

Návrh českého koncepčního
řešení bufferu, backfillu, zátek,
výplní komor ostatních RAO,
ostatních výplní a
konstrukčních prvků

Autoři: Jiří Svoboda (a kol.)

Praha, 2023

NÁZEV ZPRÁVY: Návrh českého koncepčního řešení bufferu, backfillu, zátek, výplní komor ostatních RAO, ostatních výplní a konstrukčních prvků

NÁZEV PROJEKTU: Výplně a ostatní inženýrské komponenty HÚ

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU: Závěrečná zpráva Dílčího úkolu 5

ČÍSLO SMLOUVY: SO 2020-092

AUTORSKÝ KOLEKTIV: Svoboda J.¹, Štáštka J.¹, Vašíček R.¹, Špínka, O.², Bureš P.², Pospíšková I.³, Vozár M.³, Krajňák M.³, Šachlová Š.⁴, Večerník P.⁴, Zuna M.⁴, Havlová V.⁴, Stiblíková P.⁵, Černá K.⁵, Hlaváčková V.⁵

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební¹, SATRA, spol. s r. o.², AFRY CZ s.r.o.³, ÚJV Řež, a.s.⁴, Technická univerzita Liberec⁵

(Horní Indexy u jmen autorů odkazují na výčet institucí výše)

BIBLIOGRAFICKÝ ZÁPIS: SVOBODA, J., ŠTÁŠTKA, J., VAŠÍČEK, R., ŠPÍNKA, 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.

Lucie Hausmannová

Manažer projektu (SÚRAO)

Datum

Jiří Svoboda

Manažer projektu (ČVUT)

Datum

Obsah

1	Úvod	14
1.1	Technické zadání	14
1.2	Struktura zprávy	14
2	Popis HÚ a rozdělení na stavební objekty	15
3	Materiály pro komponenty	20
3.1	Bentonit	20
3.2	Beton	31
3.2.1	Monolitický beton	32
3.2.2	Stříkaný beton	34
3.2.3	Prefabrikáty	35
3.3	Kamenivo	36
4	Předpoklady řešení komponent	38
4.1	Návrhová hlediska	38
4.2	Jednotkové ceny použité pro ocenění komponent	39
4.3	Postup v případě nevyhovujících podmínek pro komponentu (sanace poruchy)	40
5	Řešení jednotlivých komponent	41
5.1	VY 01.01 Výplň ukládacího vrtu - horizontální ukládací vrt průměru 2.2 m	45
5.1.1	Karta komponenty	45
5.1.2	Požadavky na komponentu	46
5.1.3	Předpoklady návrhu komponenty	49
5.1.4	Popis komponenty	49
5.1.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ	51
5.1.6	Podmínky použitelnosti	51
5.1.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	51
5.1.8	Technologie výroby/přípravy	54
5.1.9	Technologie instalace/výstavby	54
5.1.10	Odhad jednotkové ceny	55
5.2	VY 01.02 Výplň ukládacího vrtu - horizontální ukládací vrt průměru 1.7 m	58
5.2.1	Karta komponenty	58
5.2.2	Požadavky na komponentu	58
5.2.3	Předpoklady návrhu komponenty	59
5.2.4	Popis komponenty	59
5.2.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ	60

5.2.6	Podmínky použitelnosti	60
5.2.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	60
5.2.8	Technologie výroby/přípravy	62
5.2.9	Technologie instalace/výstavby	63
5.2.10	Odhad jednotkové ceny.....	64
5.3	VY 01.03 Výplň ukládacího vrtu (buffer) - vertikální ukládací vrt.....	66
5.3.1	Karta komponenty	66
5.3.2	Požadavky na komponentu	66
5.3.3	Předpoklady návrhu komponenty	68
5.3.4	Popis komponenty.....	68
5.3.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	71
5.3.6	Podmínky použitelnosti	71
5.3.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	71
5.3.8	Technologie výroby/přípravy	73
5.3.9	Technologie instalace/výstavby	73
5.3.10	Odhad jednotkové ceny.....	74
VY 02.01	Výplň zavážecí chodby.....	75
5.3.11	Karta komponenty	75
5.3.12	Požadavky na komponentu	75
5.3.13	Předpoklady návrhu komponenty	76
5.3.14	Popis komponenty.....	76
5.3.15	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	79
5.3.16	Podmínky použitelnosti	80
5.3.17	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	80
5.3.18	Technologie výroby/přípravy	80
5.3.19	Technologie instalace/výstavby	80
5.3.20	Odhad jednotkové ceny.....	80
5.4	VY 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku.....	82
5.4.1	Karta komponenty	82
5.4.2	Požadavky na komponentu	83
5.4.3	Předpoklady návrhu komponenty	84
5.4.4	Popis komponenty.....	85
5.4.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	86
5.4.6	Podmínky použitelnosti	86
5.4.7	Dílčí komponenty (geometrie, požadovaný materiál a vlastnosti)	87

5.4.8	Technologie výroby/přípravy	88
5.4.9	Technologie instalace/výstavby	89
5.4.10	Odhad jednotkové ceny.....	90
5.5	VY 03.02 Výplň RAO komory – zaplnění po částech	92
5.5.1	Karta komponenty	92
5.5.2	Požadavky na komponentu	93
5.5.3	Předpoklady návrhu komponenty	93
5.5.4	Popis komponenty.....	93
5.5.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	93
5.5.6	Podmínky použitelnosti	93
5.5.7	Dílčí komponenty (geometrie, požadovaný materiál a vlastnosti)	94
5.5.8	Technologie výroby/přípravy	94
5.5.9	Technologie instalace/výstavby.....	95
5.5.10	Odhad jednotkové ceny.....	96
5.6	VY 04.01 Výplň prostor na ukládacím horizontu	97
5.6.1	Karta komponenty	97
5.6.2	Požadavky na komponentu	97
5.6.3	Předpoklady návrhu komponenty	97
5.6.4	Popis komponenty.....	97
5.6.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	98
5.6.6	Podmínky použitelnosti	98
5.6.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	98
5.6.8	Technologie výroby/přípravy	98
5.6.9	Technologie instalace/výstavby.....	98
5.6.10	Odhad jednotkové ceny.....	98
5.7	VY 05.01 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka).....	102
5.7.1	Karta komponenty	102
5.7.2	Požadavky na komponentu	102
5.7.3	Předpoklady návrhu komponenty	102
5.7.4	Popis komponenty.....	102
5.7.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	103
5.7.6	Podmínky použitelnosti	103
5.7.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	103
5.7.8	Technologie výroby/přípravy	103
5.7.9	Technologie instalace/výstavby.....	103

5.7.10	Odhad jednotkové ceny.....	103
5.8	VY 05.02 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch).....	105
5.8.1	Karta komponenty.....	105
5.8.2	Požadavky na komponentu.....	105
5.8.3	Předpoklady návrhu komponenty.....	106
5.8.4	Popis komponenty.....	106
5.8.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	106
5.8.6	Podmínky použitelnosti.....	107
5.8.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty.....	107
5.8.8	Technologie výroby/přípravy.....	107
5.8.9	Technologie instalace/výstavby.....	107
5.8.10	Odhad jednotkové ceny.....	107
5.9	VY 06.01 Zátka - Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu.....	109
5.9.1	Karta komponenty.....	109
5.9.2	Požadavky na komponentu.....	110
5.9.3	Předpoklady návrhu komponenty.....	110
5.9.4	Popis komponenty.....	111
5.9.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	112
5.9.6	Podmínky použitelnosti.....	112
5.9.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty.....	112
5.9.8	Technologie výroby/přípravy.....	113
5.9.9	Technologie instalace/výstavby.....	114
5.9.10	Odhad jednotkové ceny.....	114
5.10	VY 06.02 Zátka - Provozní zátka zavážecí chodby.....	116
5.10.1	Karta komponenty.....	116
5.10.2	Požadavky na komponentu.....	117
5.10.3	Předpoklady návrhu komponenty.....	117
5.10.4	Popis komponenty.....	117
5.10.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	119
5.10.6	Podmínky použitelnosti.....	120
5.10.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty.....	120
5.10.8	Technologie výroby/přípravy.....	120
5.10.9	Technologie instalace/výstavby.....	120
5.10.10	Odhad jednotkové ceny.....	120
5.11	VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO.....	122

5.11.1	Karta komponenty	122
5.11.2	Požadavky na komponentu	123
5.11.3	Předpoklady návrhu komponenty	123
5.11.4	Popis komponenty.....	123
5.11.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	124
5.11.6	Podmínky použitelnosti	124
5.11.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	124
5.11.8	Technologie výroby/přípravy	124
5.11.9	Technologie instalace/výstavby.....	124
5.11.10	Odhad jednotkové ceny.....	124
5.12	VY 06.04 Zátka - Provozní zátka na ukládacím horizontu	126
5.12.1	Karta komponenty	126
5.12.2	Požadavky na komponentu	127
5.12.3	Předpoklady návrhu komponenty	127
5.12.4	Popis komponenty.....	127
5.12.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	128
5.12.6	Podmínky použitelnosti	128
5.12.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	128
5.12.8	Technologie výroby/přípravy	128
5.12.9	Technologie instalace/výstavby.....	128
5.12.10	Odhad jednotkové ceny.....	128
5.13	VY 06.05 Zátka – Tlaková a těsnicí zátka (oddělení místa s přítoky/poruchou)	131
5.13.1	Karta komponenty	131
5.13.2	Požadavky na komponentu	132
5.13.3	Předpoklady návrhu komponenty	132
5.13.4	Popis komponenty.....	132
5.13.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	133
5.13.6	Podmínky použitelnosti	133
5.13.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	133
5.13.8	Technologie výroby/přípravy	133
5.13.9	Technologie instalace/výstavby.....	133
5.13.10	Odhad jednotkové ceny.....	134
5.14	VY 06.06 Zátka - Uzavírací zátka HÚ (úpadní tunely, vtažná jáma)	135
5.14.1	Karta komponenty	135
5.14.2	Požadavky na komponentu	136

5.14.3	Předpoklady návrhu komponenty	136
5.14.4	Popis komponenty.....	136
5.14.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	137
5.14.6	Podmínky použitelnosti	138
5.14.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	138
5.14.8	Technologie výroby/přípravy	138
5.14.9	Technologie instalace/výstavby.....	138
5.14.10	Odhad jednotkové ceny.....	139
5.15	VY 07 Ostatní konstrukční prvky	140
5.15.1	Karta komponenty	140
5.15.2	Požadavky na komponentu	140
5.15.3	Předpoklady návrhu komponenty	143
5.15.4	Popis komponenty.....	143
5.15.5	Umístění/místa použitelnosti v HÚ.....	146
5.15.6	Podmínky použitelnosti	147
5.15.7	Subvarianty a jejich dílčí komponenty	149
5.15.8	Technologie výroby/přípravy	152
5.15.9	Technologie instalace/výstavby.....	154
5.15.10	Odhad jednotkové ceny.....	155
6	Závěr	159

Seznam příloh

Příloha 1 (elektronická) - Odhad jednotkových cen komponent

Seznam použitých zkratek

$\pm L$	interval spolehlivosti Studentova rozdělení na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.
AVG	průměr
BCV	bentonit Černý vrch dodaný na SURAO v roce 2017
c	měrná tepelná kapacita
CEC	kationtová výměnná kapacita
CEC_sum	suma vyměnitelných kationtů
Ctot	celkový obsah uhlíku
d	průměr
DuSO	důlní stavební objekt
h	výška
HB	horninový blok
HÚ	hlubinné úložiště
JE	jaderná elektrárna
LOI	ztráta žíháním
LPM	low pH mortar (malta se sníženým pH)
LPC	low pH concrete (beton se sníženým pH)
MB	mikrobiální
MP	metodický pokyn
MSV	Multi Service Vehicle (víceúčelové zásobovací vozidlo)
NA	neanalyzováno
NJZ	nový jaderný zdroj
NRTM	Nová rakouská tunelovací metoda
OS	obalový soubor
OTSKP	Oborový třídění stavebních konstrukcí a prací
PP	polypropylén
RAO	radioaktivní odpad
resp.	respektive
RN	radionuklid
RPHÚ	referenční projekt hlubinného úložiště
SI	swell index
SSA_EGME	celkový specifický povrch
Stot	celkový obsah síry
SUM	suma
TBM	Tunnel Boring Machines (plnoprofilové razící stroje)
TZ	technická zpráva
UOS	ukládací obalový soubor
ÚRAO	úložiště radioaktivních odpadů
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VVER	vodo-vodní energetický reaktor
ŽB	železobeton
w	vlhkost (váhová)
ρ_d	objemová hmotnost sušiny
λ	koeficient tepelné vodivosti

Vysvětlení pojmů

Backfill

Inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v zavázeční chodbě.

Bentonit

Bentonit je reziduální, nepřemístěná, jílovitá hornina, vznikající mechanickým a chemickým zvětráváním mateční horniny (v alkalickém prostředí), především sopečných tufů a tufitů, v menší míře i andezitů, ryolitů, čedičů a jiných převážně třetihorních hornin. Bentonit má vysoký obsah jílových minerálů, mezi které patří především montmorillonit, který je nositelem charakteristických vlastností bentonitu – velké sorpční schopnosti, tj. vysoká schopnosti výměny kationtů, bobtnání, vysoká plasticita a velmi nízká propustnost. Dalšími významnými složkami bentonitu jsou beidelit, kaolinit a illit.

Bezpečnostní funkce

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

Beton

Stavební materiál vytvořený smícháním cementu, drobného a hrubého kameniva, vody a eventuálních příměsí a přísad, které zlepšují jeho vlastnosti.

Buffer

Buffer je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS.

Distanční blok

Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená kompaktovaným bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako Buffer, umístěná v ukládacím vrtu k zajištění požadované vzdálenosti mezi jednotlivými UOS (H – systém) nebo oddělení Bufferu od Backfillu a stabilizaci jeho polohy (V – systém).

Obalový soubor

Obalový soubor určený pro uložení ostatních RAO (do těchto RAO není zahrnuto VJP).

Objemová hmotnost sušiny (ρ_d)

Objemová hmotnost sušiny je poměr hmotnosti pevné fáze a celkového objemu vzorku.

Stavební objekt

Stavební objekt je prostorově ucelená nebo technicky samostatná část HÚ, která plní vymezenou, účelovou funkci.

Ukládací obalový soubor

Obalový soubor určený k uložení VJP.

Abstrakt

Tato zpráva je závěrečnou zprávou Dílčího úkolu 5 (DÚ05) zakázky SÚRAO „Výplně a ostatní inženýrské komponenty HÚ“.

Zpráva obsahuje návrh českého koncepčního řešení bufferu, backfillu, zátek, výplní komor ostatních RAO, ostatních výplní a konstrukčních prvků.

Popis koncepčního řešení je organizován dle jednotlivých komponent navrženého řešení. Každá komponenta je nejprve stručně přestavena a dále pak detailně popsána – je popsána její geometrie, použité materiály, umístění a použitelnost v úložišti, postup její přípravy a výstavby. V případě, že řešení má více variant jsou tyto varianty popsány. Součástí popisu komponent je také odhad ceny každé komponenty (v jednotkových cenách).

Klíčová slova

Hlubinné úložiště, konstrukční prvky, chemie, mineralogie, mechanika, mikrobiologie, provozní bezpečnost, dlouhodobá bezpečnost, bentonit, beton, zátka, buffer, backfill, výplně.

Abstract

This is the final report of Subtask 05 (DÚ05) of the SÚRAO contract “Buffer, backfill and other engineering components of the DGR”.

Report presents conceptual design of buffer, backfill of emplacement tunnels, plugs, backfill of RAW chambers, other backfills and construction elements.

Conceptual design consists of distinct components. Overview of each component is described in brief at first followed by detailed description (geometry, material specification, location, intended usage, terms of usage, technology and procedure for preparation and construction). Variants are presented where applicable. The cost estimate in unit prices is provided for each component.

Keywords

Deep geological repository, DGR components, chemistry, mineralogy, microbiology, operation safety, long term safety, bentonite, concrete, plug, buffer, backfill.

1 Úvod

Tato zpráva představuje koncepční návrh výplní a dalších inženýrských komponent. Návrh navazuje na předchozí projektová řešení (TZ 134/2017, Grünwald et al., 2018) a využívá předchozích výstupů projektu Výplně (TZ 616/2022, Večerník et al., 2022).

Při návrhu bylo zohledněno: bezpečnostní hledisko, technické hledisko, ekonomické hledisko a současná legislativa.

Toto je první verze návrhu, která slouží jako jeden ze vstupů do bezpečnostního výpočtu, teplotních výpočtů, projektové a R&D přípravy HÚ. Na základě výstupů posouzení konceptu se předpokládá jeho pravidelná aktualizace.

1.1 Technické zadání

Technické zadání zakázky uvádí: *Cílem tohoto úkolu je návrh základního technického řešení bufferu, backfillu, zátek, výplní komor ostatních RAO, výplní zbylých podzemních prostor a konstrukčních prvků pro české HÚ a také případné alternativy. Tento základní a případný alternativní návrh musí obsahovat:*

- *Popis celé bariéry/prvku – geometrie, způsob umístění a popis vlastností relevantních pro hlubinné úložiště*
- *Materiál – typ bentonitu/betonu/směsi apod. s popisem jeho vlastností relevantních pro hlubinné úložiště (např. obsah smektitu, obsah akcesorických minerálů atd.)*
- *Komponenty, ze kterých se bude bariéra skládat a popis jejich stavu (rozměry, vlhkost a objemová hmotnost sušiny) a vlastností relevantních pro hlubinné úložiště (např. hydraulická vodivost, bobtnací tlak, tepelná vodivost atd.)*
- *Základní popis technologie pro výrobu a umístění bariéry či jednotlivých komponent*
- *Odhad ceny všech komponent*

Výstup: zpráva (česky a anglicky)

1.2 Struktura zprávy

Zpráva je členěna do následujících hlavních kapitol:

- Nejprve je ve druhé kapitole stručně představena objektová skladba podzemní části HÚ a základní přiřazení výplňových komponent.
- Ve třetí kapitole jsou popsány materiály a jejich vlastnosti, které jsou uvažovány pro komponenty koncepčního řešení.
- Ve čtvrté kapitole jsou popsány předpoklady návrhu koncepčního řešení
- V páté kapitole je pak vlastní řešení jednotlivých komponent koncepčního řešení. U každé komponenty je nejprve uveden stručný přehled, který je následován detailním popisem a oceněním. Výpočet ocenění komponent je v elektronické příloze.

2 Popis HÚ a rozdělení na stavební objekty

HÚ slouží k trvalému uložení VJP a RAO nepřijatelných do stávajících přípovrchových úložišť a zahrnuje jak podzemní, tak povrchový areál. Zatímco povrchová část HÚ zajišťuje hlavně příjem a přípravu VJP a ostatního RAO k uložení, tak podzemní část HÚ slouží především jak k jejich dopravě na místo uložení, tak i vlastnímu ukládání.

Ukládací prostory a nezbytné přístupové chodby jsou realizovány ve stanovených potenciálně využitelných horninových blocích. Technické zázemí podzemní části hlubinného úložiště je optimálně umísťováno poblíž těchto bloků. Ukládací prostory se nacházejí v minimální hloubce 500 m pod povrchem terénu. Podzemní část HÚ je variantně řešena ve dvou dispozičních variantách dle ukládací koncepce pro:

- **horizontální ukládání VJP;**
- **vertikální ukládání VJP.**

Tyto varianty jsou dále rozděleny na další subvarianty dle koncepce preferovaných způsobů ražeb jednotlivých důlních stavebních objektů.

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

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

Projektové řešení pro každý způsob ukládání počítá s dvěma preferovanými způsoby rozpojování hornin. Tímto vznikly 4 varianty dispozičního řešení podzemního areálu HÚ, jak je patrné z výkresových příloh situací podzemní části HÚ (Butovič et al., 2020; Špínka et al., 2020a, 2020b; Zahradník et al., 2020).

Koncepce způsobu ukládání UOS s VJP má přímý vliv na velikost a uspořádání HÚ. Horizontální ukládání má jiné prostorové nároky na velikost a charakter ukládacích prostor oproti vertikálnímu ukládání.

Podzemní část hlubinného úložiště je dle (Butovič et al., 2020; Špínka et al., 2020a, 2020b; Zahradník et al., 2020) podrobněji rozdělena do jednotlivých stavebních objektů uvedených v Tab. 1.

Tab. 1 Využití komponent koncepčního řešení v důlních stavebních objektech HÚ

Č. OBJEKTU	NÁZEV OBJEKTU	KOMPONENTA ¹
DuSO 01	ODTĚŽOVACÍ TUNEL	VY 04 Výplň prostor na ukládacím horizontu, VY 05 Výplň prostor nad ukládacím horizontem,
DuSO 02	ZAVÁŽECÍ TUNEL	
DuSO 03	VTAŽNÁ JÁMA	VY 06.05 Zátka – Tlaková a těsnicí zátka (oddělení místa s přítoky/poruchou), VY 07* Ostatní konstrukční prvky
DuSO 04	PŘÍPRAVA RAO A VJP	VY 05 Výplň prostor nad ukládacím horizontem, VY 06.06 Zátka - Uzavírací zátka HÚ (úpadní tunely, vtažná jáma), VY 07* Ostatní konstrukční prvky
DuSO 05	PÁTEŘNÍ CHODBY	VY 04 Výplň prostor na ukládacím horizontu, VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO, VY 07* Ostatní konstrukční prvky
DuSO 06	SPOJOVACÍ CHODBY ÚSEKU RAŽBY	
DuSO 07	SPOJOVACÍ CHODBY ÚSEKU UKLÁDÁNÍ	
DuSO 08	ZAVÁŽECÍ CHODBY	VY 02 Výplň zavážecí chodby, VY 06.02 Zátka - Provozní zátka zavážecí chodby
DuSO 09	UKLÁDACÍ VRTY	VY 01 Výplň ukládacího vrtu, VY 06.01 Zátka - Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu
DuSO 10	ÚSEK KONTROLY/PŘEKLÁDKY UOS s VJP	VY 03 Výplň komory RAO, VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO, VY 07* Ostatní konstrukční prvky
DuSO 11	UKLÁDACÍ KOMORY RAO	
DuSO 12	KONFIRMAČNÍ LABORATOŘ	VY 04 Výplň prostor na ukládacím horizontu, VY 06.01 Zátka - Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu, VY 06.02 Zátka - Provozní zátka zavážecí chodby, VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO

¹ Komponenty označené * je pro použití v konkrétním místě nutné posoudit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.

Č. OBJEKTU	NÁZEV OBJEKTU	KOMPONENTA ¹
DuSO 13	ČERPACÍ STANICE S JÍMKOU	VY 04, Výplň prostor na ukládacím horizontu, VY 06.04 Zátka - Provozní zátka na ukládacím horizontu, VY 07* Ostatní konstrukční prvky
DuSO 14	ROZVODNA – ÚSEK RAŽBY	
DuSO 15	ROZVODNA – ÚSEK UKLÁDÁNÍ	
DuSO 16	SHROMAŽDIŠTĚ OSOB, STANICE PRVNÍ POMOCI A ZKUŠEBNA	
DuSO 17	DÍLNY PRO OPRAVU A ÚDRŽBU STROJNÍCH MECHANISMŮ	
DuSO 18	SKLAD NÁHRADNÍCH DÍLŮ	
DuSO 19	SKLAD MAZADEL, ÚSEK MYTÍ A ÚDRŽBY	
DuSO 20	SEDIMENTAČNÍ NÁDRŽ	
DuSO 21	SKLAD VÝBUŠNIN	
DuSO 22	POŽÁRNÍ SKLAD	

Hlubinné úložiště je koncipováno jako podzemní dílo, které je budováno v zásadě ve dvou podzemních úrovních – „horizontech“. Toto rozdělení je dáno především funkcí těchto horizontů, ale pro svou členitost a výškové uspořádání nelze hovořit o konkrétní přesné výškové úrovni, kterou horizont představuje.

1) „Povrch terénu“

Tento horizont vymezuje prostor v přípovrchové oblasti, ve kterém se nachází povrchový areál a k němuž přiléhá provozní budova aktivních provozů. V daném horizontu a bezprostřední blízkosti povrchového areálu, v zahloubeném DuSO 04, probíhá příprava VJP a ostatních RAO pro uložení. V tomto objektu se nachází překládací uzel, horká komora a související provozy.

Na povrchu je výškově vymezena relativní výšková úroveň $\pm 0,000$, která udává nejnižší místo poblíž HB. Tato vztažná rovina je směrodatná pro určení minimální výšky nadloží HÚ 500 m a používá se mj. pro relativní vymezení výškové úrovně ukládacího horizontu.

2) „Ukládací horizont ostatních RAO“

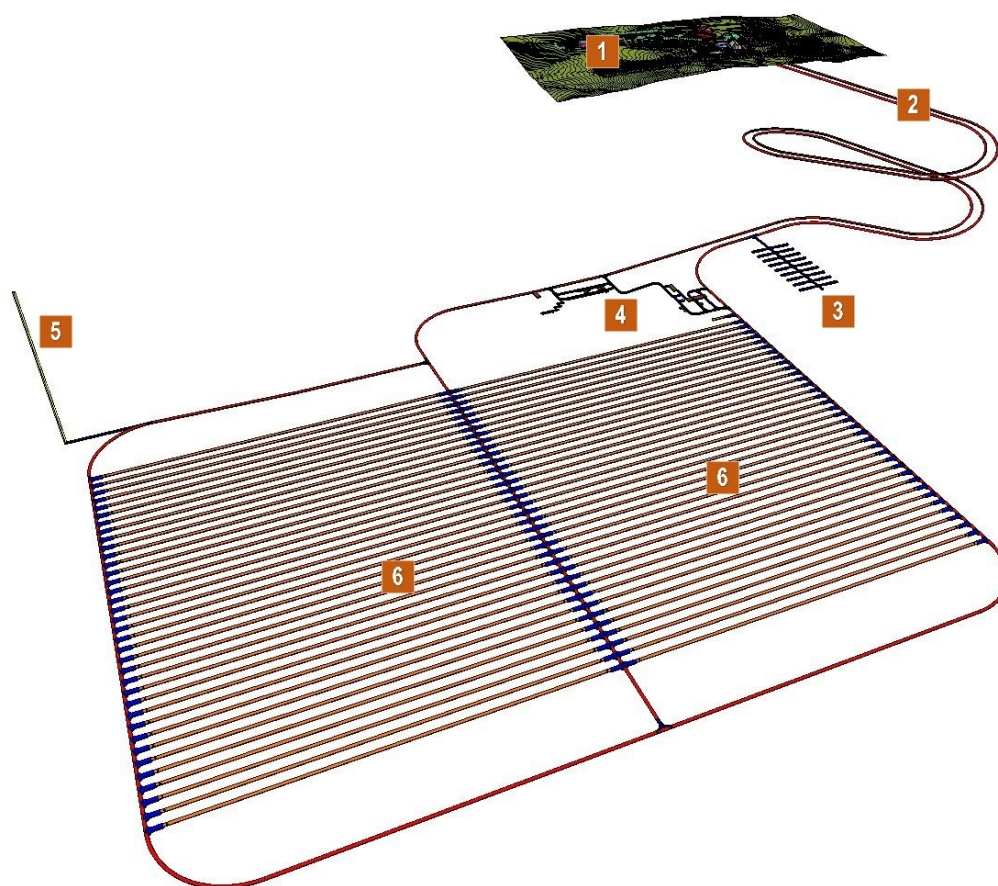
Ukládací horizont RAO se nachází v hloubce minimálně 250 m pod povrchem a zároveň minimálně 50 m nad horizontem ukládání VJP. V tomto horizontu se počítá s umístěním komor pro uskladnění ostatních RAO (DuSO 11), které jsou propojeny spojovací chodbou se závazecím tunelem. Je uvažováno, že prostory jedné z těchto komor se dočasně využijí k umístěním konfirmační laboratoře (DuSO 12). Oba objekty se nacházejí v místě potenciálně využitelných horninových bloků.

S využitím rozdělení uzavírání HÚ do sekcí dle hloubky podle TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022) patří ukládací horizont RAO do středního horizontu v hloubce 200 až 500 m pod povrchem.

3) „Ukládací horizont VJP“

V tomto horizontu jsou umístěny sekce pro ukládání VJP, technické zázemí úseku ražby, úseku přípravy a ukládání VJP a konfirmační laboratoř. Sekce pro ukládání VJP jsou projektovány v potenciálně využitelných horninových blocích (HB), zatímco technické zázemí HÚ je umístěno mimo tyto bloky. Hodnota -500 m pod povrchem představuje nejvyšší úroveň ukládacího místa pro VJP. Vlivem zajištění minimálního podélného sklonu pro gravitační odvodnění celého ukládacího horizontu se technické zázemí, kde jsou umístěny jímací objekt a čerpací stanice, nachází o několik desítek metrů níže než ukládací sekce VJP. Dispoziční řešení jednotlivých projektovaných variant je odlišné, a tím se mění i výškové uspořádání podzemního areálu. Řádově se ukládací horizont VJP nachází v hloubce -500 m až -530 m pod povrchem.

Tyto horizonty jsou vzájemně propojeny zavážecím a odtěžovacím tunelem a vtažnou jámou, přičemž ústí těchto hlavních důlních děl se nacházejí ve společném povrchovém areálu s výjimkou vtažné jámy. Schéma hlubinného úložiště znázorňuje Obr. 1.



Obr. 1 Schéma hlubinného úložiště

Legenda: 1 – Povrchový areál, 2 – Odtěžovací a zavážecí tunel, 3 – Ukládací komory RAO, 4 – Podzemní areál, 5 – Vtažná jáma, 6 – Zavážecí chodba na ukládacím horizontu

Návrhové parametry vybraných důlních stavebních objektů, které vychází dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) především z potřeb projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018), dokumentuje Tab. 2:

Tab. 2 Tabulka návrhových parametrů vybraných důlních stavební objektů

Číslo a název objektu	Příčné rozměry [mm]	Ražba TBM		Konvenční ražba	
		Vertikální ukládání	Horizontální ukládání	Vertikální ukládání	Horizontální ukládání
DuSO 01 Odtěžovací tunel	Výška	7 250	7 000	5 065	5 065
	Šířka	7 250	7 000	6 000	6 000
DuSO 02 Zavážecí tunel	Výška	7 250	7 000	5 065	5 065
	Šířka	7 250	7 000	6 000	6 000
DuSO 05 Pátevní chodby	Výška	7 250	7 000	5 350	5 690
	Šířka	7 250	7 000	6 000	5 700
DuSO 08 Zavážecí chodby	Výška	7 250	-	6 700	-
	Šířka	7 250	-	4 000	-
DuSO 09 Ukládací vrty	Výška	Dle UOS	2 200	-	-
	Šířka	1 650	2 200	-	-

3 Materiály pro komponenty

3.1 Bentonit

Bentonitem se rozumí reziduální, nepřemístěná jílovitá hornina s mohutnou sorpční schopností, vysokou hodnotou výměny kationtů, bobtnáním, plastičností a velmi nízkou propustností. Nositeli těchto vlastností jsou jílové minerály, především montmorillonit, případně beidelit. Bentonity vznikly mechanickým a chemickým zvětráváním matečné horniny (v alkalickém prostředí), především sopečných tufů a tufitů, v menší míře i andezitů, ryolitů, čedičů a jiných převážně třetihorních hornin (Franče 1992). Technologicky se k bentonitům řadí i montmorillonitické jíly, u nichž nižší obsah montmorillonitu výrazně ovlivňuje jejich vlastnosti a omezuje jejich průmyslové využití (Ryndová a Tvrđý 2020).

Pro potřeby výplňových konstrukcí bude využit průmyslově těžný a zpracovaný (homogenizovaný) bentonit. Využití přírodního neupraveného bentonitu se zatím pro potřeby HÚ neuvažuje z důvodů nehomogenit. Do budoucna lze však v rámci optimalizace uvažovat pro některé komponenty i s přírodním bentonitem. V případě použití přírodního bentonitu musí být zajištěna jeho homogenizace a garance jeho vlastností.

Předpokládá se bentonit české provenience, který je vápenatohořečnatý. Typickým představitelem vápenatohořečnatého bentonitu české produkce je BCV bentonit těžný na ložisku Černý vrch. Hlavní vlastnosti bentonitu BCV jsou shrnuty v Tab. 3 – Tab. 5. V Tab. 6 jsou pak uvedeny předpokládané požadované vlastnosti bentonitu pro navržené koncepční řešení.

Tab. 3 Chemické složení bentonitu BCV (Šachlová et al., 2022). AVG – průměr, $\pm L$ – interval spolehlivosti. Hm. – hmotnostní, NS – nestanoveno z důvodu omezeného počtu dat.

Chemické složení (hm. %)	BCV	
	AVG	$\pm L$
Al ₂ O ₃	18,47	3,19
CaO	3,03	0,83
CO ₂	2,45	0,89
Fe ₂ O ₃	13,21	1,03
FeO	0,15	NS
K ₂ O	1,02	0,39
MgO	3,05	0,31
MnO	0,23	NS
Na ₂ O	0,35	0,08
SiO ₂	54,31	2,42
TiO ₂	3,24	0,72
SO ₃	0,29	0,36
Ctot	0,47	0,33
Stot	0,01	+0,04/-0,01

Tab. 4 Mineralogické složení bentonitu BCV (Šachlová et al., 2022). AVG – průměr, $\pm L$ – interval spolehlivosti. hm. – hmotnostní, Ctot – celkový obsah uhlíku, Stot – celkový obsah síry, NS - nestanoveno.

Minerál (hm. %)	BCV	
	AVG	$\pm L$
Smektit	65,7	6,9
Illit	2,3	2,2
Kaolinit	6,6	4,4
Křemen	8,4	3,9
Amorfní fáze	7,8	3,3
Kalcit	1,2	1,0
Siderit	0,5	0,6
Goethit	4,6	4,0
Ostatní	5,9	NS

Tab. 5 Základní geochemické a geotechnické parametry bentonitu BCV (Šachlová et al., 2022). AVG – průměr, $\pm L$ – interval spolehlivosti, CEC – kationtová výměnná kapacita, CEC_sum – suma vyměnitelných kationtů, SSA_EGME – celkový specifický povrch, NA - neanalyzováno.

Geochemické a geotechnické parametry	BCV	
	AVG	$\pm L$
CEC (mekv/100 g)	60,92	1,82
CEC_sum (mekv/100 g)	65,33	3,20
SSA_EGME (m ² /g)	485	125
Hydraulická vodivost (m/s)	4,84.10 ⁻¹³ pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 1,43.10 ⁻¹³ pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 7,81.10 ⁻¹⁴ pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$	2,45.10 ⁻¹³ pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 5,00.10 ⁻¹⁴ pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 4,26.10 ⁻¹⁴ pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$
Bobtnací tlak (MPa)	1,76 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 6,87 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 13,56 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$	0,83 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 3,24 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 6,40 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$
Swell index (ml/2g)	7,8	0,2
Mez tekutosti (%)	138	2,69
Specifická hustota (g/cm ³)	2,758	NA
Pevnost v tlaku (MPa)	4,2 pro $\rho_d = 1,5 \text{ g/cm}^3$	NA
Tepelná vodivost (W/m.K) pro w = 12%	0,445 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 0,660 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 0,750 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$	0,026 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 0,039 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 0,048 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$
Měrná tepelná kapacita (J/kg.K) pro w = 12%	1041 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 963 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 926 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$	29 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$ 27 pro $\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$ 26 pro $\rho_d = 1,7 \text{ g/cm}^3$
Mez plasticity (%)	45	NA
Tepelná vodivost – setřesené pelety (W/m.K) pro w = 5%	0,3 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$	NA
Měrná tepelná kapacita – setřesené pelety (J/kg.K) pro w = 5%	1010 pro $\rho_d = 1,4 \text{ g/cm}^3$	NA

Pro koncepční řešení je navrženo využít bentonit jako výplňový materiál ve dvou formách:

- **Peletizovaný materiál** (po uložení průměrné $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$, peletky/zlomky $\rho_d \geq 1900 \text{ kg/m}^3$).
- **Tvárnice** ($\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$).

Peletizovaným materiálem se rozumí směs lisovaných peletek/zlomků o vhodné ρ_d a s vhodnou zrnitostní křivkou tak, aby bylo možno směs bez problémů uložit a po uložení bylo dosaženo požadované průměrné ρ_d výplně. Typicky je tato směs vyráběna válcovými lisami a její zrnitost upravena síťováním. Pro dosažení co nejvyšší ρ_d výplně z peletek/zlomků lze využít Fullerův početní vztah, kterým se stanovuje křivka zrnitosti s optimálním poměrem různých průměrů zrn peletek/zlomků pro co nejvyšší vyplnění mezizrnných prostorů materiálu. Výpočtem podle Fullera lze tedy stanovit teoretickou čáru zrnitosti a navrhnout/vyrobít směs peletek/zlomků, u které lze teoreticky uvažovat o nejvyšší ρ_d . Výsledná ρ_d výplně se ale může lišit, protože i při aplikaci může dojít ke změně parametrů (zrnitosti) peletek/zlomků. Podle základního testování uvedeného v TZ 489/2020 (Šťávek et al., 2020) lze také zjistit, že na výslednou ρ_d výplně má mj. vliv maximální velikost zrna peletek/zlomků. Čím větší maximální zrno tím větší bude ρ_d výplně. V případě zaplnění technologických spár lze z různých zdrojů vyčíst, že maximální velikost (délka) peletek/zlomků by neměla být větší než 1/3 šířky technologické spáry a to z důvodů tzv. klenbování v úzké technologické spáře. Tato podmínka, ale byla uváděna při použití materiálu u stejné „jedné“ zrnitosti. Výzkum zaplnění technologických spár byl doposud v ČR realizován minimálně a je nutné se jím v budoucnu zabývat. Nic méně pro potřeby

tohoto projektu jsou dostupné dostatečné informace, podle kterých lze v této fázi určit potřebné parametry pro návrh komponent. Výrobní vlhkost materiálu se pohybuje 3-6 % (váhová vlhkost; TZ 489/2020 (Šťástka J. et al., 2020).

Tvárnici se rozumí bentonit, který byl pomocí lisování do formy kompakován do požadovaného tvaru a na požadované ρ_d . Výrobní vlhkost materiálu se pohybuje 6-10 % (váhová vlhkost; TZ 533/2020).

Bentonit přirozeně obsahuje mikroorganismy, jejich přítomnost byla potvrzena i v českých bentonitech (Bengtsson et al., 2017; Černá et al., 2019; Mijnenonckx et al., 2021; Svensson et al., 2011; Taborowski et al., 2019). Rozvoj bakteriálních společenstev je problematický hlavně na rozhraní bentonitu a jiných materiálů, kde může dojít například k mikrobiálně indukované korozi oceli či deterioraci betonu. Mikrobiální aktivitou však mohou být způsobeny též strukturní změny v samotném bentonitu (Kim et al., 2004; Kim 2012; Liu et al., 2012). K rozvoji mikroorganismů v bentonitu přispívá strukturní narušení či prostá přítomnost rozhraní například mezi dvěma tvárnici, které poskytují větší životní prostor bakteriím, než homogenní kompakovaný materiál (Stroes-Gascoyne et al., 2002). Podobně dochází k rozvoji mikrobiální aktivity též v místech s nižší objemovou hmotností bentonitu. Je tedy důležité předejít vzniku volných prostor a nehomogenit v objemové hmotnosti v rámci bufferu. Na druhou stranu kompakováním bentonitu na vysokou objemovou hmotnost prokazatelně dochází ke značnému omezení mikrobiální aktivity (Černík et al., 2019; Grant 2004; Motamedi et al., 1996; Pedersen 2017; Pedersen et al., 2017), mikroorganismy jsou v kompakovaném bentonitu přítomny hlavně v inaktivním stavu spor (Stroes-Gascoyne et al., 2007) a jejich opětovná kultivovatelnost je nižší (Pedersen 2017). Ve finském konceptu úložiště je počítáno s objemovou hmotností sušiny u bufferu mezi 1400 a 1600 kg/m³, aby se zabránilo mikrobiální aktivitě (konkrétně objemová hmotnost sušiny (ρ_d) u tvárníc nad a pod UOS při vertikálním uložení má být 1686 kg/m³, okolo UOS 1755 kg/m³, a v mezerách vyplněných peletami 919 kg/m³, čehož může být dosaženo např. použitím pelet o objemové hmotnosti sušiny > 1600 kg/m³; viz TZ 575/2022, Kumpulainen et al., 2022). V německém konceptu úložiště je uvedena objemová hmotnost sušiny přibližně 2000 kg/m³ (aby bylo dosaženo hustoty > 2200 kg/m³ v saturovaném stavu; Kumpulainen et al., 2022). V kanadském konceptu je objemová hmotnost sušiny u bufferu nutná k potlačení růstu bakterií a klíčení spor stanovena experimentálně na 1600 kg/m³ (hustota bentonitových tvárníc 1700 kg/m³ a pelet 1400 kg/m³; Kumpulainen et al., 2022). Hodnota objemové hmotnosti sušiny pro potlačení mikrobiální aktivity není dosud pro český bentonit dosud spolehlivě stanovena. Dalším potenciálně důležitým prvkem z hlediska bezpečnosti je obsah organických látek, které se v bentonitu přirozeně vyskytují a mikroorganismy je mohou využít pro svůj růst (Taborowski et al., 2019). Ve finském a švédském konceptu úložiště počítají s obsahem uhlíku, síry a sulfidů v bufferu maximálně 1 hm. %, resp. 0.5 hm. % pro sulfidy (Kumpulainen et al., 2022), aby došlo k limitaci zdrojů energie dostupných pro mikrobiální aktivitu. V českém na železo bohatém bentonitu je nutné kromě stanovení hodnoty objemové hmotnosti sušiny bezpečně limitující mikrobiální aktivitu zjistit též vliv přídatných minerálů obsahujících železo na rozvoj mikrobiální aktivity a ověřit stabilitu bentonitu při mikrobiálním zatížení.

Tab. 6 Předpokládané vlastnosti materiálu pro návrh koncepčního řešení.

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
Typ bentonitu	Bentonit těžený v ČR obsahující vápenato-hořečnatý typ smektitu.	Lokální dostupnost. Ekonomická výhodnost. Není náchylný k tvorbě koloidů.	
Objemová hmotnost sušiny	Dle použití.	Objemová hmotnost sušiny komponenty na bázi bentonitu musí být taková, aby: <ul style="list-style-type: none"> • Zajistila dostatečnou tepelnou vodivost (buffer). • Zajistila vhodné bobtnací schopnosti (SI, bobtnací tlak). • Zajistila dostatečně vysokou nepropustnost (nízkou hydraulickou vodivost). • Limitovala mikrobiální aktivitu (hodnota pro český bentonit musí být stanovena) a tím zpomalila rychlost koroze UOS. • Zajistila samohojení. 	Limitní hodnota objemové hmotnosti sušiny pro limitaci MB aktivity nebyla pro český bentonit dosud stanovena.
Mineralogické a chemické složení			
Obsah smektitu	Maximální. Limit dosud nebyl stanoven.	Nositel bobtnavosti, samohojení, sorpčních a retardačních vlastností.	

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
Obsah vedlejších akcesorických minerálů	Minimální. Limit dosud nebyl stanoven.	Minerály mohou i nemusí být zdrojem živin pro MB aktivitu. Nutné dořešit, které z přídatných minerálů v českých bentonitech mohou představovat riziko z hlediska MB a poté případně stanovit jejich maximální obsah. V důsledku rozpouštění vedlejších a akcesorických minerálů dochází ke změnám ve složení pórového roztoku, což může ovlivnit stabilitu a geochemické i geotechnické parametry smektitu.	MB aktivitu je možné omezit i u MB méně vhodných bentonitů (z hlediska množství přídavných a akcesorických minerálů) vyšší mírou kompaktizace.
Celkový obsah organického C	Minimální. Limit dosud nebyl stanoven.	Zdroj živin pro MB aktivitu.	V zahraničí - celkový obsah organického uhlíku (C _{tot} < 1 hm. %) Posiva SKB (2017).
Celkový obsah S	Minimální. Limit dosud nebyl stanoven.	Zdroj živin pro MB aktivitu.	V zahraničí - obsah síry včetně sulfidické síry (S _{tot} < 1 hm. %, resp. < 0,5 hm. % pro sulfidy) (Posiva SKB 2017, Kumpulainen et al. 2022).
Celkový obsah Fe ^{x+}	Minimální. Limit dosud nebyl stanoven.	Zdroj živin pro MB aktivitu.	MB aktivitu je možné omezit i u MB méně vhodných bentonitů (z hlediska množství přídavných a akcesorických minerálů) vyšší mírou kompaktizace.

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
Kationtová výměnná kapacita	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Vlastnost determinující sorpční/retenční vlastnosti.	
Specifický povrch	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Vlastnost determinující sorpční/retenční vlastnosti.	
Hydrofyzikální vlastnosti			
Koeficient vodivosti	hydraulické $\leq 10^{-11}$ m/s pro $\rho_d = 1400$ kg/m ³ $\leq 10^{-12}$ m/s pro $\rho_d \Rightarrow 1600$ kg/m ³	Omezení transportu vody a koloidních látek (difuze jako primární proces uvnitř HÚ). Limit: $\leq 10^{-11}$ m/s pro backfill a ostatní výplně $\leq 10^{-12}$ m/s pro buffer	
Bobtnací tlak	1-3 MPa pro $\rho_d = 1400$ kg/m ³ 4-10 MPa pro $\rho_d = 1600$ kg/m ³ 8-20 MPa pro $\rho_d = 1700$ kg/m ³	Omezení mechanického porušení UOS. Omezení transportu vody a transportu koloidních látek. Omezení MB aktivity. Schopnost zaplnit volné prostory a samohojení. Limit: < 10 MPa (střední hodnota) pro buffer jako celek z důvodu odolnosti UOS. Předpokládaná odolnost UOS je 20 MPa, ze které je alokováno 5 MPa na účinky pórového tlaku (tlak vody) a 10 MPa na	Velikost distančního bloku musí být upravena dle konkrétních hodnot zvoleného materiálu. Hodnotu nutno ověřit v souvislosti s prostorovým uspořádáním a vybraným konkrétním materiálem tak, aby nedošlo k ohrožení UOS.

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
		účinky efektivního napětí (bobtnací tlak), 5 MPa je bezpečnostní rezerva, které je určena i pro nejistoty řešení (např. rozptyl v objemové hmotnosti a bobtnacím tlaku bariéry)	
Swell index	≥ 4 ml/2g	Schopnost zaplnit volné prostory a samohojení.	Hodnotu nutno ověřit.
Samohojení	Schopnost samohojení	Schopnost obnovení funkce po porušení/poškození	
Vlhkost	> 4 % pelety ($\rho_d \Rightarrow 1900$ kg/m ³) 10-20% tvárnice ($\rho_d = 1700$ kg/m ³)	Zaručení minimální tepelné vodivosti a zpracovatelnosti.	
Mez tekutosti	$w_l > 90$ %	Schopnost zaplnit volné prostory a samohojení. Vysoká schopnost plastického chování. Mechanická ochrana UOS.	Jíl s extrémně vysokou plasticitou (ČSN-EN 73 6133).
Porozita	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Ovlivňuje koeficient hydraulické vodivosti, transport vody a koloidních látek, migraci radionuklidů, složení pórového roztoku a dostupnost živin pro mikrobiální aktivitu.	Stanovení vhodné pro plně nasycený bentonit.
Konstriktivita	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Ovlivňuje koeficient hydraulické vodivosti, transport vody a koloidních látek, migraci radionuklidů.	Stanovení vhodné pro plně nasycený bentonit.

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
Tortuozita	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Ovlivňuje koeficient hydraulické vodivosti, transport vody a koloidních látek, migraci radionuklidů.	Stanovení vhodné pro plně nasycený bentonit.
Plynopropustnost	Konkrétní požadované hodnoty plynopropustnosti dosud nestanoveny.	Akumulace plynu může vést k průrazu, desaturaci bentonitu a vytvoření preferenčních únikových cest.	
Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tlaku	>3 MPa pro $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$	Zajištění stability umístění UOS uvnitř bufferu. Schopnost odolat bobtnání.	Hodnotu nutno ověřit v souvislosti s prostorovým uspořádáním a vybraným konkrétním materiálem.
Smykové vlastnosti			
Úhel vnitřního tření	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Zajištění stability umístění UOS uvnitř bufferu. Mechanická ochrana UOS. Schopnost zaplnit volné prostory a samohojení.	
Soudržnost	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.		
Přetvárné vlastnosti			

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
E_{def}	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.	Prostorová stabilita UOS. Mechanická ochrana UOS. Schopnost zaplnit volné prostory a samohojení.	
Poissonovo číslo	Konkrétní požadované hodnoty dosud nestanoveny.		
Tepelné vlastnosti			
Tepelná vodivost (λ)	<p>>0,2 W/m/K pro $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$, $w = 5 \%$ (buffer - spáry, backfill)</p> <p>>0,3 W/m/K pro $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$, $w = 10 \%$</p> <p>>0,5 W/m/K pro $\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$, $w = 10 \%$</p> <p>>0,6 W/m/K pro $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$, $w = 10 \%$ (buffer - tvárnice)</p>	Zaručení odvodu tepla od UOS.	Minimální hodnotu (spolu s navrženou geometrií) nutno ověřit numerickým modelem šíření tepla v HÚ s ohledem na limit teploty na rozhraní UOS/bentonit.
Měrná tepelná kapacita (c)	Není požadavek Typická hodnota $c = 800\text{-}1200 \text{ J/kg/K}$		
Tepelná difuzivita	Viz λ , c a ρ_d .	Viz λ .	

Vlastnost	Hodnota	Zdůvodnění	Poznámka
	dif. = $\lambda / (\rho * c)$		

3.2 Beton

Dle TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022) je beton stavební materiál vytvořený smícháním cementu, drobného a hrubého kameniva, vody a eventuálních příměsí a přísad, které zlepšují jeho vlastnosti. U klasických betonů užívaných v běžné stavební praxi vzniká po kontaktu s vodou vysoce alkalický výluh s hodnotou pH > 12,5. Tyto vysoce alkalické roztoky degradují bentonitovou bariéru, proto jsou pro eliminaci těchto negativních jevů vyvíjeny betony se sníženým pH výluhu (tzv. low-pH betony). Hodnoty pH výluhů těchto betonů se většinou pohybují pod mezí 11,5.

Low-pH beton je typ betonu vyvinutý s cílem snížit pH výluhu pro zmenšení ovlivnění ostatních materiálů bariér HÚ, zejména bentonitu. Přesná hodnota pH není definována, nejčastěji se pohybuje v rozmezí 11,0-11,5. Složením surovin je low-pH beton obdobný běžnému betonu, zvýšený bývá podíl složek obsahujících mikrostrukturní SiO₂. Malta (LPM) a beton (LPC) se sníženým pH výluhu byly vyvinuty v zakázkách SÚRAO. Jejich vlastnosti a složení jsou uvedeny ve zprávách TZ 369/2019 (Kratochvíle et al., 2019) a TZ 415/2019 (Pernicová et al., 2019). Složení betonové směsi je uvedeno v Tab. 7.

Tab. 7 Složení betonové směsi se sníženým pH výluhu dle TZ 415/2019

Surovina	Množství (kg/m ³)
Kamenivo Dobříň	1712
Cement CEM I 42,5 R	140
Mikrosilika	179
Struska Dětmarovice	32
Voda	200
Plastifikátor	7
Odpěňovač	1,75

Betonové konstrukční prvky v HÚ neplní dlouhodobou bezpečnostní funkci a předpokládá se jejich postupná degradace, což bude zejména z důvodu rozpouštění a vymývání pojiva z betonu. Víceméně intaktní zůstane kamenivo použité v betonové záměsi. Pro podíl kameniva není určena přesná hodnota a bude vycházet ze zkušeností stavební praxe a případně zahraničních a experimentálních dat (např. projekt DOPAS). Používáno je jemné a hrubší kamenivo, nejčastěji o zrnitosti 0-16 mm (případně 0-12 mm) v množstvích 1400 kg/m³ betonu (Dahlström 2009; Bosgiraud et al., 2014), 1600 kg/m³ betonu (Vogt et al., 2009; SKB TR-10-16; Grahm et al., 2015) případně 1800 kg/m³ betonu (Holt a Koho, 2016). Pro složení betonu je také podstatná technologie aplikace, tj. stříkání (stříkaný beton) nebo lití (monolitický beton).

Prostředí betonu je oproti bentonitu pro rozvoj mikrobiálního života nehostinné (vysoké pH, vysoká teplota při výrobě cementu, zvýšená teplota v průběhu hydratace betonu, nedostatek vody a živin, zvýšený obsah solí). Přesto se bakterie v betonu nacházejí (Kiledal et al., 2021; Maresca et al., 2016) a to především díky lidské činnosti při jeho přípravě a z cementových a štěrkových komponent. Z toho důvodu je vývoj bakteriálních společenstev v betonu špatně predikovatelný. Oproti běžnému betonu má LPC nižší pH, což může vést k dřívějšímu a též

významnějšímu rozvoji mikrobiální aktivity, zejména v prostředí bohatém na organismy (Mijnendonckx et al., 2018; Mijnendonckx et al., 2019b; Mijnendonckx et al., 2019a; Shrestha et al., 2022), tedy v místech styku LPC s bentonitem, popř. horninou či podzemní vodou. V místě styku betonu a bentonitu může docházet k procesu bio-deteriorace, tedy stárnutí a křehnutí betonu. Beton bude ale také působit na bentonit – vlivem zvýšení pH bentonitu alkalickým výluhem z betonu může dojít ke snížení množství mikroorganismů, odlišnému vývoji mikrobiálních společenstev, a tedy změně mikrobiální aktivity v bentonitu (Taborowski and Pedersen, 2018; Shrestha et al., 2022). Navíc může beton obsahovat sloučeniny s inhibičním efektem na bakterie, př. mravenčan vápenatý či hydroxid vápenatý (Morrier et al., 2003; Turick and Berry, 2016; Yamanaka et al., 2002). Více informací o interakcích betonu s dalšími materiály viz TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022). Vzájemné interakce betonu a bentonitu nejsou v českých podmínkách dostatečně prozkoumané a tato problematika by tedy měla být předmětem budoucího výzkumu.

3.2.1 Monolitický beton

Monolitickým betonem se rozumí beton ukládaný do bednění (a jeho ekvivalentu) na stavbě. Typickým příkladem je ostění tunelů a zátky. V případě HÚ bude monolitický beton využit i jako výplň ke stabilizaci komor RAO.

3.2.1.1 Konstrukční beton

Pro potřeby HÚ se předpokládá použití betonu se sníženým pH výluhu (low pH beton) na úrovni ukládacího horizontu v sekci HÚ určené pro ukládání VJP. Složení betonové směsi musí zaručit jak minimalizaci negativních interakcí s ostatními materiály inženýrských bariér, tak dosažení předepsaného průběhu pevnosti v tlaku a ostatních technických vlastností. Technické podmínky mohou specifikovat požadavky jako:

- Zpracovatelnost a čerpatelnost.
- Přílnavost k podkladu.
- Dlouhodobou chemickou stabilitu.
- Odolnost vůči prostředí.
- Životnost.
- Propustnost.
- Schopnost přenášet zatížení po vzniku trhliny.

Předepsanou směs, která je podle zkušenosti vhodná pro plánované záměry, zajistí nebo navrhne zpravidla zhotovitel se souhlasem projektanta a předloží ji ke schválení zadavateli.

Specifikace předepsané směsi na 1 m³ musí obecně obsahovat následující údaje:

- Druh, třídu a množství cementu.
- Druh a množství kameniva s dokladovanou čarou zrnitosti, vlhkostí a množstvím odplavitelných částic
- Druh a množství příměsí
- Druh a množství přísad.
- Množství vody – vodní součinitel
- Určení konzistence před aplikací.

V ČR byla Low pH betonová směs vyvíjena Kloknerovým ústavem (Pernicová et al., 2019) a pro ověření reprodukovatelnosti ve velkém měřítku bylo provedeno ověření vlastností i na vzorcích vyrobených v betonárce ve formě velkoobjemové betonáže. Složení betonové směsi použité pro tuto výrobu je uvedeno v Tab. 8.

Tab. 8 Složení low pH betonové směsi použité pro velkoobjemovou betonáž (Pernicová et al., 2019)

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5R	140 kg
Mikrosilika	179 kg
Struska Dětmarovice	32 kg
Kamenivo Dobříň	1712 kg
Plastifikátor	7 kg
Odpěňovač	1,75 kg
Voda	200 kg

3.2.1.2 Výplňový beton

Výplňový beton v komorách RAO plní bezpečnostní funkci. Receptura na jeho přípravu musí zohlednit specifické podmínky na lokalitách, především chemické složení podzemních vod.

V současné době se pro obdobné účely, tedy stabilizaci RAO, používá samozhutnitelný beton s prodlouženou dobou tuhnutí v úložištích Richard a Bratrství při stabilizaci komor s RAO.

Při návrhu vlastností betonu (cementové výplně) lze vycházet z parametrů betonu, který se využívá ke stabilizaci komor v ÚRAO Richard a Bratrství, ale jak je uvedeno výše, je nutné zohlednit konkrétní podmínky v lokalitě.

Následující text popisuje přípravu výplňového betonu pro ÚRAO Richard. Receptura je uvedena jako příklad.

Pro přípravu betonové směsi se používá cement s následujícími parametry (MP.38):

- Stupeň vlivu prostředí vzhledem k chemickému působení XA1 a vzhledem ke korozi vlivem karbonátce XC2.
- Třída pevnosti minimálně C 30/37.
- Výhradně vysokopecní cement druhu CEMIII/B nebo CEMIII/C.
- Cement odolný vůči síranům (SR), s nízkým hydratačním teplem (LH).
- Obsah chloridů musí odpovídat třídě Cl 0,10.
- Plnivo se musí skládat z křemičitého písku a/nebo šterku. Zaoblení šterku v souladu s kategorií FI20, maximální velikost zrn nesmí přesáhnout 10 mm.
- Není dovoleno přidávat do betonové směsi práškový anhydrit, sádrovec, dolomit nebo vápenec.
- Poměr vody k cementu méně než 0,52, obsah cementu minimálně 300 kg/m³.
- Je povoleno přidávání minerálních přísad podle příslušných norem a také inertních přísad, pokud tyto látky nezhoršují kvalitu betonu.

- Pro přípravu čerstvé betonové směsi je možné použít suché průmyslově vyráběné betonové směsi s odpovídajícími vlastnostmi.

Požadavky na samozhutnitelný výplňový beton (MP.38):

- a) Charakteristická pevnost v tlaku betonu stanovená na zkušebních krychlích dle ČSN EN 12390-3 po 28 dnech zrání min. 37 MPa.
- b) Hloubka průsaku betonu dle ČSN EN 12390-8 max. 75 mm pro betonové konstrukce tloušťky minimálně 0,1 m.
- c) Konzistence dle ČSN EN 12350-8, třída tekutosti SF2 (průměr koláče min. 660 mm při zkoušce sednutím – rozlitím).
- d) Doba zpracovatelnosti po dodání na místo určení min. 6 hod.

Tomu odpovídá následující složení 1 m³ zálivkového betonu (Tab. 9).

Tab. 9 Složení 1 metru kubického zálivkového betonu (MP.38)

Složka	Původ	Množství
Cement	CEM III/B 32,5 SV	410 kg
Plnivo	Elektrárenský popílek	180 kg
Kamenivo	0/4	700 kg
	4/8	850 kg
Plastifikátor	Stachement 2000	4,5 kg
	Stacheplast MV	2,0 kg
Voda		200 kg

V případě, že bude beton v kontaktu s inženýrskými bariérami, je nutno recepturu upravit tak, aby výsledný beton měl snížené pH.

3.2.2 Stříkaný beton

Složení betonové směsi musí obecně zaručit řadu vlastností betonu, které již byly blíže specifikovány v kapitole 3.2.1 pro monolitický² beton a ze kterých je nejdůležitější dosažení předepsaného průběhu pevnosti v tlaku bezprostředně po nástřiku a po 28 dnech. Technické podmínky mohou obecně specifikovat požadavky jako:

- Zpracovatelnost a čerpatelnost.
- Odolnost vůči účinkům agresivních (podzemních) vod.
- Přilnavost k podkladu.

Pro trvalé konstrukce je nutno specifikovat:

- Životnost.
- Propustnost.

² V citované kapitole jsou parametry a složení monolitického betonu, které nemusí odpovídat požadovaným hodnotám při aplikaci stříkáním, zejména jde o vlastnosti, které souvisejí s technologií aplikace betonové směsi. Například předepsaná křivka tuhnutí.

- Schopnost přenášet zatížení po vzniku trhliny.
- Dlouhodobou chemickou stabilitu.
- Odolnost vůči chloridům.

Předepsanou směs, která je podle zkušenosti vhodná pro plánované záměry, zajistí nebo navrhne zpravidla zhotovitel se souhlasem projektanta a předloží ji ke schválení zadavateli.

Specifikace předepsané směsi na 1 m³ musí obecně obsahovat následující údaje:

- Druh, třídu a množství cementu.
- Druh a množství kameniva s dokladovanou čarou zrnitosti, vlhkostí a množstvím odplavitelných částic
- Druh a množství příměsí
- Množství vody – vodní součinitel (pouze u mokré směsi).
- Určení konzistence před aplikací (pouze u mokré směsi).
- Druh a množství přísad.
- Druh a obsah vláken.

S ohledem na řadu nevýhod nástřiku suchou cestou jako je podle (Hilar et al., 2008) vysoká prašnost, vyšší spad, nižší kvalita atd. je navrhováno použít **mokrý způsob stříkání**.

Pro použití v HÚ se předpokládá využití betonu minimálně třídy SB 30. Beton bude se sníženým pH u komponent, které jsou součástí systému inženýrských bariér.

Orientační složení betonové směsi pro nástřik 1 m³ mokrou cestou podle (Hilar et al., 2008) uvádí Tab. 10.

Tab. 10 Orientační složení betonové směsi pro nástřik 1 metru krychlového mokrou cestou

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5 R	430 kg
Kamenivo 0–4 mm	1025 kg
Kamenivo 4–8 mm	645 kg
Plastifikátor	4 kg
Roztok urychlující přísady s vodou (přidávaný do trysky)	cca 185 kg
Urychlující přísada	5,5 až 8 % k váze cementu

3.2.3 Prefabrikáty

Pod pojmem prefabrikáty jsou obecně myšleny stavební dílce z betonu, který byl blíže specifikován v úvodní části této kapitoly.

Po uzavření HÚ se předpokládá, že v HÚ mohou zůstat následující typy:

- Segmentové ostění.
- Bednicí tvárnice.

Bednicí tvárnice jsou nutné pro výstavbu zátek (dočasné pažení bentonitové výplně) a pro výplň komor RAO (oddělení částí komor při zaplnění po částech cementovou výplní).

Segmentové ostění bude třeba v oblasti poruch. Ponechání ostění v daném místě (a jeho rozsah) však bude nutné posoudit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.

Dutinové bednicí tvárnice, označované jako ztracené bednění, budou vyrobeny z vibrolisovaného vysokopevnostního betonu se sníženým pH. Spolupůsobení tlaku a vibrace při jejich výrobě zajišťuje u těchto vibrolisovaných výrobků vysoké pevnosti. Vysoká hutnost dává prvkům následující vynikající mechanicko – fyzikální vlastnosti:

- Pevnost v tlaku.
- Požární odolnost.
- Optimální drsnost povrchu.
- Vysokou přesnost.
- Minimální nasákavost.

3.3 Kamenivo

Podle Svobody et al. (2013) se kamenivem rozumí zrnitý anorganický materiál, přírodního nebo umělého původu, určený pro stavební účely.

Přírodní kamenivo je kamenivo anorganického původu, které se podle způsobu těžby a další úpravy dělí na těžené a drcené.

Těžené kamenivo je původu ledovcového nebo pochází z říčních naplavenin. Vzniká přirozeným rozpadem horniny, těží se z vodních toků a náplavů. Vyznačuje se převážně zaoblenými tvary zrn s povrchem ohlazeným přirozenou cestou při transportu zvětralé horniny.

Drcené kamenivo je charakteristické nepravidelným tvarem zrn, ostrými hranami a drsným lomovým povrchem. Získává se umělým drcením velkých kusů přírodních hornin a následným tříděním.

Umělé kamenivo je definováno jako kamenivo anorganického původu, které bylo vystaveno tepelnému nebo jinému procesu. Vyrábí se z průmyslových odpadů (popílek, struska, popílkové sbalky) nebo z upravených hornin (keramzit, expandovaný perlit, siopor).

K umělým kamenivům patří v poslední době stále častěji využívané recyklované kamenivo. Specifikace normy uvádí, že se jedná o kamenivo anorganického původu, které bylo dříve použito v konstrukci. Nejčastěji to bývají drcené cihly a beton.

Ve vazbě na projektové řešení HÚ se předpokládá, že se kamenivo použije v kombinaci s vhodnými pojivy především jako plnivo pro přípravu malt a betonů. Dále pak, jako plnivo do směsi s bentonitem.

Požadavky na kamenivo jsou následující:

- Zrnitost – specifikována pouze ve vazbě na použití v betonu (viz kapitola 3.2). Jako výplň prostor nad ukládacím horizontem ve střední hloubce (-500 až -200 m) a u přípořku (do -200 m) nebyla dosud stanovena.
- Tvarový index – nebyl dosud stanoven.
- Obsah schránek živočichů – nebylo dosud stanoveno.

- Odolnost vůči zmrazování a rozmrazování – nebyla dosud sice stanovena, ale má význam pouze pro použití v betonu ostění hlavních důlních děl.
- Chemická stálost – kamenivo by mělo obsahovat minimální obsah reaktivního SiO_2 a sulfidů z důvodu jeho stability v kontaktu s bentonitem a podzemní vodou (Liu et al., 2003; Mata Mena, 2005; Cloet et al., 2017). Požadavky nebyly dosud stanoveny.
- Pevnost – nebyla dosud stanovena.
- Trvanlivost – nebyla dosud stanovena.
- Nasákavost – nebyla dosud stanovena.
- Otlukovost – nebyla dosud stanovena.

Z hlediska vlastností betonové směsi, vlastností a trvanlivosti betonu je důležité, aby kamenivo neobsahovalo škodlivé látky, které při styku s cementovým tmelem vedou k nepříznivému ovlivnění tuhnutí a tvrdnutí cementového tmele, způsobují vnitřní pnutí, a tím porušování struktury zatvrdlého betonu a snižují soudržnost u betonu s ocelí.

Pro HÚ se předpokládá, že bude jako zdroj kameniva primárně využita upravená rubanina z výstavby HÚ. Tím bude redukováno množství cizorodých materiálů. V souvislosti s upřesněním lokality vhodné pro umístění HÚ (Vondrovic et al., 2020) bude možné otestovat směs českého bentonitu a horniny typické pro vybranou lokalitu. Pouze tak bude možné určit požadavky na kamenivo pro výplň prostor nad ukládacím horizontem.

4 Předpoklady řešení komponent

Návrh koncepčního řešení je proveden tak, aby jednotlivé komponenty byly schopny plnit požadovanou funkci v HÚ.

4.1 Návrhová hlediska

Při návrhu byla zohledněna následující hlediska:

A) Bezpečnostní hledisko

- Použitý materiál komponent a jejich geometrie musí být kompatibilní s ostatními prvky HÚ, zejména pak se systémem inženýrských bariér a (především) OS tak, aby nedošlo k vzájemnému negativnímu ovlivnění a tím snížení životnosti – platí oboustranně. Pozn.: Tato kompatibilita je závislá i na poloze komponenty/subkomponenty v HÚ a její geometrii (např. zda je komponenta v přímém kontaktu s bariérami nebo zda část komponenty může vytvořit preferenční cestu pro vodu po degradaci materiálu komponenty). Více viz TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Použitý materiál musí mít takovou životnost, aby plnil požadovanou funkci po dobu předpokládané bezpečnostní funkce.

B) Technické hledisko

- Protože vybraný materiál bude experimentálně prověřován, zda vyhovuje požadavkům bezpečnosti, musí být na trhu běžně dostupný. Zároveň nesmí hrozit riziko, že v době reálného použití nebude výrobce nebo dodavatel.
- Materiál musí být snadno dostupný v požadovaném množství a kvalitě, bez nadstandardních nároků na speciální technologie, případně na vývoj nových technologií (ekonomické hledisko). Výhodou jsou ověřené technologie zpracování či úpravy, kde je možné nastavit požadavky kvality na základě předchozích výsledků.

C) Ekonomické hledisko

- Náklady na použitý materiál a technologie výroby/úpravy příp. instalace by měly respektovat požadavek zajištění bezpečnosti za rozumnou cenu.

D) Legislativa

- Uzavírání bude nutné provést v souladu s platnou legislativou. Podle projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) zřizování, provoz, zajištění a likvidace zařízení pro ukládání radioaktivních a jiných odpadů v podzemních prostorech ze stavebního hlediska patří v současné době (listopad 2022) podle § 34, odst. 1, písm. b) zákona ČNR č. 44/1988 Sb., (horní zákon) ve znění pozdějších předpisů mezi zvláštní zásahy do zemské kůry, které podle § 2, písm. f) zákona ČNR č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů, patří mezi hornickou činnost.

4.2 Jednotkové ceny použité pro ocenění komponent

Ceny pro komerčně dostupné materiály a komponenty (např. beton, výstroj, svorníky, jehly,...) vychází z cen uváděných v oborovém třídíku stavebních konstrukcí a prací pro rok 2022 ([OTSKP, 2022](#)).

Odhad ceny cementových výplní vychází z odborného odhadu a zkušeností z obdobných staveb (ÚRAO Richard a ÚRAO Bratrství) v cenové úrovni 2022. Jednotková cena zahrnuje cenu za materiál včetně přípravy a instalace směsi; její hodnota byla stanovena na 11 400 Kč/m³.

Odhad ceny výplní na bázi bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšeno o inflaci v letech 2018-2022. Aktuální cena byla stanovena následujícím způsobem pro různé objemové hmotnosti sušiny výplně: TZ 134/2017 uvádí cenu bentonitového materiálu včetně manipulace 10 017 Kč/m³ pro materiál o $\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$. To odpovídá 6,26 Kč/kg sušiny. Při uvažování kumulativní inflace za roky 2018-2022 ve výši 1,294 (viz Tab. 11) vychází cena ke konci roku 2022 na 8,1 Kč/kg sušiny. Tato cena odpovídá náročnosti přípravy a instalace materiálu pro výplň ukládacích vrtů (Tab. 12) primárně z bentonitových tvárnic. Instalace ostatních výplní na bázi peletizovaného materiálu bude pravděpodobně levnější z důvodu snazší manipulace/instalace a potenciálně levnější výroby oproti lisovaným tvárnici. V současné době však není možné kvantitativně stanovit velikost úspory.

Tab. 11 Míra inflace (zdroj: CZSO 10.11.2022)

Rok	Inflace [%]	Nárůst ceny	Nárůst ceny kumulativně
2018	2,1	1,021	1,021
2019	2,8	1,028	1,0496
2020	3,2	1,032	1,0832
2021	3,8	1,038	1,1243
2022 ³	15,1	1,151	1,2941

Tab. 12 Jednotková cena bentonitové výplně pro ukládací vrtů

Objemová hmotnost sušiny bentonitu [kg/m ³]	Cena [Kč/m ³]
1400	11 343
1600	12 963
1700	13773

³ Míra inflace vyjádřená přírůstkem indexu spotřebitelských cen ke stejnému měsíci předchozího roku (říjen, CZSO 10.11.2022)

4.3 Postup v případě nevyhovujících podmínek pro komponentu (sanace poruchy)

V případě nevyhovujících podmínek pro komponentu bude provedena lokální sanace, zaplnění a uzavření shodným postupem dle vybrané subvarianty komponenty pro vyhovující prostředí.

V případě ukládacích vrtů, komor a zavážecích chodeb nebudou tyto DuSO použity k ukládání radioaktivního odpadu.

5 Řešení jednotlivých komponent

Koncepční řešení výplní HÚ bylo rozděleno na 7 komponent (Tab. 13), které jsou dále děleny na varianty a subvarianty.

Dělení na varianty je primárně provedeno podle specifického účelu a předpokládané geometrie komponenty. Dělení na subvarianty je dále prováděno primárně podle technického/materiálového řešení.

Tab. 13 Seznam komponent

Číslo	Komponenta	Varianty komponenty	Subvarianty
VY 01	Výplň ukládacího vrtu	VY 01.01 Výplň ukládacího vrtu – horizontální ukládací vrt průměru 2.2 m	01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta) 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál 03 Peletizovaný materiál v celém profilu
		VY 01.02 Výplň ukládacího vrtu – horizontální ukládací vrt průměru 1.7 m	01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta) 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál 03 Peletizovaný materiál v celém profilu
		VY 01.03 Výplň ukládacího vrtu (buffer) - vertikální ukládací vrt	01 Tvárnice + peletizovaný materiál (preferovaná subvarianta) 02 Peletizovaný materiál
VY 02	Výplň zavážecí chodby	VY 02.01 Výplň zavážecí chodby	01 Výplň zavážecí chodby ražené TBM 02 Výplň zavážecí chodby ražené NRTM
VY 03	Výplň komory RAO	VY 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku	01 Cementová výplň 02 Bentonitová výplň
		VY 03.02 Výplň RAO komory – zaplnění po částech	01 Cementová výplň 02 Bentonitová výplň
VY 04	Výplň prostor na ukládacím horizontu	VY 04.01 Výplň prostor na ukládacím horizontu	01 Peletizovaný materiál

Číslo	Komponenta	Varianty komponenty	Subvarianty
VY 05	Výplň prostor nad ukládacím horizontem	VY 05.01 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka)	01 Bentonit 02 Směs bentonit + kamenivo (preferovaná)
		VY 05.02 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch)	01 Výplň odtěžovacího a zavážecí tunelu 02 Výplň vtažné jámy
VY 06	Zátky	VY 06.01 Zátka – Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
		VY 06.02 Zátka – Provozní zátka zavážecí chodby	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
		VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
		VY 06.04 Zátka – Provozní zátka na ukládacím horizontu	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
		VY 06.05 Zátka – Tlaková a těsnicí zátka (oddělení místa s přítoky / poruchou)	01 Tlaková a těsnicí zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Tlaková a těsnicí zátka z monolitického železo/vláknobetonu
		VY 06.06 Zátka – Uzavírací zátka HÚ (úpadní tunely, vtažná jáma)	01 Uzavírací portálová zátka úpadního tunelu 02 Uzavírací ohlubňový poval

Číslo	Komponenta	Varianty komponenty	Subvarianty
VY 07	Ostatní konstrukční prvky	VY 07 Ostatní konstrukční prvky	01 Předháněná výztuž – Jehly 02 Svorníky 03 Mikropiloty 04 Injektáže 05 Ostění a jeho komponenty

5.1 VY 01.01 Výplň ukládacího vrtu - horizontální ukládací vrt průměru 2.2 m

5.1.1 Karta komponenty

Název	Výplň ukládacího vrtu (buffer) - horizontální ukládací vrt
Popis	Výplň ukládacího vrtu při horizontálního způsobu ukládání UOS
Umístění v HÚ	Ukládací vrt
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) V ukládacím vrtu a zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...)
Subvarianty	<p>01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)</p> <p>02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál</p> <p>03 Peletizovaný materiál v celém profilu</p>
Materiál	Bentonit
Díličí komponenty	<p>01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)</p> <p>02 Hlavní výplň (mimo lůžko) a v distančním bloku</p> <p>03 Vyrovnávací vrstva na počvě</p> <p>04 Výplň technologických spár</p> <p>Pozn.: Uzavření vrtu viz VY 06.01 Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu</p>
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu a tvárnic.
Technologie instalace/výstavby	<p>01 Sestavení z prefabrikátů (lisovaných dílů)</p> <p>02 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník, gravitační doprava, vibrační dopravník), dohutnění na místě</p>

5.1.2 Požadavky na komponentu

5.1.2.1 Externí požadavky a specifikace

5.1.2.1.1 Požadavky z TZ 580/2022

Technická zpráva TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) obsahuje následující požadavky na výplň ukládacího vrtu a související komponenty.

Výplň (buffer a distanční blok):

- ρ_d celé bariéry: 1600 kg/m³
- Vlhkost po umístění bufferu: minimálně taková, aby dostatečně odvedla teplo od UOS, na jehož povrchu nesmí být více než 95° C

Buffer

- Šířka: 643 mm
- Tloušťka před UOS: 350 mm
- Tloušťka za UOS: 350 mm

Distanční blok

- Šířka: 2200 mm
- Délka: 500 mm

Vrt

- Průměr ukládacího vrtu: **2200 mm** (pro všechny typy VJP), (Grünwald et al., 2018)
- Horizontální osová vzdálenost mezi jednotlivými UOS ve vrtu je závislá na typu paliva (Grünwald et al., 2018)⁴: pro VVER 440 = 7 750 mm, VVER 1000 = 22 000 mm a NJZ více než 45 000 mm.
- Osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty není závislá na typu paliva (Grünwald et al., 2018)⁵: 35 000 mm.
- Délka ukládacího vrtu: 290 000 mm (Grünwald et al., 2018)
- Celkový počet potřebných ukládacích vrtů je 404 (Grünwald et al., 2018).
- Zóna ovlivněná ražbou v okolí ukládacího vrtu je 350 mm (Grünwald et al., 2018).

UOS

Návrhové parametry UOS:

- Maximální teplota na povrchu UOS: 95 °C
- Specifikace UOS dle VJP:
 - VVER 440: h = 3 970 mm, d = 914 mm
 - VVER 1000: h = 5 205 mm, d = 914 mm
 - NJZ: nebylo stanoveno
- Návrhový tlak okolí vyvinutý na UOS: do 20 MPa

⁴ Horizontální osová vzdálenosti mezi jednotlivými UOS ve vrtu platí za předpokladu, že VJP bylo skladováno po dobu 65 let od jeho vyjmutí z aktivní zóny reaktoru.

⁵ Osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty platí za předpokladu, že VJP bylo skladováno po dobu 65 let od jeho vyjmutí z aktivní zóny reaktoru.

5.1.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Koncepční návrh bufferu vychází z požadovaných bezpečnostních a technických funkcí, které má zajišťovat. Ty lze rozdělit do následujících kategorií:

- Zamezení přístupu vody a agresivních látek k UOS, zpomalení degradace UOS
- Zamezení rozvoje mikrobiální koroze
- Chemická kompatibilita s materiálem UOS (neurychlení degradace UOS)
- Zajištění odvodu tepla z UOS
- Mechanická ochrana a stabilizace polohy UOS
- Minimalizace transportu a retardace radionuklidů
- Zajišťovat odvod vytvářených plynů

Zamezení přístupu vody a agresivních látek k UOS, zpomalení degradace UOS

Tlumičím materiálem musí co nejvíce oddálit okamžik, kdy se voda dostane k UOS a následně k VJP, a poté minimalizovat její transport. Přítomnost podzemní vody je spouštěčem chemických reakcí, které mají, mimo jiné, za následek vznik koroze UOS. Tato funkce je ovlivněna hustotou materiálu, jeho hydraulickými vlastnostmi a jeho mocností (tloušťkou bariéry).

Zamezení rozvoje mikrobiální koroze

UOS je rovněž ohrožen aktivitou mikroorganismů přirozeně přítomných v bentonitu, které mohou způsobit rozvoj koroze materiálu UOS na styku s bentonitem. K omezení mikrobiální aktivity slouží kompaktování bentonitu na vysokou objemovou hmotnost, homogenita bufferu, omezení volných prostor v rámci bufferu (př. technologické spáry) a na rozhraní bufferu a jiných komponent a materiálů (př. hornina), a limitace obsahu organických látek v bentonitu sloužících jako zdroj energie pro mikroorganismy (podrobně viz 3.1).

Chemická kompatibilita s materiálem UOS (neurychlení degradace UOS)

Chemická kompatibilita materiálů inženýrských bariér prodlužuje dobu, po kterou nedochází ke vzájemnému ovlivnění a degradaci materiálů na rozhraní. Vlivem koroze může docházet k degradaci bentonitu na rozhraní komponent a k omezení jeho retardačních vlastností. Zároveň může dojít ke vzniku nežádoucích prostor pro rozvoj mikrobiální aktivity. Z korodované oceli bude do bufferu difundovat železo, čímž může dojít ke změně pH a dalších geochemických vlastností bentonitu. Železo uvolněné z oceli využijí železo-redukující bakterie ke svému dalšímu rozvoji (viz TZ 616/2022, Večerník et al., 2022). Tato funkce je ovlivněna chemickým a mineralogickým složením bufferu, složením podzemní vody, mikrobiálním osídlením a jeho rozvojem v čase a podmínkách úložiště.

Zajištění odvodu tepla z UOS

Odvod tepla z UOS do okolního horninového masivu je důležitou funkcí bufferu. Musí zajistit odvod generovaného tepla, aby v důsledku přehřátí UOS s VJP nedošlo ke vzniku kritického stavu. Zároveň by vlivem zvýšené teploty nemělo dojít ke ztrátě retardačních vlastností bentonitu. Vlastnosti a provedení bufferu mají přímý vliv na teplotu UOS v čase, neboť z tepelného hlediska jde o systém řízený výkonem, kdy výsledná teplota je dána rovnováhou mezi zdrojem tepla (produkce tepla UOS a ovlivnění okolními UOS) a kvalitou jeho odvodu. Pro dobrý odvod tepla je třeba zajistit, aby buffer byl v přímém kontaktu s UOS, v přímém

kontaktu s okolní horninou a v bufferu nebyly volné prostory (např. nevyplněné technologické spáry) působící jako lokální tepelná izolace. Odvod tepla je dále závislý na tloušťce bufferu (s větší tloušťkou se snižuje) a jeho tepelné vodivosti (s nárůstem vodivosti se zlepšuje). Tepelná vodivost je závislá na suché objemové hmotnosti bufferu (s nárůstem se zvyšuje) a vlhkosti (s nárůstem se zvyšuje).

Mechanická ochrana a stabilizace polohy UOS

Další funkcí bufferu je zajištění polohy UOS a jeho mechanická ochrana. Buffer musí mít dostatečnou pevnost, přetvárné a smykové charakteristiky, aby nedošlo ke změně polohy UOS uvnitř bufferu (např. k postupnému „propadnutí“). Sekundárně musí zajistit mechanickou ochranu UOS v případě seismických událostí. Tyto funkce závisí na tloušťce bariéry a jejích mechanických vlastnostech, které jsou ovlivněny suchou objemovou hmotností bufferu a jeho vlhkostí.

Bobtnavost bentonitu ovlivňuje uzavírání volných prostor, spar a samohojení ploch nespojitosti. Je příznivé, aby bobtnací schopnost byla co nejvyšší. U bentonitu je bobtnavost převážně ovlivněna obsahem smektitů, objemovou hmotností sušiny (tedy zhutněním) a také typem výměnného kationtu. S rostoucí objemovou hmotností sušiny bobtnací tlak roste exponenciálně. Vyšší bobtnací tlak je pro bentonity s vyšším podílem smektitu a pro bentonity s převahou Na^+ v mezivrstvích. Relativní rozdíly bobtnacích tlaků jsou při malých objemových hmotnostech a stírají se v rozmezí $\rho_d \sim 1500\text{-}1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Vašíček et al., 2019).

Přítomnost koloidních částic vede k erozi bentonitu, bobtnavost napomáhá k hodnocení tohoto jevu. Parametr může být součástí systému kontroly kvality materiálu při výstavbě HÚ (Pospíšková et al., 2022).

Minimalizace transportu a retardace radionuklidů

Neméně důležitou funkcí je omezení transportu a retardace radionuklidů. Po průniku vody k uloženému VJP je voda transportním médiem radionuklidů. Transportní procesy (včetně retardace) závisí na tloušťce bufferu (s větší tloušťkou trvají déle) a jeho hydraulických vlastnostech (propustnost, difusní koeficient, sorpční koeficient). Tyto vlastnosti jsou závislé na suché objemové hmotnosti bufferu (s nárůstem se propustnost a další koeficienty obecně snižují). Schopnost sorpce radionuklidů odráží kationtová výměnná kapacita (CEC) a specifický povrch (SSA). Kationtová výměnná kapacita je jedním z nejcitlivějších parametrů odrážející změny v mineralogickém složení a bobtnavosti způsobené illitizací, cementací a dalšími alteračními procesy (Dohrmann et al., 2012). Obsah reaktivního Si v bentonitu odráží náchylnost bentonitu k alteraci i jeho stabilitu ve vztahu k cementovým a betonovým komponentám.

Chemické složení pórové vody bude závislé na vlastnostech bentonitu (mineralogické složení, obsah jílu ze skupiny smektitu, velikost kationtové výměnné kapacity a obsazení kationtů na výměnných místech, obsah a složení nejilových vodorozpustných minerálů), na chemickém složení podzemní vody a na fyzikálně-chemických parametrech prostředí (teplota, tlak, složení plynné fáze apod.). Pojmem „pórová voda“ je v bentonitu v současnosti většinou autorů označována volná voda „*free water*“, která se podílí na reakcích probíhajících uvnitř bentonitu (sorpce, rozpouštění, srážení) a současně umožňuje transport látek pomocí difúze. Objem pórové vody v kompaktním bentonitu je pak funkcí jeho hustoty, resp. objemové hmotnosti („*dry density*“, Bradbury a Baeyens, 2003).

Zajištění odvodu vytvářených plynů

Buffer musí rovněž umožnit odvod vznikajících plynů (vznikajícího např. v důsledku koroze UOS, radiolýzy vody nebo uvolněného plynu z vnitřního prostoru UOS po jeho poškození) a zamezit nárůstu tlaku v systému inženýrských bariér. Tato funkce je ovlivněna chemickým a mineralogickým složením bufferu a jeho hustotou.

5.1.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022)
- předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022)
- požadavků na bezpečnostní funkce v TZ 618/2022 (Pospíšková et. al., 2022)
- technické proveditelnosti
- ekonomické dostupnosti

Oproti TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) je uvažováno s větší délkou distančního bloku, která vychází z předpokládané vzdálenosti mezi UOS. Pro VVER 440 je délka distančního bloku 3960 mm a pro VVER 1000 je délka distančního bloku 16 795 mm.

Požadavky na vlastnosti bentonitu jsou uvedeny v Tab. 6 v kapitole 3.1

5.1.4 Popis komponenty

Ukládací vrt (DuSO 09) se nachází na ukládacím horizontu HÚ. Výplň ukládacího vrtu se skládá dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) ze dvou částí: Buffer a Distanční blok.

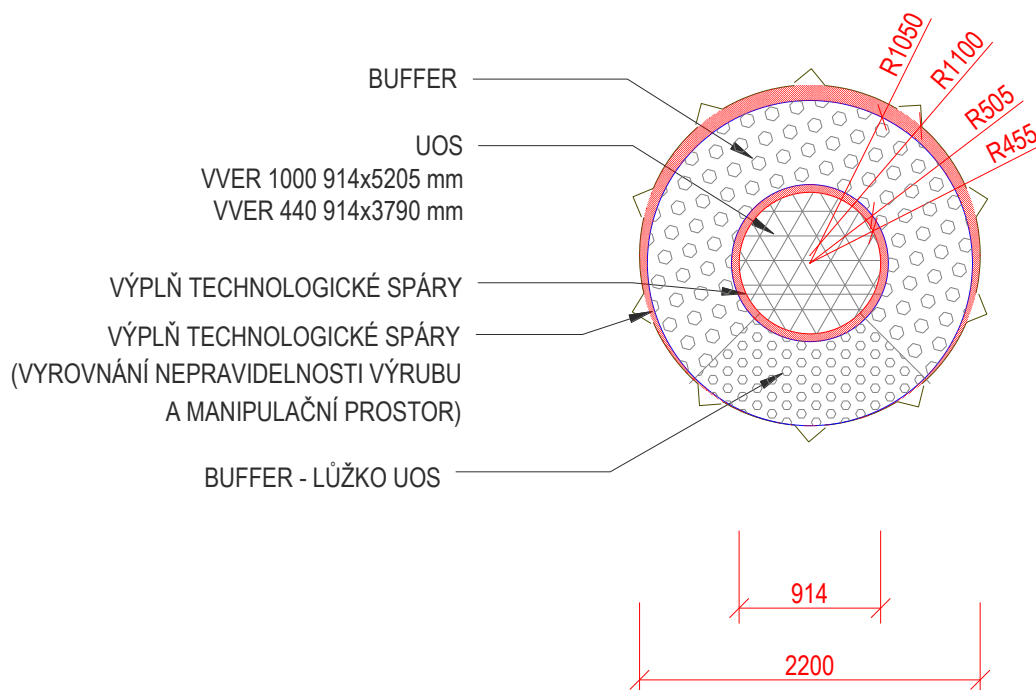
- Buffer je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS.
- Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená kompaktovaným bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako Buffer, umístěná v ukládacím vrtu k zajištění požadované vzdálenosti mezi jednotlivými UOS.

Předpokládá se použití bentonitu z české provenience, který je vápenato hořečnatý.

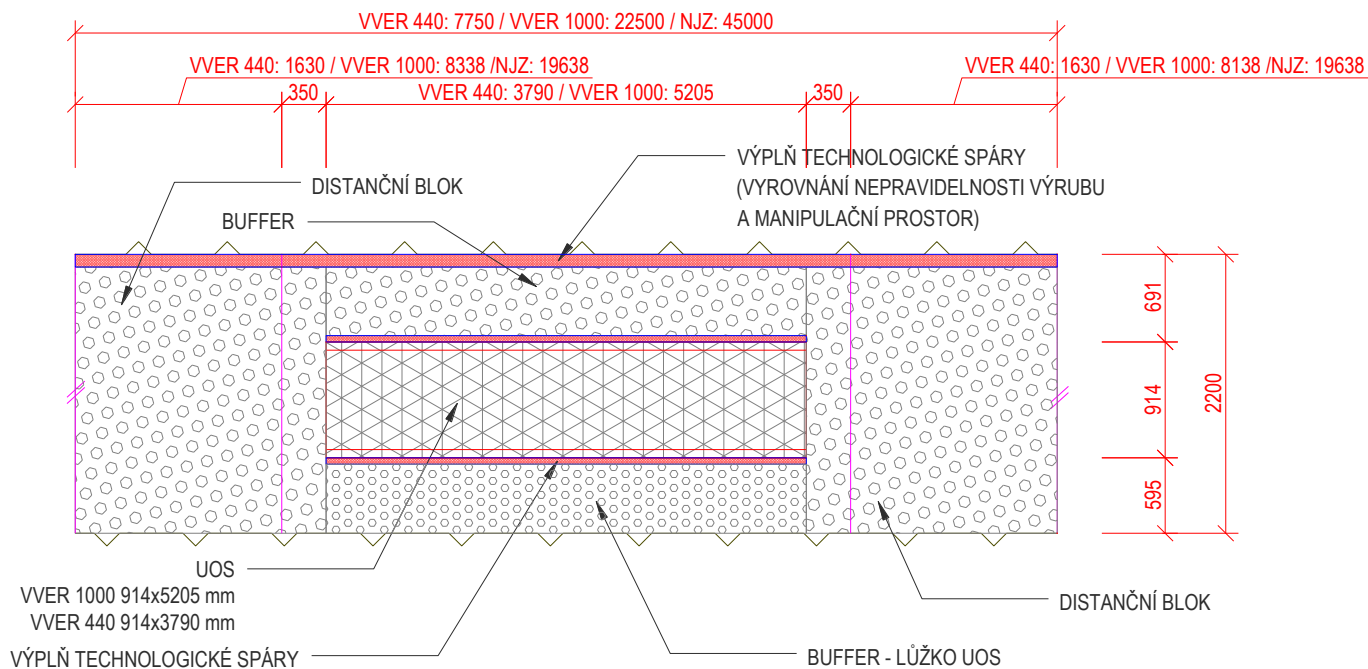
Návrh koncepčního řešení (Obr. 2) předpokládá rozdělení Výplně ukládacího vrtu na následující subkomponenty:

- 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)
- 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)
- 03 Vyrovnávací vrstva na počvě
- 04 Výplň technologických spár

Buffer se skládá ze subkomponent 01-04. Distanční blok ze subkomponent 02-04.



Obr. 2 Příčný řez ukládacím vrtem v místě UOS



Obr. 3 Svislý podélný řez ukládacím vrtem v místě UOS (zobrazeno jedno ukládací místo s přilehlou částí distančního bloku)

Jsou navrženy tři subvarianty technického řešení komponenty:

- 01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)
- 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál
- 03 Peletizovaný materiál v celém profilu

Subvarianta 01 předpokládá využití lisovaných tvárnic jako hlavního materiálu bufferu a distančního bloku. Peletizovaný materiál bude použit na srovnání počvy vrtu (pokud bude třeba) a na vyplnění technologických spár podél UOS a horniny.

Subvarianta 02 předpokládá využití lisovaných tvárnic jako hlavního materiálu bufferu v prostoru pod UOS (lůžko). Peletizovaný materiál bude použit na srovnání počvy vrtu (pokud bude třeba), na vyplnění technologických spár podél UOS a horniny, buffer mimo oblast lůžka, celý distanční blok.

Subvarianta 03 předpokládá využití peletizovaného materiálu v celém profilu bufferu a pro celý distanční blok.

5.1.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Primární užití: Ukládací vrt s UOS (DuSO 09) – horizontální systém.

Sekundární užití: Není

5.1.6 Podmínky použitelnosti

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- V ukládacím vrtu a zavázečím chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...), které by mohly negativně ovlivnit bezpečnost HÚ

5.1.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

5.1.7.1 Subvarianta 01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát)

Preferovaná varianta z důvodu zaručeného dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu. Varianta dosahuje průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně: v oblasti okolo UOS 1653 kg/m³; mimo UOS 1673 kg/m³.

Výhody:

- Je zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu
- Je zaručena poloha UOS v ukládacím vrtu

Nevýhody:

- Složitá příprava
- Složitá instalace
- Technologické spáry
- Náročné na uchování a manipulaci s výplňovým materiálem

5.1.7.1.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Lůžko obalového souboru bude provedeno z bentonitových tvárnic $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$. Objemová hmotnost byla zvolena tak, aby byla i v prostoru kolem UOS po zaplnění technologických spár dosažena požadovaná průměrná ρ_d bufferu 1600 kg/m^3 .

Tvárnice budou předem sestaveny do větších celků a na místo budou ukládány v těchto celcích. Systém rozdělení na jednotlivé celky bude předmětem další optimalizace. Velikost lůžka bude předmětem další optimalizace.

Pevnost tvárnic musí být taková, aby nedošlo k rozpadu lůžka po uložení UOS.

Geometrie lůžka musí být taková, aby umožnila instalaci UOS a zaplnění zbylého prostoru v ukládacím vrtu.

5.1.7.1.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Hlavní výplň bude totožná se Subkomponentou 01

5.1.7.1.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě

Vyrovnávací vrstva dna (pokud bude třeba) bude provedena z peletizovaného bentonitu s minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m^3 . Tloušťka vyrovnávací vrstvy bude závislá na zvolené technologii exkavace ukládacího vrtu. Návrh koncepčního řešení předpokládá tloušťku do 50 mm.

Vlastnosti subkomponenty 03 budou shodné s subkomponentou 04.

5.1.7.1.4 04 Výplň technologických spár

Technologické spáry jsou nutné z důvodů tolerancí vrtu, manipulace s tvárnici a možnosti bezproblémového zaplnění spár bez vzniku dutin. Předpokládá se, že velikost (tloušťka) těchto spár bude 50 mm.

Velikost technologických spár bude v rámci optimalizace upřesněna.

Výplň technologické spáry podél UOS a podél stěn vrtu bude provedena z peletizovaného bentonitu s minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m^3 .

5.1.7.2 Subvarianta 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál

Alternativní varianta. Technologicky středně složitá, avšak v současné době nelze technicky zaručit dosažení požadované ρ_d bufferu. Varianta teoreticky dosahuje⁶ průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně v oblasti UOS 1613 kg/m^3 . Mimo UOS je shodná se Subvariantou 03.

Výhody:

- Jednodušší zaplnění hlavní části výplně a celý distanční blok
- Jednodušší skladování a manipulace s větší částí výplňového materiálu
- Menší množství technologických spár

⁶ V textu uvedena hodnota je za předpokladu ρ_d uloženého peletizovaného materiálu 1600 kg/m^3 , což není v současné době technologicky zvládnuté.

Nevýhody:

- V současné době není zaručeno dosažené požadované objemové hmotnosti bufferu

5.1.7.2.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Subkomponenta je shodná s řešením subkomponenty v Subvariantě 01, viz kapitola 5.1.7.1.1.

5.1.7.2.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Hlavní výplň ukládací vrtu bude provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³. Výplň zahrnuje i prostor přilehlých technologických spár ze Subvarianty 01.

Upozornění: V současné době nelze tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj.

5.1.7.2.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě

Subkomponenta je shodná s řešením subkomponenty v Subvariantě 01, viz kapitola 5.1.7.1.3.

5.1.7.2.4 04 Výplň technologických spár (pouze pod UOS)

Subkomponenta je shodná se Subvariantou 01 v oblasti lůžka UOS (viz kapitola 5.1.7.1.4). Mimo lůžko UOS subkomponenta není a prostor je zahrnut do Subkomponenty 02.

5.1.7.3 Subvarianta 03 Peletizovaný materiál v celém profilu

Alternativní varianta. Technologicky nejjednodušší, avšak v současné době nelze technicky zaručit dosažení požadované ρ_d bufferu. Varianta dosahuje shodné průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně.

Výhody:

- Jednoduchá instalace
- Jednodušší skladování a manipulace s výplňovým materiálem
- Nemá technologické spáry

Nevýhody:

- Nutnost využití stroje na zajištění polohy UOS/přípravy geometrie lůžka.
- V současné době není zaručeno dosažené požadované objemové hmotnosti bufferu

5.1.7.3.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Hlavní výplň ukládací vrtu bude provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³.

Upozornění: V současné době nelze tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj. Po vyřešení technologie je vhodné přejít na tuto variantu.

5.1.7.3.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Shodná se subkomponentou 01 (viz kapitola 5.1.7.3.1).

5.1.7.3.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě – není třeba (je součástí 01)

5.1.7.3.4 04 Výplň technologických spár – není třeba (technologické spáry nejsou)

5.1.8 Technologie výroby/přípravy

Pro potřeby bufferu bude využit průmyslově těžený a zpracovaný (homogenizovaný) bentonit. Tento bude dodán výrobcem v peletizované formě nebo ve formě prášku. Z prášku (případně peletizované formy) bude dodavatelsky nebo v zázemí HÚ bentonit lisován do formy tvárnic. Takto připravený materiál bude uskladněn ve vhodných podmínkách do doby použití, tak aby nedošlo k jeho degradaci (rozpad tvárnic) a kontaminaci.

Před vlastním použitím budou bentonitové tvárnice na vhodném místě sestaveny do větších celků (celá vrstva/vrstvy) a vhodným způsobem připraveny k transportu k ukládacímu vrtu a využití manipulátorem.

Peletizovaný materiál není třeba upravovat a na místo uložení bude přepraven ve vhodných transportních nádobách.

5.1.9 Technologie instalace/výstavby

5.1.9.1 Subvarianta 01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát)

Výstavba výplně ukládacího vrtu proběhne následovně:

- 1) Srovnání dna ukládacího vrtu peletizovaným materiálem (pokud bude třeba).
- 2) Výstavba lůžka UOS z bentonitových bloků
- 3) Instalace UOS
- 4) Instalace bentonitových bloků okolo a nad UOS. Současně zaplnění technologických spár podél UOS a horniny.
- 5) Instalace distančního bloku – shodná s body 1 a 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění bloky v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro srovnání dna bude využito gravitačního uložení a vibrační desky.
- Pro instalaci hlavní části bufferu bude využit vakuový manipulátor, který bude schopen najednou uložit celý blok tvárnic.
- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění technologických spár bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Velikost technologických spár musí být zvolena s ohledem na zvolenou technologii zaplnění tak, aby nedošlo k ponechání dutin. Zároveň musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění.

Pozn.: Technologie pro zaplnění spár je nutné integrovat s technologií výstavby hlavní částí bufferu (manipulátor tvárnic). Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“ po krátkých sekcích, kdy nejprve bude sekce vyplněna tvárnici a poté vyplněny technologické mezery. Je možné, že bude sekce třeba dočasně podporovat/pažit.

5.1.9.2 Subvarianta 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál

Výstavba výplně ukládací vrtu proběhne následovně:

- 1) Srovnání dna ukládacího vrtu peletizovaným materiálem (pokud bude třeba).
- 2) Výstavba lůžka UOS z bentonitových bloků
- 3) Instalace UOS
- 4) Instalace peletizovaného materiálu okolo a nad UOS.
- 5) Instalace distančního bloku – shodná s bodem 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění peletizovaným materiálem v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro srovnání dna bude využito gravitačního uložení a vibrační desky.
- Pro instalaci hlavní části bufferu bude využit vakuový manipulátor, který bude schopen najednou uložit celý blok tvárnic.
- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění výplně mimo lůžko UOS a technologických spár bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění. Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“. Je pravděpodobné, že bude třeba výplň dočasně podporovat/pažit.

5.1.9.3 Subvarianta 03 Peletizovaný materiál v celém profilu

Výstavba výplně ukládací vrtu proběhne následovně:

- 1) Zaplnění spodní „poloviny“ ukládací vrtu s ponecháním prostoru pro UOS.
- 2) Dohutnění/vyvoření přesného prostoru pro UOS (ekvivalent lůžka) pomocí vibrační desky příslušného tvaru.
- 3) Instalace UOS
- 4) Instalace peletizovaného materiálu okolo a nad UOS.
- 5) Instalace distančního bloku – shodná s bodem 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění peletizovaným materiálem v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění výplně bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění. Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“. Je pravděpodobné, že bude třeba výplň dočasně podporovat/pažit.
- Pro přípravu lůžka UOS bude použita vibrační deska příslušného tvaru

5.1.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplní na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden

v kapitole 4.2. V Tab. 14 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny, která je uvedena v Tab. 15. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 14 Množství materiálu pro jednotlivé varianty VY01.01

		Bentonit ρ_d [kg/m ³]	VVER 440 Množství materiálu [m ³]	VVER 1000 Množství materiálu [m ³]	NJZ Množství materiálu [m ³]
01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)	1700	23.2	72.8	153.3
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)				
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě	1400	3.2	8.5	16.5
	04 Výplň technologických spár				
02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)	1700	2.7	3.6	3.6
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)	1600	22.8	75.8	163.2
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě	1400	0.5	0.7	0.7
	04 Výplň technologických spár				
03 Peletizovaný materiál v celém profilu	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)				
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)	1600	26.0	80.0	167.2
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě				
	04 Výplň technologických spár				

Tab. 15 Odhad ceny komponenty VY 01.01

	Cena subvarianty celkem za jedno úložné místo		
	VVER 440	VVER 1000	NJZ
	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč
01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)	356	1 099	2 299
02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál	338	1 040	2 173
03 Peletizovaný materiál v celém profilu	337	1 037	2 167

5.2 VY 01.02 Výplň ukládacího vrtu - horizontální ukládací vrt průměru 1.7 m

5.2.1 Karta komponenty

Název	Výplň ukládacího vrtu (buffer) - horizontální ukládací vrt
Popis	Výplň ukládacího vrtu při horizontálního způsobu ukládání UOS
Umístění v HÚ	Ukládací vrt
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> • Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) • V ukládacím vrtu a zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...)
Subvarianty	<p>01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)</p> <p>02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál</p> <p>03 Peletizovaný materiál v celém profilu</p>
Materiál	Bentonit
Dílní komponenty	<p>01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)</p> <p>02 Hlavní výplň (mimo lůžko) a v distančním bloku</p> <p>03 Vyrovnávací vrstva na počvě</p> <p>04 Výplň technologických spár</p> <p>Pozn.: Uzavření vrtu viz VY 06.01 Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu</p>
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu a tvárníc.
Technologie instalace/výstavby	<p>01 Sestavení z prefabrikátů (lisovaných dílů)</p> <p>02 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník, gravitační doprava, vibrační dopravník), dohutnění na místě</p>

5.2.2 Požadavky na komponentu

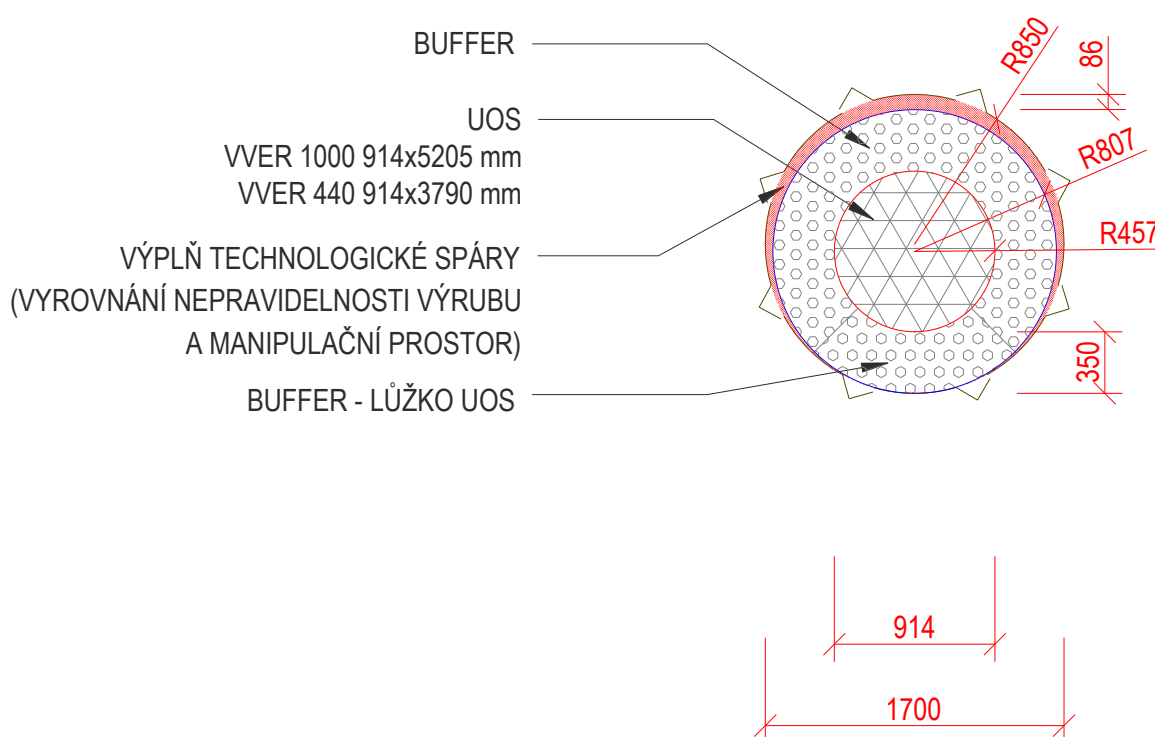
Shodné s VY 01.01. Viz kapitola 5.1.2. Pouze průměr vrtu byl upraven tak, aby byl minimální a zároveň byl zachován požadavek na tloušťku bariéry a její objemovou hmotnost sušiny.

5.2.3 Předpoklady návrhu komponenty

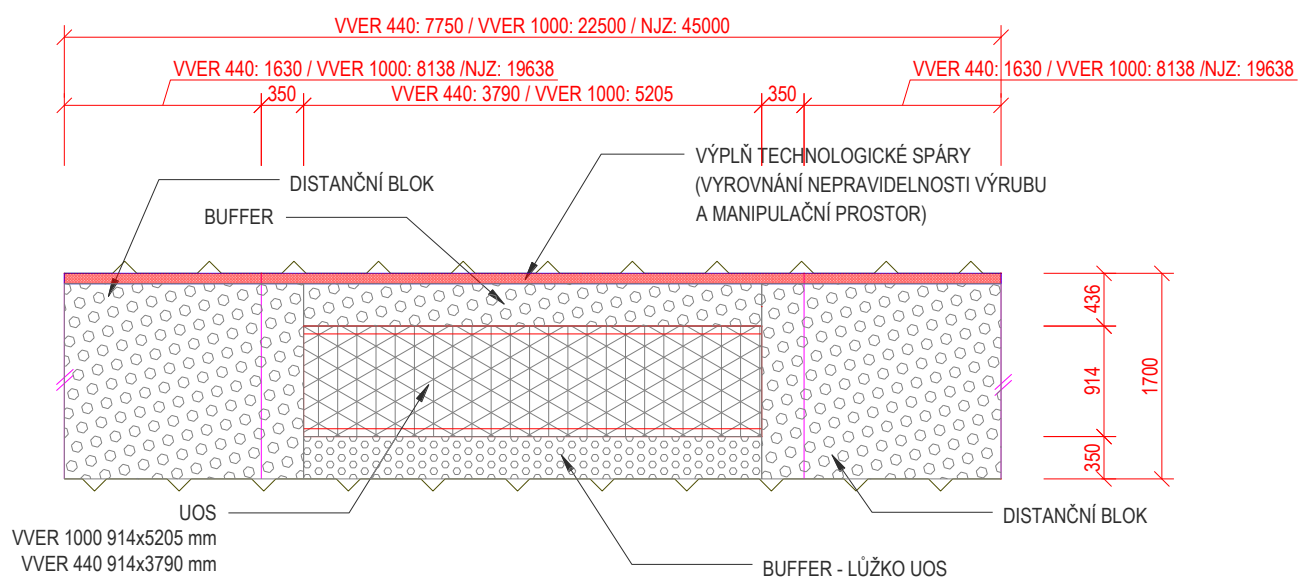
Shodné s VY 01.01. Viz kapitola 5.1.3. Komponenta se liší pouze v použitém průměru ukládacího tunelu. Průměr byl zvolen jako minimální, při kterém lze dodržet tloušťku bentonitové výplně min 350 mm.

5.2.4 Popis komponenty

Shodné s VY 01.01. Viz kapitola 5.1.4 a Obr. 4. Komponenta je alternativním řešením pro menší průměr úložného vrtu. Rozdílné jsou pouze rozměry vrtu a okolo UOS se neplánuje technologická spára.



Obr. 4 Příčný řez ukládacím vrtem v místě UOS



Obr. 5 Svislý podélný řez ukládacím vrtem v místě UOS (zobrazeno jedno ukládací místo s přilehlou částí distančního bloku)

5.2.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Primární užití: Ukládací vrt s UOS (DuSO 09) – horizontální systém.

Sekundární užití: Není

5.2.6 Podmínky použitelnosti

Shodné s VY 01.01. Viz kapitola 5.1.6.

5.2.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

5.2.7.1 Subvarianta 01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát)

Preferovaná varianta z důvodu zaručeného dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu. Varianta dosahuje průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně: v oblasti okolo UOS 1658 kg/m³; mimo UOS 1670 kg/m³.

Výhody:

- Je zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu
- Je zaručena poloha UOS v ukládacím vrtnu

Nevýhody:

- Složitá příprava
- Složitá instalace
- Technologické spáry
- Náročné na uchování a manipulaci s výplňovým materiálem

5.2.7.1.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Lůžko obalového souboru bude provedeno z bentonitových tvárnic $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$. Objemová hmotnost byla zvolena tak, aby byla i v prostoru kolem UOS po zaplnění technologických spár dosažena požadovaná průměrná ρ_d bufferu 1600 kg/m^3 .

Tvárnice budou předem sestaveny do celků budou ukládány těchto celcích. Systém rozdělení na jednotlivé celky bude předmětem další optimalizace. Velikost lůžka bude předmětem další optimalizace.

Pevnost tvárnic musí být taková, aby nedošlo k rozpadu lůžka po uložení UOS.

Geometrie lůžka musí být taková, aby umožnila instalaci UOS a zaplnění zbylého prostoru v ukládacím vrtu.

5.2.7.1.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Hlavní výplň bude totožná se Subkomponentou 01.

5.2.7.1.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě – není

5.2.7.1.4 04 Výplň technologických spár

Technologické spáry jsou nutné z důvodů tolerancí vrtu, manipulace s tvárnici a možnosti bezproblémového zaplnění spár bez vzniku dutin. Předpokládá se, že velikost (tloušťka) těchto spár bude 0-86 mm.

Velikost technologických spár bude v rámci optimalizace upřesněna.

Výplň technologické spáry podél stěn vrtu bude provedena z peletizovaného bentonitu s minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m^3 .

5.2.7.2 Subvarianta 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál

Alternativní varianta. Technologicky středně složitá, avšak v současné době nelze technicky zaručit dosažení požadované ρ_d bufferu. Varianta teoreticky dosahuje⁷ průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně v oblasti UOS 1614 kg/m^3 . Mimo UOS je shodná se Subvariantou 03.

Výhody:

- Jednodušší zaplnění hlavní části výplně a celý distanční blok
- Jednodušší skladování a manipulace s větší částí výplňového materiálu
- Menší množství technologických spár

Nevýhody:

- V současné době není zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu

5.2.7.2.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Subkomponenta je shodná se Subvariantou 01.

⁷ V textu uvedena hodnota je za předpokladu ρ_d uloženého peletizovaného materiálu 1600 kg/m^3 , což není v současné době technologicky zvládnuté.

5.2.7.2.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Hlavní výplň ukládací vrtu bude provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³. Výplň zahrnuje i prostor přilehlých technologických spár ze Subvarianty 01.

Upozornění: V současné době nelze tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj.

5.2.7.2.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě

Subkomponenta je shodná se Subvariantou 01.

5.2.7.2.4 04 Výplň technologických spár

Subkomponenta je shodná se Subvariantou 01 v oblasti lůžka UOS. Mimo lůžko UOS subkomponenta není a prostor je zahrnut do Subkomponenty 02.

5.2.7.3 Subvarianta 03 Peletizovaný materiál v celém profilu

Alternativní varianta. Technologicky nejjednodušší, avšak v současné době nelze technicky zaručit dosažení požadované ρ_d bufferu. Varianta dosahuje shodné průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně.

Výhody:

- Jednoduchá instalace
- Jednodušší skladování a manipulace s výplňovým materiálem
- Nemá technologické spáry

Nevýhody:

- Složitější zajištění polohy UOS/přípravy geometrie lůžka.
- V současné době není zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu

5.2.7.3.1 01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)

Hlavní výplň ukládací vrtu bude provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³.

Upozornění: V současné době nelze tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj. Po vyřešení technologie je vhodné přejít na tuto variantu.

5.2.7.3.2 02 Hlavní výplň (mimo lůžko)

Shodná se subkomponentou 01.

5.2.7.3.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě – není třeba (je součástí 01)

5.2.7.3.4 04 Výplň technologických spár – není třeba (technologické spáry nejsou)

5.2.8 Technologie výroby/přípravy

Pro potřeby bufferu bude využit průmyslově těžený a zpracovaný (homogenizovaný) bentonit. Tento bude dodán výrobcem v peletizované formě nebo ve formě prášku. Z prášku (případně

peletizované formy) bude dodavatelsky nebo v zázemí HÚ bentonit lisován do formy tvárnic. Takto připravený materiál bude uskladněn ve vhodných podmínkách do doby použití, tak by nedošlo k jeho degradaci (rozpad tvárnic) a kontaminaci.

Před vlastním použitím budou bentonitové tvárnice na vhodném místě sestaveny do větších celků (celá vrstva/vrstvy/úložné místo) a vhodným způsobem připraveny k transportu k ukládacímu vrtu a využití manipulátorem.

Peletizovaný materiál není třeba upravovat a na místo uložení bude přepraven ve vhodných transportních nádobách.

5.2.9 Technologie instalace/výstavby

5.2.9.1 Subvarianta 01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát)

Výstavba výplně ukládací vrtu proběhne následovně:

- 1) Sestavení lůžka uvnitř manipulátoru (mimo vrt)
- 2) Instalace UOS uvnitř manipulátoru (mimo vrt)
- 3) Sestavení hlavní výplně uvnitř manipulátoru (mimo vrt)
- 4) Instalace sestavy UOS s výplní manipulátorem. Současně zaplnění technologických spár podél horniny.
- 5) Instalace distančního bloku – shodná s body 1 a 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění bloku v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro srovnání dna bude využito gravitačního uložení a vibrační desky.
- Pro instalaci hlavní části bufferu bude využit vakuový manipulátor, který bude schopen najednou uložit celý blok tvárnic.
- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění technologických spár bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponornými tyčemi). Velikost technologických spár musí být zvolena tak s ohledem na zvolenou technologii zaplnění tak, aby nedošlo k ponechání dutin. Zároveň musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění.

Pozn.: Technologie pro zaplnění spár je nutné integrovat s technologií výstavby hlavní částí bufferu (manipulátor tvárnic). Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“ po krátkých sekcích, kdy nejprve bude sekce vyplněna tvárnici a poté vyplněny technologické mezery. Je možné, že bude sekce třeba dočasně podporovat/pažit.

5.2.9.2 Subvarianta 02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál

Výstavba výplně ukládací vrtu proběhne následovně:

- 1) Srovnání dna ukládacího vrtu peletizovaným materiálem (pokud bude třeba).
- 2) Výstavba lůžka UOS z bentonitových bloků
- 3) Instalace UOS
- 4) Instalace peletizovaného materiálu okolo a nad UOS.

- 5) Instalace distančního bloku – shodná s bodem 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění peletizovaným materiálem v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro srovnání dna bude využito gravitačního uložení a vibrační desky.
- Pro instalaci hlavní části bufferu bude využit vakuový manipulátor, který bude schopen najednou uložit celý blok tvárnic.
- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění výplně mimo lůžko UOS a technologických spár bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění. Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“. Je pravděpodobné, že bude třeba výplň dočasně podporovat/pažit.

5.2.9.3 Subvarianta 03 Peletizovaný materiál v celém profilu

Výstavba výplně ukládací vrtu proběhne následovně:

- 1) Zaplnění spodní „poloviny“ ukládací vrtu s ponecháním prostoru pro UOS.
- 2) Dohutnění/vyvoření přesného prostoru pro UOS (ekvivalent lůžka) pomocí vibrační desky příslušného tvaru.
- 3) Instalace UOS
- 4) Instalace peletizovaného materiálu okolo a nad UOS.
- 5) Instalace distančního bloku – shodná s bodem 4 s tím, že bod 4 zahrnuje zaplnění peletizovaným materiálem v celém profilu (UOS a technologická spára okolo UOS není).

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění výplně bude použita mechanická (dopravník) a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění. Při zaplňování bude třeba postupně „ustupovat“. Je pravděpodobné, že bude třeba výplň dočasně podporovat/pažit.
- Pro přípravu lůžka UOS bude použita vibrační deska příslušného tvaru

5.2.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplně na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. V Tab. 16 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny, která je uvedena v Tab. 17. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 16 Množství materiálu pro jednotlivé varianty VY 01.02

			VVER 440	VVER 1000	NJZ
		Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Množství materiálu [m ³]	Množství materiálu [m ³]	Množství materiálu [m ³]
01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)	1700	13.1	42.5	90.8
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)				
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě	1400	1.7	5.1	10.4
	04 Výplň technologických spár				
02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)	1700	1.5	2.1	2.1
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)	1600	13.2	45.0	97.9
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě	1400	0.4	0.5	0.5
	04 Výplň technologických spár				
03 Peletizovaný materiál v celém profilu	01 Lůžko obalového souboru (výplň pod obalovým souborem)				
	02 Hlavní výplň (mimo lůžko)	1600	14.5	46.5	98.7
	03 Vyrovnávací vrstva na počvě				
	04 Výplň technologických spár				

Tab. 17 Odhad ceny komponenty VY 01.02

	Cena subvarianty celkem za jedno úložné místo		
	VVER 440 tis. Kč	VVER 1000 tis. Kč	NJZ tis. Kč
01 Tvárnice (celý profil) + zaplnění spár (pelety, granulát) (preferovaná subvarianta)	199	643	1 368
02 Tvárnice (lůžko) + peletizovaný materiál	196	618	1 303
03 Peletizovaný materiál v celém profilu	188	603	1 280

5.3 VY 01.03 Výplň ukládacího vrtu (buffer) - vertikální ukládací vrt

5.3.1 Karta komponenty

Název	Výplň ukládacího vrtu (buffer) - vertikální ukládací vrt
Popis	Výplň ukládacího vrtu při vertikálním způsobu ukládání UOS
Umístění v HÚ	Ukládací vrt v ukládací chodbě
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) V ukládacím vrtu a zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...)
Subvarianty	01 Tvárnice + peletizovaný materiál (preferovaná subvarianta) 02 Peletizovaný materiál
Materiál	Bentonit
Dílní komponenty	01 Hlavní výplň 02 Distanční blok 03 Vyrovnávací vrstva dna 04 Výplň technologických spár
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu a tvárnic.
Technologie instalace/výstavby	01 Sestavení z prefabrikátů (lisovaných dílů) + zaplnění technologických spár technologií 02 02 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník, gravitační doprava, vibrační dopravník), dohutnění na místě

5.3.2 Požadavky na komponentu

5.3.2.1 Externí požadavky a specifikace

5.3.2.1.1 Požadavky z TZ 580/2022

Technická zpráva TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) obsahuje následující požadavky na výplň ukládacího vrtu a související komponenty.

Výplň (buffer a distanční blok):

- ρ_d (celé bariéry): 1600 kg/m³
- Vlhkost po umístění bufferu: minimálně taková, aby dostatečně odvedla teplo od UOS, na jehož povrchu nesmí být více než 95 °C (tato podmínka je dána kvůli bentonitu, aby nedošlo k jeho alteraci)

Buffer:

- Šířka: 368 mm
- Tloušťka pod UOS: 350 mm
- Tloušťka nad UOS: 350 mm

Distanční blok:

- Šířka (průměr): 1650 mm
- Délka⁸ (výška): 500 mm

Vrt:

- Průměr ukládacího vrtu: 1650 mm (pro všechny typy VJP)
- Hloubka ukládacího vrtu je závislá na typu VJP (Grünwald et al., 2018)
 - VVER 440: 4 940 mm
 - VVER 1000: 6 575 mm
 - NJZ: 6 575 mm
- Osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty (Grünwald et al., 2018)
 - VVER 440: 4 600 mm
 - VVER 1000: 7 750 mm
 - NJZ: 18 000 mm
- Zóna ovlivněná ražbou v okolí ukládacího vrtu je 350 mm (Grünwald et al., 2018).

UOS:

- Maximální teplota na povrchu UOS: 95 °C
- Specifikace UOS dle VJP:
 - VVER 440: h = 3 970 mm, d = 914 mm
 - VVER 1000: h = 5 205 mm, d = 914 mm
 - NJZ: nebylo stanoveno
- Návrhový tlak okolí vyvinutý na UOS: do 20 MPa

5.3.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Koncepční návrh bufferu vychází z požadovaných bezpečnostních a technických funkcí, které má zajišťovat. Ty lze rozdělit do následujících kategorií:

- Minimalizace přístupu vody a agresivních materiálů k OS, zpomalení degradace UOS
- Zamezení/minimalizace rozvoje mikrobiální koroze
- Chemická kompatibilita s materiálem UOS (neurychlení degradace UOS)
- Zajištění odvodu tepla z UOS
- Mechanická ochrana a stabilizace polohy UOS
- Minimalizace transportu a retardace radionuklidů

⁸ Tato délka (výška) je pravděpodobně nedostatečná. Musí být v budoucnu ověřena. V konceptu je dále navržena minimální výška distančního bloku 2 m.

- Zajišťovat/umožnit odvod vytvářených plynů

Více viz kapitola 5.1.2.2 – Požadované bezpečnostní funkce jsou shodné s komponentou VY 01.01, avšak s mírně rozdílnou funkcí distančního bloku. Ve vertikálním konceptu je důležitou funkcí distančního bloku zajištění prostorové stability bufferu proti posunu (vybobtnání) směrem do backfillu.

5.3.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022)
- předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022)
- požadavků na bezpečnostní funkce v TZ 618/2022 (Pospíšková et. al., 2022)
- technické proveditelnosti
- ekonomické dostupnosti

Oproti požadavkům z TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022) je uvažováno s vyšším distančním blokem. Požadovaná výška 500 mm je podle předběžných výpočtů nedostatečná a nezajistí prostorovou stabilitu bufferu proti posunu (vybobtnání) směrem do backfillu. Švédský i Finský koncept předpokládá výrazně vyšší distanční blok. Z tohoto důvodu je předběžně navržen distanční blok o výšce⁹ 2 000 mm. Tuto výšku je nutno dále ověřit příslušným výpočtem/matematickým modelem. V souvislosti s tím byla i příslušně navýšena celková hloubka ukládacího vrtu.

Požadavky na vlastnosti bentonitu jsou uvedeny v Tab. 6 v kapitole 3.1

5.3.4 Popis komponenty

Ukládací vrt (DuSO 09) se nachází v zavážecí chodbě (DuSO 08) na ukládacím horizontu HÚ. Výplň ukládacího vrtu se skládá dle TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022) ze dvou částí: Buffer a Distanční blok.

- Buffer je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS.
- Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená kompaktovaným bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako buffer, umístěná v ústí ukládacího vrtu nad UOS a bufferem. Distanční blok zajišťuje buffer proti jeho nadměrnému vybobtnání směrem k ústí vrtu.

Předpokládá se použití bentonitu z české provenience, který je vápenato hořečnatý.

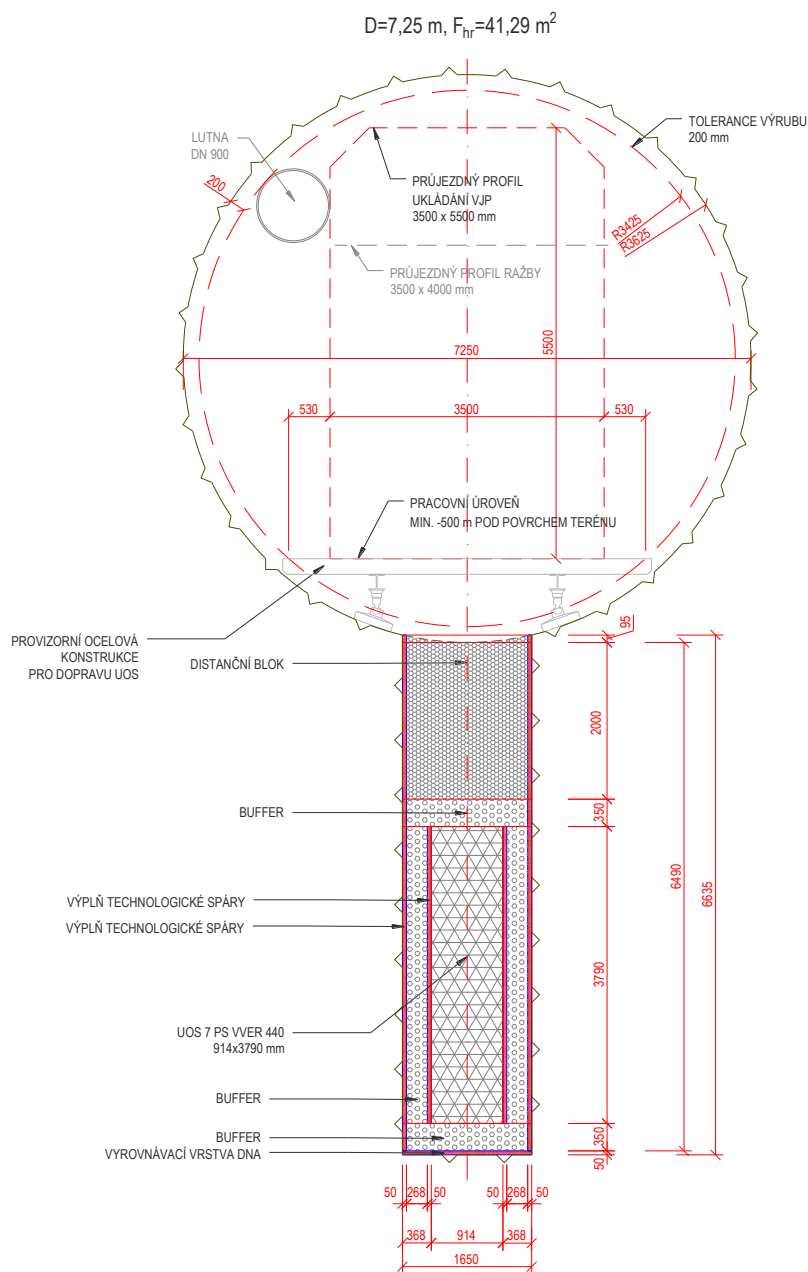
Návrh koncepčního řešení (Obr. 5 a Obr. 7) předpokládá rozdělení Výplně ukládacího vrtu na následující subkomponenty:

- 01 Hlavní výplň
- 02 Distanční blok

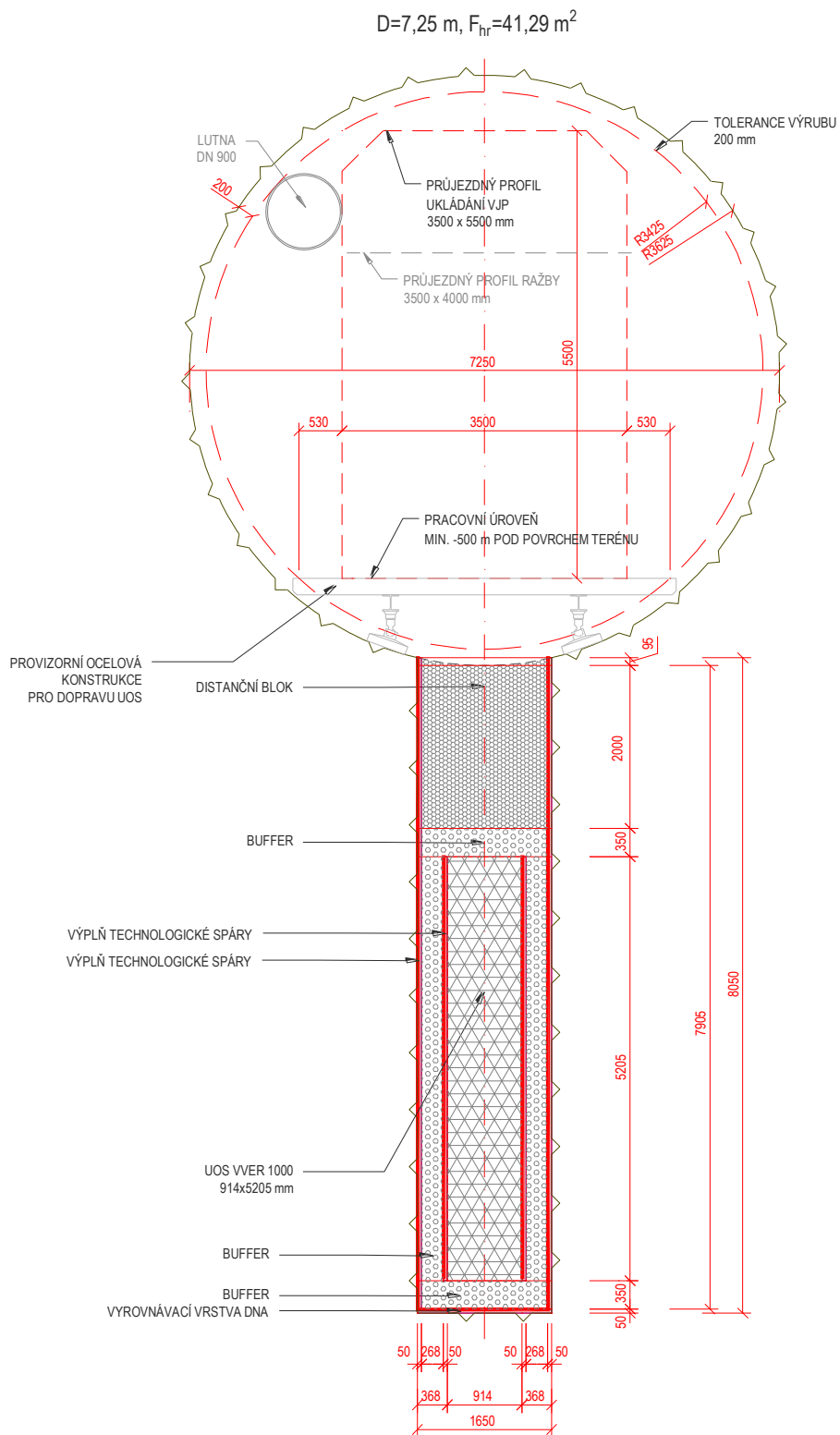
⁹ Výška byla vybrána na základě předběžného orientačního výpočtu, který vycházel z tření na plášti ukládacího vrtu a rozdílu bobtnacího tlaku mezi bufferem a backfillem.

- 03 Vyrovnávací vrstva dna
- 04 Výplň technologických spár

Buffer se skládá ze subkomponent 01, 03 a 04. Distanční blok je technicky shodný s bufferem (z oblasti mimo UOS).



Obr. 6 Schéma ukládacího vrtu – vertikální systém (verze VVER 440)



Obr. 7 Schéma ukládacího vrtu – vertikální systém (verze VVER 1000)

Jsou navrženy dvě subvarianty technického řešení komponenty:

- 01 Tvárnice + peletizovaný materiál (preferovaná)
- 02 Peletizovaný materiál

Subvarianta 01 předpokládá využití lisovaných tvárnic jako materiál hlavní výplně bufferu a distančního bloku. Peletizovaný materiál bude použit na srovnání dna vrtu (pokud bude třeba) a na vyplnění technologických spár podél UOS a horniny.

Subvarianta 02 předpokládá využití peletizovaného materiálu pro celý buffer a distanční blok. Vyrovnání dna a výplň technologický spár není třeba (nevzniknou).

5.3.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Primární užití: Výplň vertikálního ukládacího vrtu s UOS z ukládací chodby – vertikální systém. Stavební objekt DuSO 09.

Sekundární užití: Není

5.3.6 Podmínky použitelnosti

Shodné s VY 01.01. Viz kapitola 5.1.6.

5.3.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

5.3.7.1 Subvarianta 01 Tvárnice + peletizovaný materiál

Preferovaná varianta z důvodu zaručeného dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu. Varianta dosahuje průměrné objemové hmotnosti sušiny výplně: v oblasti pod a nad UOS 1664 kg/m³; okolo UOS 1618 kg/m³.

Výhody:

- Je zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu
- Je zaručena poloha UOS v ukládacím vrtu

Nevýhody:

- Složitá příprava
- Složitá instalace
- Technologické spáry
- Náročné na uchování a manipulaci s výplňovým materiálem

5.3.7.1.1 01 Hlavní výplň

Hlavní výplň ukládacího vrtu bude provedena z bentonitových tvárnic $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$. Objemová hmotnost byla zvolena tak, aby byla i v prostoru kolem UOS po zaplnění technologických spár dosažena požadovaná průměrná ρ_d bufferu 1600 kg/m³.

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

5.3.7.1.2 02 Distanční blok

Distanční blok je technicky shodný se subkomponentou 01 (hlavní výplň), je však situován v oblasti mimo UOS).

5.3.7.1.3 03 Vyrovnávací vrstva dna

Vyrovnávací vrstva dna bude provedena z peletizovaného bentonitu s minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m³. Tloušťka vyrovnávací vrstvy bude závislá na zvolené technologii exkavace ukládacího vrtu. Návrh koncepčního řešení předpokládá tloušťku 50 mm.

Vlastnosti subkomponenty 03 budou shodné s subkomponentou 04.

5.3.7.1.4 04 Výplň technologických spár

Technologické spáry jsou nutné z důvodů tolerancí vrtu, manipulace s UOS, manipulace s tvárnici a možnosti bezproblémového zaplnění spár bez vzniku dutin. Předpokládá se, že velikost (tloušťka) těchto spár bude 50 mm.

Velikost technologických spár bude v rámci optimalizace upřesněna.

Výplň technologické spáry podél UOS a podél stěn vrtu bude provedena z peletizovaného bentonitu s minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m³.

5.3.7.2 Subvarianta 02 Peletizovaný materiál

Alternativní varianta. Technologicky jednodušší, avšak v současné době nelze technicky zaručit dosažení požadované ρ_d bufferu.

Výhody:

- Jednoduchá instalace
- Jednodušší skladování a manipulace s výplňovým materiálem
- Nemá technologické spáry

Nevýhody:

- V současné době není zaručeno dosažení požadované objemové hmotnosti bufferu

5.3.7.2.1 01 Hlavní výplň

Hlavní výplň ukládací vrtu bude provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³.

Pozn.: V současné době nelze tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj.

5.3.7.2.2 02 Distanční blok

Distanční blok je technicky shodný se subkomponentou 01 (hlavní výplň v oblasti mimo UOS)

5.3.7.2.3 03 Vyrovnávací vrstva na počvě – není třeba (je součástí 01)

5.3.7.2.4 04 Výplň technologických spár – není třeba (technologické spáry nejsou)

5.3.8 Technologie výroby/přípravy

Shodná s komponentou 01.01. Viz kapitola 5.1.8.

5.3.9 Technologie instalace/výstavby

5.3.9.1 Subvarianta 01 Tvárnice + peletizovaný materiál

Výstavba výplně ukládacího vrtu proběhne následovně:

- 1) Srovnání dna ukládacího vrtu peletizovaným materiálem (pokud bude třeba).
- 2) Výstavba hlavní části bufferu z tvárnic až do horní úrovně UOS
- 3) Instalace UOS
- 4) Zaplnění technologických spár podél UOS a horniny
- 5) Instalace zbylé hlavní části bufferu a distančního bloku
- 6) Zaplnění technologické spáry podél horniny

Pozn.: V závislosti na využití mechanizaci může proběhnout zaplnění technologické spáry u horniny současně s výstavbou hlavní části bufferu a distančního bloku.

Pro výstavbu budou využity tyto technologie:

- Pro srovnání dna bude využito gravitačního uložení a vibrační desky.
- Pro instalaci hlavní části bufferu bude využit vakuový manipulátor, který bude schopen najednou uložit celou vrstvu tvárnic.
- Pro instalaci UOS a dočasnou stabilizaci bude využit manipulátor.
- Pro zaplnění technologických spár bude použita gravitační a/nebo pneumatická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče). Velikost technologických spár musí být zvolena tak s ohledem na zvolenou technologii zaplnění tak, aby nedošlo k ponechání dutin. Zároveň musí být zajištěna dostatečná objemová hmotnost vyplnění.

Pozn.: Technologie pro zaplnění spár je vhodné integrovat s technologií výstavby hlavní části bufferu (manipulátor tvárnic).

5.3.9.2 Subvarianta 02 Peletizovaný materiál

Výstavba výplně ukládacího vrtu proběhne následovně:

- 1) Vyplnění ukládacího vrtu pod úroveň UOS
- 2) Instalace UOS s jeho dočasnou stabilizací.
- 3) Vyplnění prostoru okolo UOS.
- 4) Vyjmutí stabilizace UOS
- 5) Vyplnění prostoru nad UOS až po ústí vrtu (buffer+distanční blok).

Pro výstavbu budou vyžity tyto technologie:

- Pro uložení výplně bude použita gravitační a/nebo pneumatická či mechanická doprava s vibračním dohutněním (ponorné tyče, vibrační desky).
- Pro instalaci UOS bude využit manipulátor, který bude sloužit i pro dočasnou fixaci UOS po dobu zaplňování prostoru okolo UOS.

5.3.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplně na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšeno o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. V Tab. 18 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny, která je uvedena v Tab. 19. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 18 Množství materiálu pro jednotlivé varianty VY 01.03

			VVER 440	VVER 1000	NJZ
		Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Množství materiálu [m ³]	Množství materiálu [m ³]	Množství materiálu [m ³]
01 Tvárnice + peletizovaný materiál (preferovaná subvarianta)	01 Hlavní výplň	1700	5.5	7.1	7.1
	02 Distanční blok	1700	3.8	3.8	3.8
	03 Vyrovnávací vrstva dna	1400	0.1	0.1	0.1
	04 Výplň technologických spár	1400	2.0	2.6	2.6
02 Peletizovaný materiál	01 Hlavní výplň	1600	7.1	9.2	9.2
	02 Distanční blok		4.3	4.3	4.3
	03 Vyrovnávací vrstva dna		0	0	0
	04 Výplň technologických spár		0	0	0

Tab. 19 Odhad ceny komponenty VY 01.03

	Cena subvarianty celkem za jedno úložné místo		
	VVER 440 tis. Kč	VVER 1000 tis. Kč	NJZ tis. Kč
01 Tvárnice + peletizovaný materiál (preferovaná subvarianta)	152	180	180
02 Peletizovaný materiál	148	175	175

VY 02.01 Výplň zavážecí chodby

5.3.11 Karta komponenty

Název	Výplň zavážecí chodby (backfill)
Popis	Výplň zavážecí chodby při vertikálním způsobu ukládání UOS.
Umístění v HÚ	Zavážecí chodba
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) V zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...)
Subvarianty	01 Výplň zavážecí chodby ražené TBM 02 Výplň zavážecí chodby ražené NRTM
Materiál	Bentonit
Díličí komponenty	01 Výplň ukládací chodby peletizovaným materiálem Pozn.: Uzavření chodby viz VY 06.02 Provozní zátka zavážecí chodby
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu
Technologie instalace/výstavby	01 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník), hutnění na místě (volitelné)

5.3.12 Požadavky na komponentu

5.3.12.1 Externí požadavky a specifikace

5.3.12.1.1 Požadavky z TZ 580/2022

Technická zpráva TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) obsahuje následující požadavky na výplň zavážecí chodby a související komponenty.

Chodba:

Rozměry a zóna ovlivnění zavážecí chodby je závislá na způsobu ražby (Grünwald et al., 2018)

	Konvenční ražba	Ražba TBM
Výška chodby	6 700 mm	7 250 mm
Šířka chodby	4 000 mm	7 250 mm
Zóna ovlivněná ražbou	2 000 mm	1 000 mm

Backfill:

Návrhové parametry backfillu:

- ρ_d (celé bariéry): 1400 kg/m³
- Vlhkost po umístění: hodnota zatím nebyla stanovena
- Forma: pelety
- Parametry pelet:
 - ρ_d : nad 2000 kg/m³
 - Vlhkost: hodnota zatím nebyla stanovena
 - Zrnitost: zatím nebyla stanovena

5.3.12.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Koncepční návrh backfillu vychází z požadovaných bezpečnostních a technických funkcí, které má zajišťovat. Ty lze rozdělit do následujících kategorií:

- Zajištění stability bufferu (proti nadměrnému vybobtnání)
- Zamezení transportu vody a agresivních materiálů
- Minimalizace transportu a retardace radionuklidů
- Zajišťovat/umožnit odvod vytvářených plynů
- Zajištění odvodu tepla
- Zabránit vzniku preferenčních cest

Výplňový materiál musí zajistit, aby nedošlo k nadměrnému posunu materiálu z ukládacího vrtu (dostatečná opora proti vybobtnání buferu). Dále musí zajistit, aby byl minimalizován transport vody a radionuklidů backfillem. 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 (viz kapitola 5.3.2.2).

5.3.13 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022)
- předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022)
- požadavků na bezpečnostní funkce v TZ 618/2022 (Pospíšková et. al., 2022)
- technické proveditelnosti
- ekonomické dostupnosti

Požadavky na vlastnosti bentonitu jsou uvedeny v Tab. 6 v kapitole 3.1.

5.3.14 Popis komponenty

Zavážecí chodbou (DuSO 08) se rozumí podzemní chodba na ukládacím horizontu, ve které jsou ukládací vrtu (DuSO 09), sloužící k dopravní obsluze při zavážení UOS. Po zaplnění ukládacích vrtů v zavážecí chodbě dojde k jejímu vyplnění backfillem a konečnému uzavření zátkou.

Výplň zavážecí chodby dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) bude provedena z bentonitových pelet.

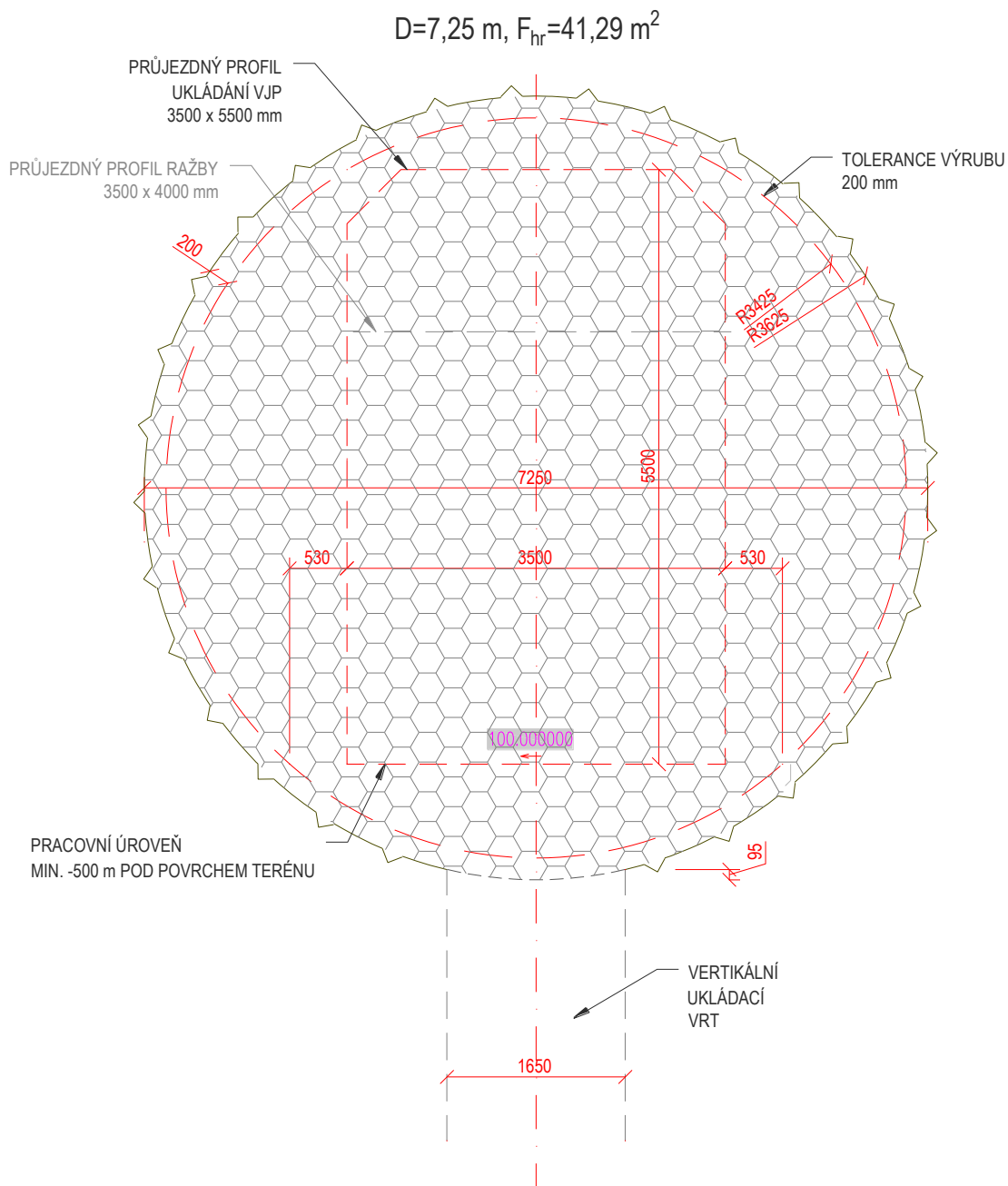
Zavážecí chodba pro vertikální ukládací koncept může být z hlediska jejího zhotovení realizována dvěma způsoby, konvenčně s využitím principů NRTM, nebo mechanicky s pomocí plno profilového razicího štítu TBM.

Jsou tedy navrženy dvě subvarianty výplně:

- 01 Výplň zavážecí chodby ražené TBM (Obr. 8)
- 02 Výplň zavážecí chodby ražené NRTM (Obr. 9)

Z hlediska vlastní výplně a jejího provedení jsou tyto subvarianty shodné. Liší se pouze geometrií vyplněného prostoru daného technologií ražby.

ZAVÁŽECÍ CHODBA - TBM



Obr. 8 Výplň zavážecí chodby – subvarianta 01 TBM

5.3.16 Podmínky použitelnosti

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- V zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...), které by mohly negativně ovlivnit bezpečnost HÚ

5.3.17 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Obě navržené subvarianty jsou technologicky shodné a liší se pouze geometrií zavážecí chodby. V obou případech bude výplň provedena z peletizovaného materiálu s průměrným ρ_d po uložení 1400 kg/m^3 a je shodná pro celou zavážecí chodbu. Ukončení zavážecí chodby je provedeno provozní zátkou viz komponenta VY 06.02.

5.3.18 Technologie výroby/přípravy

Pro potřeby backfillu bude využit průmyslově těžžený a zpracovaný (homogenizovaný) bentonit. Tento bude dodán výrobcem v peletizované formě s vhodným zrnitostním složením. Takto připravený materiál bude uskladněn ve vhodných podmínkách do doby použití.

Peletizovaný materiál není třeba před použitím upravovat a na místo uložení bude přepraven ve vhodných transportních nádobách.

5.3.19 Technologie instalace/výstavby

Před vlastní instalací backfillu je nutno zajistit, aby v zavážecí chodbě nebyly vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). Pokud v chodbě zůstanou jejich zbytky, je třeba předem posoudit, zda nebudou mít vliv na bezpečnost HÚ.

Výrub musí být bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti).

Instalace bude probíhat strojně. Vyplňovací stroj pomocí pneumatické (foukání) a/nebo mechanické dopravy (pásová, šnekový dopravník) přepraví peletizovaný materiál z přepravních nádob na místo uložení. V případě potřeby bude stroj při provádění provádět pracovní pažení chodby a/nebo vibrační dohutňování. Předpokládá se postupné zaplnění zavážecí chodby od jejího předem uzavřeného konce směrem k budoucí zátce.

5.3.20 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplní na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. V Tab. 20 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny a výsledná cena. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 20 Odhad ceny komponenty VY 02.01

	Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Příčný profil [m ²]	Cena [tis. Kč na m délky]
01 Výplň zavážecí chodby ražené TBM	1400	41.3	468
02 Výplň zavážecí chodby ražené NRTM		25.22	286

5.4 VY 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku

5.4.1 Karta komponenty

Název	Výplň RAO komory
Popis	Stabilizační výplň
Umístění v HÚ	Komora RAO
Podmínky použitelnosti	<p>Uložený druh RAO ovlivňuje výběr materiálu výplně</p> <p>Umístění komory RAO (ukládací úroveň/vzdálenost od sekce ukládání VJP) ovlivňuje výběr materiálu výplně.</p> <p>Komora RAO musí být umístěna v místech bez aktivního přítoku vody.</p> <p>Komora RAO musí, pokud možno, obsahovat minimum vneseného materiálu (ostění, kari sítě, injektáž)</p>
Subvarianty	<p>01 Cementová výplň</p> <p>02 Bentonitová výplň</p>
Materiál	Dle subvarianty
Díličí komponenty	<p>01 Výplň komory</p> <p>02 Výplň v odvzdušňovacích / pnicích vrtech</p> <p>Pozn.: Uzavření komory viz VY 06.03. Provozní zátka komory RAO</p>
Technologie výroby/přípravy	<p>01 Cementová výplň – průmyslové zpracování</p> <p>02 Bentonitová výplň – průmyslové zpracování dle požadavků (forma pelety a drcení do sypké směsi nebo ve formě tvárnic o požadované velikosti)</p>
Technologie instalace/výstavby	Zaplnění celé komory tekutou nebo sypkou směsí, hutnění sypké směsi; aplikace zátky.

5.4.2 Požadavky na komponentu

5.4.2.1 Externí požadavky a specifikace

Do komor RAO se budou ukládat odpady, které nesplňují podmínky přijatelnosti do provozovaných úložišť Bratrství, Richard a Dukovany. Jedná se především o RAO, obsahující radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu. Jeho zdrojem je v současnosti skladovaný materiál a RAO v ÚRAO Richard, část odpadů z vyřazování jaderných zařízení, zbytky z přepracování VJP z LVR-15. V současné době je do této skupiny zařazeno i nepřepracované VJP z LVR-15 (Touš et al., 2017 a Touš et al. 2018), nicméně tento typ RAO svou charakteristikou i radionuklidovým složením náleží spíše do sekcí VJP.

5.4.2.1.1 Požadavky z TZ 580/2022 (Dohnálková et al. 2022)

Pro uložení ostatních RAO bude vytvořen systém kaveren –ukládacích komor. Zde jsou odpady umístěny v obalových souborech a po vyplnění celé komory stabilizovány výplňovým materiálem. Komora bude poté trvale uzavřena zátkou.

Ukládací komorou je myšleno konvenčně ražené dílo situované v podzemní části komplexu hlubinného úložiště, které slouží k uložení obalových souborů s radioaktivními odpady. Návrhové parametry ukládací komory:

- Délka: 55000 mm
- Šířka: 10500 mm
- Výška: 4800 mm
- Počet komor v HÚ: 18

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

Podrobnější parametry, ani požadavky na umístění ukládacího horizontu komor RAO TZ 580/2022 (Dohnálková et al. 2022) neuvádí.

5.4.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Koncepční návrh výplně komory RAO vychází z požadovaných bezpečnostních a technických funkcí, které má zajišťovat. Ty lze rozdělit do následujících kategorií:

- Zamezení přístupu vody a agresivních materiálů k OS

Výplň komory RAO musí co nejvíce oddálit okamžik, kdy se voda dostane k obalovému souboru a následně k uloženým RAO. Přítomnost podzemní vody je spouštěčem chemických reakcí, které mají za následek degradaci inženýrských bariér. Tato funkce je ovlivněna hustotou materiálu, jeho hydraulickými vlastnostmi a jeho mocností (tloušťkou bariéry).

- Retardační vlastnosti a omezení migrace RN

Po průniku vody k uloženému RAO je voda transportním médiem radionuklidů. Vhodné materiálové vlastnosti mohou v důsledku chemických reakcí zamezit nebo zpomalit postup radionuklidů přes inženýrskou bariéru. Tato funkce je ovlivněna minerálním složením a porozitou materiálu, hydraulickými vlastnostmi materiálu a jeho mocností (tloušťkou bariéry).

- Mechanická ochrana OS

Výplňový materiál komory RAO má mechanickou funkci. Vyplňuje prázdné prostory a tím zajišťuje mechanickou stabilitu komor RAO. V případě externích událostí pak zajišťuje fixaci polohy OS. Tato funkce je ovlivněna pevnostními a přetvárnými charakteristikami materiálu.

- Odvod tepla (pro VAO)

Protože do této skupiny RAO je v současné době zařazeno i nepřepracované VJP z LVR-15, musí výplňový materiál zajistit odvod generovaného tepla, aby v důsledku přehřátí nedošlo ke vzniku kritického stavu. Tato funkce je ovlivněna tepelnou vodivostí materiálu, měrnou tepelnou kapacitou a jeho mocností (tloušťkou bariéry).

- Chemická kompatibilita s materiálem OS (neurychlení degradace OS)

V důsledku chemických změn dochází k degradaci a ke ztrátě původních vlastností výplňového materiálu. Tato funkce je ovlivněna chemickým a mineralogickým složením, složením podzemní vody, mikrobiálním osídlením a jeho rozvojem v čase a podmínkách úložiště.

- Schopnost odvádět plyny

Výplňový materiál musí rovněž dostatečně umožnit odvod vznikajících plynů a zamezit nárůstu tlaku v systému inženýrských bariér. Tato funkce je ovlivněna chemickým a mineralogickým složením výplně a její hustotou.

Uvedené bezpečnostní a technické funkce komponenty jsou potenciálně ohroženy aktivitou mikroorganismů. Rozvoj mikrobiální aktivity lze očekávat především v bentonitu v místech s nižší objemovou hmotností a na rozhraní bentonitu a jiných materiálů. K omezení mikrobiální aktivity může přispět kompaktování bentonitu, omezení vzniku volných prostor a limitace obsahu organických látek v bentonitu sloužících jako zdroj energie pro mikroorganismy (viz kap. 3.1). Přirozený rozvoj mikrobiální aktivity v cementové výplni je limitovaný především vysokým pH, v případě low-pH betonu je tedy nezbytné s rozvojem mikrobiální aktivity počítat (viz kap. 3.2). Jiný vnesený materiál, např. ostění, kari sítě, či injektáže, ponechaný v komoře RAO, může podporovat nežádoucí aktivitu mikroorganismů. Výplň RAO komory tak může být ohrožena procesy jako je bio-deteriorace betonu, mikrobiálně indukovaná koroze oceli, či spotřeba organických látek z injektážních materiálů vedoucí k dalšímu rozvoji mikrobiální aktivity (více o interakčních procesech viz TZ 616/2022, Večerník et al., 2022). Z toho důvodu doporučujeme minimální použití vnesených materiálů případně jejich vyjmutí před uzavřením úložiště (je-li to technicky možné).

5.4.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

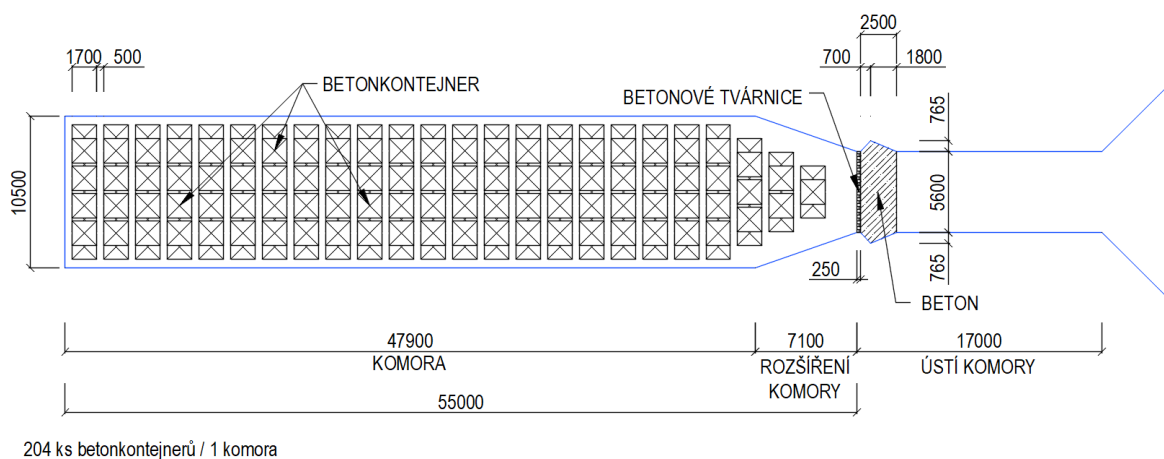
- požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al. 2022),
- předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al. 2022),
- požadavků na bezpečnostní funkce,
- technické proveditelnosti,
- ekonomické dostupnosti.

5.4.4 Popis komponenty

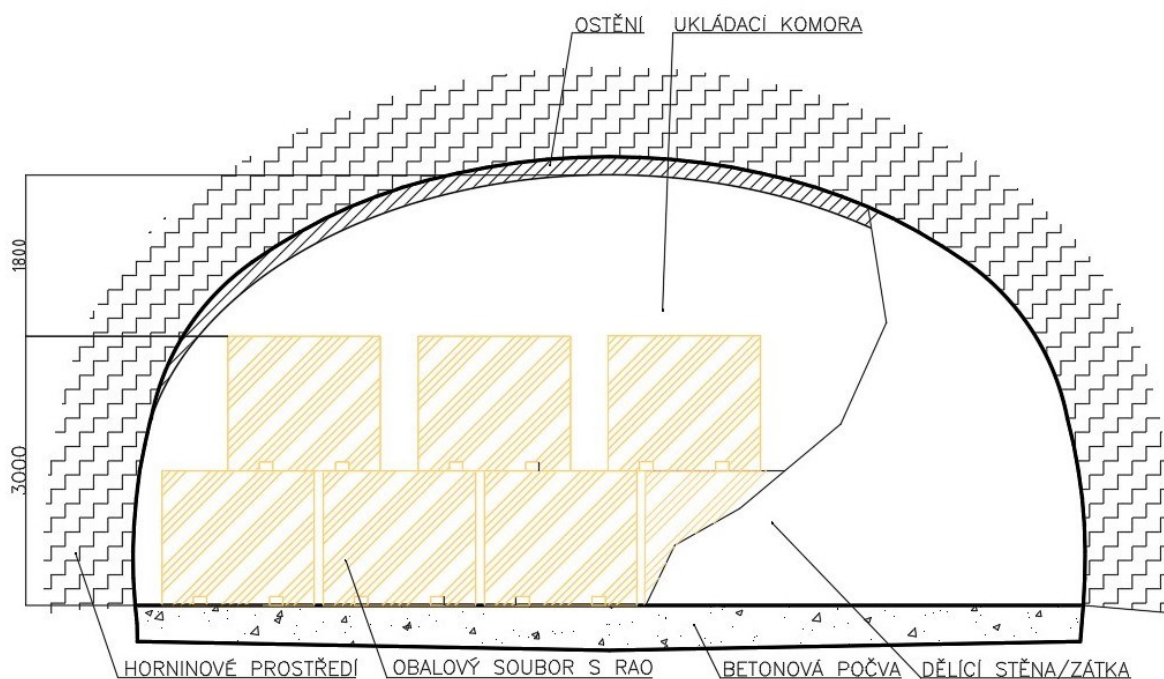
Popisovaná komponenta je výplní ukládacích komor RAO. Umístění, geometrie a další vlastnosti výplně jsou dány požadavky a navrženými parametry ukládacích komor RAO.

V Grünwald et al. (2018) i Pospíšková et al. (2011) jsou ukládací komory 10,5 m široké a 55 m dlouhé. V plné šíři je komora dlouhá 47,9 m, poté se zužuje do 5,6 m širokého ústí. Světlá výška komory je 4,95 m.

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



Obr. 10 Ukládací komora RAO – půdorys



Obr. 11 Ukládací komora RAO – příčný řez

Komponenta je rozčleněna do dvou dílčích komponent. Toto členění vychází z funkce jednotlivých dílčích komponent a jejich charakteristických vlastností:

- 01 Výplň komory
- viz kap.5.11)
- 02 Výplň v odzdušňovacích / plnicích vrtech

Podrobněji jsou jednotlivé dílčí komponenty popsány v kap. 5.4.7.

5.4.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Komponenta se bude aplikovat pouze v komorách s RAO (DuSO 11).

V Pospíšková et al. (2011) byl ukládací horizont komor 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) nebo Bureš et al. (2018)) přijat koncept samostatného ukládacího horizontu RAO. Okrajové podmínky byly stanoveny takto:

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

V současné době (TZ 580/2022, Dohnáková et al., 2022) není jednoznačně určeno, kde komory budou nakonec zrealizovány. Rozhodnutí o optimálním umístění komor RAO je ovlivněno:

- Ukládaným inventářem (majoritní radionuklidy, jejich vlastnosti včetně radiotoxicity);
- Formou RAO (materiál RAO a použitá/nepoužitá matrice);
- Vlastnostmi výplňového materiálu v komoře RAO (použitý materiál a jeho kompatibilita s ostatními prvky HÚ, včetně OS).

5.4.6 Podmínky použitelnosti

Komory musí být umístěny v horninovém masivu bez výrazného přítoku podzemní vody, aby bylo zabráněno předčasné chemické a mikrobiologické degradaci a mechanické destrukci výplňového materiálu.

Komory musí být zabezpečeny, ale protože s ohledem na způsob ukládání RAO (zavezení celé komory a následné vyplnění) se nepředpokládá tyto prvky vyjmát, musí, pokud možno, obsahovat minimum vneseného materiálu (ostění, kari sítě, injektáž). To znamená, že vnesený materiál bude využit pouze v nezbytných případech.

Aby bylo omezeno množství vneseného materiálu, který před zaplněním komory RAO nebude vyjmut, lze ukládací plochu upravit následovně:

Při použití výplně na bázi cementu bude v komoře s RAO realizovaná podlaha, její skladba musí odpovídat účelu použití a materiálově musí být obdobná aplikované výplni.

V případě aplikace výplně na bázi bentonitu bude použita vyrovnávací podsypová vrstva o dostatečné tloušťce a materiálovém složení tak, aby vyhovovala požadavkům pro ukládání RAO (především hmotnost OS a interakci s komponentou – výplní komory).

Výběr materiálu výplně je ovlivněn uloženým RAO a jeho vlastnostmi, a materiálem použitého obalového souboru, případně matricí využitou ke stabilizaci RAO v obalovém souboru.

Výběr materiálu výplně je ovlivněn i dispozičním umístěním vůči ukládacím prostorám VJP (ukládací úroveň/vzdálenost od sekce ukládání VJP).

5.4.7 Dílčí komponenty (geometrie, požadovaný materiál a vlastnosti)

5.4.7.1 Dílčí komponenta 01 - Výplň komory

Základní vlastnosti komponenty jsou:

- Geometrie (více viz kap. 5.4.4)
- Materiál a jeho vlastnosti (více viz kap.3)
- Životnost
- Dostupnost v požadovaném množství
- Obrobitelnost (více viz kap. 5.4.8)
- Cena (viz kap. 5.4.10)

Umístění, geometrie a další vlastnosti jsou dány požadavky a navrženými parametry ukládacích komor RAO.

Z charakterizace odpadů a legislativních požadavků vyplynulo, že do kategorie těchto RAO jsou v českém konceptu zahrnuty jednak odpady obsahující štěpné prvky (skladovaný jaderný materiál) a dále odpady, které obsahují dlouhodobé radionuklidy (především odpad z vyřazování jaderných zařízení). Tomu by měl odpovídat i použitý výplňový materiál.

Z pohledu ukládaného typu RAO lze pro odpad obsahující štěpné radionuklidy doporučit použít jako výplňový materiál bentonit.

Pro RAO obsahující dlouhodobé radionuklidy lze použít jako výplň komory materiál na bázi cementu. Ovšem v případě, že by komory RAO byly umístěny v blízkosti sekcí uloženého VJP, je nutné vzít v úvahu možné negativní ovlivnění bentonitu, použitého jako buffer kolem UOS s VJP. Zpráva Večerník et al. (2022) hodnotí podrobněji vzájemné ovlivnění cementových materiálů a bentonitu.

V Pospíšková et al. (2022) byla zpracována rešerše přístupu ostatních zemí k ukládání těchto typů odpadů. Jedním z výstupů provedené rešerše bylo, že pro odpady z přepracování se jako výplňový materiál používá bentonit, a 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 výše uvedené informace byly specifikovány dvě subvarianty, podle použitého materiálu – bentonitová a cementová výplň.

Životnost komponenty je daná vlastnostmi použitého materiálu a recepturou přípravy výplňového materiálu.

5.4.7.1.1 01 Cementová výplň

Pro bližší specifikaci požadovaného materiálu a vlastností lze vycházet z kapitoly 3.2.1.

5.4.7.1.2 02 Bentonitová výplň

Pro bližší specifikaci požadovaného materiálu a vlastností lze vycházet z kapitoly 3.1.

Parametry bentonitové výplně budou shodné s komponentou VY 01.01.

Výplň komory RAO lze aplikovat dvěma způsoby:

- Ve formě sypké směsi (peletizovaný materiál);
- Ve formě tvárnic a se zaplněním zbývajících volných prostor peletizovaným materiálem. Tvárnice budou předem sestaveny do vrstev/celků a ukládány po vrstvách/celcích. Systém rozdělení vrstvy na jednotlivé tvárnice a výška vrstvy bude předmětem další optimalizace.

Výplň komory RAO musí být provedena s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m³.

Upozornění: Pro peletizovaný materiál nelze v současné době tuto hodnotu spolehlivě zajistit. Je nutný další technický vývoj. Po vyřešení technologie je vhodné přejít na tuto variantu.

Pro výpočet jednotkové ceny za komponentu bude použita průměrná hodnota objemové hmotnosti bentonitu v komoře RAO $\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$.

Shodné s VY 06.03. Viz kap. 5.11

5.4.7.2 Dílčí komponenta 02 - Výplň v odzdušňovacích / plnicích vrtech

Vrty budou zaplněny výplňovým materiálem. Uzavřeny budou cementovou zátkou.

5.4.8 Technologie výroby/přípravy

5.4.8.1.1 01 Cementová výplň

Bude použitý průmyslově zpracovaný beton (vlastnosti viz kap. 3.2.1).

Při přípravě směsi a následné dopravě na místo použití bude zohledněna dopravní vzdálenost a celková doba dopravy (obecně platí max. 60 min.).

5.4.8.1.2 02 Bentonitová výplň

Koncept výplně bude obdobný jako VY 01.

Sypká směs (peletizovaný materiál)

Bude použita průmyslově zpracovaná bentonitová směs ve formě pelet. Peletizovaný bentonit bude mít minimální průměrnou ρ_d po uložení 1600 kg/m³.

Tvárnice + peletizovaný materiál

Bude použita průmyslově zpracovaná bentonitová směs, Objemová hmotnost tvárnice $\rho_d = 1700 \text{ kg/m}^3$. Peletizovaný bentonit bude mít minimální průměrnou ρ_d po uložení 1400 kg/m^3 .

Protože není v současnosti známý rozměr tvárnice, a tedy objem vyplněný peletizovaným bentonitem, musí být dodržena podmínka, že výplň komory RAO musí být provedena s průměrným ρ_d po uložení 1600 kg/m^3 .

Pro výpočet jednotkové ceny za komponentu bude použita průměrná hodnota objemové hmotnosti bentonitu v komoře RAO $\rho_d = 1600 \text{ kg/m}^3$.

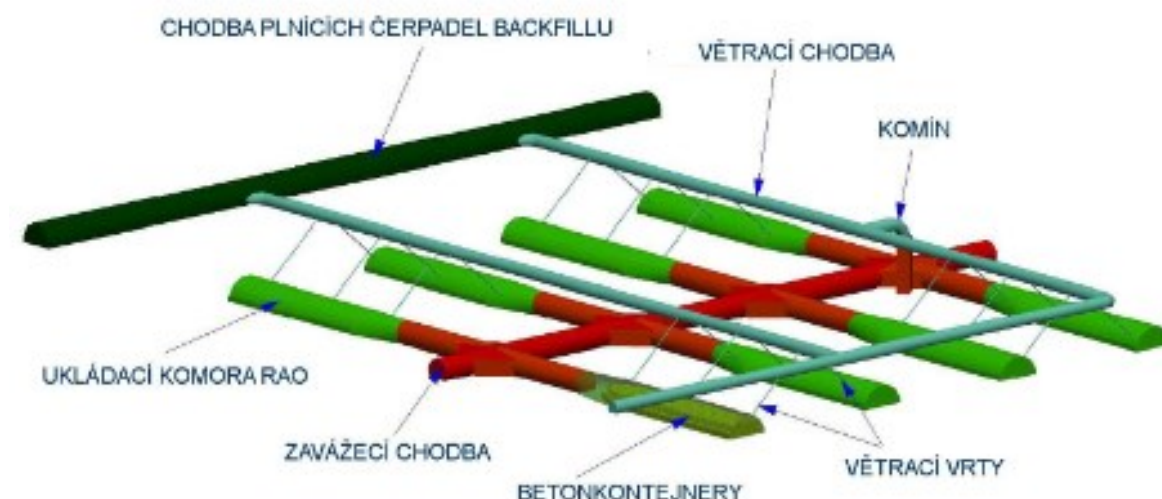
5.4.9 Technologie instalace/výstavby

S ohledem na způsob zaplňování komor OS s RAO a přístupnost jednotlivých konstrukčních prvků (ostění, svorníky, počva) po zaplnění komory OS s RAO se nepředpokládá, že by konstrukční prvky byly před uzavřením vyjmuty.

5.4.9.1 01 Cementová výplň

Instalace komponenty, tj. výplně může být provedena dle řešení použitého v RPHÚ 2011 (Pospíšková et al., 2011). Komora se zavezeným RAO bude vyplněna cementovou směsí, která bude do komory dopravována pomocí dočasného potrubí vloženého ve větracích chodbách, umístěných nad komorou s RAO. Pomocí tohoto systému bude zajištěno rovněž hutnění dopravené výplňové směsi do komory a odvětrání zaplňované komory. Velikost vyplňovaného segmentu, počet a rozmístění plnicích a odvětrávacích potrubí musí zabezpečit dokonalé zalití OS s RAO. Zatečení betonové směsi od vyústění plnicího potrubí je zaručeno do vzdálenosti 8 m (MP 38). Počet větracích chodeb komory s RAO bude odpovídat tomuto požadavku.

V ústí komory, kde bude vybudován podpěrný železobetonový rám, klenební pás, bude instalována demontovatelná ocelová bariéra (bednění), která bude odstraněna po vyplnění komory cementovou směsí. V dočasném bednění bude nahlížecí kontrolní otvor, případně další otvory použitelné pro dopravu výplně do ústí komory vč. hutnicího zařízení, odvětrání a monitoring. Všechny vzniklé prostupy budou následně utěsněny. Takto vyplněná komora bude trvale utěsněna provozní zátkou komory RAO.



Obr. 12 Způsob plnění komor RAO cementovou směsí

5.4.9.2 02 Bentonitová výplň

Doprava bentonitové výplně ve formě pelet do komory s RAO bude probíhat ze zavázeční chodby. Hutnění bentonitu bude realizováno po částech, podle režimu zavážení OS s RAO.

Předpokládá se, že zavážka a hutnění bude realizovaná ve vodorovném směru až po ústí komory, kde bude instalována provozní zátka komory RAO.

Při použití bentonitových tvárnice budou OS s RAO obloženy těmito tvárnici a vzniklý volný prostor bude vyplněn bentonitovou směsí jemnější frakce (peletizovaný bentonit).

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

Zavážka a hutnění bude realizovaná ve vodorovném směru až po ústí komory, kde bude instalována provozní zátka komory RAO. Větrací vrty budou vyplněny a utěsněny.

5.4.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny cementových výplní vychází z odborného odhadu a zkušeností z obdobných staveb (ÚRAO Richard a ÚRAO Bratrství). Jednotková cena zahrnuje cenu za materiál včetně přípravy a instalace směsi.

Odhad ceny výplní na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2.

Souhrn vstupných údajů pro výpočet objemu komponenty – výplně (viz Obr. 10).

Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 21 Množství materiálu pro jednotlivé varianty VY 03.01 a odhad ceny komponenty

	Množství materiálu [m ³ /komora]	Cena celkem za jednu komoru [tis. Kč]
01 Cementová výplň	1 700	19 380
02 Bentonitová výplň	1 700	21 974

5.5 VY 03.02 Výplň RAO komory – zaplnění po částech

5.5.1 Karta komponenty

Název	Výplň RAO komory
Popis	Stabilizační výplň
Umístění v HÚ	Komora RAO
Podmínky použitelnosti	<p>Uložený druh RAO ovlivňuje výběr materiálu výplně</p> <p>Umístění komory RAO (ukládací úroveň/vzdálenost od sekce ukládání VJP) ovlivňuje výběr materiálu výplně.</p> <p>Komora RAO musí být umístěna v místech bez aktivního přítoku vody.</p> <p>Komora RAO musí, pokud možno, obsahovat minimum vneseného materiálu (ostění, kari sítě, injektáž)</p>
Subvarianty	<p>01 Cementová výplň</p> <p>02 Bentonitová výplň</p>
Materiál	Dle subvarianty
Díličí komponenty	<p>01 Oddělovací stěna segmentu komory (ztracené bednění, kotvící prvky)</p> <p>02 Výplň komory</p> <p>03 Odvzdušňovací potrubí</p> <p>04 Výplň v odvzdušňovacím potrubí</p> <p>Pozn.: Uzavření komory viz VY 06.03. Provozní zátka komory RAO</p>
Technologie výroby/přípravy	<p>01 Cementová výplň – průmyslové zpracování</p> <p>02 Bentonitová výplň – průmyslové zpracování dle požadavků (forma pelety a drcení do sytké směsi nebo ve formě tvárnic o požadované velikosti)</p>
Technologie instalace/výstavby	Příprava na zaplnění; zaplňování segmentů tekutou nebo sytkou směsí, hutnění sytké směsi; aplikace zátky..

5.5.2 Požadavky na komponentu

5.5.2.1 Externí požadavky a specifikace

Shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap.5.4.2.1) a Požadavky z TZ 580/2022 (Dohnálková et al. 2022), viz kap. 5.4.2.1.1.

5.5.2.2 Požadované bezpečnostní funkce

Požadované bezpečnostní funkce jsou shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap. 5.4.2.2).

5.5.3 Předpoklady návrhu komponenty

Předpoklady návrhu komponenty jsou shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap. 5.4.3).

5.5.4 Popis komponenty

Popisovaná komponenta je výplní ukládacích komor RAO. Umístění, geometrie a další vlastnosti výplně jsou dány požadavky a navrženými parametry ukládacích komor RAO.

V Grünwald et al. (2018) i Pospíšková et al. (2011) jsou ukládací komory 10,5 m široké a 55 m dlouhé. V plné šíři je komora dlouhá 47,9 m, poté se zužuje do 5,6 m širokého ústí. Světlá výška komory je 4,95 m.

Ukládací komory RAO jsou raženy konvenčně a jsou propojeny spojovací chodbou se zavážecím tunelem. Ostění komor a spojovacích chodeb je zajištěno stříkaným betonem vyztuženým kari sítí. Počva je zarovnána vrstvou prostého betonu.

Komponenta je rozčleněna do dílčích komponent. Toto členění vychází z funkce jednotlivých dílčích komponent a jejich charakteristických vlastností:

- 01 Oddělovací stěna segmentu komory (ztracené bednění, ocelové kotvící prvky)
- 02 Výplň komory
- 03 Odvzdušňovací potrubí
- 04 Výplň v odvzdušňovacím potrubí

5.5.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Komponenta se bude aplikovat pouze v komorách s RAO (DuSO11 podle Grünwald et al., 2018, DuSO26 podle Pospíšková et al., 2011), viz kap. 5.4.5.

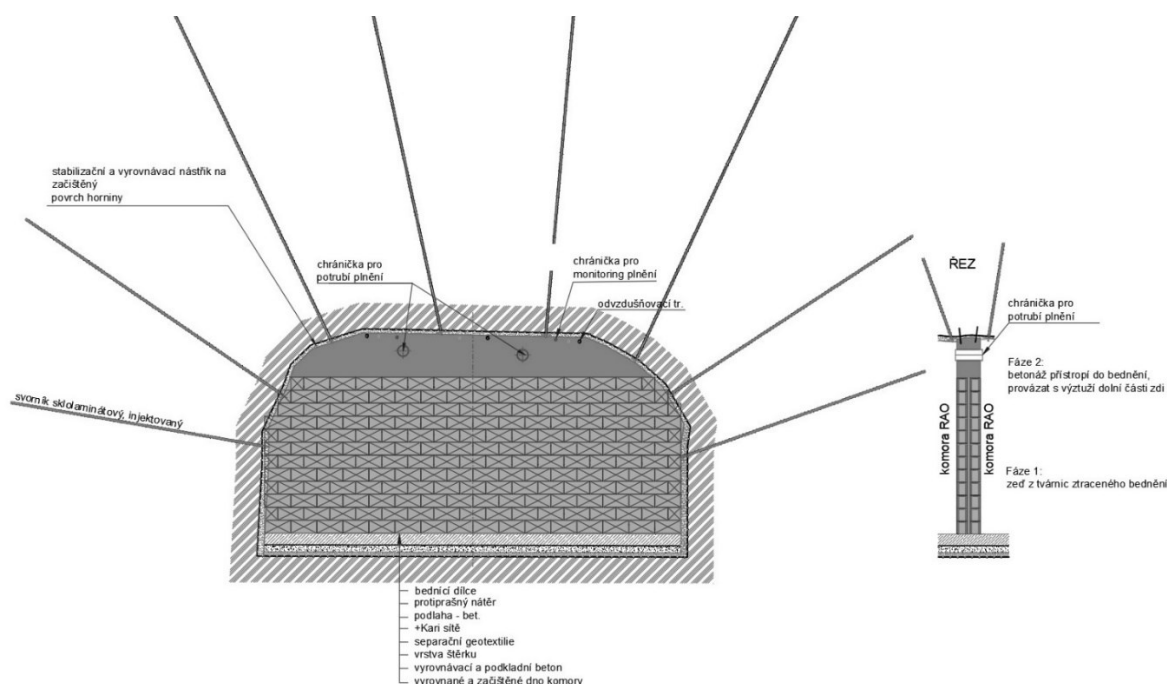
5.5.6 Podmínky použitelnosti

Podmínky použitelnosti jsou shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap.5.4.6).

5.5.7 Dílčí komponenty (geometrie, požadovaný materiál a vlastnosti)

5.5.7.1 Dílčí komponenta 01 - Oddělovací stěna segmentu komory (ztracené bednění, ocelové kotvicí prvky)

Železo-betonová přepážka ze ztraceného bednění vč. armování bude instalována přímo v místech v předem stanovených rozestupech. Tímto vznikne oddělený prostor, segment komory, který se má vyplnit.



Obr. 13 Oddělovací segment, železobetonová přepážka ze ztraceného bednění.

5.5.7.2 Dílčí komponenta 02 - Výplň komory

Shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap. 5.4.7.1).

5.5.7.3 Dílčí komponenta 03 - Odvzdušňovací potrubí

Pro zajištění odvodu vzduchu ze zaplňovaného segmentu komory s RAO bude v horní části oddělovacího segmentu zabudováno odvzdušňovací potrubí.

5.5.7.4 04 Výplň v odvzdušňovacím potrubí

Dílčí komponenta 04 – Odvzdušňovací potrubí bude zaplněno výplňovým materiálem.

5.5.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou 03.01 Výplň RAO komory – zaplnění vcelku (viz kap. 5.4.8).

5.5.9 Technologie instalace/výstavby

S ohledem na způsob zaplňování komor OS s RAO a přístupnost jednotlivých konstrukčních prvků (ostění, svorníky, počva) po zaplnění komory OS s RAO se nepředpokládá, že by konstrukční prvky byly před uzavřením vyjmuty.

5.5.9.1 01 Cementová výplň

Místo se zavezeným RAO, tzv. segment bude oddělen od ostatního prostoru komory vybudováním oddělujícího segmentu, tj. železobetonovou přepážkou ze ztraceného bednění vč. armování v předem stanovených rozestupech.

Vzniklý oddělený prostor bude po zaplnění s RAO vyplněn cementovou směsí, která bude dopravována pomocí potrubí prostupem v železobetonové přepážce.

Velikost vyplňovaného segmentu, počet a rozmístění plnicích a odvzdušňovacích potrubí musí zabezpečit dokonalé zalití OS s RAO. Zatečení betonové směsi od vyústění plnicího potrubí je zaručeno do vzdálenosti 8 m (MP 38). Pro plnění, odvzdušnění a monitoring budou využité prostupy v nově realizovaném oddělujícím segmentu.

Pro zajištění maximální homogenity cementové výplně je maximální délka jednoho segmentu, na které bude komora rozdělena, cca 15-25 m. Zatečení betonové směsi od vyústění plnicího potrubí zaručeno do vzdálenosti 8 m (MP 38).

V ústí komory bude vybudována železobetonová přepážka ze ztraceného bednění, kde bude umístěn nahlížecí kontrolní otvor, případně další otvory použitelné pro dopravu výplně do ústí komory vč. hutnicího zařízení, odvzdušnění a monitoring. Všechny vzniklé prostupy budou následně utěsněny. Takto vyplněná komora bude trvale utěsněna provozní zátkou komory RAO.

5.5.9.2 Bentonitová výplň

Doprava bentonitové výplně ve formě pelet do segmentu komory s RAO bude probíhat ze zavážecí chodby. Hutnění bentonitu bude realizováno po částech, podle režimu zavážení OS s RAO.

Předpokládá se, že zavážka a hutnění bude realizovaná ve vodorovném směru až po ústí jednotlivých segmentů, kde bude instalována oddělující stěna. V ústí komory bude vybudována provozní zátkou komory RAO.

Při použití bentonitových tvárnic budou OS s RAO v jednotlivých segmentech obloženy těmito tvárnicemi a vzniklý volný prostor bude vyplněn bentonitovou směsí jemnější frakce (peletizovaný bentonit).

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

Zavážka a hutnění budou realizovány ve vodorovném směru až po ústí jednotlivých segmentů, kde bude instalována oddělující stěna. V ústí komory bude vybudována provozní zátkou komory RAO.

5.5.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny cementových výplní vychází z odborného odhadu a zkušeností z obdobných staveb (ÚRAO Richard a ÚRAO Bratrství). Jednotková cena zahrnuje cenu za materiál včetně přípravy a instalace směsi.

Odhad ceny výplní na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2.

Souhrn vstupných údajů pro výpočet objemu komponenty – výplně při zaplnění po částech (viz Obr. 14)



Obr. 14 Komora RAO s dělicí stěnou

Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 22 Množství materiálu pro jednotlivé varianty VY 03.02 a odhad ceny komponenty

	Množství materiálu [m ³ /komora]	Cena celkem za jednu komoru [tis. Kč]
01 Cementová výplň	1 700	21 003
02 Bentonitová výplň	1 700	23 612

5.6 VY 04.01 Výplň prostor na ukládacím horizontu

5.6.1 Karta komponenty

Název	Výplň prostor na ukládacím horizontu
Popis	Výplňový materiál
Umístění v HÚ	Páteřní chodby, technické zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny)
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> Čistý výrub bez aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) Vypleněná výstroj páteřních chodeb a technického zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny). Prostory s minimem vnesených materiálů. <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později</i>
Subvarianty	01 Peletizovaný materiál
Materiál	Bentonit
Díličí komponenty	01 Výplň peletizovaným materiálem Pozn.: Uzavření chodby – viz VY 06.04 Zátka – Provozní zátka na ukládacím horizontu
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu
Technologie instalace/výstavby	01 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník), hutnění na místě (volitelné)

5.6.2 Požadavky na komponentu

Požadavky jsou shodné s komponentou 02.01 (viz kapitola 5.3.12.) s tím rozdílem, že není kladen takový důraz na odvod tepla a výplň nezajišťuje stabilitu bufferu proti jeho vybobtnání.

5.6.3 Předpoklady návrhu komponenty

Předpoklady jsou shodné s komponentou 02.01. Viz kapitola 5.3.13.

5.6.4 Popis komponenty

VY 04.01 je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v páteřních chodbách a technickém zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny). Technicky a technologicky je shodná s výplní zavážecí chodby (VY 02.01). Viz kapitola 5.3.14.

5.6.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Primární užití: Výplň prostor na ukládacím horizontu mimo ukládacích vrtů, zavážecí chodby a komor RAO. Stavební objekty DuSO 01-03, 05, 06, 07, 10, 12-22.

5.6.6 Podmínky použitelnosti

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- Vypleněná výstroj páteřních chodeb a technického zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny). Prostory s minimem vnesených materiálů. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později*

5.6.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Shodné s komponentou VY 02.01. Viz kapitola 5.3.17.

5.6.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou VY 02.01. Viz kapitola 5.3.18.

5.6.9 Technologie instalace/výstavby

Shodné s komponentou VY 02.01. Viz kapitola 5.3.19.

5.6.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplně na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. V Tab. 23 - Tab. 29 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny a výsledná cena. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 23 Množství materiálu pro jednotlivé varianty DuSO 01, 02, 03, 05

		DuSO 01	DuSO 02	DuSO 03	DuSO 05
	Způsob ražeb chodeb	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	41.29	41.29	38.48	41.29
	Konvenční způsob ražby	36.32	36.32	38.48	29.23
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	38.48	38.48	38.48	38.48
	Konvenční způsob ražby	36.32	36.32	38.48	29.23

Tab. 24 Množství materiálu pro jednotlivé varianty DuSO 10, 12, 18

			DuSO 10	DuSO 12	DuSO 18
	Převládající způsob ražeb chodeb	Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1400	100	98.4	40
	Konvenční způsob ražby		100	80.4	40
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM		120	58.8	40
	Konvenční způsob ražby		120	58.8	40

Tab. 25 Množství materiálu pro jednotlivé varianty DuSO 17

			Úsek ražeb a výstavy	Úsek přípravy a ukládání
			DuSO 17	
	Převládající způsob ražeb chodeb	Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1400	40	40
	Konvenční způsob ražby		40	40
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM		40	84
	Konvenční způsob ražby		40	84

Tab. 26 Odhad ceny DuSO 01, 02, 03, 05

		DuSO 01	DuSO 02	DuSO 03	DuSO 05
	Způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	468	468	436	468
	Konvenční způsob ražby	412	412	436	332
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	436	436	436	436

	Konvenční způsob ražby	412	412	436	332
--	------------------------	-----	-----	-----	-----

Tab. 27 Odhad ceny DuSO 10, 12, 18

		DuSO 10	DuSO 12	DuSO 18
	Převládající způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1 134	1 116	454
	Konvenční způsob ražby	1 134	912	454
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1 361	667	454
	Konvenční způsob ražby	1 361	667	454

Tab. 28 Odhad ceny DuSO 17

		Úsek ražeb a výstavy	Úsek přípravy a ukládání
		DuSO 17	
	Převládající způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	454	454
	Konvenční způsob ražby	454	454
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	454	953
	Konvenční způsob ražby	454	953

Tab. 29 Odhad ceny VY 04.01 pro DUSO 06, 07, 13 - 16, 18-22

Vertikální i horizontální ukládání bez ohledu na převládající způsob ražeb	Bentonit ρ_d [kg/m ³]	Příčný profil [m ²]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
DuSO 06	1400	29.23	332
DuSO 07		29.23	332
DuSO 13 - Čerpací stanice		32	363
DuSO 13 - Jímka		50.27	570
DuSO 14		40	454
DuSO 15		40	454
DuSO 16		155	1 758
DuSO 18		40	454
DuSO 19		40	454
DuSO 20		75	851
DuSO 21 - Chodby		14.9	169
DuSO 21 - Komory		15.9	180
DuSO 22		32	363

5.7 VY 05.01 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka)

5.7.1 Karta komponenty

Název	Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka)
Popis	Výplňový materiál
Umístění v HÚ	Zavážecí a odtěžovací tunel, vtažná jáma Horizont: -200 až -500
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> Čistý výrub bez aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti) Vyplněná výstroj zavážecího a odtěžovacího tunelu a vtažné jámy. <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později</i>
Subvarianty	01 Bentonit 02 Směs bentonit + kamenivo (preferovaná)
Materiál	Bentonit, kamenivo
Díličí komponenty	
Technologie výroby/přípravy	Průmyslově zpracovaný bentonit do formy peletizovaného materiálu Drcené kamenivo vhodné frakce ve směsi s peletizovaným bentonitem
Technologie instalace/výstavby	01 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (šnekový dopravník), hutnění na místě (volitelné).

5.7.2 Požadavky na komponentu

Požadavky jsou shodné s komponentou VY 02.01 (viz kapitola 5.3.12.) s tím rozdílem, že není třeba zajistit odvod tepla a výplň nezajišťuje stabilitu bufferu proti jeho vybobtnání.

5.7.3 Předpoklady návrhu komponenty

Předpoklady jsou shodné s komponentou VY 02.01. Viz kapitola 5.3.13.

5.7.4 Popis komponenty

Výplň zavážecího a odtěžovacího tunelu v horizontu -500 – 200 m je technicky a technologicky obdobná výplni zavážecí chodby (02.01). Viz kapitola 5.3.14.

Rozdílem je možnost využití směsi bentonitu s kamenivem jako výplňového materiálu, které umožňuje redukci ceny a úpravu hydraulických a ostatních charakteristik tak, aby se přiblížily okolnímu prostředí.

5.7.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Primární užití: Výplň prostor nad ukládacím horizontem (střední hloubka). Stavební objekty DuSO 01, 02 a 03.

Sekundární užití: Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch).

5.7.6 Podmínky použitelnosti

- Čistý výrub bez aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- Vypleněná výstroj závážecího a odtěžovacího tunelu. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později*

5.7.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Komponenta má dvě subvarianty, které se liší pouze použitým materiálem.

5.7.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou 02.01. Viz kapitola 5.3.18. V případě použití směsi s kamenivem, je třeba před instalací provést smíchání kameniva s peletizovaným bentonitem. Poměr mezi bentonitem a kamenivem bude stanoven budoucnu na základě požadavků na hydraulické a technické vlastnosti směsi.

5.7.9 Technologie instalace/výstavby

Shodné s komponentou 02.01. Viz kapitola 5.3.19

5.7.10 Odhad jednotkové ceny

Odhad ceny výplně na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. Ceny pro komerčně dostupné materiály a komponenty (např. beton, výstroj, svorníky, jehly,...) vychází z cen uváděných v oborovém třídníku stavebních konstrukcí a prací pro rok 2022 ([OTSKP, 2022](#)).

Cenu výplně směsi bentonit + kamenivo nelze v současné době kvantitativně stanovit, neboť není znám poměr materiálů. Pro výpočet subvarianty 02 (směs) byl uvažováno předpoklad úspory 15 % ceny.

V Tab. 30 - Tab. 32 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny a výsledná cena. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 30 Množství materiálu pro jednotlivé varianty DuSO

			DuSO 01, DuSO 02	DuSO 03
	Způsob ražeb chodeb	Bentonit(+kamenivo) ρ_d [kg/m ³]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1400	36.32	38,48
	Konvenční způsob ražby			
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM		38.48	
	Konvenční způsob ražby		36.32	

Tab. 31 Odhad ceny komponent VY 05.01 bentonitová výplň

		DuSO 01, DuSO 02	DuSO 03
	Způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	468	436
	Konvenční způsob ražby	412	
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	436	
	Konvenční způsob ražby	412	

Tab. 32 Odhad ceny komponent VY 05.01 směs bentonit+kamenivo

		DuSO 01, DuSO 02	DuSO 03
	Způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	398	371
	Konvenční způsob ražby	350	
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	371	
	Konvenční způsob ražby	350	

5.8 VY 05.02 Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch)

5.8.1 Karta komponenty

Název	Výplň prostor nad ukládacím horizontem (přípovrch)
Popis	Výplňový materiál
Umístění v HÚ	Odtěžovací a zavážecí tunel a vtažná jáma Hloubka: do -200 m
Podmínky použitelnosti	Čistý výrub bez aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti). Vyplněná výstroj zavážecího a odtěžovacího tunelu a vtažné jámy. <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Výplň odtěžovacího a zavážecí tunelu 02 Výplň vtažné jámy
Materiál	Kamenivo
Díličí komponenty	
Technologie výroby/přípravy	Těžba a zpracování přírodního kamene drcením větších kusů horniny a jeho následné třídění na jednotlivé frakce.
Technologie instalace/výstavby	01 Vyplnění pneumatickým (zafoukání) nebo mechanickým dopravníkem (pásový dopravník), hutnění na místě (volitelné). 02 Vyplňování prostor vtažné jámy zasypáváním

5.8.2 Požadavky na komponentu

5.8.2.1 Externí požadavky a specifikace

Uzavírání je závěrečným technologickým krokem procesu ukládání. Při této činnosti jsou veškeré prostory hlubinného úložiště ve fázi uzavírání vyplněny výplňovým materiálem, který úložiště finálně uzavře a zajistí jeho dlouhodobou izolaci od biosféry.

Návrhové parametry těsnicího materiálu pro uzavírání vychází především z projektového řešení HÚ a jsou definovány v závislosti na požadované bezpečnostní funkci, svém umístění a hloubce v hlubinném úložišti dle TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022):

Hloubka: Povrch – přípovrchová část (do -200 m).

Objemová hmotnost sušiny: Hodnota zatím nebyla stanovena

Koeficient propustnosti: Hodnota zatím nebyla stanovena
Forma: Kamenivo

5.8.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Požadované bezpečnostní a technické funkce při likvidaci hlavních důlních děl jejím zasypáním se bude řídit platnou legislativou.

5.8.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- Požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022).
- Předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Požadavků na bezpečnostní funkce.
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

5.8.4 Popis komponenty

VY 05.02 je inženýrská bariéra tvořená kamenivem, která vyplňuje hlavní důlní díla (odtěžovací a zavážecí tunel a vtažná jáma).

Odtěžovací a zavážecí tunel pro vertikální i horizontální koncept ukládání UOS s VJP může být z hlediska její výstavby realizovaný dvěma způsoby, konvenčně s využitím principů NRTM nebo mechanicky za pomoci plnoprofilových razicích strojů TBM.

Obdobně jako u odtěžovacího a zavážecího tunelu může být vtažná jáma pro oba způsoby ukládání UOS s VJP z hlediska její výstavby hloubená dvěma způsoby, konvenčně nebo mechanicky.

S ohledem na tuto skutečnost jsou navrženy dvě subvarianty výplně:

- 01 Výplň odtěžovacího a zavážecí tunelu
- 02 Výplň vtažné jámy

Z hlediska vlastní výplně jsou tyto subvarianty shodné. Liší se geometrií a objemem vyplněného prostoru daného technologií ražby a způsobem jejího provedení.

Požadavky na zásypový materiál byly specifikovány v kap. 3.3. Po zaplnění všech hlavních důlních děl dojde k jejich konečnému uzavření uzavírací zátkou HÚ (viz komponenta VY 06.06).

5.8.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Výplň prostor nad ukládacím horizontem – přípovrchová část (do -200 m). Stavební objekty DuSO 01, DuSO 02 a DuSO 03.

5.8.6 Podmínky použitelnosti

- Čistý výrub bez aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- Vypleněná výstroj zavážecího a odtěžovacího tunelu a vtažné jámy. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později*

5.8.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Jak bylo uvedeno, obě navržené subvarianty se liší jak geometrií a objemem hlavních důlních děl, tak technologií vyplňování. V obou případech bude výplň provedena z kameniva. Ukončení hlavních důlních děl je provedeno uzavírací zátkou HÚ (viz komponenta VY 06.05).

5.8.8 Technologie výroby/přípravy

Jak bylo uvedeno, tak pro HÚ se předpokládá, že bude jako zdroj kameniva primárně využita upravená rubanina z výstavby HÚ. V případě nevyhovujících požadavků na výplňový materiál je možno uvažovat s použitím drceného kameniva (drceného šterku) jako výsledného produktu těžby a zpracování přírodního kamene, vzniklého drcením větších kusů horniny a jeho následného třídění na jednotlivé frakce v kamenolomu.

5.8.9 Technologie instalace/výstavby

Před zahájením vyplňování hlavních důlních děl bude vypleněna jejich výstroj.

Technologie vyplňování odtěžovacího a zavážecího tunelu jsou shodné s komponentou VY 02.01 (viz kapitola 5.3.19).

Likvidace vtažné jámy jejím úplným zasypáním bude prováděna v souladu s platnou legislativou.

5.8.10 Odhad jednotkové ceny

Ceny pro komerčně dostupné materiály a komponenty (např. beton, výstroj, svorníky, jehly, ...) vychází z cen uváděných v oborovém třídníku stavebních konstrukcí a prací pro rok 2022 ([OTSKP, 2022](#)). Cena kameniva 344 Kč/m³ vychází z OSKP 2022.

Postup stanovení ceny je uveden v kapitole 4.2. V Tab. 33 - Tab. 34 jsou uvedeny kubatury materiálu použité pro výpočet ceny a výsledná cena. Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 33 Množství materiálu pro jednotlivé varianty DuSO

			DuSO 01, DuSO 02	DuSO 03
	Způsob ražeb chodeb	Kamenivo Jednotková cena dle OTSKP 2022 [Kč/m ³]	Příčný profil [m ²]	Příčný profil [m ²]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	344	41,29	38,48
	Konvenční způsob ražby		36,32	
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM		38,48	
	Konvenční způsob ražby		36,32	

Tab. 34 Odhad ceny komponent VY 05.02

		DuSO 01, DuSO 02	DuSO 03
	Převládající způsob ražeb chodeb	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	14,2	13,2
	Konvenční způsob ražby	12,5	
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	13,2	
	Konvenční způsob ražby	12,5	

5.9 VY 06.01 Zátka - Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu

5.9.1 Karta komponenty

Název	Zátka – Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu
Popis	Betonová konstrukce, umístěná na ústí zaplněného horizontálního ukládacího vrtu, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celého vrtu
Umístění v HÚ	Horizontální ukládací vrt, konfirmační laboratoř
Podmínky použitelnosti	Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (bude specifikováno v budoucnosti) V horizontálním ukládacím vrtu nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
Materiál	01 Beton 02 Ocel (výztuž)
Díličí komponenty	01 Tělo zátky (stříkaný vláknobeton, monolitický železo/vláknobeton) 02 Betonové tvárnice 03 Betonářská ocel (pruty, sítě) Pozn. Výplň horizontálního ukládacího vrtu (VY 01.01, VY 01.02)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba mokré betonové směsi v betonárně a jeho doprava do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnice z betonu a jejich doprava do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnice 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Výstavba zátky mokřím způsobem nástřiku betonové směsi pomocí manipulátoru 03 Betonáž monolitické zátky

5.9.2 Požadavky na komponentu

5.9.2.1 Externí požadavky a specifikace

Návrhové parametry zátky vychází dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) především z potřeb projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) a dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková et al., 2014).

Návrhové parametry zátky jsou následující:

- Odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku: 7 MPa.
- Pevnost v tlaku konstrukčního materiálu zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.

Geometrie zátky v případě horizontálního ukládání UOS s VJP vychází z následujícího návrhového parametru horizontálního ukládacího vrtu dle TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018):

- Průměr ukládacího vrtu: 2 200 mm

Alternativně je možné uvažovat s vrtem o průměru 1 700 mm, který je nejmenším průměrem, kdy je zajištěna požadovaná tloušťka bufferu 350 mm (viz VY 01.02).

5.9.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Provozní zátka má mechanickou funkci po dobu provozu hlubinného úložiště. Tomu odpovídá i její konstrukce.

Z dlouhodobého hlediska je důležitá volba použitého materiálu a jeho chemická kompatibilita s ostatními inženýrskými bariérami, neboť zátka, na rozdíl od dalších konstrukčních prvků, v úložišti zůstanou i po jeho uzavření.

Dle Technické zprávy 616/2022 (Večerník et al., 2022) jsou jako konstrukční materiály pro úroveň ukládacího horizontu HÚ uvažovány low-pH betony. V uvedené zprávě jsou popisována možná vzájemná působení mezi jednotlivými materiály konstrukčních prvků a také vliv bentonitu, jako výplňového materiálu inženýrské bariéry, a působení horninového prostředí a podzemní vody, které mají vliv na další celkový chemicko-geochemický vývoj úložiště, ovlivnění mineralogického složení, fyzikálních a mechanických vlastností i mikrobiálního osídlení materiálů inženýrských bariér.

Na rozhraní komponenty a bentonitové výplně horizontálního ukládacího vrtu může docházet k nežádoucímu rozvoji mikroorganismů především díky poskytnutému životnímu prostoru na rozhraní materiálů. Navíc, alkalický výluh z betonu může působit změny v bentonitu a ovlivněním bobtnacího tlaku a hustoty bentonitu vytvořit další životní prostor pro mikroorganismy (Večerník et al., 2022). Avšak vyšší pH betonu působí na bentonit z hlediska mikrobiologie spíše pozitivně ve smyslu, že potlačuje mikrobiální aktivitu (více viz kapitola 3.2 a Večerník et al., 2022). V případě low-pH betonu je nezbytné počítat s rozvojem mikrobiální aktivity dříve než u běžného betonu.

5.9.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- Požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022).

- Předpokládaných interakcí popsaných v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Požadavků na bezpečnostní funkce.
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

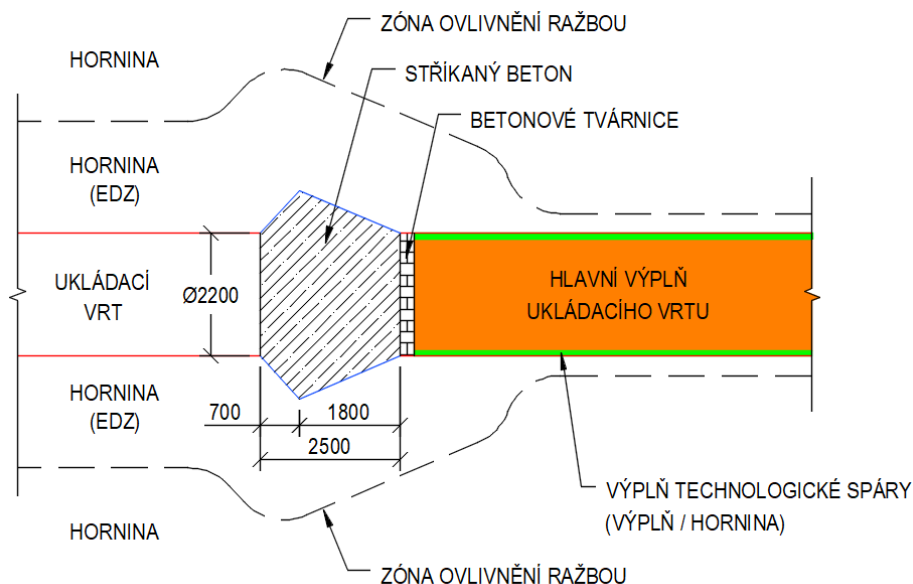
Oproti požadavkům z TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022) byla rovozní zátka optimalizována jako jednovrstvá betonová konstrukce.

5.9.4 Popis komponenty

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) nebylo sice podrobné konstrukční řešení této komponenty a technologie její výstavby zpracováno, ale uvažovalo se, že u horizontálního ukládání UOS s VJP bude zátka umístěna 7,5 m od ústí vrtu, přičemž samotná zátka bude mít tloušťku 2,5 m a bude zaklíněna do horniny v podobě prstence kolem celého vrtu.

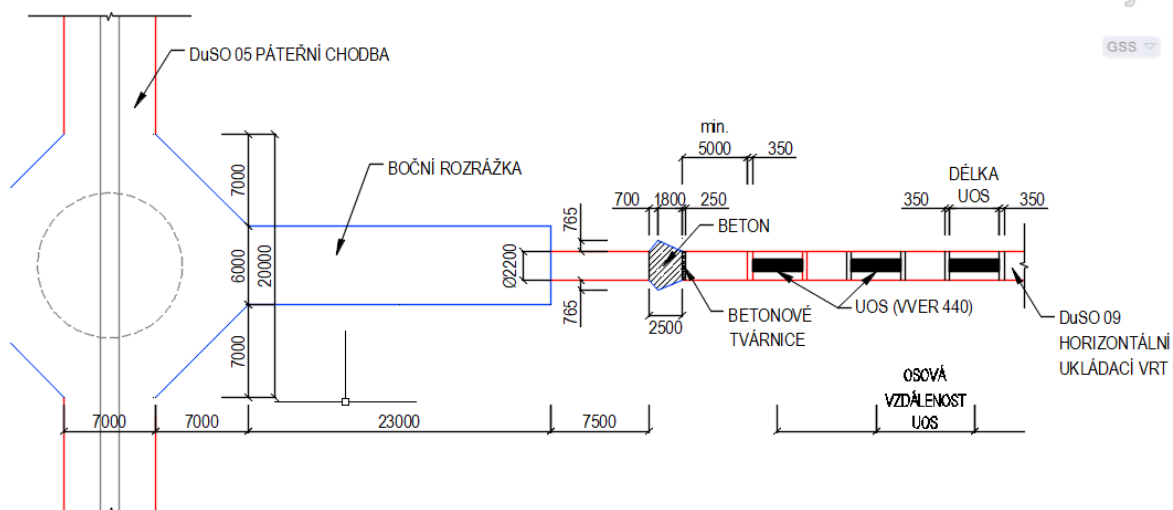
Návrh geometrie uzavírací zátky bude nutno ověřit kontrolním statickým výpočtem a zátku navrhnout s ohledem na klíčové dimenzační stavy se zohledněním napjatostních podmínek na ukládacím horizontu, předpokládaných bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování horizontálního ukládacího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

Detail provozní zátky horizontálního ukládacího vrtu je uveden na Obr. 15.



Obr. 15 Detail provozní zátky horizontálního ukládacího vrtu

Schéma provozní zátky horizontálního ukládacího vrtu dokumentuje Obr. 16.



Obr. 16 Schéma provozní zátky horizontálního ukládacího vrtu

5.9.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

U horizontálního ukládání UOS s VJP provozní zátka uzavírá ukládací vrt (DuSO 09), která je umístěna v ukládacím horizontu.

5.9.6 Podmínky použitelnosti

Z hlediska bezpečnosti HÚ komponenta vyžaduje:

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- V horizontálního ukládacím vrtu nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy atd.), které by mohly negativně ovlivnit bezpečnost HÚ. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.*

5.9.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Provozní zátka horizontálního ukládacího vrtu je tvořena betonovými tvárnici, ze kterých bude postavena uzavírací stěna, která udrží výplňový materiál po dobu výstavby vlastní zátky, která je variantně tvořena stříkaným vláknobetonem (01) nebo monolitickým betonem (02).

5.9.7.1 01 Tělo zátky

5.9.7.1.1 01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu

Základní vlastnosti a požadované parametry stříkaného betonu především v souvislosti s využitím při NRTM popisuje (Hilar et al., 2008). Složení, požadavky a specifikace betonové směsi musí obsahovat údaje, které byly specifikovány v kap. 3.2.2.

Podle dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS je možno uvažovat, že bude při stavbě zátky použit stříkaný vláknobeton o minimální pevnosti v tlaku 30

MPa, pevnosti v tahu 3 MPa a hydraulické vodivosti 10^{-10} m/s se sníženým pH, které má omezit možnost poškození bentonitu výluhem z betonu (Dvořáková et al., 2014). Jako rozptýlenou výztuž se uvažuje obdobně, jako u mezinárodního projektu DOPAS použít skelná vlákna, jejichž funkce spočívá zejména ve snížení množství trhlin od smrštění a ve zlepšení pevnostních charakteristik.

5.9.7.1.2 02 Těsnící zátka z monolitického železobetonu

Složení, požadavky a specifikace betonové směsi musí obsahovat údaje, které byly specifikovány v kap. 3.2.1.1. Výztuž monolitické zátky bude specifikována v budoucnosti.

5.9.7.2 02 Uzavírací stěna z betonových tvárnic

Základní popis betonových tvárnic, ze kterých bude vybudována uzavírací stěna (dílní komponenta provozní zátky), byl uveden v kap. 3.2.3. Pro účely této zprávy se uvažuje, že stěna bude mít tloušťku 0,25 m jako typický příklad tloušťky stěny pro daný účel. Uzavírací stěna bude plnit funkci ztraceného bednění.

5.9.7.3 03 Betonářská ocel

Plné, většinou kruhové ocelové tyče (hladké i žebírkové), které se vkládají do betonu za účelem zvýšení jeho únosnosti a snížení deformací (pruty, sítě). Druh a množství výztuže uzavíracích zátek bude specifikováno v budoucnosti.

5.9.8 Technologie výroby/přípravy

5.9.8.1 01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu

Mokrý betonová směs, která bude při stavbě uzavírací zátky použita, bude vyrobena v betonárně a dopravena do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů.

5.9.8.2 02 Těsnící zátka z monolitického betonu

Obdobně jako u těsnící zátky ze stříkaného vláknobetonu bude betonová směs rovněž vyrobena v betonárně a dopravena do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů. Čerstvá betonová směs bude po armování ukládána do bednění, ve které bude zhutněna.

5.9.8.3 03 Uzavírací hráz z betonových tvárnic

Betonové tvárnice, které budou při stavbě zátky použity, budou vyrobeny z vibrolisovaného vysokopevnostního betonu jako průmyslově vyrobené stavební dílce ve specializovaných výrobnách (stavebních továrnách) a dopraveny do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnic.

5.9.8.4 04 Betonářská ocel

Průmyslově zpracovaná ocel do formy betonářské výztuže (tyče, sítě).

5.9.9 Technologie instalace/výstavby

Po předchozím plenění případné výstroje horizontálního ukládacího vrtu bude zahájena stavba ztraceného bednění tvořená betonovými tvárnicemi v koordinaci s vyplňováním tohoto vrtu komponentou VY 01.01 resp. VY 01.02, kterou blíže popisuje kapitola 5.1 resp. 5.2. Lepení kontaktních ploch tvárnic bude pomocí maltové směsi, která zajišťuje vzájemné podepření prvků mezi sebou. Při skládání betonových tvárnic bude zeď vylévána betonem.

Po dokončení stavby ztraceného bednění se zahájí stavba těla vlastní zátky, která je variantně tvořená stříkaným vláknobetonem nebo monolitickým betonem.

Výstavba zátky ze stříkaného vláknobetonu mokrou cestou bude předcházet úprava povrchu ve smyslu odstranění uvolněných a nekvalitních částí horniny. Otázka odvedení nebo utěsnění větších průsaků vod bude řešena v budoucnosti. Pro provádění nástřiku musí být zpracován technologický postup podle konkrétních podmínek aplikace stříkaného betonu, který určí mimo jiné postup nástřiku, vzdálenost a směr trysky, teplotu podkladních ploch nástřiku a ošetření betonu.

Výstavba zátky z monolitického betonu bude rovněž předcházet úprava povrchu ve smyslu odstranění uvolněných a nekvalitních částí horniny, po které bude po armování instalována dočasná pomocná konstrukce vytvářející formu pro uložení a zhutnění čerstvého betonu (bednění). Pro betonáž zátky musí být rovněž zpracován technologický postup podle konkrétních podmínek.

5.9.10 Odhad jednotkové ceny

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na geometrii a objemu zátky na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek, napjatosti horninového masivu, bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavu při zaplňování atd. Pro výpočet ceny na výstavbu provozních zátek byly použity jednotkové ceny uvedené v Tab. 35. Vyčíslení nákladů na výstavbu obou variant provozních zátek horizontálního ukládacího vrtu je uvedeno v Tab. 36 a Tab. 37. Vlastní výpočet odhadu cen je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 35 Přehled použitých jednotkových cen pro odhad ceny na provozní zátku

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
01 Uzavírací zátky ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30, tj. C 25/30	7 780 Kč/m ³
02 Uzavírací stěna z betonových tvárnic	11 500 Kč/m ³
03 Monolitický železobeton o min. třídě pevnosti v tlaku C 30/37	8 470 Kč/m ³
04 Betonářská ocel (pruty, síť)	42 400 Kč/t

Tab. 36 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu horizontálního ukládacího vrtu (DuSO 09) vyraženého mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	13,15	102	113
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	0,95	11	

Tab. 37 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu horizontálního ukládacího vrtu (DuSO 09) vyraženého mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	0,95	11	162
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	13,15	111	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	1,18	50	

5.10 VY 06.02 Zátka - Provozní zátka zavážecí chodby

5.10.1 Karta komponenty

Název	Zátka – Provozní zátka zavážecí chodby
Popis	Betonová konstrukce, umístěná na ústí zaplněné zavážecí chodby, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby
Umístění v HÚ	Zavážecí chodba, konfirmační laboratoř
Podmínky použitelnosti	Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (bude specifikováno v budoucnosti) V zavážecí chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vlákno betonu
Materiál	01 Beton 02 Ocel (výztuž)
Dílní komponenty	01 Tělo zátky (stříkaný vláknobeton, monolitický železo/vlákno beton) 02 Betonové tvárnice 03 Betonářská ocel (pruty, sítě) Pozn. Výplň zavážecí chodby (VY 02.01)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba mokré betonové směsi v betonárně a jeho doprava do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnice z betonu a jejich doprava do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnice 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Výstavba zátky mokřím způsobem nástřiku betonové směsi pomocí manipulátoru 03 Betonáž monolitické zátky

5.10.2 Požadavky na komponentu

5.10.2.1 Externí požadavky a specifikace

Návrhové parametry zátky vychází dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) především z potřeb projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) a dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková et al., 2014).

Návrhové parametry zátky jsou následující:

- Odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku 7 MPa.
- Pevnost v tlaku konstrukčního materiálu zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.

Geometrie zátky v případě vertikálního ukládání UOS s VJP vychází z následujících návrhových parametrů zavážecích chodeb dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022):

	Konvenční ražba	Ražba TBM
Výška chodby	6 700 mm	7 250 mm
Šířka chodby	4 000 mm	7 250 mm

5.10.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Požadované bezpečnostní a technické funkce jsou shodné s komponentou 06.01 (viz kapitola 5.9.2.2) s tím rozdílem, že k nežádoucímu rozvoji mikroorganismů může docházet na rozhraní komponenty a bentonitové výplně zavážecí chodby.

5.10.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- Požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022).
- Předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Požadavků na bezpečnostní funkce.
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

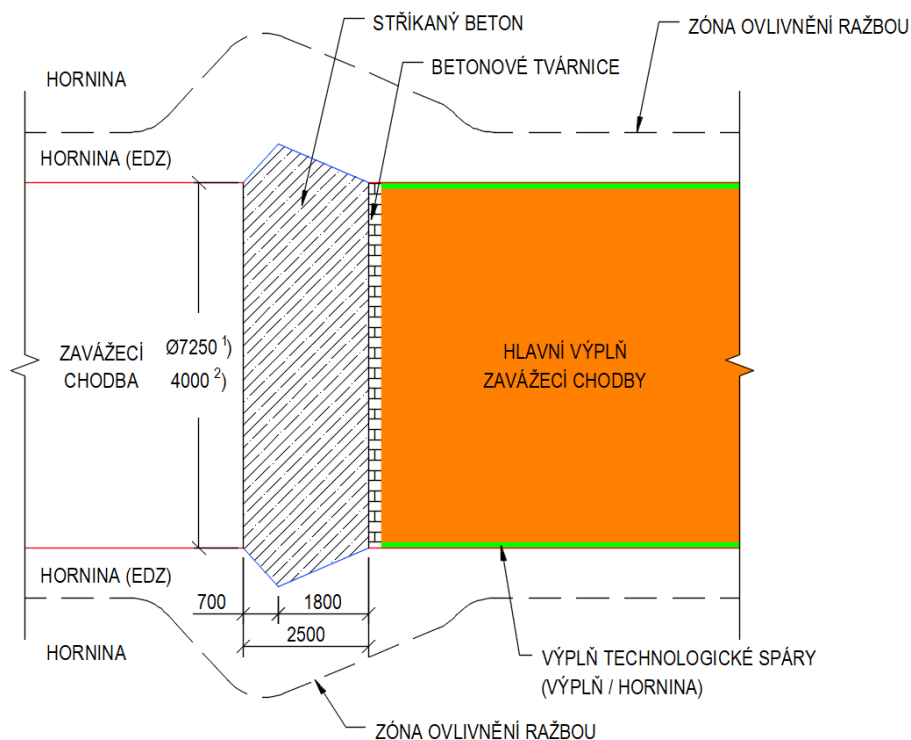
Oproti požadavkům z TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) byla provozní zátka optimalizována jako jednovrstvá betonová konstrukce.

5.10.4 Popis komponenty

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) nebylo sice podrobné konstrukčního řešení této komponenty a technologie její výstavby rovněž zpracováno, ale uvažovalo se, že i u vertikálního ukládání UOS s VJP bude zátka umístěna 7,5 m od ústí chodby, přičemž samotná zátka bude mít tloušťku 2,5 m a bude zaklíněna do horniny v podobě prstence kolem celé chodby.

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

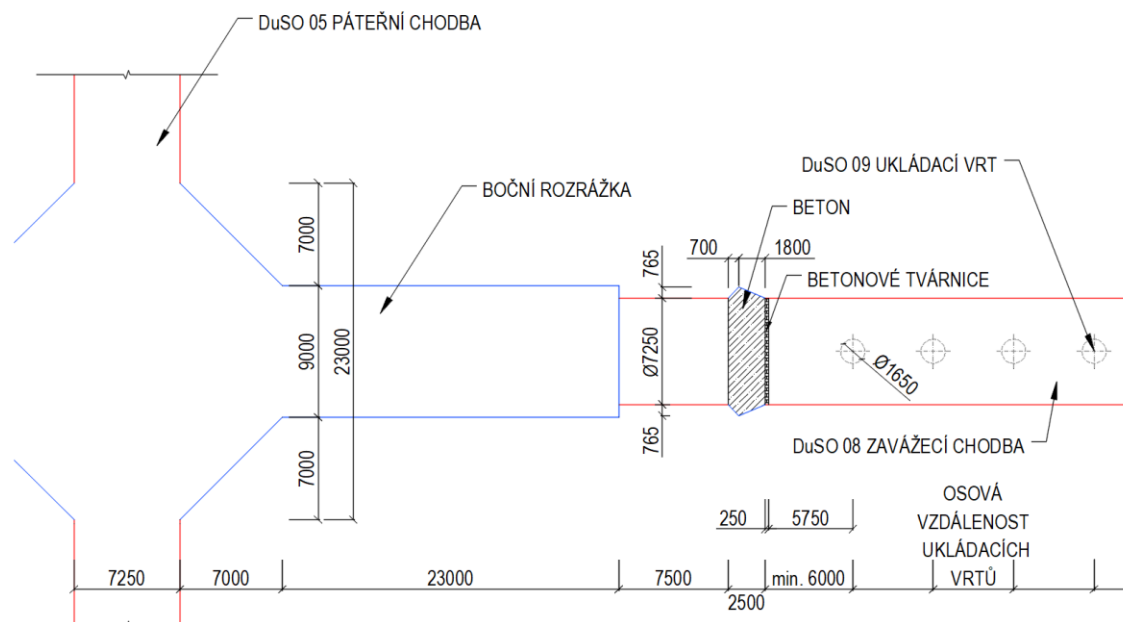
Detail provozní zátky zavážecí chodby je uvedeno na Obr. 17.



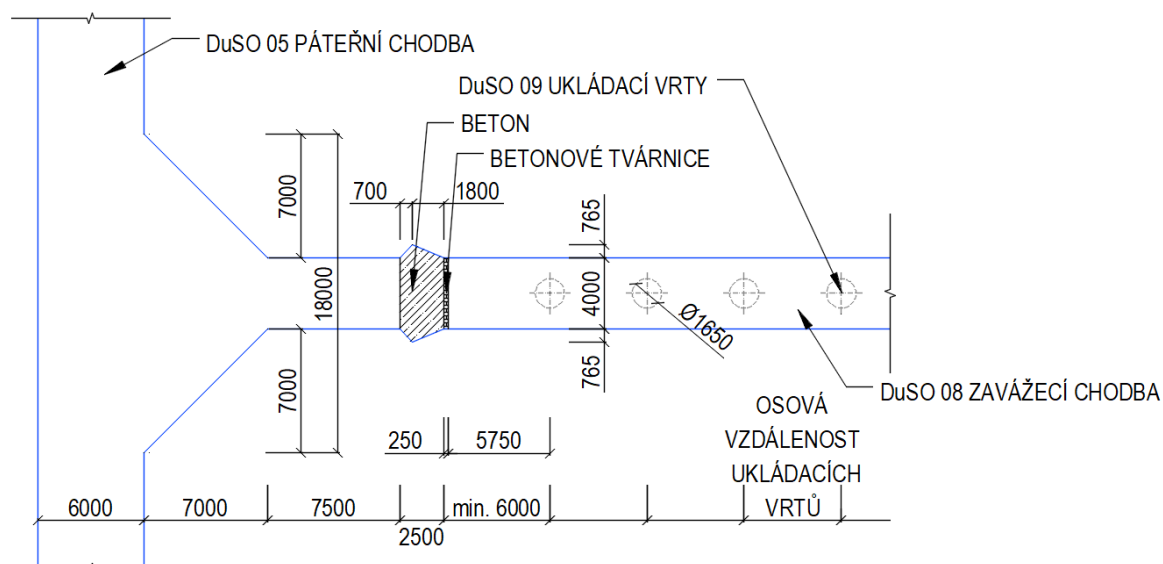
Obr. 17 Detail provozní zátky zavážecí chodby

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

Schéma provozní zátky zavážecí chodby vyražené metodou TBM, resp. konvenčním způsobem je patrné z Obr. 18, resp. Obr. 19.



Obr. 18 Schéma provozní zátky zavážecí chodby vyražené metodou TBM



Obr. 19 Výkres provozní zátky zavážecí chodby vyražené konvenčním způsobem

5.10.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

U vertikálního ukládání UOS s VJP provozní zátky uzavírá zavážecí chodbu (DuSO 08), která je umístěna v ukládacím horizontu.

5.10.6 Podmínky použitelnosti

Podmínky použitelnosti jsou shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.6) s tím rozdílem, že vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy atd.) nesmí být v zavážecí chodbě.

5.10.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Subvarianty a jejich dílčí komponenty jsou shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.7) s tím rozdílem, že provozní zátka uzavírá zavážecí chodbu.

5.10.8 Technologie výroby/přípravy

Technologie výroby a přípravy je shodná s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.8.

5.10.9 Technologie instalace/výstavby

Technologie výstavby provozní zátky je shodná s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.9) s tím rozdílem, že stavba uzavírací stěny bude zahájena po předchozím plenění výstroje zavážecí chodby v koordinaci s v vyplňováním zavážecí chodby.

5.10.10 Odhad jednotkové ceny

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na geometrii a objemu zátky na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek, napjatosti horninového masivu, bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavu při zaplňování atd. Pro výpočet ceny za výstavbu provozních zátek byly použity jednotkové ceny uvedené v Tab. 35. Vyčíslení nákladů na výstavbu obou variant provozních zátek v závislosti na způsobu ražby zavážecí chodby je uvedeno v Tab. 38 až Tab. 41. Vlastní výpočet odhadu cen je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 38 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu zavážecí chodby (DuSO 08) vyražené mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	125,09	973	1092
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	10,32	119	

Tab. 39 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu zavážeční chodby (DuSO 08) vyražené mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	10,32	119	1656
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	125,09	1060	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	11,26	477	

Tab. 40 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu zavážeční chodby (DuSO 08) vyražené mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	82,01	638	711
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	6,31	73	

Tab. 41 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu zavážeční chodby (DuSO 08) vyražené mechanizovaným způsobem

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	0,95	11	852
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	13,15	111	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	1,18	50	

5.11 VY 06.03 Zátka – Provozní zátka komory RAO

5.11.1 Karta komponenty

Název	Zátka - Provozní zátka komory RAO
Popis	Betonová konstrukce, umístěná na konci chodby ústící do zaplněné ukládací komory RAO, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby.
Umístění v HÚ	Ukládací komora RAO
Podmínky použitelnosti	Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (bude specifikováno v budoucnosti) V místě zátky komory RAO nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
Materiál	01 Beton 02 Ocel (výztuž)
Díličí komponenty	01 Tělo zátky (stříkaný vláknobeton, monolitický železo/vláknobeton) 02 Betonové tvárnice 03 Betonářská ocel (pruty, síť) Pozn. Výplň RAO komory (VY 03.01, VY 03.02)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba mokré betonové směsi v betonárně a jeho doprava do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnice z betonu a jejich doprava do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnice 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Výstavba zátky mokřím způsobem nástřiku betonové směsi pomocí manipulátoru 03 Betonáž monolitické zátky

5.11.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Provozní zátka uzavírá ukládací komoru RAO (DuSO 11), která je podle rozdělení uzavírání HÚ do sekcí podle hloubky podle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022) umístěná v tzv. středním horizontu.

5.11.6 Podmínky použitelnosti

Z hlediska bezpečnosti HÚ komponenta vyžaduje:

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (přesné kritérium bude specifikováno v budoucnosti)
- V místě zátky komory RAO nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy atd.), které by mohly negativně ovlivnit bezpečnost HÚ. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později*

5.11.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.7.

5.11.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.8.

5.11.9 Technologie instalace/výstavby

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.9.

5.11.10 Odhad jednotkové ceny

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na geometrii a objemu zátky na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek, napjatosti horninového masivu, bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování atd. Pro výpočet ceny za výstavbu provozních zátek byly použity jednotkové ceny uvedené v Tab. 35. Vyčíslení nákladů na výstavbu obou variant provozních zátek komory RAO je uvedeno v Tab. 38 až Tab. 41. Vlastní výpočet odhadu cen je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 42 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu komory RAO (DuSO 11)

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	85,11	662	739
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	6,69	77	

Tab. 43 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu komory RAO (DuSO 11)

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	6,69	77	1123
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	85,11	721	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	7,66	325	

5.12 VY 06.04 Zátka - Provozní zátka na ukládacím horizontu

5.12.1 Karta komponenty

Název	Zátka - Provozní zátka na ukládacím horizontu
Popis	Betonová konstrukce, umístěná v předem určených místech zaplněných chodb (kaveren), kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby.
Umístění v HÚ	Páteřní chodby, technické zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny)
Podmínky použitelnosti	<ul style="list-style-type: none"> • Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (bude specifikováno v budoucnosti) • V páteřní chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Provozní zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Provozní zátka z monolitického železo/vláknobetonu
Materiál	01 Beton 02 Ocel (výzuž)
Díličí komponenty	01 Tělo zátky (stříkaný vláknobeton, monolitický železo/vláknobeton) 02 Betonové tvárnice 03 Betonářská ocel (pruty, sítě) Pozn. Výplň prostor na ukládacím horizontu (VY 04.01)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba mokré betonové směsi v betonárně a jeho doprava do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnic z betonu a jejich doprava do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnic 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Výstavba zátky mokřím způsobem nástřiku betonové směsi pomocí manipulátoru 03 Betonáž monolitické zátky

5.12.2 Požadavky na komponentu

5.12.2.1 Externí požadavky a specifikace

Požadavky jsou shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.2). Geometrie zátky na ukládacím horizontu vychází z návrhových parametrů páteřních chodeb a technického zázemí podzemní části HÚ (chodby, kaverny) dle projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018).

5.12.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.11.2.2

5.12.3 Předpoklady návrhu komponenty

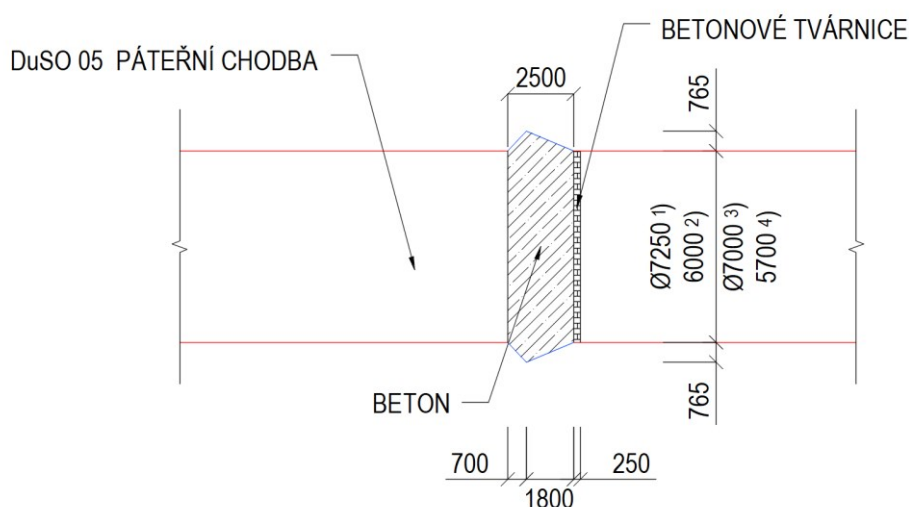
Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.3.

5.12.4 Popis komponenty

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) nebylo sice podrobné konstrukčního řešení této komponenty, technologie její výstavby a umístění zpracováno, ale uvažovalo se, že zátky bude zaklíněna do horniny v podobě prstence kolem celé chodby.

S ohledem na tuto skutečnost bude nutno návrh uvažované geometrie uzavírací zátky ověřit 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 chodeb a kaveren technického zázemí podzemní části HÚ atd.

Schéma uvažované geometrie provozní zátky mechanizovaně nebo konvenčně ražené páteřní chodby s ohledem na její největší šířku bez ohledu způsob ukládání dokumentuje Obr. 21.



Obr. 21 Výkres provozní zátky páteřní chodby na ukládacím horizontu

Vysvětlivky: ¹⁾ Průměr páteřní chodby vyražené metodou TBM pro vertikální ukládání, ²⁾ Šířka páteřní chodby vyražené konvenčním způsobem pro vertikální ukládání, ³⁾ Průměr páteřní chodby vyražené metodou TBM pro horizontální ukládání, ⁴⁾ Šířka páteřní chodby vyražené konvenčním způsobem pro horizontální ukládání

5.12.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Provozní zátka na ukládacím horizontu uzavírá páteřní chodby a technické zázemí podzemní části HÚ (chodby a kaverny).

5.12.6 Podmínky použitelnosti

Z hlediska bezpečnosti HÚ tato komponenta vyžaduje:

- Čistý výrub bez významných poruch a aktivních přítoků vody (bude specifikováno v budoucnosti)
- V místě zátky páteřní chodby nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.*

5.12.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.7.

5.12.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.8.

5.12.9 Technologie instalace/výstavby

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.9

5.12.10 Odhad jednotkové ceny

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na geometrii a objemu zátky na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek, napjatosti horninového masivu, bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování atd. Pro výpočet ceny na výstavbu provozních zátek byly použity jednotkové ceny uvedené v Tab. 35. Vyčíslení nákladů na výstavbu obou variant provozních zátek v závislosti na způsobu ukládání a ražby páteřní chodby je uvedeno v Tab. 44 až Tab. 51. Vlastní výpočet odhadu cen je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 44 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu páteřní chodby (DuSO 05) vyražené mechanizovaným způsobem pro vertikálním ukládání

Název položky	Kubatur a [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
---------------	-----------------------------------	---	------------------------------

Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	125,09	973	1092
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	10,32	119	

Tab. 45 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu páteřní chodby (DuSO 05) vyražené mechanizovaným způsobem pro vertikální ukládání

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	10,32	119	1656
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	125,09	1060	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	11,26	477	

Tab. 46 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu páteřní chodby (DuSO 11) vyražené konvenčním způsobem pro vertikální ukládání

Název položky	Kubatura a [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	92,76	722	806
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	7,31	84	

Tab. 47 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu páteřní chodby (DuSO 11) vyražené konvenčním způsobem pro vertikální ukládání

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³] / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³] / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	7,31	84	1224
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	92,76	786	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	8,35	354	

Tab. 48 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu páteřní chodby (DuSO 05) vyražené mechanizovaným způsobem pro horizontální ukládání

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	117,31	913	1024
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	9,62	111	

Tab. 49 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu páteřní chodby (DuSO 05) vyražené mechanizovaným způsobem pro horizontální ukládání

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³ / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³ / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	9,62	111	1553
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	117,31	994	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	10,56	448	

Tab. 50 Odhad ceny provozní zátky ze stříkaného vláknobetonu páteřní chodby (DuSO 11) vyražené konvenčním způsobem pro horizontální ukládání

Název položky	Kubatura [m ³]	Cena položky [tis. Kč/m ³]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Provozní zátka ze stříkaného betonu o min. pevnosti SB 30 (C 25/30)	92,67	721	805
Uzavírací stěna z betonových tvárnic	7,31	84	

Tab. 51 Odhad ceny provozní zátky z monolitického železobetonu páteřní chodby (DuSO 11) vyražené konvenčním způsobem pro horizontální ukládání

Název položky	Kubatura / Tonáž [m ³ / [t]	Cena položky [tis. Kč/m ³ / [tis. Kč/t]	Celková cena [tis. Kč/ks]
Uzavírací hráz z betonových tvárnic	7,31	84	1223
Zdi a stěny podpěrné a volné ze železobetonu do C 30/37	92,67	785	
Výztuž zdí a stěn podpěrných a volných z oceli 10505, B500B (hustota výztuže 90 kg na 1 m ³ betonu)	8,34	354	

5.13 VY 06.05 Zátka – Tlaková a těsnicí zátka (oddělení místa s přítoky/poruchou)

5.13.1 Karta komponenty

Název	Zátka – Tlaková a těsnicí zátka (oddělení místa s přítoky/poruchou)
Popis	Betonová konstrukce, umístěná v tunelu / páteřní chodbě v místě tektonické poruchy, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celého tunelu / chodby.
Umístění v HÚ	Odtěžovací a zavážecí tunel, páteřní chodba
Podmínky použitelnosti	V tunelu / páteřní chodbě nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy, ...). <i>Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.</i>
Subvarianty	01 Tlaková a těsnicí zátka ze stříkaného vláknobetonu 02 Tlaková a těsnicí z monolitického železo/vláknobetonu
Materiál	01 Beton 02 Ocel (výztuž)
Dílní komponenty	01 Tělo zátky (stříkaný vláknobeton, monolitický železo/vláknobeton) 02 Betonové tvárnice 03 Betonářská ocel (pruty, sítě) Pozn. Výplň prostor na ukládacím horizontu (VY 04.01) / výplň prostor nad ukládacím horizontem – střední hloubka (VY 05.01)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba mokré betonové směsi v betonárně a jeho doprava do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnic z betonu a jejich doprava do podzemní části HÚ vozidly pro přepravu tvárnic 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Výstavba zátky mokrým způsobem nástřikem betonové směsi pomocí manipulátoru 03 Betonáž monolitické zátky

5.13.2 Požadavky na komponentu

5.13.2.1 Externí požadavky a specifikace

Požadavky jsou shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.2) s tím rozdílem, že geometrie zátky vychází především z potřeb projektového řešení HÚ dle TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018) a návrhových parametrů vybraných důlních stavebních objektů dle TZ 580/2022 (Dohnálková et al., 2022).

5.13.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Požadované bezpečnostní a technické funkce tlakové a těsnící zátky z dlouhodobého hlediska jsou shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.2.2) .

Uvažuje se, že zátky budou umístěny v předem určeném místě na obou stranách zvodnělého úseku (tektonické poruchy) tak, aby došlo k oddělení a utěsnění tohoto úseku od ostatních částí podzemního areálu HÚ.

5.13.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

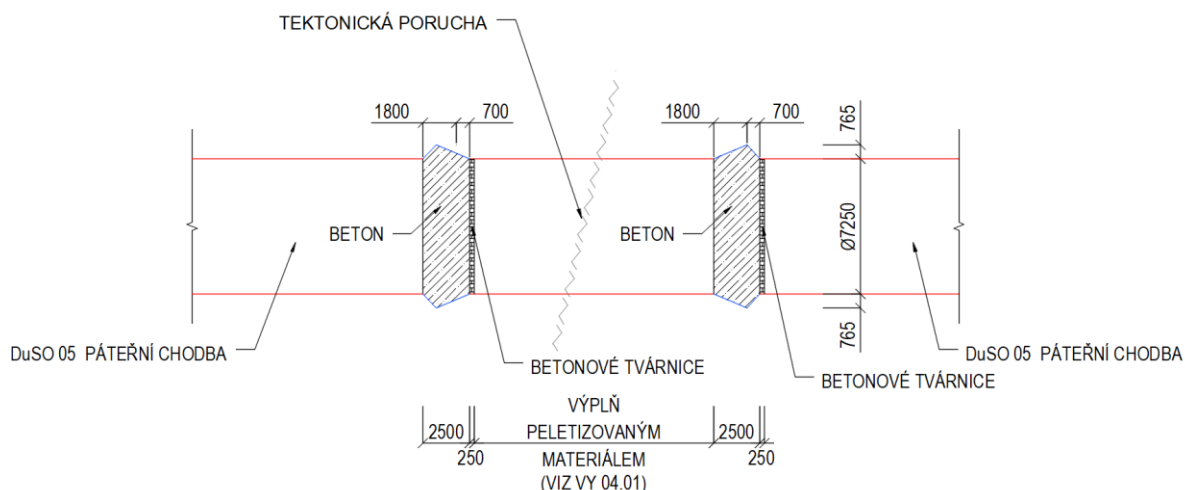
- Požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnálková M. et al., 2022).
- Předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Požadavků na bezpečnostní funkce.
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

5.13.4 Popis komponenty

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) nebylo sice podrobné konstrukčního řešení této komponenty a technologie její výstavby zpracováno, ale podle dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková et al., 2014) půjde 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 těsnícího prvku z bentonitového materiálu, umístěného v místě zvodnělého úseku (tektonické poruchy).

Návrh geometrie tlakových a těsnících zátek 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.

Schéma tlakové a těsnící zátky páteřní chodby vyražené metodou TBM pro vertikální ukládání, ačkoli její použití ve fázi provozu HÚ je diskutabilní, dokumentuje Obr. 22.



Obr. 22 Výkres tlakové a těsnicí zátky páteřní chodby vyražené metodou TBM

5.13.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

S ohledem na skutečnost, že se u mechanizovaného i konvenčního způsobu ražby v závislosti na geologických podmínkách (přítoky, tektonické poruchy) počítá rovněž s použitím jednotlivých doplňujících opatření nebo jejich kombinací, jejichž účelem je zvýšení bezpečnosti ve fázi výstavby a provozu HÚ, tak použití tlakové a těsnicí zátky pro oddělení místa s přítoky vody / tektonickou poruchou nebylo dosud stanoveno.

5.13.6 Podmínky použitelnosti

Z hlediska bezpečnosti HÚ komponenta vyžaduje:

- V místě zátky nesmí být vnesené materiály (např. zbytky ostění, vyrovnání počvy atd.), které by mohly negativně ovlivnit bezpečnost HÚ. *Povolené množství vnesených materiálů bude specifikováno později.*

5.13.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.7.

5.13.8 Technologie výroby/přípravy

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.8

5.13.9 Technologie instalace/výstavby

Výstavba obou zátek na obou stranách zvodnělého úseku (tektonické poruchy) je shodná s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.9) s tím rozdílem, že stavba zátka bude koordinována s vyplňováním bentonitovým materiálem jak navazujících úseků podzemních částí HÚ, tak vnitřního těsnicího prvku, jak je blíže popsáno u komponenty VY 02.01.

5.13.10 Odhad jednotkové ceny

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na geometrii a objemu zátky na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek, napjatosti horninového masivu, bobtnacích tlaků působících na zátku, provozní stavy při zaplňování atd. Pro výpočet ceny na výstavbu provozních zátek byly použity jednotkové ceny uvedené v Tab. 35. Vyčíslení nákladů na výstavbu obou variant provozních zátek v závislosti na způsobu ukládání a ražby páteřní chodby je uvedeno v Tab. 44 až Tab. 51. Odhad cen na výplň prostor páteřní chodby dokumentuje Tab. 26. Celková cena zátky tedy odpovídá ceně dvou provozních zátek (VY 06.04) a výplně prostor příslušné délky mezi zátkami (VY 04.01), jak souhrnně uvádí Tab. 52. Vlastní výpočet odhadu cen je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 52 Odhad cen tlakové a těsnící zátky pro oddělení místa s přítoky/poruchou

Způsob ukládání	Způsob ražeb chodeb	Provozní zátky páteřní chodby ze stříkaného vláknobetonu	Provozní zátky páteřní chodby z monolitického železobetonu	Výplň prostor na ukládacím horizontu
		Cena komponenty [tis. Kč/ks]	Cena komponenty [tis. Kč/ks]	Cena komponenty [tis. Kč/m délky SO]
Vertikální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1092	1656	468
	Konvenční způsob ražby	806	1224	332
Horizontální ukládání	Mechanizovaný způsob ražby TBM	1023	1552	436
	Konvenční způsob ražby	805	1223	332

5.14 VY 06.06 Zátka - Uzavírací zátka HÚ (úpadní tunely, vtažná jáma)

5.14.1 Karta komponenty

Název	Zátka - Uzavírací zátka HÚ (úpadní tunely, vtažná jáma)
Popis	Železobetonová konstrukce, umístěná na ústí zaplněného zavážecího a odtěžovacího tunelu / zaplněné vtažné jámy a dimenzována na předpokládané zatížení
Umístění v HÚ	Zavážecí a odtěžovací tunel, vtažná jáma
Podmínky použitelnosti	Vypleněná výstroj zavážecího a odtěžovacího tunelu a vtažné jámy.
Subvarianty	01 Uzavírací portálová zátka úpadního tunelu 02 Uzavírací ohlubňový poval
Materiál	01 Beton 02 Výztuž (ocel)
Díličí komponenty	01 Betonové tvárnice 02 Monolitický železobeton o min. třídě pevnosti v tlaku C 30/37 se stupněm vlivu prostředí XF4 03 Betonářská ocel (pruty, sítě) Pozn. Výplň prostor na ukládacím horizontu (VY 04.01) / výplň prostor nad ukládacím horizontem – přípovrchová část (VY 05.01)
Technologie výroby/přípravy	01 Výroba betonu v betonárně a jeho doprava k ústí hlavních důlních děl HÚ pomocí autodomíchávačů 02 Příprava a výroba tvárnic z betonu a jejich doprava k ústí obou tunelů vozidly pro přepravu tvárnic 03 Armování a instalace bednění
Technologie instalace/výstavby	01 Zdění pomocí maltové směsi a výplňového betonu 02 Vázání betonářské výztuže (tyče, sítě) 03 Instalace dočasné pomocné konstrukce vytvářející formu pro uložení a zhutnění čerstvého betonu 04 Betonáž uzavíracích zátek HÚ

5.14.2 Požadavky na komponentu

5.14.2.1 Externí požadavky a specializace

Návrhové parametry uzavírací zátky HÚ vychází především z potřeb projektového řešení HÚ dle TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018) a vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb., kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl ve znění pozdějších předpisů (dále jen vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb.). Vedle toho musí povrchová zátka dle TZ 575/2022 (Kumpulainen et al., 2022) zabránit i neúmyslnému vniknutí osob případnými terénními úpravami v místě ústí hlavních důlních děl.

Geometrie uzavírací zátky zavážečního a odtěžovacího tunelu, resp. vtažné jámy, jak na ukládacím horizontu, tak na povrchu, vychází z rozměrů příčných profilů obou tunelů dle Tab. 2 resp. výkresových příloh projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018).

Nejmenší rozměr uzavíracího ohlubňového povalu D_{min} v metrech se stanoví dle odst. 1 Přílohy č. 3 vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb. ze vztahu (1):

$$D_{min} = 1,5 \cdot (d + 2 \cdot t) \quad (1)$$

kde d je největší světlý rozměr jámy [m]. Dle výkresových příloh projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) je $d = 7,0$ m.

t - je tloušťka ostění jámy (m). Dle výkresových příloh projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) je $t = 0,45$ m.

Po dosazení příslušných hodnot do vzorce (1) vychází nejmenší rozměr uzavíracího ohlubňového povalu 10,5 m. Z hlediska jeho geometrie je nejmenším rozměrem myšlen průměr.

5.14.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Zátka má především mechanickou funkci. Jejím úkolem je zabránit úmyslnému i neúmyslnému vniknutí osob do prostor úložiště po jeho uzavření.

5.14.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- Navrhovaných parametrů specifikovaných TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018).
- Předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Požadavků na bezpečnostní funkce.
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

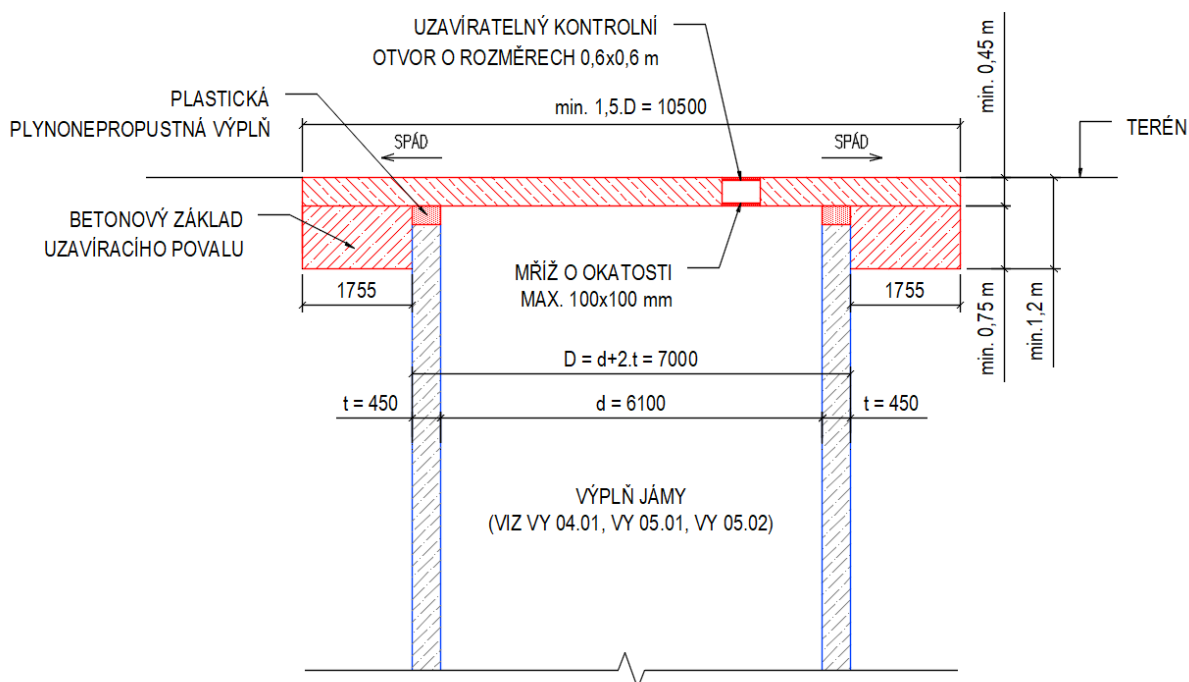
5.14.4 Popis komponenty

V době zpracování projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) sice nebylo podrobné konstrukčního 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 shodné s komponentou VY 06.04 (viz kapitola 5.12.4) s tím rozdílem, že konstrukční řešení uzavírací zátky vtažné jámy nebylo dosud specifikováno. S ohledem na předpokládaný tlak zásypového materiálu je možno ale usuzovat, že jámová zátka bude tvořena monolitickým železobetonem vyztuženým ocelovou vázanou výztuží.

Výkres uzavíracího ohlubňového povalu vtažné jámy, vypracovaného podle vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 dokumentuje Obr. 23



Obr. 23 Výkres uzavíracího ohlubňového povalu vtažné jámy

Je třeba zmínit, že platná 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.

5.14.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

Uzavírací zátky obou tunelů (DuSO 01, DuSO 02), resp. vtažné jámy (DuSO 03) budou vybudovány v místě portálu (ústí) obou tunelů, resp. na ohlubni (ústí) vtažné jámy.

5.14.6 Podmínky použitelnosti

Z hlediska bezpečnosti HÚ komponenta vyžaduje:

- Vypleněná výstroj zavážecího a odtěžovacího tunelu a vtažné jámy.

5.14.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

Uzavírací zátka obou tunelů s výjimkou jámy tvoří betonové tvárnice, ze kterých bude postavena uzavírací stěna, která udrží výplňový materiál po dobu výstavby vlastní zátky z monolitického betonu, vyztuženého vázanou výztuží.

5.14.7.1 01 Uzavírací stěna z betonových tvárnic

Shodné s komponentou VY 06.01 (viz kapitola 5.9.7.2) s tím rozdílem, že uzavírací hráz z betonových tvárnic nebude použita při likvidaci vtažné jámy.

5.14.7.2 02 Uzavírací zátka z monolitického železobetonu

Složení, požadavky a specifikace betonové směsi C 30/37 XF4 vyztužený vázanou výztuží (B 500 B) musí obsahovat údaje, které byly vyjmenovány v kap.3.2.1.1.

5.14.7.3 03 Betonářská ocel

Plné, většinou kruhové ocelové tyče (hladké i žebírkové), které se vkládají do betonu za účelem zvýšení jeho únosnosti a snížení deformací (pruty, sítě). Druh a množství výztuže uzavíracích zátek HÚ bude specifikováno v budoucnosti.

5.14.8 Technologie výroby/přípravy

5.14.8.1 02 Uzavírací stěna z betonových tvárnic

Shodné s komponentou VY 06.01. Viz kapitola 5.9.8.3.

5.14.8.2 03 Uzavírací zátka z monolitického železobetonu

Výroba betonu v betonárně a jeho doprava k ústí hlavních důlních děl HÚ pomocí autodomíchávačů.

5.14.8.3 04 Betonářská ocel

Průmyslově zpracovaná ocel do formy betonářské výztuže (tyče, sítě).

5.14.9 Technologie instalace/výstavby

Likvidace hlavních důlních děl se bude provádět v souladu s platnou legislativou.

5.14.9.1 Uzavírací zátky hlavních důlních děl na povrchu

Způsob provedení uzavíracího ohlubňového povalu taxativně uvádí § 10 vyhlášky ČBÚ č. 52/1997 Sb.

Uzavírací ohlubňový poval bude po zasypaní vtažné jámy kamenivem založen na obvodový základový pás, oddílatovaný od výztuže vtažné jámy, přičemž základový pás v ložné spáře nejen musí mít minimálně stejnou šířku, jako je tloušťka povalu (tj. minimálně 450 mm), ale bude prohloubený až do nezámrazné hloubky.

Uzavírací ohlubňový poval musí být situován takovým způsobem, aby jeho horní úroveň byla (pokud možno) v úrovni terénu.

Uzavírací portálové zátky obou tunelů budou konstrukčně řešeny jako monolitické železobetonové vyztužené ocelovou vázanou výztuží.

5.14.10 Odhad jednotkové ceny

Cena vychází z cen uváděných v oborovém třídíku stavebních konstrukcí a prací pro rok 2022 (OTSKP, 2022).

Vlastní výpočet odhadu ceny je uveden v Příloze č. 1.

Tab. 53 Přehled použitých jednotkových cen pro odhad ceny za uzavírací zátku HÚ

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
01 Uzavírací stěna z betonových tvárnic	11 500 Kč/m ³
02 Uzavírací portálová zátka z monolitického železobetonu do C 30/37 se stupněm vlivu prostředí XF4	8 470 Kč/m ³
03 Výztuž portálové zátky z betonářské oceli (pruty, sítě)	42 400 Kč/t
04 Strop z monolitického železobetonu o min. třídě pevnosti v tlaku C 30/37 se stupněm vlivu prostředí XF4	10 500 Kč/m ³
05 Výztuž stropu z betonářské oceli (pruty, sítě)	37 700 Kč/t

Tab. 54 Odhad ceny uzavíracího ohlubňového povalu

Název subvarianty	Kubatura betonu uzavíracího ohlubňového povalu	Cena komponenty [tis. Kč]
Uzavírací ohlubňový poval o průměru 10,5 m a tloušťce 0,45 m z monolitického železobetonu C 30/37 XF4 (hustota výztuže 130 kg/m ³)	38,97 m ³	600

5.15 VY 07 Ostatní konstrukční prvky

5.15.1 Karta komponenty

Název	Ostatní konstrukční prvky
Popis	Základní části stavební konstrukce, které se liší podle materiálu, účelu a technologie provádění a jsou v celém svém povrchu pevně spojeny se stavební konstrukcí nebo hostitelským prostředím.
Umístění v HÚ	Podzemní části HÚ
Podmínky použitelnosti	Inženýrsko-geologické poměry, životnost a účel důlního stavebního objektu. Použití komponent v konkrétním místě je třeba posoudit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.
Subvarianty	01 Předháněná výztuž – Jehly 02 Svorníky 03 Mikropiloty 04 Injektáže 05 Ostění a jeho komponenty
Materiál	Podle subvarianty
Díličí komponenty	Podle subvarianty
Technologie výroby/přípravy	Podle subvarianty
Technologie instalace/výstavby	Podle subvarianty

5.15.2 Požadavky na komponentu

5.15.2.1 Externí požadavky a specifikace

Stavebně technický návrh HÚ musí v souladu s platnou legislativou respektovat požadavky na bezpečné zajištění děl (vyztužení) při ražbě, výstavbě a samotném provozu HÚ.

Návrhové parametry ostatních konstrukčních prvků budou vycházet z potřeb konečného projektového řešení HÚ podle TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018) na základě upřesněných inženýrsko-geologických a hydrogeologických podmínek, životnosti a účelu jednotlivých důlních stavebních objektů.

Při konečném návrhu HÚ bude nutné zohlednit vzájemné působení mezi materiály jednotlivých konstrukčních prvků, inženýrských bariér, působení horninového prostředí a podzemní vody, které mohou mít vliv na dlouhodobou bezpečnost HÚ, jak je blíže popsáno v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).

5.15.2.2 Požadované bezpečnostní a technické funkce

Požadované bezpečnostní a technické funkce ostatních konstrukčních prvků se obecně odvíjí od použitého konstrukčního prvku.

Nebudou-li konstrukční prvky vyjmuty (plenění výztuže), což se v současné době z technologických a provozně-bezpečnostních důvodů neuvažuje, pak je z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ důležitá volba použitých materiálů s ohledem na jejich interakci s ostatními inženýrskými bariérami, horninovým prostředím, podzemní vodou a dalšími prvky HÚ. Touto problematikou se blíže zabývá TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).

V dlouhodobém horizontu se předpokládá, že veškeré stavebně-konstrukční prvky postupně degradují a ztratí svoji funkci. Z toho vyplývá mechanický vliv na výplňové materiály HÚ (buffer a backfill), respektive jednotlivých UOS zapříčiněný degradací a postupným kolapsem těchto konstrukcí. Ztráta jejich únosnosti povede k vyššímu zatížení bentonitu a možnost vzniku diskontinuit/volných prostor/preferenčních cest pro proudění vody. Při návrhu bentonitové konstrukce by se s těmito vlivy mělo počítat tak, aby jim konstrukce byla schopná odolat, tj. např. zatěsnit volné prostory bobtnáním apod. (Večerník et al., 2022).

U konstrukčních materiálů je nutné brát zřetel na možné chemické, mineralogické a mikrobiologické interakce s inženýrskými bariérami a jejich případný dopad na dlouhodobou bezpečnost HÚ. Na základě rozšiřování znalostí v pokračujícím materiálovém výzkumu, aktualizací a zpřesňování projektového řešení HÚ vyplynou požadavky a parametry, které budou muset splňovat materiály inženýrských bariér a jednotlivých konstrukčních prvků.

5.15.2.2.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – Jehly

Tyto konstrukční prvky mají funkci dočasného stabilizujícího opatření při budování (ražbě) hlubinného úložiště. Jejich použití lze očekávat zejména v příportálovém úseku odtěžovacího a zavážecího tunelu, případně dle potřeby při procházení nesoudržných tektonicky porušených částí horninového masivu při konvenčním způsobu ražby jak obou tunelů, tak páteřních chodeb.

5.15.2.2.2 VY 07.02 Svorníky

Použití svorníků vychází z potřeb provedení bezpečného návrhu projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018). Tyto kotevní prvky mají funkci dočasného stabilizujícího opatření při budování (konvenční ražbě) vybraných částí hlubinného úložiště. Jejich použití lze očekávat zejména v příportálovém úseku odtěžovacího a zavážecího tunelu v místech s nižším nadložím. Použití svorníků může být nutné i při procházení tektonicky porušených částí horninového masivu úpadními tunely nebo páteřními chodbami, případně při ražbě kaveren pro technické zázemí na ukládacím horizontu, případně ukládacích komor RAO.

Optimální technicko-ekonomický návrh svorníkové výztuže u podzemních staveb vyžaduje dostatečnou znalost inženýrsko-geologických a geotechnických podmínek pro ražbu. O volbě

nejvhodnějšího typu svorníků do daných geologických podmínek rozhoduje cena, požadovaná únosnost svorníků a tzv. „náběhový čas“, za který svorníky dosáhnou plné únosnosti ve vztahu k ceně použité technologie.

Při navrhování svorníkové výztuže se v současné době používají analytické, empirické a numerické výpočty na principu metody konečných prvků nebo oddělených elementů v kombinaci s observačními metodami s cílem dosáhnout optimálního technicko-ekonomického řešení.

5.15.2.2.3 VY 07.03 Mikropiloty

Požadované bezpečnostní a technické funkce mikropilot jsou shodné s ostatními konstrukčními prvky, které jsou popsány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.2.2.4 VY 07.04 Injektáže

Cílem injektáže je v maximální míře vyplnit diskontinuity a dutiny v horninovém prostředí s cílem ho zpevnit a utěsnit. Volba injektážní směsi je ovlivněna její cenou, zpracovatelností, viskozitou (schopností pronikání do horniny), objemovou stálostí, odolností proti vyplavování, elasticitou (odolávání deformačním změnám okolního prostředí) a zdravotní nezávadností s ohledem na nebezpečí kontaminace horninového prostředí a podzemních vod.

Z toho důvodu úspěch injektáže závisí na volbě složení směsi, injekčním tlaku, rychlosti injektáže, množství injekční směsi, způsobu injektování, a nakonec na charakteru injektovaných diskontinuit, jejich vodonositelnosti a charakteru podzemních vod, jak blíže popisuje (Klepsatel et al., 2003).

Z hlediska dlouhodobé bezpečnosti je důležitá volba použitého materiálu a jeho chemická kompatibilita s ostatními inženýrskými bariérami, aby produkty z jejich degradace neovlivnily bezpečnostní funkci UOS a bufferu. Např. injektáže z organických materiálů mohou poskytovat živiny pro rozvoj nežádoucí mikrobiální aktivity, jak blíže popisuje TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).

5.15.2.2.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

Podle projektového řešení HÚ TZ 134/2017 (Grünwald et al. 2018) se při použití metody ražby TBM variantně uvažuje v úvodních částech obou tunelů, s ohledem na zastiženou geologii, s použitím segmentového ostění nebo primárního ostění tvořeného výztužnými sítěmi a stříkaným betonem.

Při použití konvenční metody ražby se primárně uvažuje s ohledem na zastiženou geologii v úvodních částech tunelu s použitím primárního ostění tvořeného výztužnými sítěmi a stříkaným betonem v kombinaci s radiálními svorníky.

Se zvyšující se výškou nadloží obou tunelů se předpokládá, vzhledem k charakteru horninového prostředí, že bude možné upustit od instalace tunelového ostění s doplňkovým zajištěním a výrub bude zajišťován v případě nutnosti pouze radiálními svorníky.

Betonové konstrukční prvky mají pouze mechanickou funkci (zajištění stability výrubu) v provozním období úložiště.

V dlouhodobém horizontu se předpokládá jejich degradace, kdy budou degradovány i přísady betonových směsí (např. organických látek používaných jako plastifikátory, či jiných

chemických činidel používaných např. jako zpomalovače či urychlovače tuhnutí). Degradace materiálu může vést k vytvoření preferenčních cest.

Přítomnost ostění a jeho komponent povede ke zvýšené činnosti mikroorganismů přítomných v HÚ. Ocelové prvky jsou ohroženy mikrobiálně indukovanou korozí, a přítomnost kovových prvků tedy může lokálně zvyšovat mikrobiální aktivitu a tvorbu korozních produktů, prvky z organického materiálu zase mohou poskytovat živiny pro růst mikroorganismů a opět tedy potencovat mikrobiální aktivitu v okolí ostění, jak je blíže popsáno v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).

5.15.3 Předpoklady návrhu komponenty

Návrh koncepčního řešení vychází z:

- Požadovaných rozměrů specifikovaných TZ 580/2022 (Dohnáková et al., 2022).
- Předpokládaných interakcí popsanych v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022).
- Technické proveditelnosti.
- Ekonomické dostupnosti.

5.15.4 Popis komponenty

5.15.4.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – Jehly

Předháněná výztuž – jehly jsou tyčové prvky, které jsou v předstihu osazovány do vrtů v přístropí tunelu před ražbou, zvyšují stabilitu čelby a omezují případné nadvýrby.

Technologie jehlování spočívá v použití dvou základních komponent, předháněné výztuže (jehly) ve formě ocelové injektovatelné tyče a injektážní směsi. Injektážní směs je složena nejčastěji z pojiv na bázi cementu, ale používají se i polyuretanové pryskyřice nebo směsi na bázi organicko-minerálních hmot. Volbu materiálu injektážní směsi ovlivňují nejen inženýrsko-geologické a hydrogeologické podmínky při ražbě, ale musí být splněny i bezpečnostní požadavky na použitý materiál s ohledem na dlouhodobou bezpečnost HÚ.

V současné době není dostatek údajů o inženýrsko-geologických a hydrogeologických poměrech pro ražbu, aby bylo možné vypracovat konečný návrh konstrukčního řešení této komponenty a technologie její výstavby.

Lze však předpokládat, že jehly budou tvořeny injektovatelnými ocelovými tyčemi nebo tyčemi z betonářské oceli vsazenými do vrtů o délce přesahující alespoň 5 m.

5.15.4.2 VY 07.02 Svorníky

Svorník je krátká tyčová kotva, obvykle bez předem provedeného předepnutí. Jedná se o tahový konstrukční prvek, který se vkládá do vrtu, kotví oblast při líci výrubu narušenou ražbou do vzdálenější oblasti horninového masivu, která není ražbou výrubu porušena. Svorníky zvyšují stabilitu výrubu.

Existuje celá řada typů svorníků, které se liší funkcí a použitým materiálem. Nejčastěji se pro výrobu svorníků používá betonářská ocel, méně často potom kompozitní materiál – sklolaminát.

S ohledem na skutečnost, že sklolaminátové kotevní prvky nepodléhají korozi a disponují zvýšenou odolností proti chemickým vlivům, je možné s těmito svorníky uvažovat nejen pro dočasné, ale i dlouhodobější zajištění výrubu.

Ocelové i sklolaminátové svorníky lze injektovat a upínat pomocí injekčních směsí na bázi cementu nebo organicko-minerálních pryskyřic či v případě ocelových i mechanickou a hydraulickou cestou.

5.15.4.3 VY 07.03 Mikropiloty

Mikropilota je výztužný prvek, který je nejčastěji tvořen ocelovou výztužnou perforovanou trubicí vsazenou do maloprofilového subhorizontálního vrtu následně vyplněného injektážní směsí nejčastěji na bázi cementu.

U podzemních staveb se mikropiloty používají v podobě mikropilotového deštníku realizovaném nad klenbou díla v předstihu před ražbou a slouží ke zvýšení stability horninového výrubu a samotné čelby.

5.15.4.4 VY 07.04 Injektáže

Technologie injektáží se používá ke zlepšování vlastností hornin a zemin vtlačováním injektážní směsi do puklin či pórů horniny s cílem jejího zpevnění a utěsnění.

V současné době se používá v podzemním stavitelství, resp. ve stavebnictví vůbec, celá řada injektážních hmot jak na cementové, tak chemické a organicko-minerální bázi.

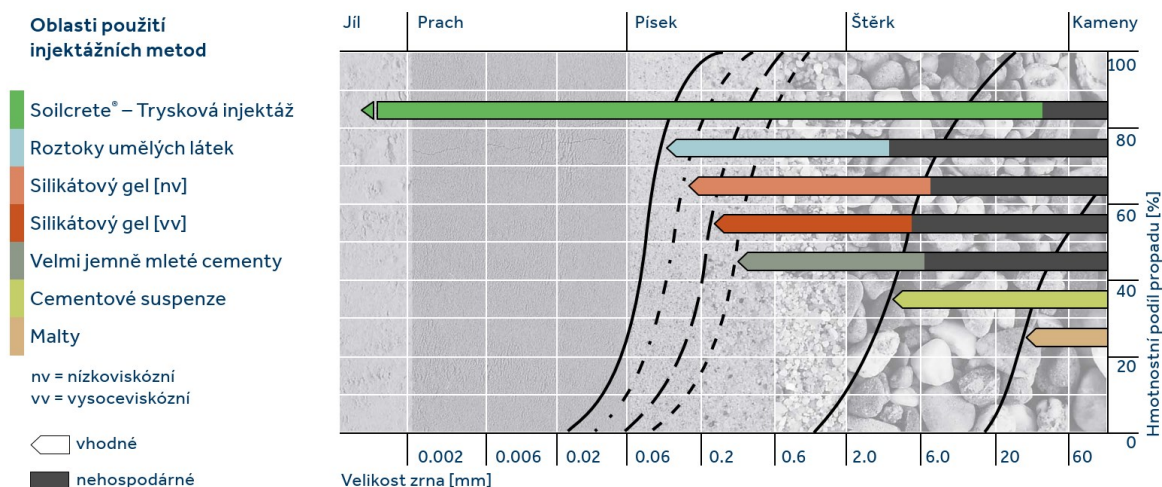
Podle použitého injektážního tlaku lze v podzemním stavitelství rozlišit injektáže na nízkotlaké (výplňové) a vysokotlaké.

Volba technologie injektáží závisí především na zastižených inženýrsko-geologických a hydrogeologických podmínkách.

Při ražbě v prostředí zemin a nekompaktních silně zvětralých horninách, které se předpokládají pouze v přípovrchových částech HÚ, lze teoreticky uvažovat s použitím vysokotlakých, resp. tryskových injektáží z důvodu zlepšení podmínek pro ražbu.

Se zvyšující se hloubkou a tím i kvalitou horninového prostředí se očekává využití spíše nízkotlakých, tzv. výplňových, injektáží za účelem zvyšování pevnosti porušených hornin nebo zamezení zvýšenému přítoku podzemních vod. Zlepšení horninového prostředí spočívá ve vyplnění diskontinuit a jejich slepení pod tlakem vtháněnou injektážní směsí do provedených vrtů. Injektážní tlak použitý pro vyplňování diskontinuit v okolí vrtu ovšem nesmí překročit smykovou pevnost horniny, aby nedošlo k jejímu dalšímu rozrušování.

Rozsah použitelnosti jednotlivých typu injektáže podle (Keller, 2019) znázorňuje Obr. 24.



Obr. 24 Rozsah použitelnosti jednotlivých typů injektáže

5.15.4.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

Ze základního rozdělení výztuže do betonu se ve vazbě na jejich použití v HÚ předpokládá, že bude použita betonářská výztuž a vlákna do betonu (rozptýlená výztuž).

Za betonářskou výztuž se považují plné, většinou kruhové ocelové tyče (hladké i žebírkové), které se vkládají do betonu za účelem zvýšení jeho únosnosti a snížení deformací. Mezi betonářskou výztuž patří rovněž v továrně vyrobené strojově svařované sítě a příhradové nosníky.

Vlákna ve směsi s betonem omezují vznik trhlin, zvyšují pevnost v tahu za ohybu a zbytkovou pevnost po vzniku trhliny, přičemž PP vlákna navíc zvyšují odolnost betonu proti explozivnímu odprýskání vlivem vysoké teploty.

Za přísady se považují chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství za účelem zlepšení vlastností čerstvého nebo tvrdnoucího betonu.

Při ražení zavážecího a odtěžovacího tunelu pomocí TBM se štítem je primární ostění prefabrikované. Tloušťka jednotlivých segmentů bude vycházet ze statického posouzení ostění. Lícni plochy segmentů jsou hladké. Styčné spáry se po celém obvodu těsní pásovým těsněním z přírodní gummy nebo tvarovaných plastů. Tato úprava zpravidla postačuje pro dosažení vodotěsnosti ostění. Mezera mezi lícem výrubu a rubem prstence se zaplní injektáží, což ještě zvyšuje nepropustnost primárního ostění. V příznivých hydrogeologických podmínkách nebo při nižších nárocích na vodotěsnost proto zpravidla plně vyhovují. S ohledem na skutečnost, že se podle projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) neočekávají špatné hydrogeologické podmínky nebo vyšší nároky na spolehlivou vodotěsnost ostění, nenavrhuje se dvouvrstvé ostění s mezilehlou plášťovou hydroizolací, kde vnitřní ostění je z monolitického betonu.

Součástí primárního ostění jsou ve většině případů výztužné oblouky, které kromě statických potřeb pomáhají udržovat tvarovou kvalitu raženého profilu. Pro zajištění výrubu vyraženého konvenčním způsobem metodou NRTM se zpravidla používají příhradové oblouky vyrobené

ze svařované betonářské oceli, které umožňují dobré prostřikání a tím spolupůsobení s betonem.

Dle výkresových příloh projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) je tloušťka ostění ze stříkaného betonu vyztuženého ocelovými KARI sítěmi 200 mm. Výjimkou jsou zavázeční chodby, kde se s použitím ostění ze stříkaného betonu neuvažuje. Výztuž jámy bude tvořena betonovým ostěním o tloušťce 450 mm.

Oproti projektovému řešení HÚ může být v závislosti na zastižených inženýrsko-geologických podmínkách ostění ze stříkaného betonu vyztuženo rozptýlenou výztuží (vláknobeton).

Dle projektového řešení HÚ (Grünwald et al. 2018) je použití ocelové obloukové výztuže (válcovaná nebo příhradová) pro potřeby zajištění výrubu ražených chodeb v HÚ diskutabilní, protože se předpokládá dostatečně stabilní výrub po celou dobu životnosti úložiště s výjimkou nesoudržných tektonicky porušených částí horninového masivu. V podmínkách vyžadujících větší okamžitou únosnost se sice obecně mohou použít oblouky z důlní ocelové výztuže nebo oblouky z válcovaných ocelových profilů, ale s ohledem na jejich manipulovatelnost a zejména životnost HÚ nejsou uvažovány.

Podle uživatelské příručky pro konvenční tunelování (Mosler et al., 2019) jsou monolitická ostění betonovaná do bednění. Ve vazbě na projektového řešení HÚ se jedná o sekundární ostění kaveren technického zázemí, jehož tloušťka nebyla dosud stanovena. Konstrukce je prováděna zpravidla do posuvného bednění (bednicího vozu) a umožňuje přizpůsobit pevnostní třídu betonu nebo stupeň vyztužení skutečně zastiženým geotechnickým poměrům. Minimální tloušťka by u vyztužených ostění neměla s ohledem na statickou výšku a požadované krytí klesnout pod 300 mm, u nevyztužených ostění pod 250 mm.

Upozorňuje se, že dimenze ostění musí být v pozdějších fázích přípravy ověřeny statickým výpočtem pro konkrétní podmínky vybrané lokality.

5.15.5 Umístění/místa použitelnosti v HÚ

5.15.5.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – Jehly

Předháněná výztuž v podobě jehel má funkci dočasně stabilizujícího opatření při budování (ražbě) dílčích prostor hlubinného úložiště ve složitějších inženýrsko-geologických podmínkách pro jejich ražbu. Jejich použití lze očekávat zejména v příportálovém úseku odtězovacího a zavázečního tunelu (DuSO 01 a DuSO 02), případně dle potřeby při procházení nesoudržných tektonicky porušených částí horninového masivu při konvenčním způsobu ražby jak obou tunelů, tak páteřních chodeb (DuSO 05).

5.15.5.2 VY 07.02 Svorníky

Dle projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) se zejména v příportálových částech odtězovacího (DuSO 01) a zavázečního tunelu (DuSO 02) s ohledem na předpokládanou zastiženou geologii uvažuje s použitím svorníků pro zvýšení stability výrubu. Použití radiálních svorníků bude provedeno v kombinaci se stříkaným betonem vyztužených ocelovými KARI sítěmi. Se zvyšující se výškou nadloží se očekává zlepšení inženýrsko-geologických podmínek, která může teoreticky umožnit zajištění výrubu pouze radiálními svorníky nebo pouze stříkaným betonem bez radiálního kotvení.

Dle (Špínka et al., 2020a, 2020b; Butovič et al., 2020; Zahradník et al., 2020) je v případě nutnosti uvažováno s použitím krátkých kotevních prvků (svorníků) také pro zajištění přístropí kaveren pro objekty technického zázemí podzemní části HÚ (DuSO 10 – DuSO 21). Se zajištěním výrubu radiálními svorníky v kombinaci se stříkaným betonem vyztuženým ocelovými KARI sítěmi je rovněž počítáno (podle inženýrsko-geologických podmínek) při ražbě páteřních (DuSO 05) a spojovacích chodeb (DuSO 06, 07).

5.15.5.3 VY 07.03 Mikropiloty

Předháněná výztuž v podobě mikropilotového deštníku má funkci dočasného stabilizujícího opatření při budování (ražbě) dílčích prostor hlubinného úložiště ve složitějších inženýrsko-geologických podmínkách pro jejich ražbu. Jejich použití lze očekávat zejména v příportálovém úseku odtěžovacího a zavážecího tunelu (DuSO 01 a DuSO 02), případně dle potřeby při procházení nesoudržných tektonicky porušených částí horninového masivu při konvenčním způsobu ražby jak obou tunelů, tak páteřních chodeb (DuSO 05).

5.15.5.4 VY 07.04 Injektáže

V závislosti na zastižených inženýrsko-geologických podmínkách je uvažováno, že injektáž horninového prostředí může být použita v dílčích úsecích ražby odtěžovacího a zavážecího tunelu (DuSO 01 a DuSO 02), vtažné jámy (DuSO 03), páteřní chodby (DuSO 05), ukládacích komor RAO (DuSO 11), konfirmačních laboratoří (DuSO 12) a výstavbě technického zázemí podzemní části HÚ (DuSO 06, DuSO 07, DuSO 10, DuSO 13 – DuSO 22).

5.15.5.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

V závislosti na zastižených inženýrsko-geologických podmínkách se s použitím výztuže stříkaného betonu ocelovými KARI sítěmi uvažuje v ostění obou úpadních tunelů (v úvodních a přípovrchových úsecích), komor RAO, páteřních chodeb, spojovacích chodeb technického zázemí a v primárním ostění stavebních objektů (komor) technického zázemí. Umístění a použití ocelové obloukové příhradové výztuže v HÚ bude specifikováno v budoucnosti.

Při použití metody ražby TBM je možno s ohledem na inženýrsko-geologické podmínky případně uvažovat s použitím segmentového ostění pro zajištění výrubu obou úpadních tunelů a páteřních chodeb.

Podle projektového řešení HÚ (Grünwald et al., 2018) je monolitický beton navržen jako ostění vtažné jámy. Podle (Špínka et al., 2020a, 2020b; Butovič et al., 2020; Zahradník et al., 2020) se s použitím monolitického betonu uvažuje rovněž jako sekundární ostění stavebních objektů (komor) technického zázemí včetně jejich dna (počvy komor).

5.15.6 Podmínky použitelnosti

5.15.6.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – Jehly

Jehlování je obecně považováno za nejjednodušší doplňující opatření pro zajištění přístropí výrubu při ražbách. Zvyšuje stabilitu výrubu, čelby a omezuje nadvylomy (zvláště při použití trhavín). Používá se nejčastěji v rozpukaných či vrstevnatých skalních a poloskalních horninách.

Podmínky použitelnosti materiálů komponenty z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ jsou blíže popisovány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.6.2 VY 07.02 Svorníky

Z hlediska bezpečnosti při ražbě (výstavbě) HÚ o volbě a nutnosti použití svorníků rozhodují zastižené inženýrsko-geologické poměry.

Deaktivace svorníků a jejich plenění před uzavíráním HÚ se v současné době z technologických a provozně-bezpečnostních důvodů neuvažuje.

Podmínky použitelnosti materiálů komponenty z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ jsou blíže popisovány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.6.3 VY 07.03 Mikropiloty

Z hlediska bezpečnosti při ražbě (výstavbě) HÚ o volbě a nutnosti použití mikropilot rozhodují zastižené inženýrsko-geologické poměry.

V závislosti na zastižených inženýrsko-geologických podmínkách se používá pro ochranu volného výrubu mikropilotové deštníky z ocelových perforovaných zainjektovaných trubek tam, kde jehlování již není dostatečně bezpečné a únosné.

Deaktivace mikropilot, resp. jejich plenění před uzavíráním HÚ se v současné době z technologických a provozně-bezpečnostních důvodů neuvažuje.

Podmínky použitelnosti materiálů komponenty z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ jsou blíže popisovány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.6.4 VY 07.04 Injektáže

Podmínky použitelnosti injektáže horninového prostředí ovlivňují inženýrsko-geologické podmínky, mezi které patří především charakter predisponovaných nespojitostí horniny, jako jsou vrstevní spáry, trhliny, pukliny a jiné diskontinuity, jejich vodonosnost a charakter podzemních vod.

S ohledem na odvodnění průsakových a technologických vod, které je primárně uvažováno jako gravitační, bude případná injektáž použita pouze u malých až velkých přítoků vody, včetně přítoků tlakové vody.

Materiál a jeho konkrétní použití je třeba posoudit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.

5.15.6.5 Ostění a jeho komponenty

Podmínky použitelnosti ostění a jeho komponent ovlivňují inženýrsko-geologické podmínky, životnost a účel důlního stavebního objektu. Pro výztuže i přísady pro zpracování betonu jsou předpokládány interakce popsané v TZ 616/2022 (Večerník et al., 2022). Běžně užívané betonové směsi i low-pH směs vyvinutá v rámci zakázky SÚRAO (Pernicová et al., 2019) obsahují organický plastifikátor. Avšak s ohledem na množství, které je přidáváno do betonové záměsi, nebude mít tento organický materiál výrazný vliv na dlouhodobé vlastnosti a degradaci, neboť betonové konstrukční prvky nemají v dlouhodobém horizontu bezpečnostní funkci. Konkrétní použití je třeba posoudit i s ohledem na dlouhodobou bezpečnost HÚ.

5.15.7 Subvarianty a jejich dílčí komponenty

5.15.7.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – jehly

Technologie jehlování spočívá v použití dvou základních komponent, předháněné výztuže (jehel) v podobě ocelových injektovatelných tyčí nebo tyčí z betonářské oceli a samotné injektážní směsi. Injektážní směs je složena nejčastěji z pojiv na bázi cementu, ale používají se též polyuretanové pryskyřice nebo směsi na bázi organicko-minerálních hmot.

Volba materiálu komponenty je poplatná inženýrsko-geologickým a hydrogeologickým podmínkám při ražbě. Podmínky použitelnosti materiálů z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ jsou blíže popisovány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.7.2 VY 07.02 Svorníky

Svorníky a kotvy se obecně podle materiálu dělí na ocelové a sklolaminátové. Volba použitých materiálů je ovlivněna inženýrsko-geologickými a hydrogeologickými podmínkami při ražbě. Podmínky použitelnosti materiálů z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ jsou blíže popisovány v úvodu kapitoly 5.15.2.2.

5.15.7.2.1 Ocelové svorníky

Nejběžnější typy ocelových svorníků z pohledu funkce jsou následující:

- **SN kotvy** – ocelové žebírkové tyče z betonářské oceli vkládané do vrtů dodatečně vyplněných injektážní směsí.
- **IBO kotvy** (ve světě též MAI) – duté vrtné tyče s vnějším závitem, opatřené ztracenou vrtnou korunkou. Vnější závit slouží pro napojování jednotlivých tyčí, zlepšení upnutí v injektážní hmotě ve vrtu a také pro možnost opakované aktivace při zkracování čelbových kotev. Dutý profil umožňuje výplach během vrtání a následnou injektáž kotvy.

Mezi méně používané typy svorníků (mechanicky upínané) patří:

- **Hydraulicky upínané svorníky** – ocelové trubky se zavínutým průřezem, který se po osazení do vrtu pomocí aplikátoru roztáhne vysokým tlakem hydraulického média (vody nebo vzduchu) a tím dojde k upnutí kotvy ve vrtu třením. Rozlišují se dva typy:
 - po aktivaci se medium, resp. voda ze svorníku vypustí a funkci zajišťuje pouze rozepřený profil trubky;
 - medium, resp. voda zůstane natlakovaná pomocí pojistného ventilu a vytváří potřebný tlak k upnutí svorníku.
- **CT kotvy** – ocelové tyče s mechanicky rozpínanou hmoždinkou. Aktivací hmoždinky se kotva stává okamžitě únosnou a její zainjektování lze provést až s dodatečným časovým odstupem. Kotva má na svém konci hemisférickou kopuli, která slouží jak k optimálnímu přenosu zatížení na kotevní desku, tak i jako injektážní komora. Injektážní směs je čerpána otvorem v kopuli a protéká nejprve kolem tyče vnitřkem polypropylenové manžety. Na konci kotvy vytéká směs z manžety a vyplňuje samotný vývrt. CT kotvy jsou používány zejména ve skalních horninách, ve kterých je zajištěno dostatečné upnutí hmoždinky.

5.15.7.2 Sklolaminátové svorníky

Sklolaminátové svorníky se často používají jako stabilizující prvek při kotvení čelby. Sklolaminátové kotvy lze totiž při postupující ražbě lépe rozpojovat běžnými razíciemi stroji a mechanismy.

Sklolaminátové kotevní prvky nabízí vysokou tahovou pevnost, nízkou hodnotu prodloužení při tahovém namáhání a nízkou hmotnost. Použité syntetické materiály (skelná vlákna a zpravidla polyesterová pryskyřice) nedegradují v čase, mají zvýšenou odolnost vůči chemickým vlivům a nepodléhají korozi. Avšak organický materiál obsažený v těchto kotevních prvcích může být využit mikroorganismy k růstu a tím může dojít k rychlejší degradaci přilehlých komponent.

Na druhou stranu mají sklolaminátové svorníky nižší pevnost ve smyku, ohybu a nízkou torzní tuhost. Tato skutečnost může limitovat použití sklolaminátových svorníků v podobě samozávrtných tyčí při vrtání hornin vysokých pevností. Potřebný krouticí moment pro rozpojování těchto hornin totiž může překonávat torzní tuhost sklolaminátových tyčových prvků.

5.15.7.3 VY 07.03 Mikropiloty

Technologie mikropilot, resp. mikropilotového deštníku spočívá v použití dvou základních komponent, předháněné výztuže (mikropilot) v podobě ocelové trubky a injektážní směsi. Injektážní směs je složena nejčastěji z pojiv na bázi cementu, ale používají se i polyuretanové pryskyřice nebo směsi na bázi organicko-minerálních hmot. Volba materiálu injektážní směsi ovlivňují inženýrsko-geologické a hydrogeologické podmínky při ražbě.

5.15.7.4 VY 07.04 Injektáže

Jak bylo uvedeno, tak se v současné době používá v podzemním stavitelství, celá řada injektážních hmot jak na cementové, tak chemické (organické) bázi:

- 01 Cementové injektáže.
- 02 Jílocementové injektáže.
- 03 Polyuretanové pryskyřice
- 04 Epoxydové pryskyřice.
- 05 Organicko-minerální hmoty
- 06 Akrylové a metakrylátové pryskyřice a gely.

5.15.7.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

5.15.7.5.1 Ocelové ostění

Jak už bylo uvedeno v podmínkách použitelnosti, tak oblouky z důlní ocelové výztuže nebo oblouky z válcovaných ocelových profilů s ohledem na jejich manipulovatelnost a zejména životnost HÚ nejsou uvažovány.

Příhradové oblouky se svářejí do požadovaného tvaru z hladké nebo žebírkové oceli v různých velikostech. Oproti plnostěnným průřezům mají podle Klepsatele et al. (2003) menší hmotnost, snadněji se k nim připevňují sítě, lehce je možné je spráhnout s kotvami a výborně spolupůsobí

se stříkaným betonem. Nevýhodou je pracnost výroby. Při množství svarů je obtížné spolehlivě zkontrolovat jejich kvalitu.

5.15.7.5.2 Betonářská výztuž a další aditiva

Výztužné sítě nebo prutová výztuž jsou postupně vázány k ocelovým výztužným rámcům. Jejich stykování je možné buď lanovými spojkami, nebo šroubovanými spoji přes styčnickové plechy. Pro zajištění krytí výztuže jsou na líci ostění instalovány distanční prvky zpravidla válcového tvaru.

Pro zlepšení vlastností betonu mohou být použita rozptýlená vlákna. Jejich hlavní přínos spočívá v omezení vzniku mikrotrhlin, snížení negativního efektu smršťování betonu a zvýšení odolnosti betonu např. vůči účinkům dynamického zatížení.

Ocelová vlákna jsou buď přímá, nebo tvarovaná z drátu taženého za studena. Méně často se používají vlákna stříhaná z ocelového pásu. Drátky, které při dávkování mají tendenci k vytváření obtížně oddělitelných shluků (tzv. ježků), jsou pro použití ve stříkaném betonu nevhodné. Z nabídky syntetických vláken jsou nejčastěji používána vlákna polypropylenová, která významně zvyšují požární odolnost stříkaného betonu.

Syntetická vlákna musí být dostatečně jemná, aby se rozmístila v betonu při použití běžných míchaček betonu a mohla být stříkána běžným stříkacím zařízením.

Skelná vlákna musí být upravena pro vyšší odolnost v alkalickém prostředí cementového kamene, jednak úpravou chemického složení sklářského kmene a jednak lubrikací (velmi tenkým povlakem na povrchu vláken).

Za účelem zlepšení vlastností čerstvého nebo tvrdnoucího betonu se používají následující přísady:

- Plastifikátory a superplastifikátory, které redukují potřebné množství vody pro dosažení stejné zpracovatelnosti čerstvého betonu.
- Provdzdušňovací přísady, které po přidání během míchání čerstvého betonu vytváří uzavřené vzduchové póry, rovnoměrně rozložené v betonu.
- Těsnicí přísady, které zvyšují hutnost cementového kamene, snižují jeho pórovitost, zejména objem makropórů.
- Přísady zpomalující tuhnutí cementu prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky.
- Přísady urychlující tuhnutí, které zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhé látky.
- Přísady urychlující tvrdnutí, které urychlují vývoj počátečních pevností betonu a které mohou a nemusí urychlovat tuhnutí betonu.
- Stabilizační přísady, které redukují odmísení vody v suspenzi (bleeding), které nastává sedimentací tuhých částic.
- Ostatní přísady (inhibitory koroze, injektážní, biocidní, plynotvorné, pěnotvorné a adhezní přísady).

S cílem zlepšit vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu se rovněž používají příměsi, což jsou práškovité anorganické látky, mezi které patří téměř inertní směsi (např. kamenná moučka, jemně mletý vápenec) nebo latentní hydraulické příměsi (např. popílek do betonu, křemičitý úlet nebo struska).

5.15.7.5.3 Segmentové ostění

Základním materiálem pro zhotovení ostění je beton. V současnosti se používají segmenty vyztužené klasickou betonářskou výztuží, ocelovou rozptýlenou výztuží nebo případně kombinací obou druhů vyztužení. Velmi zjednodušeně lze říci, že výhodou železobetonových dílců je vysoká ohybová únosnost spojená s rozvojem trhlin, zatímco výhodou betonu s rozptýlenou ocelovou výztuží (drátkobeton) je omezení šířky trhlin při středních (reálně existujících) úrovních ohybových namáhání.

Klasický železobetonový segment se skládá z betonu a oceli. Beton se skládá ze stejných složek jako v případě jiných betonových konstrukcí. Je možné sestavit řadu specifických doporučení ke složení betonu, který je vhodný pro konstrukci segmentů. Cement se používá základní bezpřířadový a rychle tvrdnoucí. Železobetonové segmenty se navrhují z tříd betonů C 30/37.

Při vzniku požáru v tunelu se plastová vlákna roztavují a vzniká tak síť pórů v betonu, kudy může pronikat vzniklá vodní pára, čímž se zabrání odpryskům betonu. Na základě této skutečnosti je doporučeno přidat 1 až 3 kg polypropylenových vláken na metr kubický betonu. Obvykle se používají vlákna o průměru 18 μm , kde délka vláken dosahuje 6–12 mm.

Trvanlivost ocelových sítí použitých v segmentech je silně ovlivňována propustností segmentů. Výška krytí musí být navržena vzhledem k místním podmínkám, zejména agresivitě okolního prostředí. Nicméně obvyklá hodnota krytí je 20–30 mm. Ocelová výztuž může být rovněž chráněna nátěrem, pokovením, epoxy obalem nebo katodicky ochráněna.

5.15.7.5.4 Betonové ostění

Ostění důlních stavebních objektů musí splňovat požadované funkce jak po dobu výstavby, tak po předpokládanou životnost díla. Po dobu výstavby je základní funkcí ostění zajistit stabilitu výrubu a integritu nosného horninového prstence a tím vytvořit bezpečné zázemí pro další ražbu. Jaké funkce musí plnit sekundární ostění tak jako návrh receptury betonové směsi pro monolitické ostění blíže specifikuje (Mosler et al., 2019). Specifikace monolitického betonu musí obsahovat údaje, které jsou uvedeny v kapitole 3.2.1.1.

Základní vlastnosti a požadované parametry stříkaného betonu především v souvislosti s využitím při NRTM popisuje (Hilar et al. 2008). Složení, požadavky a specifikace stříkaného betonu musí obsahovat údaje, které jsou uvedeny v kapitole 3.2.2.

Použití výztuže (betonářské i rozptýlené), jednotlivých přísad a příměsí v ostění ze (stříkaného i monolitického) betonu je popsáno v kapitole 5.15.7.5.2.

5.15.8 Technologie výroby/přípravy

5.15.8.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – jehly

Ocelové jehly ve formě žebírkových plných tyčí nebo častěji jako tyče typu IBO nebo SN jsou vyráběny z ušlechtilé betonářské oceli B 500B.

5.15.8.2 VY 07.02 Svorníky

Technologie výroby a přípravy svorníků se lze rozdělit v zásadě na dvě skupiny dle použitého materiálu na ocelové a sklolaminátové.

5.15.8.2.1 Ocelové svorníky

Ocelové svorníky jsou nejčastěji vyráběny ve formě injektovatelných kotevních prvků typu IBO nebo plných žebírkových tyčí typu SN. Tyto tyče jsou vyráběny z betonářské oceli třídy B 500B.

5.15.8.2.2 Sklolaminátové svorníky

Sklolaminátové plné a injekční tyče jsou vyráběny z jakostních skelných vláken, navzájem spojených zpravidla polyesterovou pryskyřicí, případně pro speciální použití vinylesterovou nebo epoxidovou pryskyřicí. Kombinace těchto dvou syntetických materiálů je dosaženo výborných mechanických vlastností, které nedegradují v čase. Mají zvýšenou odolnost vůči chemickým vlivům a nepodléhají korozi.

5.15.8.3 VY 07.03 Mikropiloty

Výztuže mikropilot v podobě silnostěnných perforovaných trubek jsou průmyslově vyráběny z betonářské oceli.

Injektážní směsi na bázi cementu jsou vyráběny průmyslově, případně jsou jednotlivé průmyslově vyráběné složky směsí míseny těsně před aplikací přímo na stavbě.

Jednotlivé složky injektážních směsí na bázi polyuretanových pryskyřic a organicko-minerálních hmot jsou vyráběny průmyslově a míseny pomocí speciálních zařízení výhradně až před jejich aplikací přímo na místě určení.

5.15.8.4 VY 07.04 Injektáže

Injektážní směs včetně potřebného příslušenství jsou průmyslově vyrobeny. Tak jako u mikropilot jsou jednotlivé složky injektážních směsí míseny pomocí speciálních zařízení výhradně až před jejich aplikací přímo na místě určení.

5.15.8.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

Betonářská výztuž je průmyslově zpracovaná ocel dodávaná ve formě tyčí, svitků a ocelových KARI sítí a případné obloukové příhradové výztuže.

Zatímco vlákna v betonu jsou průmyslově zpracované oceli, polymery, sklo a bazalt, tak přísady pro zpracování betonu jsou průmyslově vyráběné chemické sloučeniny.

Jednotlivé segmenty prefabrikovaného ostění jsou vyráběny ve specializovaných výrobních (stavebních továrnách) ve stacionárních formách, a nakonec dopraveny do podzemní části HÚ k razicímu stroji TBM víceúčelovým zásobovacím vozidlem s kolovým podvozkem, který je označován ve zkratce MSV (Multi Service Vehicle).

Stříkaný a monolitický beton bude vyroben v betonárně, přičemž případná vlákna se přidávají do betonové směsi po přidání kameniva a před přidáním cementu, vody a tekuté přísady. Chemické přísady jsou totiž přidávány do směsi bezprostředně při míchání betonu nebo v jeho průběhu. Po dokončení výroby je beton dopraven do podzemní části HÚ pomocí autodomíchávačů,

5.15.9 Technologie instalace/výstavby

5.15.9.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – jehly

K zajištění stability přístropí výrubu se uvažuje, že bude použita žebírková ocel nebo ocelové injektovatelné tyče délky víc jak 5 m, s různými přesahy v podélném směru dle vzdálenosti ocelové obloukové výztuže a konkrétních podmínkách. Jehly se vkládají do subhorizontálního vrtu a následně jsou vrty vyplněny injektážní směsí. Vzdálenost jednotlivých jehel v příčném směru závisí na konkrétních inženýrsko-geologických podmínkách.

5.15.9.2 VY 07.02 Svorníky

Bez ohledu na použitý materiál (sklolaminát, ocel) instalace svorníků probíhá nejčastěji pomocí samozávrtných kotevních prvků (injektovatelné tyče), které jsou po vyvrtání nebo souběžně s vtáním injektovány pomocí injektážních směsí. Nejčastější injektážní směsi jsou na bázi cementu nebo organicko-minerálních tmelů.

Volba vhodné injektážní směsi závisí především na zastižených inženýrsko-geologických a hydrogeologických podmínkách při ražbě od kterých se odvíjí požadavky na jejich parametry.

V současné době již méně používanou technologií je mechanické nebo hydraulické upínání svorníků.

5.15.9.3 VY 07.03 Mikropiloty

Mikropilotový deštník je tvořen jednotlivými mikropilotami. Pro každou mikropilotu se nejprve provede maloprofilový subhorizontální vrt, který je následně osazen perforovanou tlustostěnnou ocelovou trubkou. Přes tyto perforované trubky je poté prováděna tlaková injektáž injektážní směsí, nejčastěji na bázi cementu.

Tyto deštníky se většinou realizují z nadvýšených profilů (tzv. kapliček), v některých odůvodněných případech se mohou realizovat přímo z čelby bez nadvýšení s tím, že se první metry mikropilot uřezávají nebo se do vrtů na nutnou úvodní délku trubky neinstalují.

Parametry mikropilotového deštníku (rozsah mikropilotového deštníku, délka mikropilot, profil trubek, příčná vzdálenost jedn. mikropilot aj.) a volba inječních směsí závisí na konkrétních inženýrsko-geologických a hydrogeologických podmínkách.

5.15.9.4 VY 07.04 Injektáže

Po injektáži je vždy nutno vyvrtat vrt, který v soudržných a skalních horninách slouží přímo pro osazení dvojitého nebo jednoduchého obturátoru, jímž je vymezena injektovaná etáž. Následně je přes obturátor do vrtu samotného a nejbližšího okolí tlačena injektážní směs.

V nesoudržných zeminách nebo silně zvětralých horninách se do vrtu vyplněného zálivkou osazuje manžetová trubka, která je v injektovaném úseku vrtu opatřena perforací, překrytou gumovými manžetami plnícími funkci zpětného ventilu. Touto trubkou je do vrtu samotného a nejbližšího okolí tlačena injektážní směs.

Technologie injektáží je možné uplatnit i při provádění samozávrtných horninových svorníků, jejichž instalace je blíže popsána v kapitole 5.15.9.2.

5.15.9.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

U konvenčního způsobu ražby musí být betonářská výztuž a zabudovávané ocelové prvky dostatečně upevněny tak, aby při nástřiku betonu nedocházelo k jejich kmitání. Při zastříkávání výztuže i systémových ocelových prvků jako jsou ocelové příhradové oblouky a styčné plechy, osazené pomocí mobilních plošin nebo manipulátorů, nelze vyloučit vznik stínů ve stříkaném betonu. Odborným vedením trysky lze však tyto stíny podstatně omezit. Zvláštní pozornost je nutné věnovat předepsanému přesahu výztužných sítí, které je nutné (s ohledem na zmenšení vzniku stínů za překrytými sítěmi o zmenšeném rastru) osazovat v zákrytu. Pokud se má provést výztuž ve dvou a více vrstvách (např. vnější a vnitřní výztužná síť), smí se druhá vrstva výztuže osadit teprve tehdy, když je první vrstva zastříkána.

Při mechanizovaném způsobu ražby za pomoci TBM se štítem je po každém postupu ražby (záběru) v zadní části štítu stroje pomocí erektoru (ukladače segmentů) postaven nový prstenec, který slouží stroji jako opěra při ražbě a tvoří hermeticky uzavřenou vodotěsnou stavbu tunelu.

Z konstrukčního hlediska budou klenby komor technického zázemí v závislosti na geotechnických podmínkách založeny buď na pasech, nebo na spodní klenbě, které bude specifikováno v budoucnosti. Profilace primárního ostění, instalace armovací výztuže je prováděna za pomoci plošin. Betonáž monolitického ostění probíhá po blocích betonáže do posuvného bednění. K ošetřování betonu po odbednění se používá ošetřovací vůz.

5.15.10 Odhad jednotkové ceny

5.15.10.1 VY 07.01 Předháněná výztuž – jehly

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na volbě typu a délky jehel na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek (Tab. 55).

Tab. 55 Jednotková cena předháněné výztuže - jehly

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
Jehly v podzemí D do 32 mm délky do 6 m	977 Kč/kus

5.15.10.2 VY 07.02 Svorníky

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na volbě typu a délky svorníků na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek (Tab. 56).

Tab. 56 Jednotkové ceny svorníků a jeho komponent

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
Vrty pro svorníky a kotvy v podzemí do 12 m, tř. III, průměr do 50 mm	2 420 Kč/m
Svorníky mechanicky upínané v podzemí dl. do 2,5 m (únosnost přes 200 kN)	904 Kč/kus
Svorníky ocelové injektované v podzemí dl. do 2,5 m (únosnost do 200 kN)	1 230 Kč/kus
Svorníky lepené v podzemí dl. do 2,0 m (únosnost do 200 kN)	851 Kč/kus
Svorníky hydraulicky upínané v podzemí dl. do 2,5 m (únosnost přes 200 kN)	1 420 Kč/kus
Svorníky laminátové v podzemí dl. do 2,5 m (únosnost přes 200 kN)	1 420 Kč/kus

5.15.10.3 VY 07.03 Mikropiloty

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na volbě typu a délky mikropilot na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek (Tab. 57).

Tab. 57 Jednotkové ceny mikropilotového deštníku a jeho komponent

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
Mikropiloty komplet D do 150 mm v podzemí pro ochranný deštník	2 950 Kč/m
Vrty pro mikropiloty v podzemí do 12 m, tř. III, průměr do 150 mm	2 960 Kč/m

5.15.10.4 VY 07.04 Injektáže

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na volbě typu a rozsahu injektáže na základě upřesněných inženýrsko-geologických a hydrogeologických podmínek (Tab. 58).

Tab. 58 Jednotkové ceny injektáže a jeho komponent

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
Injektování vysokotlaké z cementových pojiv v podzemí	21 300 Kč/m ³
Injektování vysokotlaké z jílových pojiv v podzemí	16 800 Kč/m ³
Injektování vysokotlaké z chemických pojiv (na bázi polyuretanových a epoxidových pryskyřic, organicko-minerálních hmot, akrylových a metakrylových pryskyřic a gelů) v podzemí	30 200 Kč/m ³
Vrty pro injektáž a monitoring v podzemí do 12 m, tř. III, průměr do 50 mm	2 420 Kč/m

5.15.10.5 VY 07.05 Ostění a jeho komponenty

Jednotková cena vychází z oborového třídníku pro 2022 (OTSKP, 2022). V budoucnosti bude záviset na volbě typu ostění a jeho komponentů na základě upřesněných inženýrsko-geologických podmínek.

Odhad ceny ostění úpadních tunelů (DuSO 01, DuSO 02), vtažné jámy (DuSO 03) a páteřních chodeb (DuSO 05) ze stříkaného betonu vyztuženého ocelovými KARI sítěmi dokumentuje Tab. 59

Tab. 59 Jednotkové ceny ostění a jeho komponent

Název položky	Jednotková cena dle OTSKP 2022
Definitivní ostění tunelu z dílců železobetonových do C30/37	18 750 Kč/m ³
Příhradové oblouky svážené z betonářské oceli	56 900 Kč/t
Zajištění výrubu tunelu z ocel sítí a mřížoviny v hornině mokré	40 900 Kč/t
Definitivní ostění tunelu ze stříkaného betonu	9 130 Kč/m ³
Definitivní ostění tunelu ze stříkaného betonu do C 25/30 tl. do 200 mm	1 820 Kč/m ²
Definitivní ostění tunelu ze stříkaného betonu s ocelovými vlákny do C 25/30 tl. do 200 mm	2 670 Kč/m ²
Definitivního ostění tunelu ze stříkaného betonu s umělými vlákny do C 25/30 tl. do 200 mm	1 870 Kč/m ²
Výztuž definitivního ostění tunelu z KARI sítí	36 500 Kč/t
Definitivní ostění tunelu se železobetonu do C 25/30	9 340 Kč/m ³
Bednění definitivního ostění tunelu	1 980 Kč/m ²
Definitivní ostění dna tunelu se železobetonu do C 25/30	8 450 Kč/m ³
Bednění definitivního ostění dna tunelu	1 840 Kč/m ²
Výztuž tunelu z betonářské oceli 10505, B500B	54 600 Kč/t
Definitivní ostění šachty ze stříkaného betonu	10 600 Kč/m ³
Bednění definitivního ostění šachty	2 650 Kč/m ²
Definitivní ostění šachty ze železobetonu	12 100 Kč/m ³
Výztuž definitivního ostění šachty z KARI sítí	36 500 Kč/t
Výztuž definitivního ostění šachty z betonářské oceli 10505, B500B	54 600 Kč/t

6 Závěr

Tato zpráva představuje koncepční návrh výplní a dalších inženýrských komponent. Návrh navazuje na předchozí projektová řešení (TZ 134/2017, Grünwald et al., 2018) a využívá předchozích výstupů projektu Výplně (TZ 616/2022, Večerník et al., 2022). Při návrhu bylo zohledněno: bezpečnostní hledisko, technické hledisko, ekonomické hledisko a současná legislativa.

Toto je první verze návrhu, která slouží jako jeden ze vstupů do bezpečnostního výpočtu, teplotních výpočtů, projektové a R&D přípravy HÚ. Na základě výstupů posouzení konceptu se předpokládá jeho pravidelná aktualizace.

Komponenty navrženého řešení lze z pohledu bezpečnosti rozdělit do dvou základních skupin – komponenty s bezpečnostní funkcí (buffer, backfill, výplň komory RAO a další výplně) a komponenty s podpůrnou funkcí (zátky a konstrukční prvky).

*Upozornění: U většiny podpůrných a konstrukčních prvků je třeba provést posouzení pro **konkrétní použití v daném místě z hlediska dlouhodobé bezpečnosti**. Do budoucna je třeba připravit metodiku pro posuzování použitelnosti pomocných komponent z hlediska dlouhodobé bezpečnosti.*

VY 01 Buffer

Komponenta **Výplň ukládacího vrtu** patří do skupiny inženýrských bariér s bezpečnostní funkcí a byla zpracována v několika variantách pro horizontální i vertikální způsob ukládání.

Komponenta je vypracována ve třech variantách – 2x pro horizontální systém (různé průměry vrtu) a 1x pro vertikální systém. Subvarianty se liší formou výplňového materiálu. Preferovanou subvariantou je použití kompaktního bentonitu ve formě tvárnic se zásypem z peletizovaného materiálu z důvodu zajištění dosažení požadované objemové hmotnosti bentonitu.

Pokud se v budoucnu podaří dopracovat technologie peletizovaného materiálu, tak lze předpokládat, že se tento způsob stane preferovaným. V současné době je však nutný další technologický vývoj.

VY 02 Backfill

Komponenta **Výplň zavázací chodby** patří do skupiny inženýrských bariér s bezpečnostní funkcí a byla zpracována v jedné technologické variantě pro vertikální systém ukládání (horizontální systém nemá zavázací chodby). Subvarianty se liší pouze v rozměrech chodby dle typu použité technologie pro ražbu, avšak vlastní výplň je shodná. Předpokládá se využití peletizovaného bentonitu. Současná technologie peletizovaného bentonitu je pro potřeby backfillu dostatečná.

VY03 Výplň RAO

Komponenta **Výplň komory RAO** patří do skupiny inženýrských bariér s bezpečnostní funkcí. Byla zpracována ve dvou základních variantách, určených podle technologie výstavby – zaplnění vcelku a zaplnění po částech. Protože nebylo doposud rozhodnuto o materiálu, který bude použit pro zaplnění komor, byly obě základní varianty rozpracovány pro cementovou a bentonitovou výplň. Rozhodnutí musí být podpořeno bezpečnostním hodnocením, které

musí vzít v úvahu charakter ukládaného RAO, obalový soubor a umístění komor se zřetelem na umístění ukládacích sekcí VJP.

Z technologického hlediska lze jako preferovanou variantu doporučit zaplnění po částech z důvodu větší jistoty kvalitního zaplnění komory. Je třeba zajistit homogenitu výplně, a pokud vezmeme v úvahu zkušenosti ze stabilizace komor v ÚRAO Richard a Bratrství, je zatečení betonové směsi od vyústění plnicího potrubí zaručeno do vzdálenosti 8 m (MP 38). Pokud bude jako výplňový materiál použit bentonit, budou muset být komory, resp. segmenty komor zaplňovány postupně v souladu se zvolenou technologií vyplňování a společně s režimem ukládání RAO.

VY 04 Výplň na ukládacím horizontu

Komponenta **Výplň na ukládacím horizontu** je z hlediska technického a funkčního řešení shodná s komponentou Výplň zavázeční chodby. Rozdílné je však geometrické řešení, kdy se příčný profil mění na základě funkce DuSO. Dále pak není kladen takový důraz na tepelnou vodivost materiálu a je zde možnost ponechání některých podpůrných prvků po předchozím posouzení vlivu na dlouhodobou bezpečnost.

VY 05 Výplň nad ukládacím horizontem

Komponenta **Výplň nad ukládacím horizontem** z technického a funkčního řešení vychází z Výplně na ukládacím horizontu. V souvislosti s polohou výplně je vypracována ve dvou variantách – střední hloubka a přípovrch. Varianta pro střední hloubku má dvě subvarianty dle použité výplně – peletizovaný bentonit a směs bentonitu a kameniva (preferovaná varianta). Varianta pro přípovrch pak využívá pouze kamenivo.

VY 06 Zátka

Zátky, které jsou inženýrskými komponentami, mají pouze provozní funkci a uzavírají v úrovni ukládacího horizontu podle konceptu ukládání VJP každou zavázeční chodbu nebo horizontální ukládací vrt. Ve středním horizontu uzavírají nejen každou komoru RAO, ale i jejich přístupovou chodbu. S výjimkou jámové zátky jak v úrovni ukládacího horizontu, tak na povrchu ve formě uzavíracího ohlubňového povalu a uzavíracích portálových zátek obou tunelů jsou všechny zátky ze stříkaného betonu v kombinaci s uzavírací hrází z betonových tvárnic.

VY 07 Ostatní konstrukční prvky

Jehly, které jsou inženýrskými komponentami, mají pouze provozní funkci a jsou v předstihu osazovány do vrtů v přístropí tunelu před ražbou, zvyšují stabilitu čelby a omezují případné nadvýrubu. Technologie jehlování spočívá v použití dvou základních komponent, předháněné výztuže (jehel) v podobě ocelových injektovatelných tyčí nebo tyčí z betonářské oceli a samotné injektážní směsi.

Svorníky a kotvy se obecně podle materiálu dělí na ocelové a sklolaminátové. Volba použitých materiálů je ovlivněna inženýrsko-geologickými a hydrogeologickými podmínkami při ražbě. Použití radiálních svorníků bude provedeno v kombinaci se stříkaným betonem vyztužených ocelovými KARI sítěmi.

Technologie mikropilotového deštníku spočívá v použití dvou základních komponent, předháněné výztuže (mikropilot) v podobě ocelové trubky a injektážní směsi. Tyto deštníky se

většinou realizují z nadvýšených profilů (tzv. kapliček), v některých odůvodněných případech se mohou realizovat přímo z čelby bez nadvýšení s tím, že se první metry mikropilot uřezávají nebo se do vrtů na nutnou úvodní délku trubky neinstalují.

Injektáže jsou inženýrskými komponentami, které mají primárně funkci dočasného stabilizačního opatření během výstavby a provozu HÚ.

V současné době se používá v podzemním stavitelství, resp. ve stavebnictví vůbec, celá řada injektážních hmot jak na cementové, tak chemické a organicko-minerální bázi. Jejich použití ovlivňují inženýrsko-geologické podmínky, mezi které patří především charakter predisponovaných nespojitostí horniny, jako jsou vrstevní spáry, trhliny, pukliny a jiné diskontinuity, jejich vodonositelnost a charakter podzemních vod.

Konkrétní použití těchto komponent je třeba předem posoudit i z hlediska dlouhodobé bezpečnosti.

Ostění a jeho komponenty je inženýrskou komponentou, která má pouze provozní funkci, jelikož zajišťuje stabilitu výrubu během výstavby a provozu HÚ. Při ražení tunelů pomocí TBM se štítem je ostění prefabrikované. V ostatních případech bude použit stříkaný beton a/nebo monolitický beton.

Použití výztuže (betonářské i rozptýlené) v ostění ze (stříkaného i monolitického) je ovlivněno zastíženými inženýrsko-geologickými podmínkami. S použitím oblouků z důlní ocelové poddajné výztuže nebo oblouků z válcovaných ocelových profilů se neuvažuje.

Konkrétní použití ostění je třeba předem posoudit i z hlediska dlouhodobé bezpečnosti.

Nejistoty návrhu

Při návrhu koncepčního řešení bylo nutno pracovat s nejistotami vstupních parametrů a zatím obecnějších požadavků na funkční specifikaci komponent.

Koncepční řešení je proto pojato jako prvotní návrh, který bude v budoucnosti upřesňován.

V České republice doposud nebyl vybrán konkrétní bentonit pro buffer a backfill. Pro jeho výběr bude určující kvalita.

Zároveň nebyly dosud stanoveny přesné požadavky na parametry bentonitu (materiálová specifikace), které ovlivňují zvolené technické řešení (et vice versa).

V současné době není dořešena otázka objemové hmotnosti bentonitu a to primárně z mikrobiologického hlediska nezbytná pro omezení mikrobiální aktivity.

Dále je nezbytné ověřit chování všech důležitých materiálů při jejich vzájemné dlouhodobé interakci v realistických podmínkách z hlediska mikrobiologie i geochemie/geotechniky, což umožní nadefinovat vhodnost jejich reálného využití v HÚ pro VJP a RAO.

Nejistota odhadu cen komponent

Odhad ceny výplní na bázi z bentonitu vychází z ceny uváděné v TZ 134/2017 (Grünwald et al., 2018), která byla navýšena o inflaci 2018-2022. Cena byla přepočtena na kg sušiny materiálu. Největší nejistotou je cena technologie ukládání, která bude specifická pro HÚ a v současné době neexistuje vhodný analog pro stanovení její ceny.

Odhad ceny cementových výplní vychází z odborného odhadu a zkušeností z obdobných staveb (ÚRAO Richard a ÚRAO Bratrství) v cenové úrovni 2022. Jednotková cena zahrnuje cenu za materiál včetně přípravy a instalace směsi.

Ostatní ceny vychází z cen uváděných v oborovém třídíku pro rok 2022 (OTSKP, 2022). Tento třídík však není přímo určen pro potřeby HÚ. Doporučuje se tedy pro výpočet nákladů HÚ tyto ceny navýšit minimálně o 25 %.

Legislativa

Výstavbu, provozování a uzavření HÚ bude prováděno v souladu s platnou legislativou. Současná báňská legislativa vychází zejména z potřeb hornictví a její aplikace pro potřeby HÚ není optimální a neřeší některé aspekty HÚ.

Reference

- BARTÁK, J. ET AL. (2014). Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR. [online]. Vyd. 1. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro mechanizované tunelování, 100 s. ISBN: 978-80-260-5957-8. [cit 2022-11-19]. Dostupný na: https://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/czta_07_mechanizovane_tunelovani.pdf
- BENGTSSON A., BLOM A., JOHANSSON L., TABOROWSKI T., ERIKSSON L., PEDERSEN K. (2017): Bacterial sulphide-producing activity in water saturated iron-rich Rokle and iron-poor Gaomiaozi bentonite at wet densities from 1 750 to 1 950 kg m⁻³. (SKB report No. TR 17-05). Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Stockholm, Sweden.
- BOSGIRAUD J.-M., FOIN R., BETHMONT S. (2014): DOPAS Deliverable D3.11 Report on FSS cast concrete plug construction
- 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
- CLOET V., PEKALA M., SMITH P., WERSIN P., DIOMIDIS N. (2017): An evaluation of sulphide fluxes in the near field of a HLW repository. Technical Report 17-04, NAGRA, Švýcarsko.
- ČERNÁ K., ČERNOUŠEK T., POLÍVKA P., ŠEVCŮ A. (2019): Survival of microorganisms in bentonite subjected to different levels of irradiation and pressure (No. DELIVERABLE 2.15). MIND Project.
- ČERNÍK M., STEINOVÁ J., MIKEŠ J., ŠPAČEK P., DOBREV D., ČERNOUŠEK T., STOULIL J. (2019): SÚRAO report 403/2019/ENG: Microbial corrosion under the conditions of a deep geological repository for the concept of steel UOS - compacted bentonite, final report (Technická zpráva No. 403/2019).
- DAHLSTRÖM L.-O. (2009): Experiences from the design and construction of plug II in the Prototype Repository, SKB report R-09-49, Stockholm, Švédsko.
- DOHNÁLKOVÁ M., VONDROVIC L., HAUSMANNOVÁ L. (2022): Technické řešení hlubinného úložiště 2022. -MS SÚRAO, TZ 580/2022, 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, 2014, ročník 23, číslo 2, s. 4-10. ISSN 211-0728
- FRANČE, J. (1992): Bentonity ve východní části Doupovských hor, Sborník geologických věd. 30, 43-90.
- GRAHM P., MALM R., ERIKSSON D. (2015): DOPAS Deliverable D4.3 DOMPLU Summary report
- GRANT W. D. (2004): Life at low water activity. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 359, 1249–1267.
- GRÜNWARD L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., BITTNAR Z., ZAHRADNÍK O. (2018): Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, Společnost "ČVUT-SATRA-Mott Mac Donald CZ", SURAO TZ 134/2017
- HILAR M., BRAUN V., BUTOVIČ A., HORÁK, V., POLÁK P., SVOBODA P., TRTÍK K. (2008). Stříkaný beton v podzemním stavitelství. Praha: Český tunelářský komitét ITA/AITES. Dokumenty Českého tunelářského komitétu ITA-AITES, sv. 3. ISBN 978-80-254-1262-6.

- HOLT E. A KOHO P. (2016): DOPAS Deliverable D4.5 POPLU Experimental Summary Report
- KELLER (2019). Soilcrete® (trysková injektáž). [online]. Praha: Keller – speciální zakládání, spol. s r.o., 2019 [cit 2022-11-19]. Dostupné z: https://www.keller-cz.com/sites/keller-cz/files/2021-07/e_brochure_product_670_soilcrete_cz_interactive-2.pdf
- KILEDAL E. A., KEFFER J. L., MARESCA J. A. (2021): Bacterial Communities in Concrete Reflect Its Composite Nature and Change with Weathering. *mSystems* 6, e01153-20.
- KIM, J. (2012). Overviews of Biogenic Smectite-to-Illite Reaction. *Clay Sci.* 16, 9–13. https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.16.1_9
- KIM, J., DONG, H., SEABAUGH, J., NEWELL, S.W., EBERL, D.D. (2004). Role of Microbes in the Smectite-to-Illite Reaction. *Science* 303, 830–832. <https://doi.org/10.1126/science.1093245>
- KLEPSATEL F., KUSÝ P. A MAŘÍK, L. (2003): Výstavba tunelů ve skalních horninách, Bratislava: Jaga group v.o.s.
- KRATOCHVÍLE L., KOLÍSKO J., ING. DOBIÁŠ D., ČÍTEK D., MANDLÍK T., HURTIK K. (2019): Příprava, složení a vlastnosti malty se sníženým pH (LPM), MS SÚRAO, TZ 369/2019, 14 s.
- KUMPULAINEN S., HAGROS A., HEINO V. (2022): State-of-the-Art Study of Foreign Concepts of Engineered Elements in DGR, SÚRAO Technical report n. TZ 575/2022.
- LIU Y., YAMADA H., KOZAKI T., SATO S., OHASHI H. (2003): Effect of silica sand on activation energy for diffusion of sodium ions in montmorillonite and silica sand mixture. *Journal of Contaminant Hydrology* 61(1–4): 85-93, doi:10.1016/S0169-7722(02)00115-8.
- LIU, D., DONG, H., BISHOP, M.E., ZHANG, J., WANG, H., XIE, S., WANG, S., HUANG, L., EBERL, D.D. (2012): Microbial reduction of structural iron in interstratified illite-smectite minerals by a sulfate-reducing bacterium: Bioreduction of structural iron in clay minerals by a SRB. *Geobiology* 10, 150–162. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2011.00307.x>
- MARESCA J. A., MOSER P., SCHUMACHER T. (2016): Analysis of bacterial communities in and on concrete. *Mater Struct* 50, 25.
- MATA MENA C. (2005): Hydraulic behaviour of bentonite based mixtures in engineered barriers: The Backfill and Plug Test at the Äspö HRL (Sweden). Universitat Politècnica de Catalunya, PhD Thesis. ISBN: 8468919667.
- MIJNENDONCKX K., CONINX I., GOMPEL A. V., LEYS N. (2018): Microbial cement deterioration boundaries (No. DELIVERABLE 2.11). MIND Project.
- MIJNENDONCKX K., GOMPEL A. V., CONINX I., BLEYEN N., LEYS N. (2019a): Radiation and Microbial Degradation of Bitumen 48.
- MIJNENDONCKX K., SMALL J., ABRAHAMSEN-MILLS L., PEDERSEN K., LEYS N. (2019b): MIND Deliverable 3.7: Final Integration and Evaluation Report. European Commission 104.
- MIJNENDONCKX K., MONSIEURS P., ČERNÁ K., HLAVÁČKOVÁ V., STEINOVÁ J., BURZAN N., BERNIER-LATMANI R., BOOTHMAN C., MIETTINEN H., KLUGE S., MATSCHIAVELLI N., CHERNOUK A., JROUNDI F., MERROUN M. L., ENGEL K., NEUFELD J. D., LEYS N. (2021): Chapter 4 - Molecular techniques for understanding microbial abundance and activity in clay barriers used for geodisposal, in: Lloyd, J.R., Cherkouk, A. (Eds.), *The Microbiology of Nuclear Waste Disposal*. Elsevier, pp. 71–96.
- MORRIER J.-J., BENAY G., HARTMANN C., BARSOTTI O. (2003): Antimicrobial activity of Ca (OH) 2 dental cements: an in vitro study. *Journal of endodontics* 29, 51–54.
- MOSLER J. ET AL. (2019): Uživatelská příručka pro konvenční tunelování. [online]. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES. ISBN 978-80-906452-4-0. Dostupný z https://www.ita-aites.cz/files/edice_CTuK/prirucka-konvencni-tunelovani-191120.pdf

- MOTAMEDII M., KARLAND O., PEDERSEN K. (1996): Survival of sulfate reducing bacteria at different water activities in compacted bentonite. *FEMS Microbiology Letters* 141, 83–87.
- MP.38: Požadavky na stabilizaci ukládacích komor na JZ ÚRAO Richard. Praha: SÚRAO, 2018.
- OTSKP (2022): Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací 2022. [online]. Praha: SFDI, 2022. Dostupný z: https://www.sfdi.cz/soubory/obrazky-clanky/cenove-databaze/2022_07-otskp.zip
- PEDERSEN K. (2017): Bacterial activity in compacted bentonites (No. D2.4). MIND.
- PEDERSEN K., BENGTTSSON A., BLOM A., JOHANSSON L., TABOROWSKI T. (2017): Mobility and reactivity of sulphide in bentonite clays – Implications for engineered bentonite barriers in geological repositories for radioactive wastes. *Applied Clay Science* 146, 495–502.
- PERNICOVÁ R., ČÍTEK D., DOBIÁŠ D., MANDLÍK T., KRATOCHVÍLE L., KOLÍSKO J. (2019): Vývoj betonu se sníženým pH, MS SÚRAO TZ 415/2019, 45 s.
- POSIVA SKB (2017): Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository. Conclusions and recommendations from a joint SKB and Posiva working group. Posiva SKB Report 01, Posiva Oy, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- POSPÍŠKOVÁ I. A KOL. (2011): Aktualizace Referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, Praha, ÚJV Řež, a.s. - Divize Energoprojekt.
- POSPÍŠKOVÁ I., VAŠÍČEK R., HAVLOVÁ V., KOBYLKA D., POLÁK M., VOZÁR M., FIEDLER F., SVOBODA J., KUČEROVÁ M., ŠŤÁSTKA J., ČERNOCHOVÁ K., VEČERNÍK P., DOBREV D., HOFMANOVÁ E., FRÝBORT J., BÍLÝ T., RATAJ J., FRÝBORTOVÁ L., MILICKÝ M. (2022): Analýza FEPs úložiště VJP. MS SÚRAO TZ 618/2022, PRAHA.
- POSPÍŠKOVÁ I., KRAJŇÁK M., VOZÁR M. (2022): Rešeršní studie pro zmapování přístupu k ukládání vysokoaktivních odpadů a ostatních odpadů obsahujících dlouhodobé radionuklidy – MS SÚRAO TZ 610/2022, Praha.
- RYNDOVÁ T., TVRDÝ J. (2020) Bentonit pro české hlubinné úložiště radioaktivního odpadu. SÚRAO, TZ 458/2020
- SHRESTHAA R., ČERNÁ K., SPANEK R., BARTAK D., ČERNOUŠEK T., ŠEVCŮ A. (2022): The effect of low-pH concrete on microbial community development in bentonite suspensions as a model for microbial activity prediction in future nuclear waste repository. *Science of The Total Environment* 808, 151861.
- SKB TR-10-16 (2010): Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, SKB technical report TR-10-16, Stockholm, Švédsko.
- STROES-GASCOYNE S., HAMON C. J., DIXON D. A., MARTINO J. B. (2007): Microbial analysis of samples from the tunnel sealing experiment at AECL's Underground Research Laboratory. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 32, 219–231.
- STROES-GASCOYNE S., HAMON C. J., VILKS P., GIERSZEWSKI P. (2002): Microbial, redox and organic characteristics of compacted clay-based buffer after 6.5 years of burial at AECL's Underground Research Laboratory. *Applied Geochemistry* 17, 1287–1303.
- SVENSSON D., DUECK A., NILSSON U., OLSSON S., SANDÉN T., LYDMARK S., JÄGERWALL S., PEDERSEN K., HANSEN S. (2011): Alternative buffer material. Status of the ongoing laboratory investigation of reference materials and test package 1. (No. TR-11-06). Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Stockholm, Sweden.

- SVOBODA L. ET AL. (2013). Stavební hmoty. [online]. Praha. Dostupný na: <https://web.archive.org/web/20131016132456/http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/> ISBN 978-80-260-4972-2
- ŠACHLOVÁ Š., ČERNOCHOVÁ K., ČERNÁ K., SVOBODA J., VAŠÍČEK R., MACKOVÁ D., HAVLOVÁ V., ZUNA M., VEČERNÍK P., KOLKOVÁ K., HLAVÁČKOVÁ V. (2022): Analýza českých bentonitů – Vyhodnocení dat z databáze, Zpráva SÚRAO 632/2022, Praha.
- ŠPINKA O., BUTOVIČ A., BUREŠ P., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020a): Studie umístitelnosti – aktualizace Březový potok. ČVUT- SATRA- Mott MacDonald CZ, MS SÚRAO, TZ 514/2020
- ŠPINKA P., BUTOVIČ A., BUREŠ P., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020b): Studie umístitelnosti – aktualizace. Hrádek. ČVUT-SATRA- Mott MacDonald CZ, MS SÚRAO, TZ 513/2020
- ŠTÁSTKA VAŠÍČEK ČERNOCHOVÁ K. TABOROWSKI T., CHUKHARKINA A.B.A., BLOM A., PEDERSEN K. (2019): Bacterial presence and activity in compacted bentonites (No. DELIVERABLE D2.4, v2). MIND.
- TABOROWSKI T., PEDERSEN K. (2018): Microbial activity in a concrete-bentonite clay interface. (No. DELIVERABLE 2.12). MIND.
- TOUŠ M., ČUBOVÁ K. (2017): Inventarizace RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. MS SÚRAO – TZ201/2017. Praha.
- TOUŠ M., BERÁNEK F., HAVLOVÁ V. (2018): Databáze RAO nepřijatelných do přípovrchových úložišť. ÚJV Řež a.s..
- TURICK C.E., BERRY C. J. (2016): Review of concrete biodeterioration in relation to nuclear waste. Journal of Environmental Radioactivity 151, 12–21.
- VAŠÍČEK R., SVOBODA J., HOFMANOVÁ E., ČERVINKA R. (2019) Geotechnická charakterizace homoionních forem bentonitu BCV 2017. Závěrečná zpráva – samostatná příloha. MS SÚRAO, TZ 425/2019, Praha.
- 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
- VOGT C., LAGERBLAD B., WALLIN K., BALDY F., JONASSON J.-E. (2009): Low pH self compacting concrete for deposition tunnel plugs SKB report R-09-07, Stockholm, Švédsko.
- VONDROVIC L., AUGUSTA J., VOKÁL A., HAVLOVÁ V., KONOPÁČOVÁ K., LAHODOVÁ Z., POPELOVÁ E., URÍK J., BAIER J., BUKOVSKÁ Z., BUREŠ P., BURIÁNEK D., BUTOVIČ A., ČERNÝ M., DUŠEK K., FRANĚK J., GRÜNWARD L., GVOŽDÍK L., HANŽL P., HOLEČEK J., HRDLÍČKOVÁ K., HROCH T., HUBÁČEK O., JELÉNEK J., JELÍNEK J., KACHLÍKOVÁ R., KOBYLKA D., KRYŠTOFOVÁ E., KUČERA R., KUNCEOVÁ E., JANKOVEC J., KRAJÍČEK L., MAREK P., MARTINČÍK J., MILICKÝ M., MIXA P., NAHODILOVÁ R., PERTOLDOVÁ J., PETYNIÁK O., POLÁK M., RUKAVIČKOVÁ L., SEDLÁČKOVÁ I., SKOŘEPA Z., SOEJONO I., ŠÍR P., ŠPINKA O., ŠTĚDRÁ V., ŠVAGERA O., UHLÍK J., VERNER K., VOJTĚCHOVÁ H., ZAHRADNÍK O., ŽÁČEK V., ŽÁČKOVÁ E. (2020): Výběr potenciálních lokalit hlubinného úložiště v ČR pro navazující etapu prací po roce 2020. – MS SÚRAO, TZ 465/2020, Praha.

YAMANAKA T., ASO I., TOGASHI S., TANIGAWA M., SHOJI K., WATANABE T., WATANABE N., MAKI K., SUZUKI H. (2002): Corrosion by bacteria of concrete in sewerage systems and inhibitory effects of formates on their growth. *Water Research* 36, 2636–2642.

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



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

www.surao.cz