeno v Koncepci (2019).

Pro navazující etapy SÚRAO rozhodla o použití vertikálního způsobu ukládání. Zásadním argumentem byla komplexnost všech potřebných informací, které jsou k vertikálnímu způsobu ukládání dostupné (Ikonnen 2023). Důkazem vhodnosti, dostatečné popsitelnosti a bezpečnosti vertikálního způsobu ukládání UOS v krystalinických horninách je finský Safety Case (POSIVA Safety Case), který byl podroben důkladné kontrole regulátora.



Obr. 6 Schéma vertikálního ukládacího systému

V případě horizontálního způsobu ukládání v krystalinických horninách existují v současné době nejistoty, které by mohly mít zásadní vliv na dlouhodobou či provozní bezpečnost. Níže je soupis těch nejvýznamnějších (Ikonnen 2023):

- vliv eroze bentonitu, kde se v horizontálních ukládacích vrtech uplatňuje tzv. domino efekt,
- technologie sanace poruch v horizontálních ukládacích vrtech a nezbytný vývoj tzv. megapakru,
- nezbytnost umělého zavodňování horizontálních ukládacích vrtů,
- manipulace v horizontálních ukládacích vrtech při havarijním scénáři při provozu, kdy může být ovlivněno více UOS.

Horizontální způsob má však jednu velkou výhodu oproti vertikálnímu způsobu a to, že nebude potřeba razit a vystrojovat ukládací chodby. Tím se výrazně sníží objem vyražených prostor a s tím spojené menší množství rubaniny, potřeba výplňových materiálů, což všechno vede i k výrazně nižším nákladům. Za daných okolností, kdy jsou některá důležitá témata nedořešená, tak nelze upřednostnit tuto variantu, ale SÚRAO bude sledovat vývoj v této oblasti.

### 3.3 Ukládací chodby

Ukládací chodbou se rozumí podzemní chodba na ukládacím horizontu, ve které jsou vertikální ukládací vrty, která slouží k dopravní obsluze při zavážení UOS. Po zaplnění všech ukládacích vrtů v ukládací chodbě dojde k jejímu vyplnění backfillem a konečnému uzavření těsnicí tlakovou zátkou. Mělo by se jednat o čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků podzemní vody (přesné kritérium bude specifikováno v navazujících krocích přípravy HÚ). V ukládací chodbě před vyplněním backfillem a uzavřením zátkou smí zůstat vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...) jen takové, které nebudou negativně působit na inženýrské bariéry, tzn. negativně ovlivňovat jejich bezpečnostní funkce (Večerník et al. 2022, TZ 616/2022).

Návrhové parametry ukládací chodby (Grünwald et al. 2017) pro vybraný konvenční způsob ražby (Obr.4):

- výška chodby: 6 700 mm a
- šířka chodby: 4 000 mm.

### 3.4 Ukládací vrty

Ukládacím vrtem je myšleno kruhové dílo – velkoprofilový vrt umístěný vertikálně do počvy ukládací chodby. V něm bude finálně uložen jeden ukládací obalový soubor.

#### 3.4.1 Ukládací vrty pro UOS s VJP

Parametry ukládacího vrtu pro vertikální ukládací systém byly původně definovány v technické zprávě SÚRAO 134/2017 (Grünwald et al. 2017). Následně došlo v rámci sjednocení vnějšího průměru UOS pro všechny typy paliva k úpravě rozměru ukládacích vrtů pro sjednocený průměr UOS. Poté byla v návrhu nahrazena betonová zátka nad bufferem za bentonitový distanční blok, čímž nebude docházet k negativnímu ovlivnění bufferu vyšším pH. Distanční blok je kvůli zajištění homogenity bufferu o 1,5 m vyšší než betonová zátka, což vedlo k prohloubení ukládacího vrtu (Svoboda et al. 2022, TZ 644/2022).

Návrhové parametry ukládacího vrtu jsou:

- průměr ukládacího vrtu: 1650 mm (pro všechny typy VJP) (Svoboda et al. 2022),
- hloubka ukládacího vrtu pro VJP VVER-440: 6 540 mm<sup>1</sup> a pro VVER-1000 a NJZ 7 955 mm (Svoboda et al. 2022),
- osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty je závislá na typu VJP (tepelném výkonu UOS, viz 2.1.1), tepelných vlastnostech horninového masivu a statickém výpočtu (Grünwald et al. 2017, Butovič et al., 2020, Špinka et al. 2020a, Špinka et al. 2020b, Zahradník et al. 2020). Na základě současně dostupných informací, jsou předpokládáné osově vzdálenosti ukládacích vrtů uvedeny v Tab. 10.

---

<sup>1</sup> Tato hodnota je postavena na původní výšce UOS 440 3790 mm, která byla kvůli konstrukčním úpravám pozměněna na 3810 mm, v další aktualizaci technického řešení bude již počítáno s výškou UOS 440 3810 mm, což může mít vliv na hloubku ukládacího vrtu.

Tab. 10 Osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty dle lokality a typu VJP

Lokality / Palivo	VVER-440	VVER-1000	NJZ
Hypotetická lokalita	4 600 mm	7 750 mm	18 000 mm
Březový potok	5 000 mm	7 500 mm	13 250 mm
Horka	8 700 mm	8 000 mm *	13 500 mm *
Hrádek	4 750 mm	7 000 mm	11 500 mm
Janoch	5 200 mm	8 250 mm	15 250 mm

\* Pro VJP se uvažuje s min. osovou vzdáleností stanovenou při prodloužení doby skladování paliva pro VJP z VVER-1000 na 75 let, z NJZ na 75 let.

- Celkový počet potřebných ukládacích vrtů je dán počtem UOS s VJP 12 453 (viz Tab. 1) apředpokládanou rezervou pro stanovení plošného rozsahu ukládacích sekcí 20 % (Grünwald et al. 2017), tzn. celkem 14 944
- Zóna ovlivněná ražbou v okolí ukládacího vrtu je 350 mm (Grünwald et al. 2017).

### 3.4.2 Ukládací vrty pro ostatní VAO

Tato problematika nebyla zatím řešena. V případě, že bude ostatní VAO ukládáno do UOS se stejnými rozměry jako pro VJP (viz Pospíšková et al. 2022 – TZ 657/2022) budou rozměry shodné s výše popsanými. V případě modifikací budou muset být rozměry upraveny. Osová vzdálenost vrtů bude stanovena na základě teplotních výpočtů.

## 3.5 Ukládací obalový soubor – UOS

Ukládací obalový soubor slouží jako primární fyzická bariéra pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště.

### 3.5.1 UOS pro VJP z jaderných elektráren

UOS je tvořen z vnějšího obalu (obal, víko, zátka i dno) z uhlíkové oceli S355J2H+N a vnitřních pouzder (obal, víko, zátka i dno) z korozivzdorné oceli 1.4404. Počet pouzder umístěných v jednom UOS se liší dle typu ukládaného paliva, pro dukovanské VVER-440 je to 7 (viz Obr. 7) a pro temelínské VVER-1000 a plánované NJZ a SMR to jsou 3 (viz Obr. 8). Detailní konstrukční řešení, popis materiálů a technologií je popsán v SÚRAO zprávě TZ 665/2023 (Matulová et al. 2023), kdy různé části mohou být v budoucnu optimalizovány, a proto je návrh UOS v současnosti považován jako předběžný.

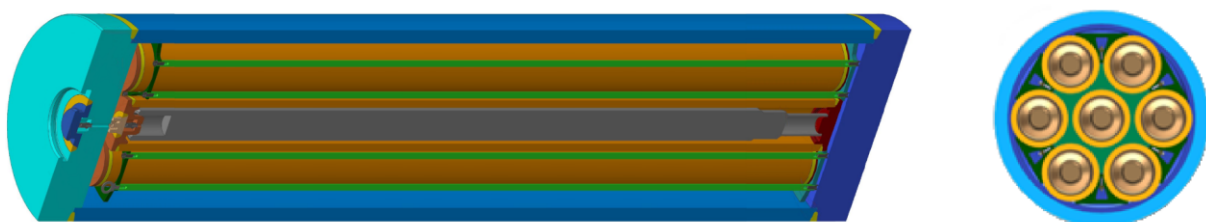
Návrhové parametry UOS jsou:

- minimální životnost: 1 000 000 let,
- maximální teplota na povrchu UOS: 95 °C (viz kapitolu 3.6 *Buffer*),
- maximální návrhový tlak na UOS: do 20 MPa (Hasal et al. 2019) a
- specifikace UOS dle VJP je v Tab. 11.
- počet UOS je v Tab. 1

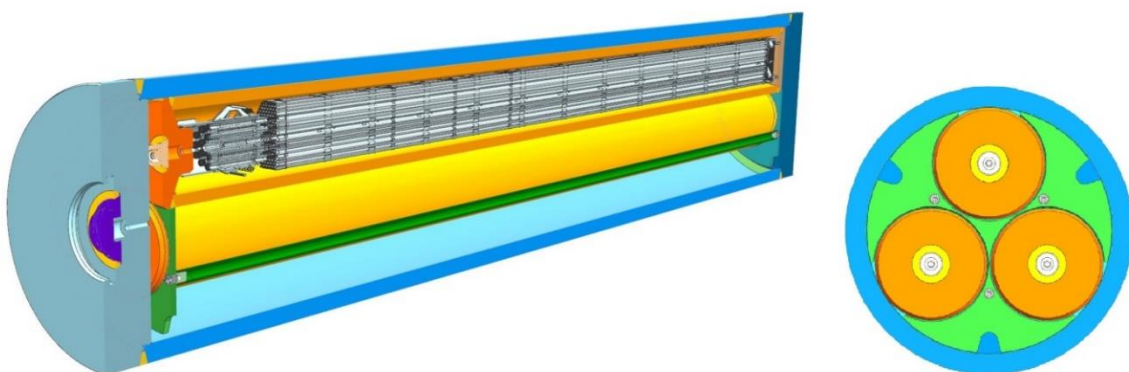
Tab. 11 Specifikace ukládacích obalových souborů pro VVER-440, VVER-1000, NJZ a SMR

Palivo	VVER-440	VVER-1000	NJZ a SMR
Výška	3 810* mm	5 205 mm	Hodnota zatím nebyla stanovena
Šířka	Vnější obal 914/65 mm, vnitřní pouzdro 7xVP 244,5/36 mm	Vnější obal 914/65 mm, vnitřní pouzdro 3xVP 355,6/40 mm	

\* tato hodnota je aktuální rozměr, v původních zprávách (např. Matulová et al. 2023) byl rozměr 3790 mm, který byl pozměněn kvůli konstrukčním úpravám



Obr. 7 Model UOS ŠKODA 440/7 (Forman et al. 2021)



Obr. 8 Model UOS ŠKODA 1000/3 (Forman et al. 2021)

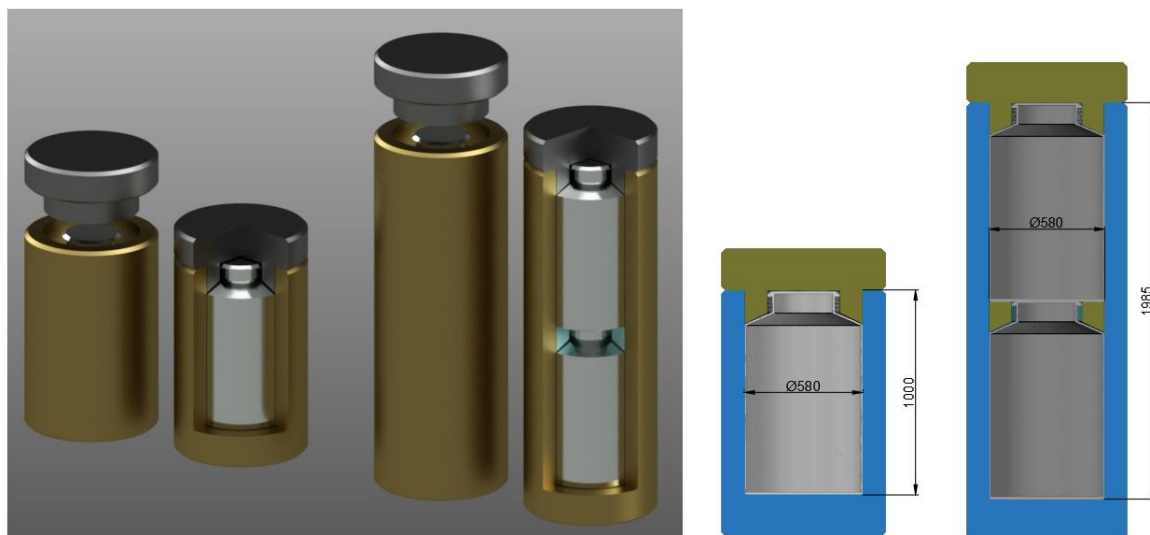
### 3.5.2 UOS pro VJP z LVR-15

UOS pro jaderné palivo z výzkumných reaktorů není v současnosti navržen, možným řešením dle zprávy (Pospíšková et al. 2022, Matulová a Lahodová 2024) je použití obdobných UOS jako pro VJP z jaderných elektráren (viz 3.5.1), neboť požadavky na OS budou díky charakteristickým vlastnostem uloženého VJP obdobné. Nicméně vlastní návrh musí splňovat podmínky zajištění jaderné bezpečnosti (zajištění podkritičnosti) a respektovat rozměry ukládaných palivových souborů.

### 3.5.3 UOS pro přepracované palivo

UOS pro přepracované palivo není v současnosti navržen. V rámci projektu (Pospíšková et al. 2022) byl nastíněn možný přístup k návrhu těchto obalových souborů pro jeden nebo více bidonů (Obr. 9). Vnější rozměr obalového souboru bude daný tloušťkou stěny, která bude určena na základě pevnostních výpočtů (splnění požadavků na mechanickou pevnost)

a požadované životnosti (degradace obalového souboru a ztráta bezpečnostní funkce). Prioritou budoucího výzkumu je návrh UOS pro palivo z LVR-15, který by byl materiálově a technicky podobný tomu pro VJP (Matulová a Lahodová 2024).



Obr. 9 Konceptní řešení obalového souboru pro vitrifikovaný odpad z přepracování VJP z LVR-15 (Pospíšková et al. 2022)

### 3.6 Buffer

Buffer (tlumicí a těsnicí bariéra) je inženýrská bariéra tvořená lisovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS. Předpokládá se použití vápenato-hořečnatého bentonitu české provenience.

Požadované bezpečnostní a technické funkce, které má buffer zajišťovat lze rozdělit do následujících kategorií (Svoboda et al. 2022):

- zpomalení degradace UOS prostřednictvím:
  - minimalizace přístupu vody a agresivních materiálů (korozi-aktivní látky horninového prostředí, např. chloridy, sulfidy) k UOS,
  - zamezení/minimalizace rozvoje mikrobiálně indukované koroze,
  - zajištění kompatibility bufferu s materiálem UOS),
- zajištění odvodu tepla z UOS,
- mechanická ochrana a stabilizace polohy UOS a
- zpomalení migrace radionuklidů.

Návrhové parametry bufferu vychází především z dlouhodobých vědecko-výzkumných prací na českých bentonitech, které jsou popsány v SÚRAO zprávě TZ 309/2018 (Hausmannová et al. 2018) a jejich výsledky jsou analyzovány a shrnuty ve zprávě TZ 632/2022 (Šachlová et al. 2022). Buffer byl navržen na základě výsledků těchto analýz a technického projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2017), které bylo následně optimalizováno po upřesnění konstrukčních rozměrů ukládacího vrtu.

V současnosti je preferovanou variantou pro buffer kombinace lisovaných bentonitových tvárnic jako hlavní výplň a peletizovaného bentonitu pro technologické mezery mezi UOS a tvárnici a mezi tvárnici a horninou a pro vyrovnání dna vrtu (Svoboda et al. 2022). Buffer pro UOS 440 (Obr. 10.) a buffer pro UOS 1000 (Obr. 11) má shodné parametry až na výšku, která je dána rozdílnou výškou UOS. Vlastnosti a složení českého bentonitu jsou shrnuty v SÚRAO zprávě TZ 632/2022 (Šachlová et al. 2022), návrh českého koncepčního řešení výplňových komponent potom ve zprávě TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022).

#### Návrhové parametry bufferu:

- forma: kombinace bentonitových tvárnic (hlavní výplň - 3.6.1) a peletizovaného bentonitu (vyrovnávací vrstva dna - 3.6.2 a výplň technologických mezer- 3.6.3),
- šířka: 368 mm (268 mm hlavní výplň a 50 mm výplň mezer mezi UOS/buffer a buffer/hornina), tato hodnota vychází z požadavku na minimální tloušťku bufferu 350 mm, která je poté navýšena na základě dostupných profilů pro vrtání a průměru UOS,
- tloušťka pod UOS: 400 mm (350 mm hlavní výplň a 50 mm vyrovnávací vrstva),
- tloušťka nad UOS: 350 mm,
- výška: 4540<sup>2</sup> mm (UOS 440) a 5 775 mm (UOS 1000),
- objemová hmotnost sušiny ( $\rho_d$ ): zprůměrovaná (bentonitové tvárnice a pelety) v oblasti pod a nad UOS  $\rho_d = 1664 \text{ kg/m}^3$ ; okolo UOS  $\rho_d = 1618 \text{ kg/m}^3$  a
- vlhkost po umístění bufferu: minimálně taková, aby dostatečně odvedla teplo od UOS, na jehož povrchu nesmí být více než 95 °C. Pro zaručení minimální tepelné vodivosti a zároveň zpracovatelnosti by měla být vlhkost větší než 4 % pro pelety ( $\rho_d \Rightarrow 1900 \text{ kg/m}^3$ ) a v rozmezí 10-20% pro tvárnice ( $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$ ). Přesné hodnoty vlhkosti pro bentonitové komponenty zatím nebyly specifikovány, závisí na mnoha faktorech a jsou předmětem aktuálního výzkumu.

### 3.6.1 Hlavní výplň

Hlavní výplň ukládacího vrtu bude provedena z bentonitových tvárnic o objemové hmotnosti sušiny 1700 kg/m<sup>3</sup>. Objemová hmotnost bude zvolena tak, aby i v prostoru kolem UOS po zaplnění technologických mezer peletizovaným bentonitem byla dosažena požadovaná průměrná  $\rho_d$  bufferu 1600 kg/m<sup>3</sup>.

Tvárnice budou předem sestaveny do vrstev a ukládány po vrstvách. Systém rozdělení vrstvy na jednotlivé tvárnice a výška vrstvy bude předmětem další optimalizace. Uspořádání tvárnic zejména pod UOS bude navrženo s ohledem na minimalizaci procesu mechanické eroze bentonitu v oblasti u UOS, více ve zprávě TZ 794/2024 (Kumpulainen et al. 2024).

### 3.6.2 Vyrovnávací vrstva dna

Vyrovnávací vrstva dna bude provedena z peletizovaného bentonitu (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením) s minimální průměrnou  $\rho_d$  po uložení 1400 kg/m<sup>3</sup>.

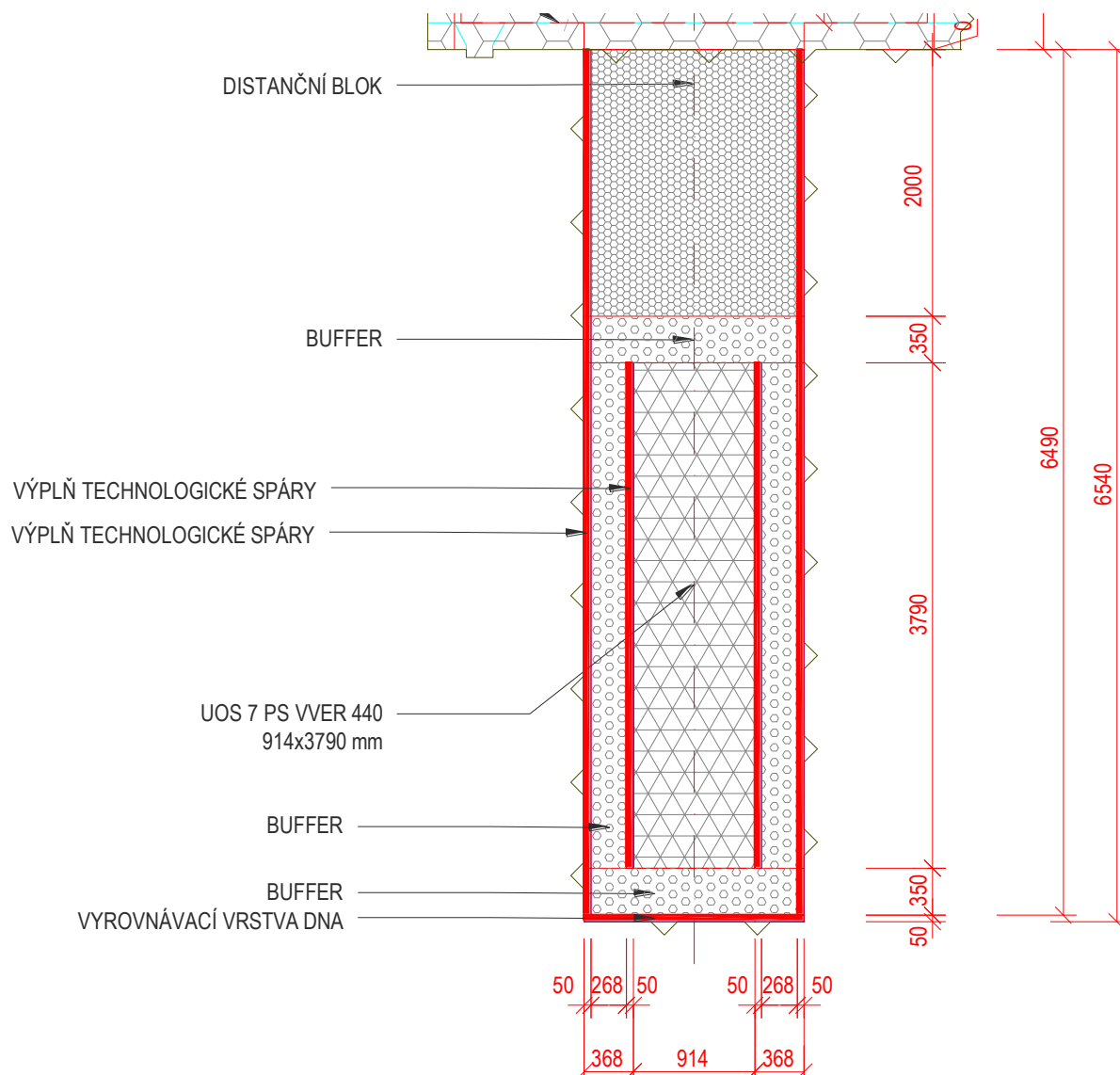
---

<sup>2</sup> Tato hodnota je postavena na původní výšce UOS 440 3790 mm, která byla kvůli konstrukčním úpravám pozměněna na 3810 mm, v další aktualizaci technického řešení bude již počítáno s výškou UOS 440 3810 mm, což bude mít vliv na výšku bufferu

Tloušťka vyrovnávací vrstvy bude závislá na zvolené technologii exkavace ukládacího vrtu. Návrh koncepčního řešení předpokládá tloušťku 50 mm.

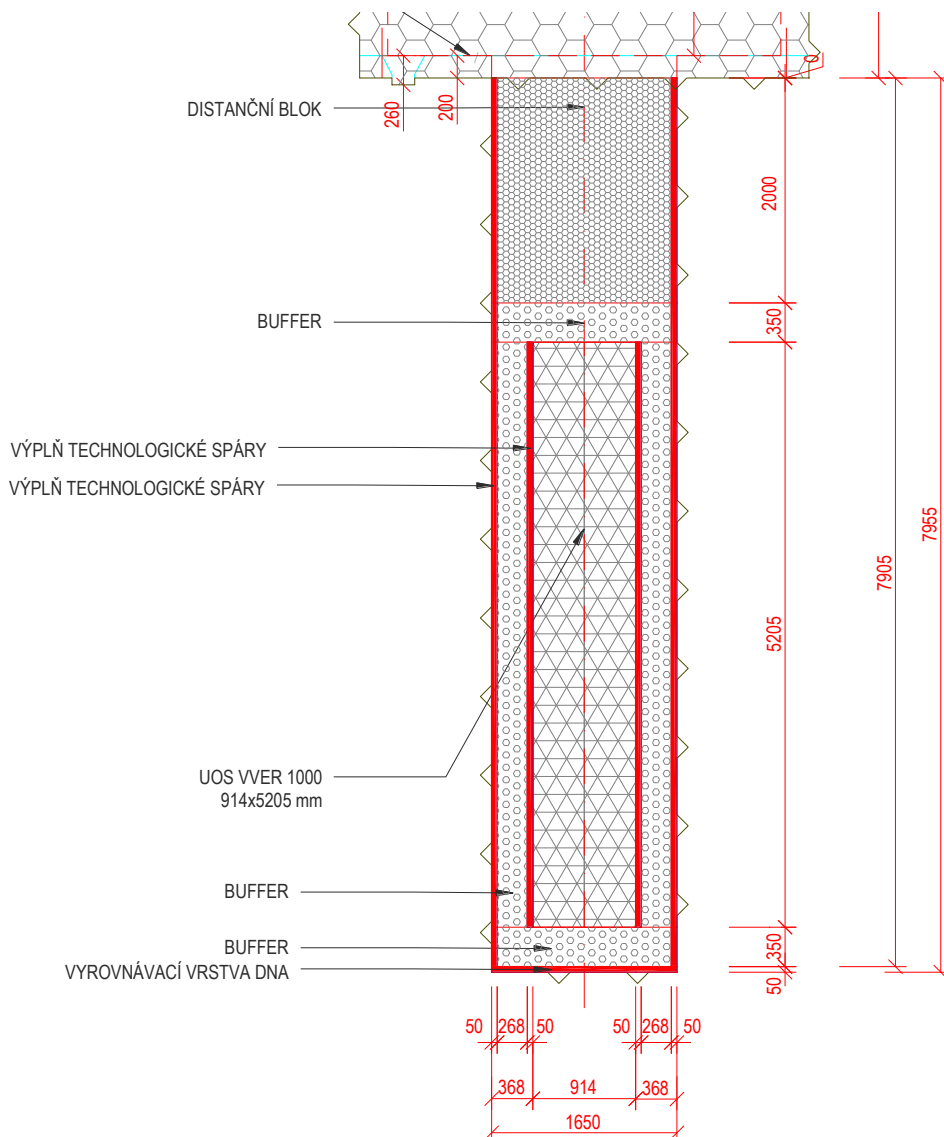
### 3.6.3 Výplň technologických mezer

Technologické mezery jsou nutné z důvodů tolerancí vrtu, manipulace s UOS, manipulace s tvárnici a možnosti bezproblémového zaplnění mezer bez vzniku dutin. Předpokládá se, že velikost (tloušťka) těchto mezer bude 50 mm. Výplň technologické mezery podél UOS a podél stěn vrtu bude provedena z peletizovaného bentonitu (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením) s minimální průměrnou  $\rho_d$  po uložení  $1400 \text{ kg/m}^3$ . Dosáhne se tak požadované průměrné  $\rho_d$  bufferu  $1600 \text{ kg/m}^3$ . Na důslednost ověření dostatečně vysoké objemové hmotnosti výplně mezer poukazuje zpráva TZ 750/2024 (Vašíček et al. 2024). Objem mezer kolem bentonitových tvárnic ve vrtu se ukazuje jako velký (nezanedbatelný) a objemová hmotnost výplně mezer tak má velký vliv na výslednou průměrnou objemovou hmotnost výplně vrtu.



Obr. 10 Technické řešení výplně ukládacího vrtu pro UOS 440 (Svoboda et al. 2022)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Výkres vychází z původní výšky UOS 440 3790 mm, která byla kvůli konstrukčním úpravám pozměněna na 3810 mm, v další aktualizaci technického řešení bude již počítáno s výškou UOS 440 3810 mm, což bude mít vliv na výšku bufferu.



Obr. 11 Technické řešení výplně ukládacího vrtu pro UOS 1000 (Svoboda et al. 2022)

### 3.7 Distanční blok

Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako buffer, umístěná v ústí ukládacího vrtu nad UOS a bufferem. Hlavní funkcí distančního bloku je, udržení bufferu na místě, tzn. zabránění jeho vybobtnání do backfillu, a tím zajištění plnění bezpečnostních funkcí.

Návrhové parametry distančního bloku vychází především z dlouhodobých vědecko-výzkumných prací na českých bentonitech, které jsou popsány v SÚRAO zprávě TZ 309/2018 (Hausmannová et al. 2018) a jejich výsledky jsou analyzovány a shrnuty ve zprávě TZ 632/2022 (Šachlová et al. 2022). Distanční blok byl navržen na základě výsledků těchto analýz a technického projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2017). V projektovém řešení byla výška distančního bloku 500 mm, tato výška by však pravděpodobně nedostačovala k ochraně bufferu před vybobtnáním. V konceptu je dále navržena minimální výška distančního bloku 2 m, která musí být ověřena.

V současnosti je preferovanou variantou pro distanční blok kombinace lisovaných bentonitových tvárnic jako hlavní výplň a peletizovaného bentonitu pro mezery (Svoboda et al. 2022), viz Obr. 10 a Obr. 11. Návrh českého koncepčního řešení výplňových komponent je shrnut v SÚRAO zprávě TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022).

#### Návrhové parametry distančního bloku:

- forma: kombinace bentonitových bloků (hlavní výplň - 3.7.1) a pelet (výplň technologické mezery - 3.7.2),
- šířka: 1650 mm (1550 mm hlavní výplň a 2 x 50 mm výplň technologických mezer),
- výška: 2 000 mm (tato hodnota je expertní odhad, který se v současnosti upřesňuje),
- objemová hmotnost sušiny:  $\rho_d = 1664 \text{ kg/m}^3$  a
- vlhkost po umístění distančního bloku: nebyla zatím specifikována.

### 3.7.1 Hlavní výplň

Hlavní výplň bude provedena z bentonitových tvárnic  $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$ . Objemová hmotnost bude zvolena tak, aby byla i v prostoru dosažena požadovaná průměrná  $\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$ .

Tvárnice budou předem sestaveny a ukládány po vrstvách. Systém rozdělení vrstvy na jednotlivé tvárnice a výška vrstvy bude předmětem další optimalizace.

### 3.7.2 Výplň technologických mezer

Technologické mezery jsou nutné z důvodů rozměrových tolerancí vrtu a možnosti bezproblémového zaplnění mezer bez vzniku dutin. Předpokládá se, že velikost (tloušťka) těchto mezer bude 50 mm. Výplň technologické mezery bude provedena z peletizovaného bentonitu (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením) s minimální průměrnou  $\rho_d$  po uložení  $1400 \text{ kg/m}^3$ . Dosáhne se tak požadované průměrné  $\rho_d$  bufferu  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

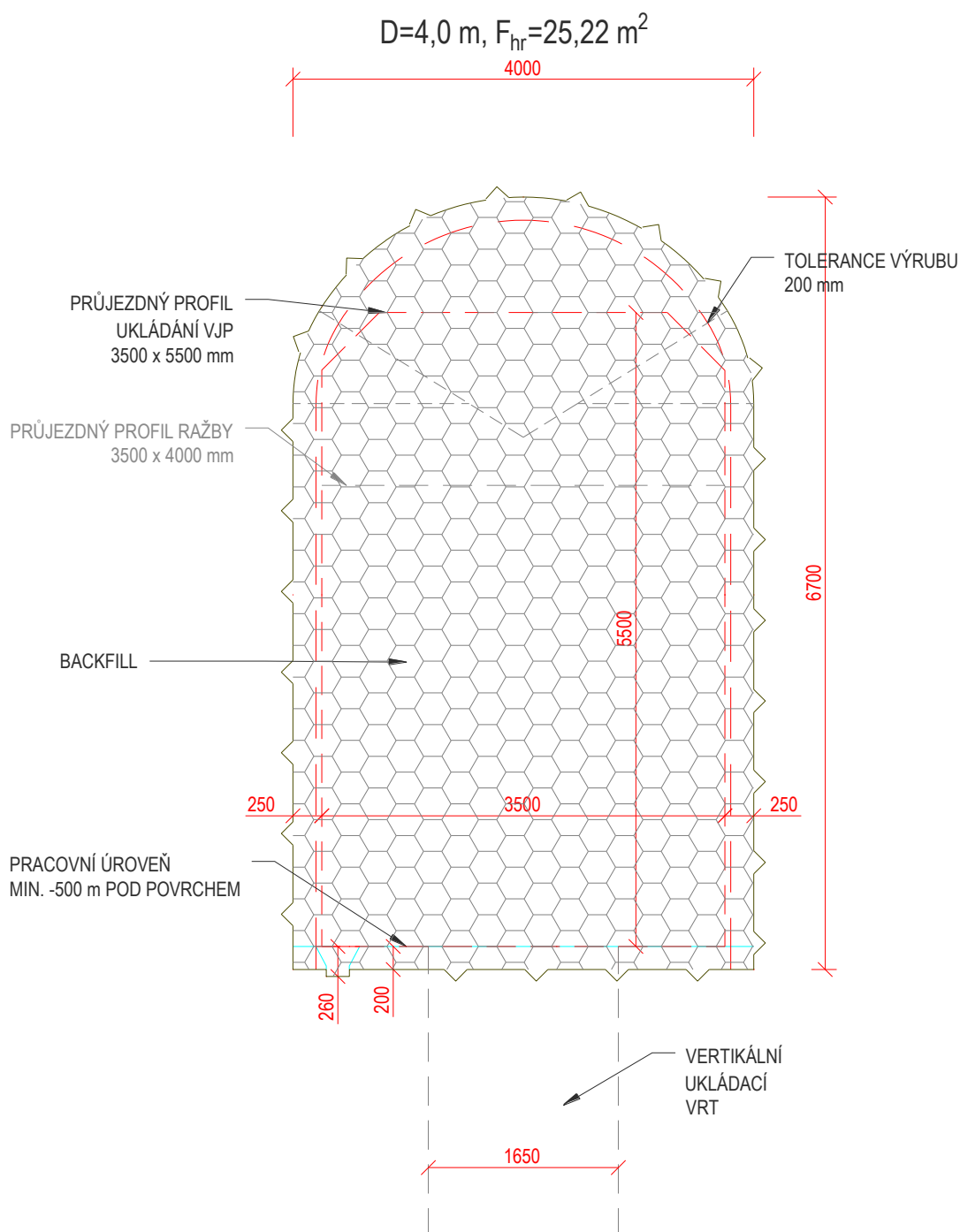
## 3.8 Backfill

Backfill je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem ve formě pelet (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením), umístěná v ukládací chodbě. Backfill musí zajistit, aby nedošlo k nadměrnému posunu materiálu z ukládacího vrtu (dostatečná opora proti bobtnání bufferu, resp. distančního bloku z vrtu do chodby). Dále musí zajistit, aby byl minimalizován transport vody a radionuklidů ukládací chodbou. Zároveň však musí umožnit odvod plynu z bufferu bez porušení funkce backfillu. Obecně lze konstatovat, že na backfill jsou kladeny obdobné obecné nároky jako na buffer.

Návrhové parametry backfillu (viz Obr. 12) vychází především z dlouhodobých vědecko-výzkumných prací na českých bentonitech, které jsou popsány v SÚRAO zprávě TZ 309/2018 (Hausmannová et al. 2018) a jejich výsledky jsou analyzovány a shrnuty ve zprávě TZ 632/2022 (Šachlová et al. 2022). Backfill byl navržen na základě výsledků těchto analýz a technického projektového řešení HÚ (Grünwald, et al. 2017). Návrh českého koncepčního řešení výplňových komponent je shrnut v SÚRAO zprávě TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022).

Návrhové parametry backfillu:

- průměrná objemová hmotnost sušiny celé bariéry:  $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$ ,
- vlhkost po umístění: hodnota zatím nebyla stanovena,
- forma: pelety (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením) a
- parametry jednotlivých pelet:
  - $\rho_d$ : nad  $2000 \text{ kg/m}^3$
  - vlhkost: zatím nebyla stanovena
  - zrnitost: zatím nebyla stanovena



Obr. 12 Technické řešení backfillu (Svoboda et al. 2022)

### 3.9 Zátka ukládací chodby

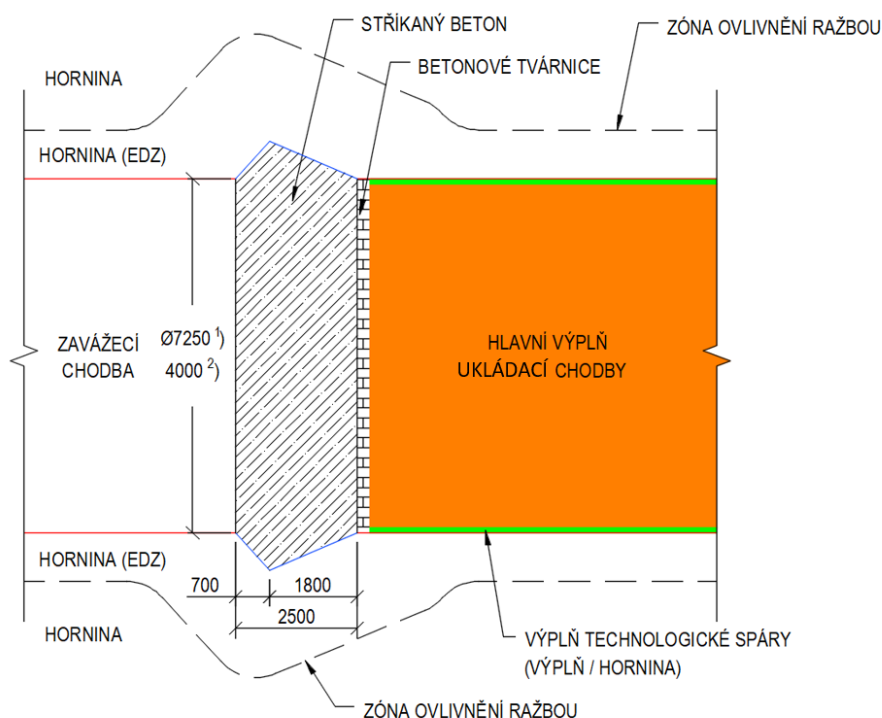
Zátkou ukládací chodby je myšlena inženýrská komponenta – vícevrstvá betonová konstrukce umístěná na ústí zaplněné ukládací chodby, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby. Schéma zátky je znázorněno na Obr. 13.

Návrhové parametry zátky vychází především z potřeb projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2017) a dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková et al., 2013).

Zátka byla předběžně navržena a je popsána ve zprávě TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022), avšak návrh bude nutné ověřit kontrolním statickým výpočtem a zátku navrhnout s ohledem na klíčové dimenzační stavy se zohledněním napjatostních podmínek na ukládacím horizontu, předpokládaných bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování ukládací chodby atd.

#### Návrhové parametry zátky jsou:

- forma: betonové tvárnice (ztracené bednění) a tělo zátky ze stříkaného nebo monolitického betonu (popis vlastností betonu je uveden v SÚRAO TZ 644/2022, Svoboda et al. 2022),
- předběžná tloušťka zátky: 2750 mm (2500 mm tělo zátky a 250 mm ztracené bednění)
- odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku: 7 MPa,
- pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena a
- minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.



Obr. 13 Detail zátky ukládací chodby, místo stříkaného betonu může být monolitický beton (Svoboda et al. 2022)

Vysvětlivky: 1) Průměr ukládací chodby vyražené metodou TBM, 2) Šířka ukládací chodby vyražené konvenčním způsobem

## 4 Ukládací část pro SAO

Středněaktivní odpady nesplňující podmínky přijatelnosti pro uložení do stávajících úložišť budou ukládány v samostatně oddělené podzemní části v rámci komplexu hlubinného úložiště v hloubce několika set metrů pod povrchem/terénem. Odpad bude umístěn v ukládacích komorách ve speciálních obalových souborech, obklopených dalšími inženýrskými bariérami a komponentami. Schéma ukládání je znázorněno na Obr. 14.

V Pospíšková et al. (2011) byl ukládací horizont komor ostatních RAO umístěn na stejné úrovni jako sekce pro ukládání VJP. Protože se předpokládá, že jedním z možných výplňových materiálů je materiál na bázi cementu, bylo toto umístění přehodnoceno, neboť by při předpokládaných objemech výplňového materiálu a relativně malé vzdálenosti od sekcí s uloženým VJP mohlo dojít v dlouhodobém časovém horizontu k negativnímu ovlivnění bentonitu, použitého jako buffer kolem UOS s VJP.

Následně byl ve studiích umístitelnosti HÚ v potenciálních lokalitách (např. Špinka et al. 2018, Bureš et al. 2018) přijat koncept samostatného ukládacího horizontu SAO. Okrajové podmínky byly stanoveny takto:

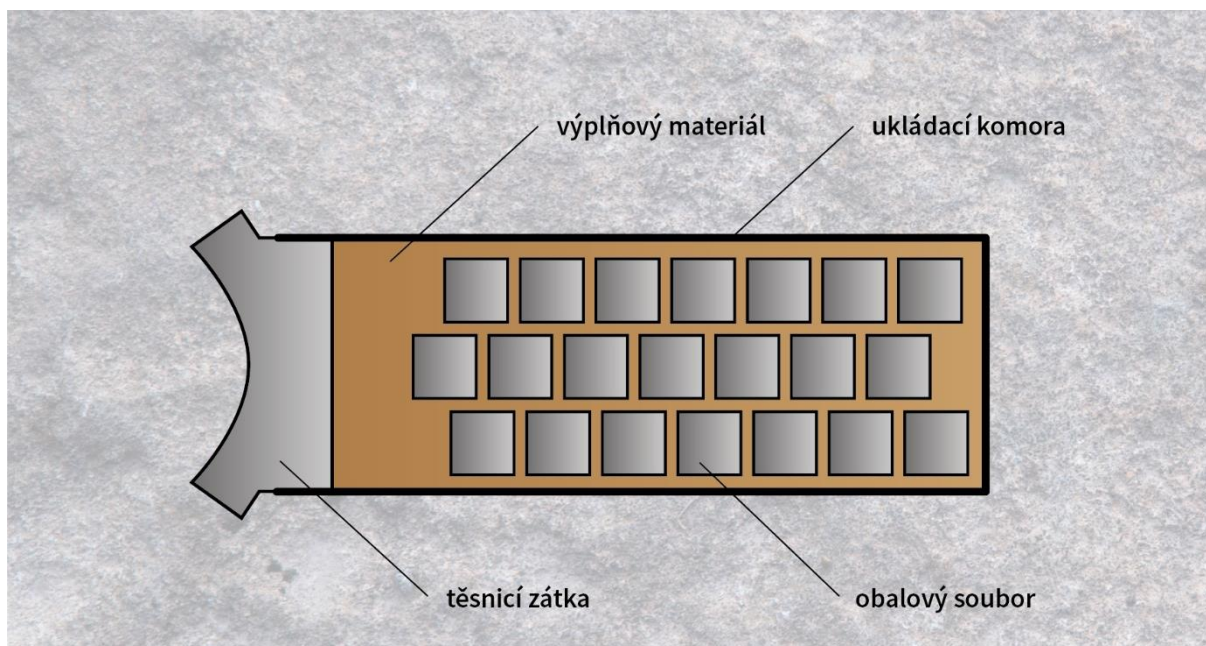
- ukládání SAO v horizontu s nadložím min. 300 m,
- ukládání SAO v horizontu min. 50 m nad horizontem ukládání VJP a
- ukládání SAO v místech, kde je nejdříve dosaženo bezprostřední blízkosti potenciálně využitelných bloků a závazecího tunelu (za současné platnosti výše uvedených podmínek).

V současné době není jednoznačně určeno, kde komory budou nakonec zrealizovány. Rozhodnutí o optimálním umístění komor SAO musí zohlednit:

- geologické podmínky na lokalitě,
- ukládaný inventář (majoritní radionuklidy, jejich vlastnosti včetně radiotoxicity),
- formu SAO (materiál RAO a použitá/nepoužitá matrice) a
- vlastnosti výplňového materiálu v komoře SAO (použitý materiál a jeho kompatibilita s ostatními prvky HÚ, včetně OS).

Základní technické parametry pro ukládací část pro SAO v HÚ jsou:

- časový rámec pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti bude záviset na řešení HÚ v rámci konkrétní lokality. Pro SAO se neuvažuje delší časový horizont než pro sekci VJP/VAO (tj. do 1 000 000 let od uzavření HÚ),
- hloubka umístění: úložiště SAO musí být umístěno v dostatečné hloubce pod povrchem tak, aby byla zajištěna potřebná izolace jak od povrchu a biosféry, tak od části úložiště VJP/VAO a
- minimální potřebná plocha pro umístění úložiště SAO je 5,3 ha (Grünwald et al. 2017).



Obr. 14 Schéma ukládání ostatních SAO do ukládacích komor

## 4.1 Ukládací komora pro SAO

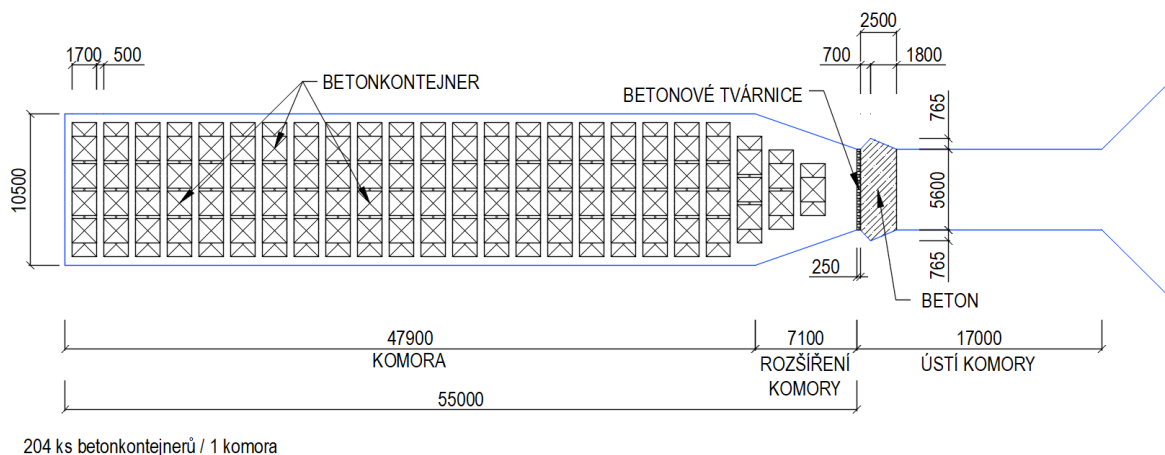
Ukládací komorou (viz Obr. 15 a Obr. 16) je myšleno konvenčně ražené dílo situované v podzemní části komplexu hlubinného úložiště, které slouží k uložení obalových souborů se SAO.

Ukládací komory SAO jsou propojeny spojovací chodbou se závězecím tunelem. Ostění komor a spojovacích chodeb je zajištěno stříkaným betonem vyztuženým kari sítí, kde je to nutné. Počva je zarovnána vrstvou prostého betonu.

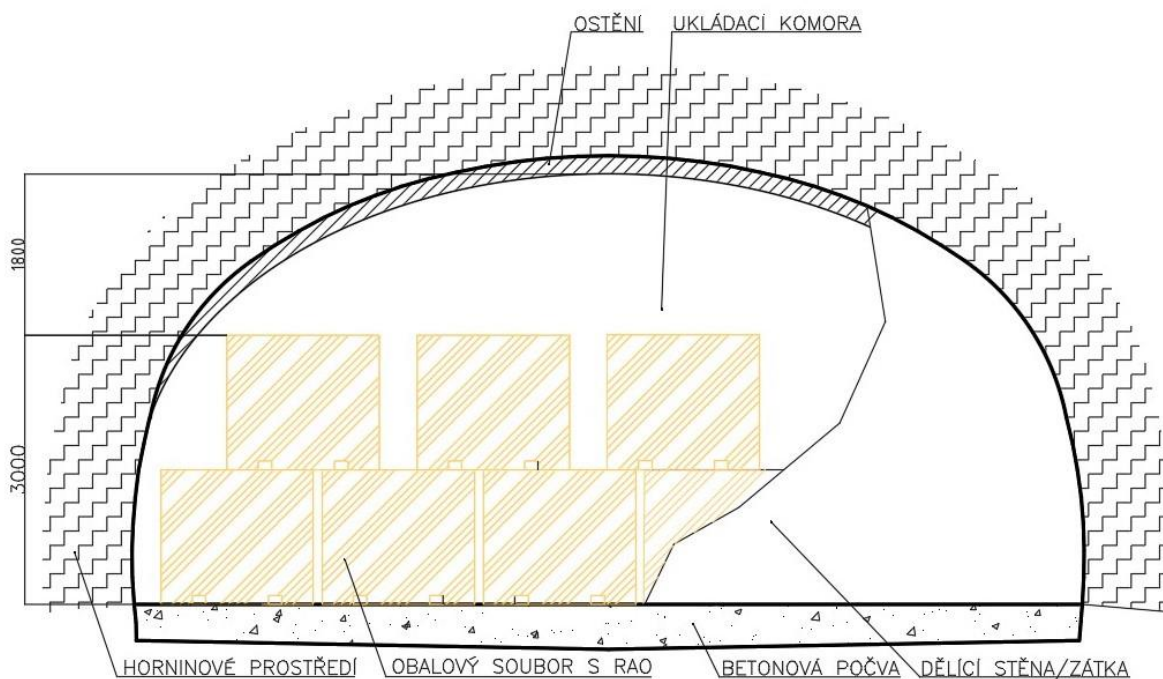
Návrhové parametry ukládací komory vychází z technického řešení HÚ a jsou následující (Grünwald et al. 2017):

- délka: 55 000 mm,
- šířka: 10 500 mm,
- výška: 4 800 mm,
- předpokládaný počet OS: 3815 kusů (kapitola 2.1.3),
- předpokládaná rezerva pro stanovení plošného rozsahu ukládacích sekcí je 20 % a
- počet OS v jedné komoře: 204 kusů.

V navazujících etapách přípravy HÚ se předpokládá optimalizace ukládacích komor pro SAO.



Obr. 15 Ukládací komora SAO – půdorys (Svoboda et al. 2022)

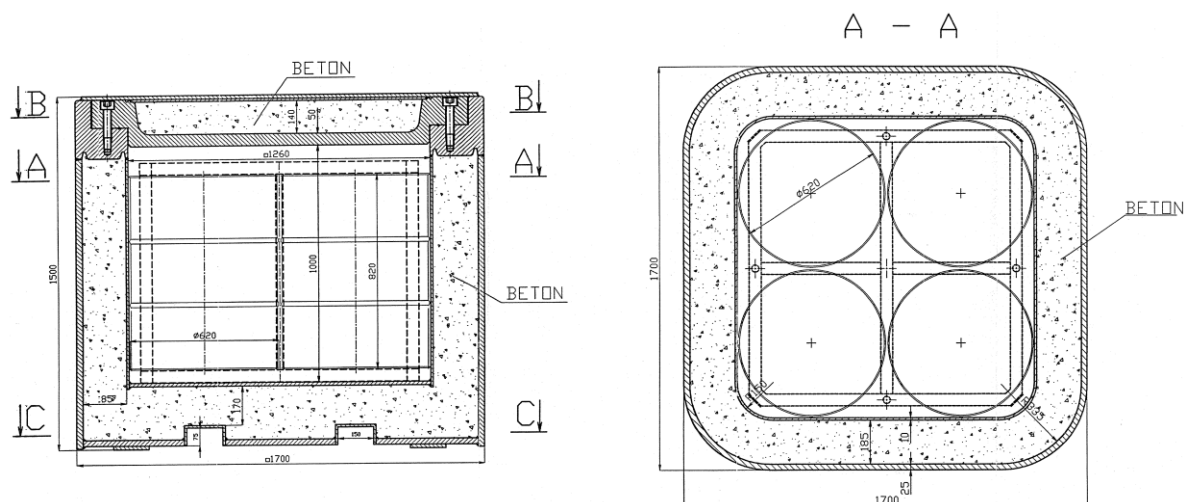


Obr. 16 Ukládací komora SAO – příčný řez (Svoboda et al. 2022)

## 4.2 Obalové soubory pro SAO

První technické řešení a návrh obalového souboru pro SAO vycházelo z Referenčního projektu 1999 (Holub et al. 1999). Takzvaný betonkontejner (viz Obr. 17) byl navržen z vnějšího a vnitřního pláště z ocelových plechů tloušťky 10 mm se zavařeným vnitřním a vnějším dnem o tloušťce 15 mm. V horní části jsou tyto pláště přivařeny k hornímu přírubovému prstenci. Prostor mezi vnitřním a vnějším pláštěm je vyplněn betonem. OS bude zakryt přišroubovaným víkem, které je odlito ze stejné oceli jako přírubový prstenec. Ve spodním dnu jsou vytvořeny obdélníkové podélné otvory, které slouží k překládání obalového souboru v chodbách HÚ. Povrch betonkontejneru je opatřen ZnAl nástřikem. Tento typ OS byl

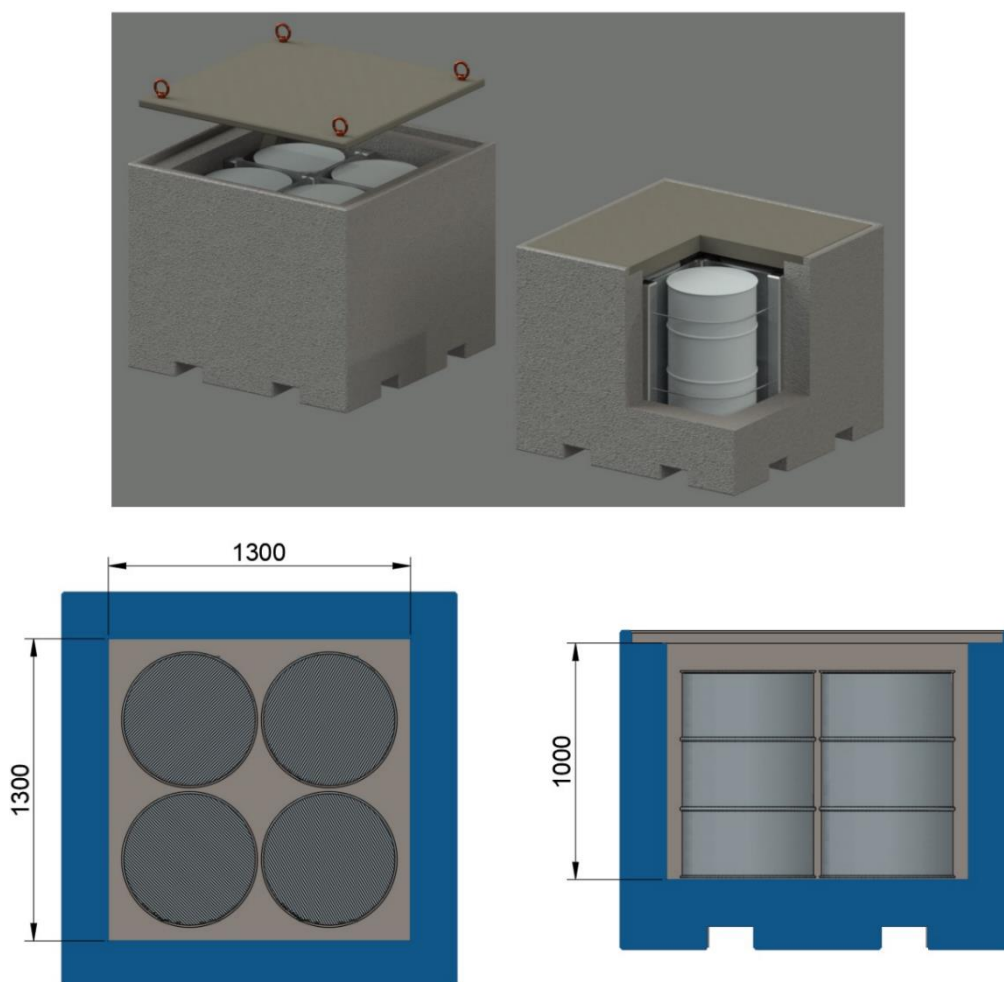
použit pro výpočet množství inventáře SAO, kde se počet kusů OS v HÚ uvažuje na 3815 (viz kapitola 2.1.3).



Obr. 17 Návrh betonkontejneru a umístění 4 sudů s RAO

Aktualizovaný návrh vychází ze SÚRAO zprávy TZ657/2022 (Pospíšková et al. 2022). Vzhledem k variabilitě SAO byly navrženy různé tvary OS pro různé typy SAO. Pro institucionální RAO nesplňující LaP pro stávající ÚRAO byly navrženy obalové soubory pro 4 ks, příp. 2 ks sudů (Pospíšková et al. 2022). Obalový soubor je ve tvaru kvádra a umožňuje umístění 4 ks ocelových sudů o objemu 216 l (viz Obr. 18). Ocelový sud má průměr 595 mm a výšku 880 mm. Vnější rozměr obalového souboru je daný tloušťkou stěny. Ta bude určena na základě pevnostních výpočtů (splnění požadavků na mechanickou pevnost) a požadované životnosti (degradace obalového souboru a ztráty bezpečnostní funkce).

- OS pro 4 sudy 216 l, základní vnitřní rozměr 1,3 x 1,3 x 1,0 m (š x d x v)
- může být navržen ve variantě pro 2 sudy
- vnitřní objem 1,69 m<sup>3</sup>
- výplň vnitřního prostoru OS cementová směs
- na víku OS umístěné závěsné šrouby (4 ks) pro možnost manipulace s víkem OS
- manipulace s celým OS pomocí VZV, ve spodní části umístěné drážky pro vidlici VZV

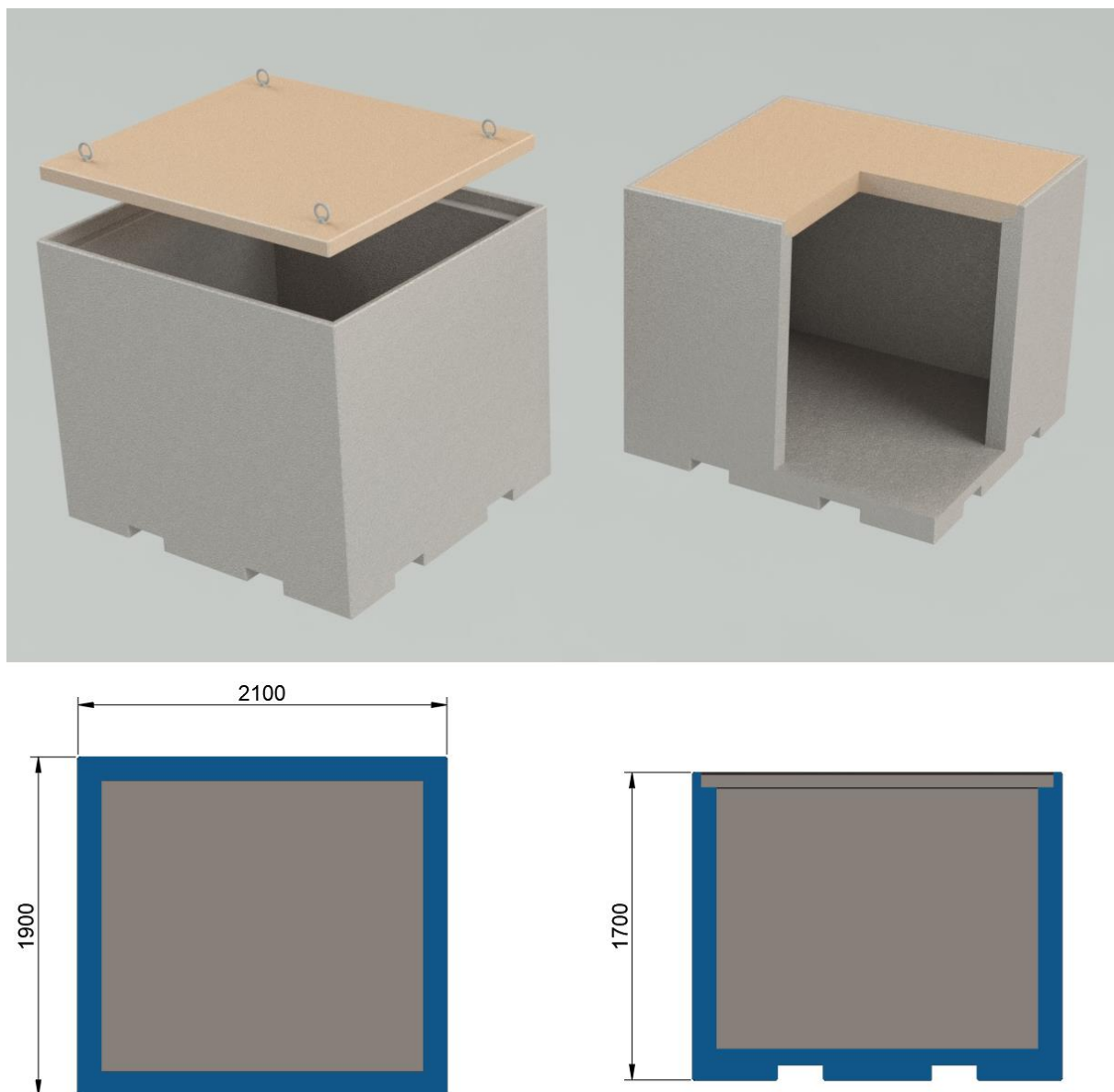


Obr. 18 Konceptní řešení obalového souboru pro 4 sudy RAO (Pospíšková et al. 2022)

Pro kusové RAO různých velikostí byly na základě analýzy, provedené v Pospíšková et al. (2022) doporučené OS (viz Obr. 19) maximální vnější rozměry OS 2,4 x 2,2 x 2,0 m (š x d x h), hmotnost naplněného OS cca 10 t. Tloušťka stěny bude určena na základě pevnostních výpočtů (splnění požadavků na mechanickou pevnost) a požadované životnosti (degradace obalového souboru a ztráta bezpečnostní funkce).

Prozatímními návrhovými parametry pro obalové soubory jsou:

- celkový objem 10,56 m<sup>3</sup>,
- výplň vnitřního prostoru OS dle uloženého RAO,
- délka: 1700 mm,
- šířka: 1700 mm,
- výška: 1500 mm a
- hmotnost: hodnota zatím nebyla stanovena.



Obr. 19 Konceptní řešení obalového souboru pro kusový RAO, největší varianta

### 4.3 Výplňový materiál komory

Výplňový materiál komory je určen k závěrečnému vyplnění komory před jejím uzavřením. Forma materiálu musí být taková, aby byla zajištěna dlouhodobá stabilizace obalových souborů.

V SÚRAO zprávě TZ 657/2022 (Pospíšková et al. 2022) byla zpracována rešerše přístupu ostatních zemí k ukládání SAO. Jedním z výstupů provedené rešerše bylo, že pro RAO obsahující dlouhodobé radionuklidy jsou výplňové materiály založeny převážně na bázi cementu, rovněž se využívá bentonit, drcená hornina nebo směs těchto materiálů. V návaznosti na tuto rešerši byly specifikovány dvě varianty, podle použitého materiálu – bentonitová a cementová výplň. Detaily ohledně těchto dvou variant, možností jejich aplikace a umístění jsou uvedeny ve SÚRAO zprávě TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022).

Návrhové parametry výplňového materiálu komor zatím nebyly stanoveny.

## 4.4 Zátka ukládací komory

Zátkou ukládací komory je myšlena inženýrská komponenta – betonová konstrukce, umístěná na ústí zaplněné ukládací komory, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby. Koncept vychází ze zátky ukládací chodby (viz kapitola 3.9), s tím že je odlišná geometrie dle rozměrů chodby, které jsou

- výška chodby 5 400 mm a
- šířka chodby: 5 600 mm.

Návrh geometrie zátky ukládací komory bude nutno ověřit kontrolním statickým výpočtem a zátku navrhnout s ohledem na klíčové dimenzační stavy se zohledněním napjatostních podmínek na ukládacím horizontu, předpokládaných bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování komory atd.

Návrhové parametry těsnicí zátky jsou:

- forma: betonové tvárnice (ztracené bednění) a tělo zátky ze stříkaného nebo monolitického betonu (popis vlastností je uveden v SURAO TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022),
- odolnost vůči případnému bobtnacímu tlaku výplňového materiálu a hydrostatickému tlaku: 7 MPa,
- pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena a
- minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.

V návaznosti na optimalizaci ukládacích komor a materiálu pro stabilizaci OS bude současně optimalizována konstrukce uzavíracích zátek komor pro SAO.

## 5 Uzavírání úložiště

Uzavírání HÚ je závěrečným technologickým krokem procesu nakládání s RAO při jeho uložení. Při této činnosti jsou veškeré volné prostory hlubinného úložiště ve fázi uzavírání vyplněny výplňovým materiálem, který úložiště finálně uzavře a zajistí jeho dlouhodobou izolaci od biosféry. Další nedílnou komponentou při uzavírání jsou zátky.

### 5.1 Výplně při uzavírání

Návrhové parametry těsnicího materiálu pro uzavírání vychází především z projektového řešení HÚ a jsou definovány v závislosti na svém umístění a hloubce (ukládací horizont/střední horizont/povrch) v hlubinném úložišti (viz Tab. 12).

Tab. 12 – Rozdělení uzavírání do sekcí dle hloubky s příslušnými parametry

Hloubka	Ukládací horizont - 500 m	Střední horizont -200 až -500 m	Povrch – přípovrch do -200 m
<b>Objemová hmotnost sušiny</b>	Shodná s backfillem	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena
<b>Koeficient propustnosti</b>	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena
<b>Forma</b>	Bentonit	Bentonit/kamenivo	Kamenivo

#### 5.1.1 Výplň prostor na ukládacím horizontu

Tato komponenta je tvořena bentonitem, umístěná v páteřních chodbách a technickém zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny) na ukládacím horizontu. Technicky a technologicky je shodná s backfillem (viz kapitola 3.8) (Svoboda et al. 2022).

Návrhové parametry backfillu jsou:

- průměrná objemová hmotnost sušiny celé bariéry: 1400 kg/m<sup>3</sup>,
- vlhkost po umístění: zatím nebyla stanovena,
- forma: pelety (směs granulovaného bentonitu s určitým zrnitostním složením),
- parametry pelet:
  - $\rho_d$ : nad 2000 kg/m<sup>3</sup>,
  - vlhkost: hodnota zatím nebyla stanovena a
  - zrnitost: zatím nebyla stanovena.

#### 5.1.2 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka)

Výplň zavážecího a odtěžovacího tunelu v horizontu - 500 až - 200 m je technicky a technologicky obdobná s backfillem (viz kapitola 3.8). Rozdílem je možnost využití směsi bentonitu s kamenivem jako výplňového materiálu, která umožňuje redukci ceny a úpravu hydraulických a ostatních charakteristik tak, aby se přiblížily okolnímu prostředí. (Svoboda et al. 2022).

Návrhové parametry zatím nebyly stanoveny.

### 5.1.3 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch)

Výplň zavážecího a odtěžovacího tunelu v horizontu - 200 m až povrch je plánována z kameniva. (Svoboda et al. 2022)

Návrhové parametry zatím nebyly stanoveny.

## 5.2 Zátky pro uzavírání

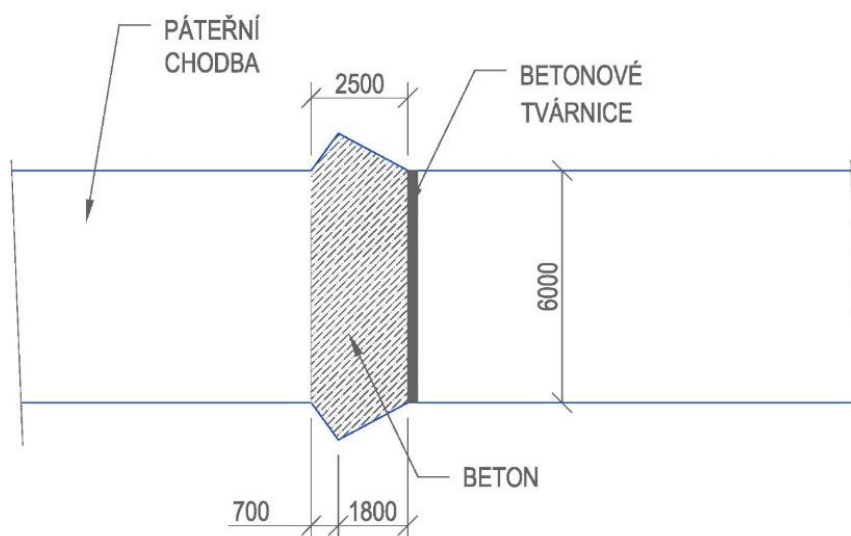
Při uzavírání úložiště budou instalovány i zátka, které budou mít různou funkci dle jejich umístění:

- zátka na ukládacím horizontu (kapitola 5.2.1),
- tlaková a těsnicí zátka (kapitola 5.2.2) a
- uzavírací zátka (kapitola 5.2.3).

### 5.2.1 Zátka na ukládacím horizontu

V současnosti není konstrukční řešení pro zátka podrobně zpracováno. V SÚRAO zprávě TZ 134/2017 (Grünwald et al. 2018) bylo uvažováno, že zátka bude zaklíněna do horniny v podobě prstence kolem celé chodby. Schéma uvažované geometrie zátky pro mechanizovaně nebo konvenčně ražené páteřní chodby s ohledem na její největší šířku bez ohledu na způsob ukládání dokumentuje Obr. 20.

V budoucnu bude nutno návrh uvažované geometrie zátky ověřit statickým výpočtem a zátka navrhnout s ohledem na klíčové dimenzační stavy se zohledněním napjatostních podmínek na ukládacím horizontu, předpokládaných bobtnacích tlaků působících na zátka, provozní stavy při zaplňování chodeb a kaveren technického zázemí podzemní části HÚ atd.



Obr. 20 Výkres provozní zátky páteřní chodby na ukládacím horizontu (Grünwald et al. 2018)

Návrhové parametry zátky jsou shodné se zátkou ukládacích chodeb (viz kapitola 3.9):

- forma: betonové tvárnice (ztracené bednění) a tělo zátky ze stříkaného nebo monolitického betonu (popis vlastností je uveden v SÚRAO TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022),
- tloušťka zátky: 2750 mm (2500 mm tělo zátky a 250 mm ztracené bednění),
- odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku: 7 MPa,
- pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena a
- minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.

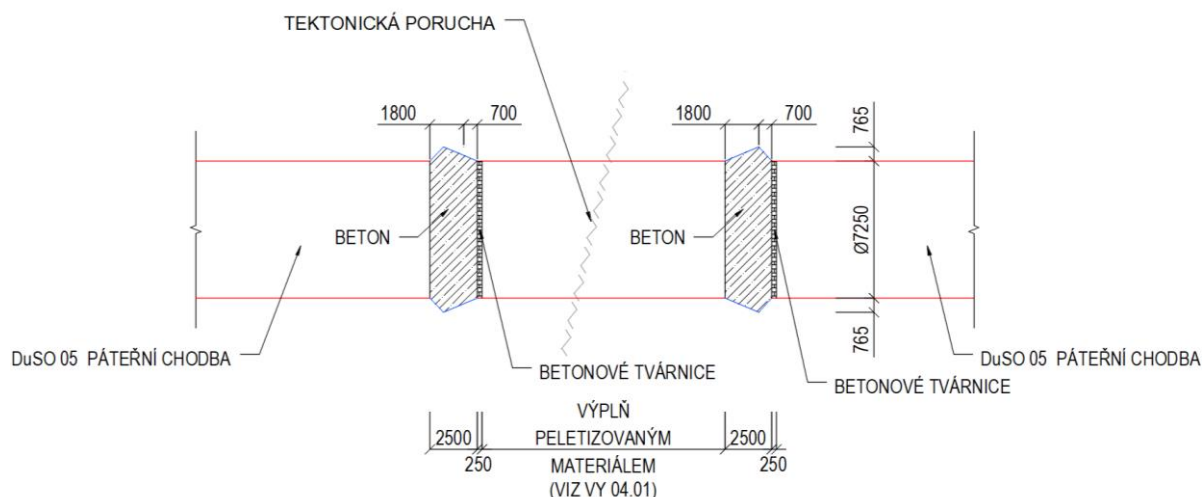
### 5.2.2 Zátka tlaková a těsnicí

Tlaková a těsnicí zátka bude v hlubinném úložišti využita v místech, kde bude klasifikováno místo v horninovém masivu, které bude nutné hydraulicky oddělit, jedná se například o tektonické poruchy.

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2018) nebylo konstrukční řešení této komponenty a technologie její výstavby podrobně zpracováno. Podle realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková et al. 2014) lze blíže specifikovat, že se bude jednat o vícevrstvou konstrukci, které se skládá jak z vnějších betonových částí kónického tvaru, které jsou zaklíněny do horniny v podobě prstence kolem celého tunelu / páteřní chodby, tak vnitřního těsnicího prvku z bentonitového materiálu, umístěného v místě zvodnělého úseku (tektonické poruchy).

Návrh geometrie tlakových a těsnicích zátek (TZ 644/2022, Svoboda et al. 2022) bude nutno ověřit kontrolním statickým výpočtem a zátky navrhnout s ohledem na klíčové dimenzační stavy se zohledněním napjatostních podmínek, předpokládaných bobtnacích tlaků působících na zátky, provozní stavy při zaplňování tunelu / páteřní chodby atd.

Pro ilustraci skladby zátky je znázorněno schéma tlakové a těsnicí zátky páteřní chodby vyražené metodou TBM (viz Obr. 21).



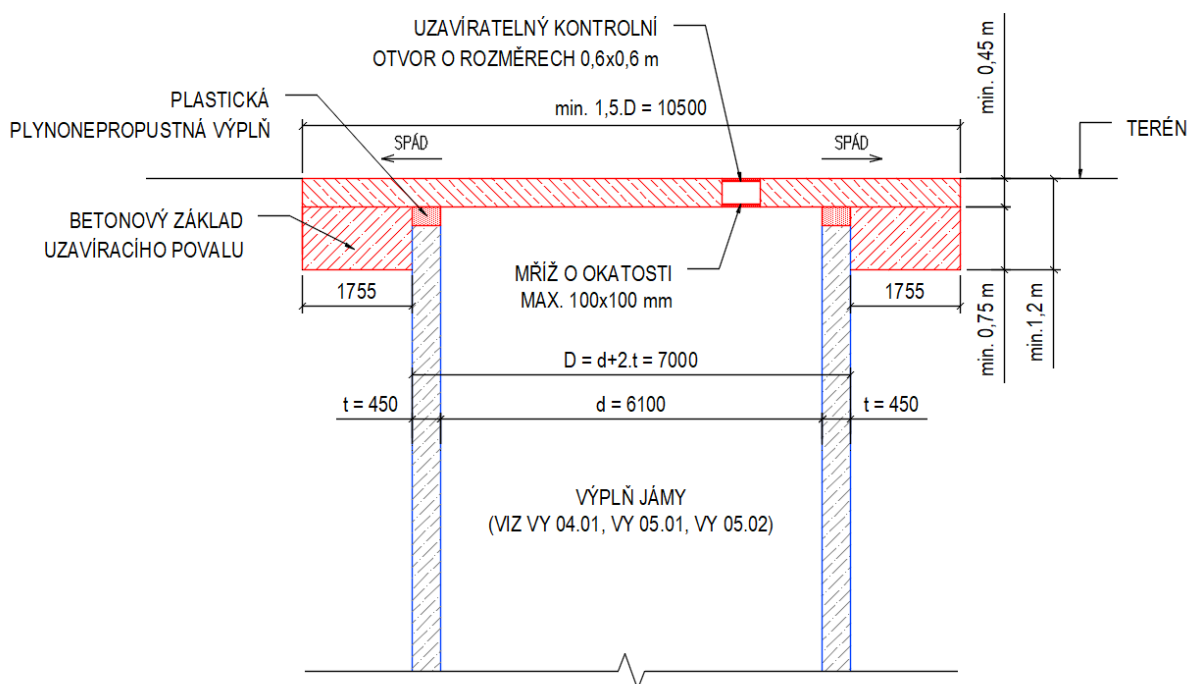
Obr. 21 Výkres tlakové a těsnící zátky páteřní chodby vyražené metodou TBM (Svoboda et al. 2022)

### 5.2.3 Zátka uzavírací

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2018) sice nebylo podrobné konstrukční řešení této komponenty a technologie její výstavby zpracováno, ale likvidace hlavních důlních děl se řídí v současné době vyhláškou ČBÚ č. 52/1997 Sb.

Podle § 2, písm. a) vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb. se uzavíracím ohlubňovým povalem rozumí železobetonová nebo ocelobetonová deska vybudovaná na ohlubni (ústí) jámy a dimenzovaná na předpokládané zatížení.

Popis uzavírací zátky odtěžovacího a zavážecího tunelu je obecně uveden v SÚRAO TZ 644/2022 (Svoboda et al. 2022). Výkres uzavíracího ohlubňového povalu vtažné jámy, vypracovaného podle vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 dokumentuje Obr. 22.



Obr. 22 Výkres uzavíracího ohlubňového povalu vtažné jámy (Svoboda et al. 2022)

Je třeba zmínit, že platná výše zmíněná vyhláška stanovuje požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí. Způsob a zásady likvidace těchto důlních děl ovšem nemusí splňovat požadavky na tyto prvky z hlediska jejich dlouhodobé bezpečnosti po uzavření HÚ. V současné době nejsou požadavky na bezpečnostní funkci této komponenty HÚ blíže definovány.

## 6 Závěr

Projekt hlubinného úložiště se neustále vyvíjí a postupně zpřesňuje podle informací, které jsou k dispozici. Tento dokument je stručným popisem technického řešení hlubinného úložiště v ČR k roku 2025. Jeho důležitou součástí jsou základní návrhové parametry hlubinného úložiště pro vybraný způsob konvenční ražby a vertikální způsob ukládání VJP.

V následujících fázích vývoje HÚ bude dokument pravidelně aktualizován o nově získaná a ověřená data, která budou implementována do všech prací souvisejících s výzkumem a vývojem hlubinného úložiště v České republice.

## 7 Reference

- CZUDEK T. (2005) VÝVOJ RELIÉFU KRAJINY ČESKÉ REPUBLIKY V KVARTÉRU. MORAVSKÉ ZEMSKÉ MUZEUM, BRNO. 238 s.
- DĚDEČEK P., UXA T. A HOLEČEK J. (2020) GEOTERMICKÉ ZHODNOCENÍ POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HÚ NA ZÁKLADĚ DOSTUPNÝCH ÚDAJŮ. GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AKADEMIE VĚD ČR, ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. PRAHA: SÚRAO, 53 s., TZ 486/2020.
- DOHNÁLKOVÁ M., VONDROVIC L., HAUSMANNOVÁ L., (2022a): Technické řešení hlubinného úložiště 2022. - MS SÚRAO, TZ 580/2022, Praha.
- DOHNÁLKOVÁ M., VONDROVIC L., HAUSMANNOVÁ L., (2022b): Technické řešení hlubinného úložiště 2022. - MS SÚRAO, TZ 580/2022\_rev.1, Praha.
- DVOŘÁKOVÁ M., HANUSOVÁ I., SVOBODA J., VENCL M. (2014): Experiment EPSP – stavba zátky pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu v rámci Evropského projektu Dopas. Tunel 23 (2), 4-10.
- BUTOVIČ A., GRÜNWARD L., BUREŠ P., POŘÍZEK J., ŠPINKA O., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020): Studie umístitelnosti – aktualizace. Horka, ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ. - MS SÚRAO, TZ 512/2020, Praha.
- FEJT F. (2024): Aktualizace inventáře vyhořelého jaderného paliva pro ukládání do hlubinného úložiště, MS SÚRAO ZZ 782/2024.
- FIEDLER, F. A KOL. (2012) Lokalita Čihadlo - Lodhěřov. Ověření plošné a prostorové lokalizace hlubinného úložiště.
- FORMAN L., PICEK M. DOBREV D., GONDOLLI J., MENDOZA MIRANDA A.N., STRAKA M., KOUŘIL M., STOULIL J., MATAL O., ČERMÁK J., KRÁL L., ŽALOUDEK J., VÁVRA M., ČUPR M. (2021): ZÁVĚREČNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA VÝZKUMNÁ ČÁST PROJEKTU Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stadia realizace vzorku, Praha, ZZ 544/2021 (Rev.01)
- GOUDIE A. S. (2006) ENCYCLOPEDIA OF GEOMORPHOLOGY, VOLUME 1 A-I. ROUTLEDGE LTD, LONDON, NEW YORK. 1156 s.
- GRÜNWARD, L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., BITTNAR Z., ZAHRADNÍK O. (2017): Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Společnost "ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ". – MS SÚRAO, TZ 134/2017, Praha.
- HASAL M., MICHALEC Z., BLAHETA R. (2019): PROVEDENÍ PŘEDBĚŽNÉHO VÝPOČTU TLAKU NA UOS - ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA. – MS SÚRAO, TZ 388/2019, PRAHA.
- HAUSMANNOVÁ L., HANUSOVÁ I., DOHNÁLKOVÁ M. (2018): Shrnutí výzkumu českých bentonitů pro hlubinné úložiště – do roku 2018. - MS SÚRAO, TZ 309/2018, Praha.
- HAUSMANNOVÁ L., DOHNÁLKOVÁ M., MATUŠKOVÁ E., LAHODOVÁ Z., VRBA T. A AUGUSTA J. (2023): Technické řešení hlubinného úložiště 2023. - MS SÚRAO, TZ 711/2023, Praha.
- HAVLOVÁ, V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., BAIER J., ŘÍHA J. A ČERVINKA, R. (2018a) HODNOCENÍ VHODNOSTI LOKALITY PRO UMÍSTĚNÍ ÚLOŽIŠTĚ VJP A RAO Z HLEDISKA

- DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI - LOKALITA BŘEZOVÝ POTOK. ÚJV ŘEŽ, A.S., ČGS, PROGEO, S.R.O., TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, ÚGN AV ČR, CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY FSV ČVUT, FJFI ČVUT, MASARYKOVA UNIVERZITA, VŠCHT V PRAZE. PRAHA: SÚRAO, 118 s., TZ 276/2018.
- HAVLOVÁ, V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., UHLÍK J., ŘÍHA J. A ČERVINKA, R. (2018b) HODNOCENÍ VHODNOSTI LOKALITY PRO UMÍSTĚNÍ ÚLOŽIŠTĚ VJP A RAO Z HLEDISKA DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI - LOKALITA HORKA. ÚJV ŘEŽ, A.S., ČGS, PROGEO, S.R.O., TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, ÚGN AV ČR, CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY FSV ČVUT, FJFI ČVUT, MASARYKOVA UNIVERZITA, VŠCHT V PRAZE. PRAHA: SÚRAO, 118 s., TZ 280/2018.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., BUKOVSKÁ Z., BAIER J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., ŘÍHA J. A ČERVINKA R. (2018c) HODNOCENÍ VHODNOSTI LOKALITY PRO UMÍSTĚNÍ ÚLOŽIŠTĚ VJP A RAO Z HLEDISKA DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI - LOKALITA HRÁDEK. ÚJV ŘEŽ, A.S., ČGS, PROGEO, S.R.O., TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, ÚGN AV ČR, CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY FSV ČVUT, FJFI ČVUT, MASARYKOVA UNIVERZITA, VŠCHT V PRAZE. PRAHA: SÚRAO, 124 s., TZ 281/2018.
- HAVLOVÁ V., PERTOLDOVÁ J., HROCH T., ŠTĚDRÁ V., JANKOVEC J., ŘÍHA J. A ČERVINKA R. (2018d) HODNOCENÍ VHODNOSTI LOKALITY PRO UMÍSTĚNÍ ÚLOŽIŠTĚ VJP A RAO Z HLEDISKA DLOUHODOBÉ BEZPEČNOSTI - LOKALITA TEMELÍN-JIH (ETE-J). ÚJV ŘEŽ, A.S., ČGS, PROGEO, S.R.O., TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, ÚGN AV ČR, CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY FSV ČVUT. PRAHA: SÚRAO, 115 s., TZ 284/2018.
- HOFMANOVÁ E., ČERVINKA R., VOPÁLKA D., BABOROVÁ L., BRÁZDA L., PECKOVÁ A., VETEŠNÍK A., VIGLAŠOVÁ E., VAŠÍČEK R. (2019): TRANSPORT RADIONUKLIDŮ Z ÚLOŽIŠTĚ / VSTUPNÍ PARAMETRY A PROCESNÍ MODELY PRO HODNOCENÍ TRANSPORTU RADIONUKLIDŮ PŘES INŽENÝRSKÉ BARIÉRY: ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA. – MS SÚRAO ZZ 420/2019, PRAHA.
- HOLUB, J. A KOL., REFERENČNÍ PROJEKT POVRCHOVÝCH I PODZEMNÍCH SYSTÉMŮ HŮ V HOSTITELSKÉM PROSTŘEDÍ GRANITOVÝCH HORNIN V DOHODNUTÉ SKLADBĚ ÚVODNÍHO PROJEKTU A HLOUBCE PROJEKTOVÉ STUDIE, PRAHA: EGP INVEST, SPOL S R. O., 1999.
- HROCH, T., PAČES, T., HOŠEK, J., NÝVL, D., ŠEBESTA, J. A HEJTMÁNKOVÁ, P. (2015) EROZNÍ STABILITA ÚZEMÍ. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. PRAHA: SÚRAO, 56 s., TZ 25/2015.
- 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. SSR-14, MAAE, VIENNA, 2011
- IKONNEN A., SAANIO T., KOSKINEN L., KEMPPAINEN K. (2023), Preconceptual designs assessment, MS SURAO, TZ 692/2023.
- KOBYLKA, D. (2019): Optimalizace vzájemné vzdálenosti UOS, Závěrečná zpráva, MS SURAO, TZ 135/2017.
- KRÁSNÝ J., CÍSLEROVÁ M., ČURDA S., DATEL J. V., DVOŘÁK J., GRMELA A., HRKAL Z., KRÍŽ H., MARSZALEK H., ŠANTRŮČEK J. A ŠILAR J. (2012) PODZEMNÍ VODY ČESKÉ REPUBLIKY. REGIONÁLNÍ HYDROGEOLOGIE PROSTÝCH A MINERÁLNÍCH VOD. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, ČGS. 1144 s.

- M. MATULOVÁ, L. HAUSMANNOVÁ, J. MALINA A L. ŠATURA (2023) Ukládací obalový soubor pro VJP v České republice, MS SURAO TZ 791/2024, Praha
- MATULOVÁ M. A LAHODOVÁ Z. (2024): Obalové soubory pro radioaktivní odpad (kromě VJP) určený k uložení do HÚ. MS SURAO TZ 791/2024, Praha.
- NÝVLT D., & DOBROVOLNÝ P. (2015) KLIMATICKÁ STABILITA ÚZEMÍ. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. PRAHA: SÚRAO, 53 s., TZ 22/2015.
- PODLAHA J. A TRTÍLEK R. (2023): Aktualizace databáze vysokoaktivního odpadu / středněaktivního odpadu určených pro ukládání do hlubinného úložiště – MS SURAO TZ 676/2023, Praha.
- PODLAHA J. (2024a): Aktualizace inventáře vysokoaktivního odpadu / středněaktivního odpadu určených pro ukládání do hlubinného úložiště, Závěrečná zpráva – MS SURAO ZZ 783/2024, Praha.
- PODLAHA J. A FEJT F.(2024b): Varianty vývoje jaderné energetiky s ohledem na vyhořelé jaderné palivo, vysokoaktivní odpad / středněaktivní odpad ukládaný do hlubinného úložiště – MS SURAO TZ 769/2024, Praha.
- POSIVA Safety Case – soubor mnoha zpráv, které jsou publikovány v databázi <https://www.posiva.fi/en/index/media/reports.html> (filtrovat pomocí „Safety Case“)
- POSPÍŠKOVÁ I. ET AL. (2009): Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě – I. etapa – Analýza vstupních předpokladů řešení. ÚJV Řež a.s. – divize ENERGOPROJEKT PRAHA.
- POSPÍŠKOVÁ, I. ET AL. (2011): AKTUALIZACE REFERENČNÍHO PROJEKTU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ V HYPOTETICKÉ LOKALITĚ, PRAHA: ÚJV ŘEŽ A. S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT.
- POSPÍŠKOVÁ I., KRAJŇÁK M., VOZÁR M. (2022): Výběr a zdůvodnění možných typů obalových souborů pro syntézu úložného systému v České republice – MS SURAO TZ 657/2022, Praha
- RATAJ J., FRÝBORT J., HERALTOVÁ L., FEJT F. (2015): REŠERŠNÍ SLOŽENÍ A GEOMETRIE ANALYZOVANÝCH PALIVOVÝCH SOUBORŮ. - MS SÚRAO, TZ 7/2015, PRAHA.
- SKB DESIGN AND PRODUCTION OF THE KBS-3 REPOSITORY. SKB TR 10-12. SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB, 2010.
- SVOBODA, J, ŠTÁSTKA, J., VAŠÍČEK, R., ŠPINKA, O., BUREŠ, P., POSPÍŠKOVÁ, I., VOZÁR, M., KRAJŇÁK, M., ŠACHLOVÁ, Š., VEČERNÍK, P., ZUNA M., HAVLOVÁ, V., STIBLÍKOVÁ, P., ČERNÁ, K., HLAVÁČKOVÁ, V. (2023), Návrh českého koncepčního řešení bufferu, backfillu, zátek, výplní komor ostatních RAO, ostatních výplní a konstrukčních prvků, TZ 644/2022rev.1, SÚRAO, Praha.
- ŠPINKA O., BUTOVIČ A., BUREŠ P., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020): STUDIE UMÍSTITELNOSTI – AKTUALIZACE. HRÁDEK. ČVUT-SATRA-MOTT MAC DONALD CZ, MS SÚRAO, TZ 513/2020 ŠPINKA O., BUTOVIČ A., BUREŠ P., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020): Studie umístitelnosti – aktualizace Březový potok. ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ. - MS SÚRAO, TZ 514/2020, Praha.

TOUŠ M., HAVLOVÁ V., ČUBOVÁ K. (2018): INVENTARIZACE RAO NEPŘIJATELNÝCH DO PŘÍPOVRCHOVÝCH ÚLOŽIŠŤ. – MS SÚRAO ZZ 230/2018, SÚRAO, PRAHA.

TVEL [online] (2022): ЭНЕРГИЯ РОСТА - ENERGIYA ROSTA. [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.tvel.ru/upload/iblock/3ff/3ff2896a9172663b99d2a71ff5a57d3e.pdf>

VEČERNÍK P., SVOBODA J., STIBLÍKOVÁ P., POSPÍŠKOVÁ I., ŠPINKA O., DOBREV D., HAVLOVÁ V., ZUNA M., VAŠÍČEK, R., ČERNÁ K., HLAVÁČKOVÁ V., VOZÁR M., BUTOVIČ A. (2022): Zhodnocení konstrukčních prvků z hlediska vzájemných interakcí s materiály na bázi bentonitu v úrovni ukládacího horizontu – TZ 616/2022, SÚRAO, Praha.

VOKÁL A., POSPÍŠKOVÁ I., VONDROVIC L., KOVÁČIK M., STEINEROVÁ L. (2017): POŽADAVKY, INDIKÁTORY VHODNOSTI A KRITÉRIA VÝBĚRU LOKALIT PRO UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠŤ. METODICKÝ POKYN SÚRAO MP 22. – SÚRAO, PRAHA, VER. 3.

VONDROVIC L., AUGUSTA J., VOKÁL A., HAVLOVÁ V., KONOPÁČOVÁ K., LAHODOVÁ Z., POPELOVÁ E., URÍK J., BUKOVSKÁ Z., BUTOVIČ A., FRANĚK J., HROCH T., JELÍNEK J., KOBYLKA D., KRAJÍČEK L., MILICKÝ M., MIXA P., PERTOLDOVÁ J., SKOŘEPA Z., ŠTĚDRÁ V., ŠVAGERA J., UHLÍK J., ZAHRADNÍK O., ELIÁŠ M. A PROCHÁZKOVÁ P. (2019) METODIKA ZÚŽENÍ POČTU LOKALIT PRO HLUBINNÉ ÚLOŽIŠŤE V ČR V LETECH 2019-2020. SÚRAO, ÚJV ŘEŽ, A.S., ČGS, PROGEO, S.R.O., ČVUT, MOTT MACDONALD, SATRA SPOL. S R.O., ATELIER T-PLAN, S. R.O., VALBEK CZ. PRAHA: SÚRAO, 82 s., TZ 423/2019.

VOZÁR M., MINÁRIKOVÁ V., BIŽA K., MLÁDEK P., ŠPINKA O., POSPÍŠKOVÁ I., KRIVDA M., ŠŤÁSTKA J., FIEDLER F., BUTOVIČ A., BUREŠ P., NOHEJL J., KUKLA P., VOKÁL A., LEŠKO M., KRAJNÁK M., VYVADIL J., ZAHRADNÍK O., ZVOLSKÝ M., VEVERKA A., SVOBODA J. (2023): Aktualizace harmonogramu životního cyklu hlubinného úložiště v souvislosti s přijetím podmínek Taxonomie. - MS SÚRAO, TZ 756/2024, Praha.

VRBA, T., LAHODOVÁ Z., LUKIN, D., MIKLÁŠ, O., POPELOVÁ, E. (2023): Časové rámce bezpečnostních rozboru hlubinného úložiště, Správa úložišť radioaktivních odpadů, TZ 710/2023.

ZAHRADNÍK O, PÖPPERLE J, MAKÁSEK P, HABARTA D, BUTOVIČ A, GRÜN WALD L, BUREŠ P, ŠPINKA O, MARTINČÍK J, KOBYLKA D (2020A): Studie umístitelnosti – aktualizace, Na Skalním, ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ. - MS SÚRAO, TZ 519/2020, Praha.

ZAHRADNÍK O, PÖPPERLE J, MAKÁSEK P, BUTOVIČ A, GRÜN WALD L, BUREŠ P, ŠPINKA O, MARTINČÍK J, KOBYLKA D (2020B): Studie umístitelnosti – aktualizace, Janoch, ČVUT-SATRA-Mott MacDonald CZ. - MS SÚRAO, TZ 518/2020, Praha.

WESTINGHOUSE NUCLEAR [online] (2022): VVER-1000 Fuel Products. In: . [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: [https://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/flysheets/VVER-1000\\_181121.pdf](https://www.westinghousenuclear.com/Portals/0/flysheets/VVER-1000_181121.pdf)

## **Zákony a směrnice:**

Vyhláška č. 378/2016 Sb., (SÚJB, 2016 b), o umístění jaderného zařízení.

Aktualizace státní energetické koncepce (ASEK) České republiky, předložený schůzi vlády ČR dne 22. prosince 2014.

Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice schválená 26. srpna usnesením vlády České republiky č. 597/2019.

Zákon č. 263/2016 Sb., o mírovém využívání jaderné energie (Atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška Českého báňského úřadu ze dne 25. února 1997, kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl.





**SÚRAO**

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ  
RADIOAKTIVNÍCH  
ODPADŮ

NAŠE  
BEZPEČNÁ  
BUDOUCNOST

[www.surao.cz](http://www.surao.cz)