

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ 2022

Autoři: Markéta Dohnálková,
Lukáš Vondrovič,
Lucie Hausmannová

Praha, rok 2022

NÁZEV ZPRÁVY: Technické řešení hlubinného úložiště 2022

IDENTIFIKACE V RÁMCI PROJEKTU: Technická zpráva 580/2022_rev1

BIBLIOGRAFICKÝ ZÁPIS: DOHNÁLKOVÁ M., VONDROVIC L., HAUSMANNOVÁ L., (2022):
Technické řešení hlubinného úložiště 2022. - MS SÚRAO, TZ 580/2022_rev1, Praha.

ŘEŠITELÉ:

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Obsah

1	Úvod	8
2	Technické řešení ukládacího systému hlubinného úložiště	9
2.1	Inventář	9
2.2	Ukládání VJP	11
2.3	Ukládání ostatních RAO	12
2.4	Popis podzemních částí HÚ	13
3	Úložiště VJP – technický koncept vertikální	17
3.1	Zavážecí chodby	18
3.2	Ukládací vrty	18
3.3	Ukládací obalový soubor - UOS	19
3.4	Buffer	20
3.5	Distanční blok.....	21
3.6	Backfill.....	21
3.7	Těsnicí tlaková zátka.....	21
4	Úložiště VJP – technický koncept horizontální	23
4.1	Ukládací vrty	24
4.2	Ukládací obalový soubor - UOS	25
4.3	Buffer	25
4.4	Distanční blok.....	25
4.5	Těsnicí tlaková zátka.....	26
5	Technický koncept ukládání ostatních RAO	27
5.1	Ukládací komora	28
5.2	Obalový soubor	29
5.3	Výplňový materiál komory	29
5.4	Těsnicí zátka	29
6	Uzavírání úložiště	30
7	Závěr	31

Seznam použitých zkratk:

EDU	jaderná elektrárna Dukovany
ETE	jaderná elektrárna Temelín
HÚ	hlubinné úložiště
JE	jaderná elektrárna
NJZ	nový jaderný zdroj
NRTM	nová rakouská tunelovací metoda
OS	obalový soubor
PA	povrchový areál
PS	palivový soubor
RAO	radioaktivní odpad
SAO	středně aktivní odpad
SO	stavební objekt
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
TBM	tunelový razicí stroj (Tunnel Boring Machines)
UOS	ukládací obalový soubor
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo

Vysvětlení pojmů:

Buffer

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

Backfill

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

Hlubinné úložiště

Jaderné zařízení sloužící k trvalému uložení vyhořelého jaderného paliva a ostatních radioaktivních odpadů.

Ostatní RAO

Ostatní radioaktivní odpady jsou vysoko a středně aktivní odpady, vyprodukované v české republice, nespĺňující podmínky přijatelnosti do stávajících povrchových a přípovrchových úložišť, které se předpokládají uložit do hlubinného úložiště.

Abstrakt

Tento dokument stručně shrnuje stávající technické řešení hlubinného úložiště v České republice pro účely vývoje ukládacího konceptu pro vyhořelé jaderné palivo a ostatní radioaktivní odpady, které nesplňují podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť.

Zabývá se detailními návrhovými parametry multibariérového ukládacího systému na ukládacím horizontu hlubinného úložiště, které jsou významné z hlediska plnění svých bezpečnostních funkcí při využití principu dlouhodobé ochrany do hloubky.

Jednotlivé parametry zde uvedené jsou ověřené na základě vědecko-výzkumných a projektových prací a slouží jako vstupní data pro činnosti SÚRAO vedoucí k prokázání dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště.

Klíčová slova

Hlubinné úložiště, inženýrské bariéry, koncept, technické řešení, návrhové parametry, multibariérový systém

Abstract

This document briefly summarizes the current technical solution of a deep geological repository in the Czech Republic. The purpose is a developing of safety disposal concept for spent nuclear fuel and other radioactive waste that does not meet the conditions for acceptability to the existing repositories.

The detailed design parameters of a multi-barrier disposal system on the disposal level of a deep repository are solved. These are important in terms of fulfilling their safety functions using the principle of long-term safety.

The parameters are verified based on scientific research and development work and they will be used as input data for future SURAO's activities for deep geological repository demonstration of long-term safety.

Keywords

Deep geological repository, engineering barriers, concept, technical solution, design parameters, multibarrier system

1 Úvod

Účelem tohoto dokumentu je podrobně specifikovat technické návrhové parametry zvažovaných variant technických řešení ukládacích konceptů pro různé druhy radioaktivních odpadů plánovaných pro uložení v hlubinném úložišti vyhořelého jaderného paliva a ostatních vysoko a středně aktivních odpadů. V případě této zprávy se jedná o konfiguraci a design příslušných inženýrských bariér a komponent na ukládacím horizontu hlubinného úložiště vstupujících do koncepčního řešení ukládání VJP a ostatních RAO. Popsané parametry v této zprávě jsou základem pro návazné práce v dalších výzkumných pracích a projektech SÚRAO v oblasti výzkumu a vývoje HÚ, pro které je konkrétní technické řešení jedním ze základních vstupů.

Zde uvedené technické řešení vždy obsahuje popis daného ukládacího systému a inženýrských bariér v návaznosti na předpokládané horninové prostředí, použitou technologii výstavby a konfiguraci ukládacího místa.

Dokument je připraven tak, aby mohl být pravidelně aktualizován v intervalech navazující na strategické milníky SÚRAO, při kterých dojde především k upřesnění dat na základě výzkumu a vývoje inženýrských bariér a komponent, projektového řešení a dat z potenciálních lokalit na jejichž základě bude možné některé prvky HÚ dále přesně specifikovat.

2 Technické řešení ukládacího systému hlubinného úložiště

Postup nakládání s vyhořelým jaderným palivem a ostatními RAO nesplňující podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť v České republice je navržen na základě požadavku na zajištění dlouhodobé ochrany životního prostředí uložením do hlubinného úložiště dle Konceptu nakládání s RAO a VJP (Konceptce, 2019). Hlubinné úložiště zajišťuje dlouhodobou izolaci uložených odpadů tzv. multibariérovým systémem neboli skupinou přírodních a technických bariér a konstrukčních řešení, které fyzicky brání úniku radionuklidů do biosféry po dobu nebezpečnosti těchto odpadů. Do vlastního hlubinné úložiště se budou ukládat všechny odpady nepřijatelné pro uložení do stávajících povrchových nebo přípovrchových úložišť. Jedná se především o vyhořelé jaderné palivo a ostatní RAO typu VAO a SAO tvořené primárně odpady z vyřazování aj. (Touš M., et al., 2018)

První technické řešení hlubinného úložiště bylo publikováno v referenčním projektu HÚ v roce 1999 (Holub I., et al., 1999), dále v jeho aktualizaci (Pospíšková I. et al., 2011), lokalitních studiích (Fiedler F., et al., 2012), studiích umístitelnosti na 7 lokalitách (Špinka P., et al., 2020) a studiích proveditelnosti v lokalitě Janoch (Zahradník O. et al., 2020b) a lokalitě Na Skalním (Zahradník O. et al., 2020a).

Technické řešení hlubinného úložiště je znázorněno na Obr. 1. Zařízení se skládá z ukládacích prostor pro VJP – ukládacích vrtů, ukládacích prostor pro ostatní RAO – ukládacích komor, překládacího uzlu včetně horké komory, zavážecích chodeb, dopravních a obslužných prostor, těžních a větracích jam a charakterizačního pracoviště.

2.1 Inventář

Základním vstupem pro koncepční řešení hlubinného úložiště je předpokládaný inventář VJP, ten je uveden v Tab. 1 a vychází z (Rataj et al. 2015).

Tab. 1 – Inventář VJP do hlubinného úložiště

Typ reaktoru	Jednotky	VVER-440	VVER-1000	NJZ
Max. vyhoření	MWd.kg-1	60	60	70
Max. doba provozu	roky	60	60	60
Min. doba chlazení	roky	65	65	65
Počet PS	ks	21 700	5 400	8 100
Šířka a délka PS	mm	144/2601,5 ¹	234/4520 ²	
Počet PS v UOS	ks	7	3	3
Počet UOS	ks	3 100	1 800	2 700

¹ TVEL [online] (2022):

² WESTINGHOUSE NUCLEAR [online] (2022)

Koncept HÚ vychází požadavků na uložení VJP ze 2 jaderných elektráren EDU a ETE a výstavbě 3 nových bloků dle ASEK, 2014. Ukládací koncept předpokládá přímé uložení VJP (bez přepracování). U všech bloků (i nových jaderných zdrojů) je uvažována doba mezi vyjmutím paliva z reaktoru a uložením do HÚ 65 let, průměrný tepelný výkon po této době je uveden v Tab. 2. Dle Koncepce (2019) jsou dána následující projektová východiska pro VJP:

Počet ukládacích obalových souborů: 7600 ks s VJP.

Maximální vyhoření paliva ze stávajících bloků elektráren: 60 MWd/kg

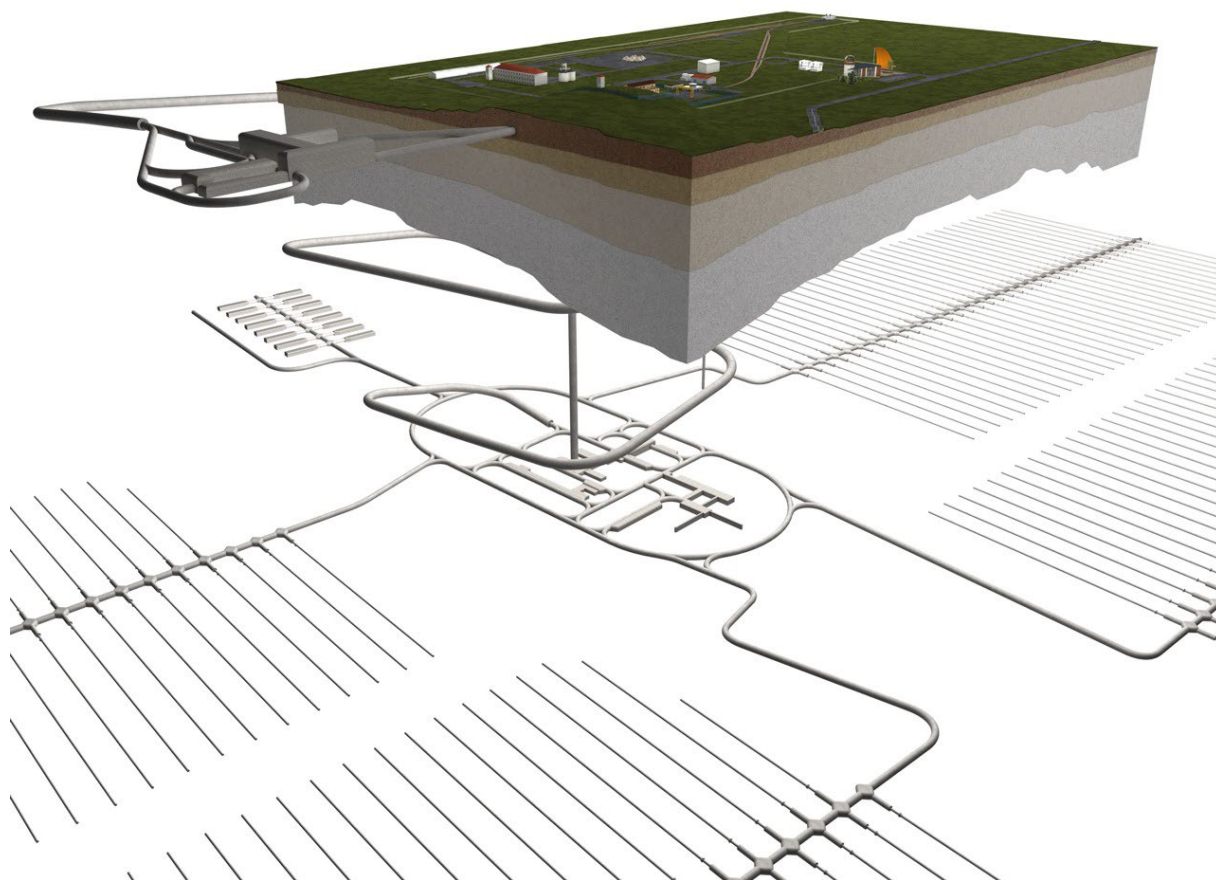
Maximální vyhoření paliva z nových jaderných zdrojů: 70 MWd/kg

Tab. 2- Hmotnost uranu v UOS a průměrný tepelný výkon jednoho UOS po 65 letech skladování VJP)

Typ JE	Hmotnost U (kg) na jeden UOS	Počet PS	Celková hmotnost U (t)	Průměrný tepelný výkon OS/65 let skladování (W)
EDU (4 bloky)	855	21 700	2 650	655
ETE (2 bloky)	1419	5 400	2 555	1 125
NJZ (3 bloky)	1419	8 100	4 300	1 221
Suma	3693	35 200	9 505	

Do hlubinného úložiště budou dále ukládány také ostatní vysokoaktivní a středněaktivní odpady, které nesplňují limity a podmínky přijatelnosti pro uložení do přípovrchových úložišť. Jedná se o odpady pocházející z vyřazování jaderných zařízení a z průmyslových a medicínských aplikací, nebo výzkumné činnosti (nyní umístěné v režimu skladování na ÚRAO Richard) souhrnně označované jako ostatní RAO.

Tyto ostatní RAO budou ukládány ve stejném komplexu hlubinného úložiště jako VJP, v oddělené sekci, a to za takových podmínek, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivnění jednotlivých částí úložiště. Objem ostatních RAO je předpokládán na 4 500 t . (Koncepce, 2019).



Obr. 1 - Schéma hlubinného úložiště, podzemního a povrchového areálu

2.2 Ukládání VJP

Nepřepřacované vyhořelé jaderné palivo bude v hlubinném úložišti trvale uloženo v krystalinických horninách na úrovni ukládacího horizontu, v ukládacích vrtech, v UOS obklopených bufferem (tlumicí a těsnicí bariéra) a dalšími inženýrskými bariérami a komponenty.

Ukládací koncept byl vyvinut na základě švédského konceptu KBS-3 (SKB, 2010) přizpůsobeného pro krystalinické horninové prostředí českého masivu. Jedná se zejména o použití ocelového ukládacího obalového souboru (Forman L., et al., 2021) a českého Ca-Mg bentonitu (Hausmannová L., et al., 2018).

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

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

A dále dle zákona č. 263/2016 Sb., § 82 na základě stanovení velikosti efektivní dávky pro reprezentativní osobu je *dávková optimalizační mez pro reprezentativní osobu 0,25 mSv za rok*.

Základní technické parametry pro hlubinné úložiště pro VJP jsou:

- Prokázání dlouhodobé bezpečnosti po dobu delší než 1 000 000 let
- Hloubka umístění 500 m pod zemským povrchem (Pospíšková et al. 2011, Holub et al. 1999)
- Minimální potřebná plocha pro umístění úložiště je závislá na způsobu ražby ukládacích prostor a volbě ukládacího konceptu vertikální/horizontální a tepelných vlastnostech lokalit (Grünwald L., et al., 2017):

	Konvenční ražba	Ražba TBM
vertikální	197 ha	201 ha
horizontální	297 ha	297 ha

- Předpokládaná střední teplota zemského povrchu: 10 °C (Grünwald L., et al., 2017).
- Návrhový tlak okolí vyvinutý na UOS: do 20 MPa (Pospíšková I. et al., 2011, Hasal et al., 2019)
- Předpokládaná doba skladování paliva před uložením 65 let (předpoklad 60 let skladování 5 let po vyjmutí paliva z reaktoru v bazénu vyhořelého jaderného paliva a v skladovacím obalovém souboru typu CASTOR 440/84 a 1000/19, popř. ŠKODA 440/84 a 1000/19), viz Grünwald L., et al., 2017.
- Střední vyhoření palivového souboru VVER 440 - 50MWd/kgU, VVER 1000 - 53MWd/kgU, NJZ - 57MWd/kgU.

2.3 Ukládání ostatních RAO

Ostatní radioaktivní odpady nesplňující podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť budou ukládány v samostatně oddělené podzemní části v rámci komplexu hlubinného úložiště v hloubce několika set metrů pod povrchem/terénem. Odpad bude umístěn v ukládacích komorách ve speciálních obalových souborech, obklopených dalšími inženýrskými bariérami a komponenty. V závislosti na typu ukládaného inventáře, mohou být komory umístěny na ukládacím horizontu VJP, nebo i v hloubce méně než 500 m pod povrchem.

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

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

A dále dle zákona č. 263/2016 Sb., § 82 na základě stanovení velikosti efektivní dávky pro reprezentativní osobu je *dávková optimalizační mez pro reprezentativní osobu 0,25 mSv za rok*.

Základní technické parametry pro hlubinné úložiště pro ostatní RAO:

- Hloubka umístění: úložiště ostatních RAO musí být uloženo v dostatečné hloubce pod povrchem tak, aby byla zajištěna potřebná izolace jak od povrchu a biosféry, tak od části úložiště VJP
- Prokázání dlouhodobé bezpečnosti
- Minimální potřebná plocha pro umístění úložiště ostatních RAO je 5,3 ha (Grünwald L., et al.,2017)
- Dostatečná kapacita pro všechny odpady typu VAO a SAO a ostatní RAO, nesplňující podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť vzniklé na území ČR
- Zajištění plynopropustnosti.

2.4 Popis podzemních částí HÚ

Projektové řešení hlubinného úložiště předpokládá základní technické rozdělení stavebních objektů do povrchového a podzemního areálu.

Podzemní areál a jeho koncepční návrh vychází z požadavku na zajištění funkčnosti a bezpečnosti hlubinného úložiště ve všech životních fázích jeho vývoje (výstavba, provoz, uzavírání, po-uzavírání). Slouží primárně k překládce VJP a ostatních RAO z přepravních obalových souborů do ukládacích obalových souborů, dále k jejich dopravě na místo uložení na ukládací horizont a k samotnému finálnímu uložení v ukládacích prostorách HÚ.

Z hlediska funkčního členění podzemní areál HÚ zahrnuje následující skupiny objektů:

Příprava VJP a ostatních RAO k uložení – překládací uzel

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

Hlavní důlní díla

Hlavními důlními díly označujeme důlní díla ústící na povrch. Jsou to zejména přístupové cesty do podzemí (zavážecí tunel, svislá důlní díla) sloužících primárně pro dopravu osob, materiálů a odpadů do podzemí a dále pro zajištění větrání podzemního areálu hlubinného úložiště.

Zavážecí tunel

- Zavážecí tunel je úpadním tunelem převládajícím v podélném sklonu maximálně 1:10.
- Jeho příčný profil se liší dle zvoleného ukládacího systému i dle způsobu ražby díla.
- Délka tunelu je závislá na podélném sklonu díla a výškovém rozdílu mezi portálem tunelu na povrchu a ukládacím horizontem.
- Zavážecí tunel je dopravní tunelem pro přepravu a zavážení VJP a ostatních RAO na ukládací horizont.
- Dále slouží pro dopravu osob, materiálů a rubaniny mezi povrchem a ukládacím horizontem.
- Z hlediska provozní bezpečnosti plní funkci únikové cesty.

Návrhové parametry zavážecího tunelu jsou (Grünwald L., et al., 2017):

	Konvenční ražba Vertikální	Konvenční ražba Horizontální	Ražba TBM Vertikální	Ražba TBM Horizontální
Tvar výrubu	Klenutý	Klenutý	Kruhový	Kruhový
Profil kruhového díla			7 250 mm	7 000 mm
Výška tunelu	5 065 mm	5 065 mm		
Šířka tunelu	6 000 mm	6 000 mm		
Způsob vyztužení	Dle zastižených geologických podmínek	Dle zastižených geologických podmínek	Dle zastižených geologických podmínek	Dle zastižených geologických podmínek

Svislá důlní díla

Svislými důlními díly jsou označovány těžní a vtažné jámy.

Těžní jáma

- Zajišťuje svislou dopravu rubaniny na povrch, odvod výdušných větrů z podzemí, vedení výtlačného potrubí a dopravu zaměstnanců na úsek výstavby.
- Z hlediska provozní bezpečnosti plní funkci únikové cesty.

Vtažná jáma

- Slouží k přivádění čerstvých větrů do podzemního areálu.
- Z hlediska provozní bezpečnosti plní funkci únikové cesty.

Návrhové parametry svislých důlních děl jsou (Grünwald L., et al., 2017):

	Těžní jáma	Vtažná jáma
Tvar výrubu	Kruhový	Kruhový
Profil díla	8 000 mm	7 000 mm
Způsob vyztužení	Betonové ostění	Betonové ostění
Tloušťka vyztužení	450 mm	450 mm

Technické zázemí na ukládacím horizontu

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

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

Ukládací horizont

Ukládací horizont plynule navazuje na objekty technického zázemí a tvoří jej systém páteřních a spojovacích chodeb na něž dále navazují objekty určené pro manipulaci a zavezení UOS do ukládacího vrtu. Tyto objekty se liší podle zvoleného ukládacího systému. Jsou jimi v případě vertikálního ukládacího systému tzv. Zavážecí chodby, v případě horizontálního ukládacího systému zavážecí chodby nejsou součástí projektu a ukládání probíhá z tzv. Páteřní chodby.

Zavážecí chodby

- Jsou součástí vertikálního ukládacího systému
- Realizují se na ukládacím horizontu
- Slouží pro zavezení UOS do ukládacího vrtu
- V zavážecích chodbách jsou do počvy realizovány samostatné ukládací vrty
- Velikost profilů dána je minimálními průjezdnými profilem dopravních mechanismů, velikostí UOS a zvoleným způsobem ražby.

Návrhové parametry zavážecí chodby viz.kapitola 3.1.

Páteřní chodby

- Jsou součástí horizontálního ukládacího systému
- Realizují se na ukládacím horizontu
- Slouží pro zavezení UOS do horizontálního ukládacího vrtu
- Páteřní chodby jsou součástí ukládací sekce a jsou z nich vyraženy horizontální ukládací vrty.
- Velikost profilů je dána minimálními průjezdnými profilem dopravních mechanismů, velikostí UOS a zvoleným způsobem ražby(konvenční/TBM).

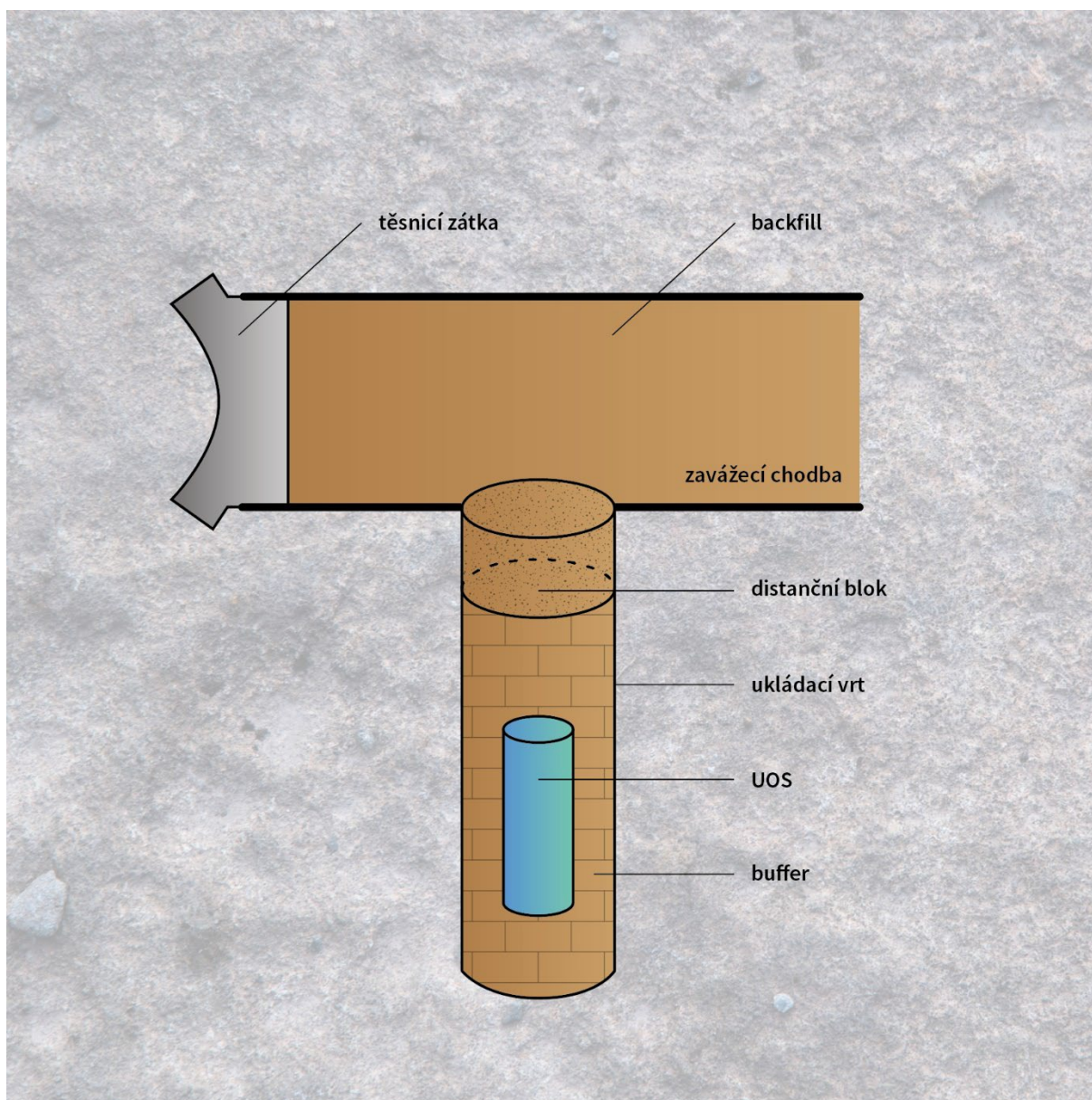
Návrhové parametry páteřní chodby jsou (Grünwald L., et al., 2017):

	Konvenční ražba Vertikální	Konvenční ražba Horizontální	Ražba TBM Vertikální	Ražba TBM Horizontální
Tvar výrubu	Klenutý	Klenutý	Kruhový	Kruhový
Profil kruhového díla			7 250 mm	7 000 mm
Výška tunelu	5 350 mm	5 690 mm		
Šířka tunelu	6 000 mm	5 700 mm		

3 Úložiště VJP – technický koncept vertikální

Vertikálním způsobem ukládání je rozuměno ukládání VJP do samostatných ukládacích vrtů, realizovaných do počvy zavážecí chodby na ukládacím horizontu HÚ. V každém vrtu je vždy umístěn pouze jeden UOS. UOS je ve vrtu umístěn vertikálně, obklopen bentonitovým bufferem a mezi ním a ústím vrtu je umístěn bentonitový distanční blok. Po zaplnění ukládacích vrtů je zavážecí chodba vyplněna backfillem (výplňovým materiálem) a trvale uzavřena těsnicí zátkou, viz Obr. 2.

Vertikální způsob byl poprvé navržen v referenčním projektu HÚ v roce 1999 (Holub I., et al., 1999) a aktualizován v roce 2017 (Grünwald L., et al., 2017).



Obr. 2 - Schéma vertikálního ukládacího systému

3.1 Zavážecí chodby

Zavážecí chodbou se rozumí podzemní chodba na ukládacím horizontu, ve které jsou ukládací vrty, sloužící k dopravní obsluze při zavážení UOS. Po zaplnění všech ukládacích vrtů v zavážecí chodbě dojde k jejímu vyplnění backfillem a konečnému uzavření těsnicí tlakovou zátkou. Předpokládáme, že 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.

Návrhové parametry zavážecích chodeb:

- Rozměry a zóna ovlivnění zavážecí chodby je závislá na způsobu ražby (Grünwald L., et al.,2017)

	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

- Osová vzdálenost zavážecích chodeb (Grünwald L., et al., 2017): 35 000 milimetrů (pro všechny typy VJP)

3.2 Ukládací vrty

Ukládacím vrtem je myšleno kruhové dílo – velkoprofilový vrt umístěný vertikálně do počvy zavážecí chodby. V něm bude finálně uložen v případě vertikálního ukládacího konceptu jeden ukládací obalový soubor s VJP. Parametry ukládacího vrtu pro vertikální ukládací systém byly původně definovány v (Grünwald L., et al.,2017), následně došlo k jejich prostorové optimalizaci na základě vývoje UOS (Forman L., et al., 2021), s přihlédnutím k zachování návrhových parametrů bufferu a konstrukčních potřeb při realizaci vrtu.

Návrhové parametry ukládacího vrtu:

- Průměr ukládacího vrtu: 1650 mm (pro všechny typy VJP)
- Hloubka ukládacího vrtu je závislá na typu VJP (Grünwald L., et al.,2017)

Palivo	VVER 440	VVER 1000	NJZ
Hloubka vrtu	4 940 mm	6 575 mm	6 575 mm

- Osová vzdálenost mezi jednotlivými vrty je závislá na typu VJP, tepelném výkonu UOS a tepelných vlastnostech horninového masivu (Grünwald L., et al.,2017)

Palivo	VVER 440	VVER 1000	NJZ
Osová vzdálenost	4 600 mm	7 750 mm	18 000 mm

- Celkový počet potřebných ukládacích vrtů je 7600 (Grünwald L., et al.,2017)
- Předpokládaná rezerva pro stanovení plošného rozsahu ukládacích sekcí je 20 %, celkově 9120 ukládacích vrtů
- Zóna ovlivněná ražbou v okolí ukládacího vrtu je 350 mm (Grünwald L., et al.,2017).

3.3 Ukládací obalový soubor - UOS

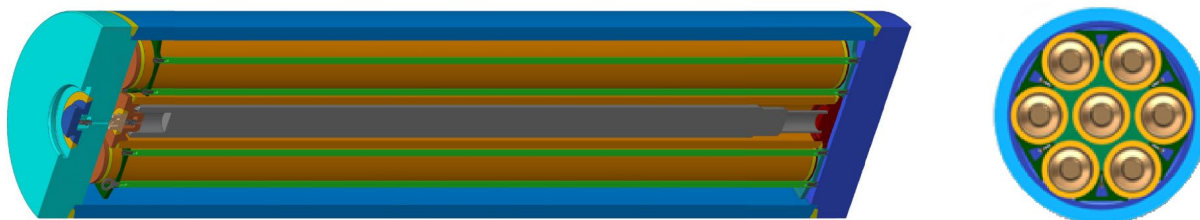
Ukládací obalový soubor slouží jako primární fyzická bariéra pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště.

UOS je tvořen z vnějšího obalu (obal, víko, zátka i dno) z uhlíkové oceli S355J2H+N a vnitřních pouzder (obal, víko, zátka i dno) z korozivzdorné oceli 1.4404 (Forman L., et al., 2021). Počet pouzder umístěných v jednom UOS se liší dle typu ukládaného paliva, pro dukovanské VVER 440 je to 7 (viz Obr. 3) a pro temelínské VVER 1000 a plánované NJZ to jsou 3 (viz Obr. 4).

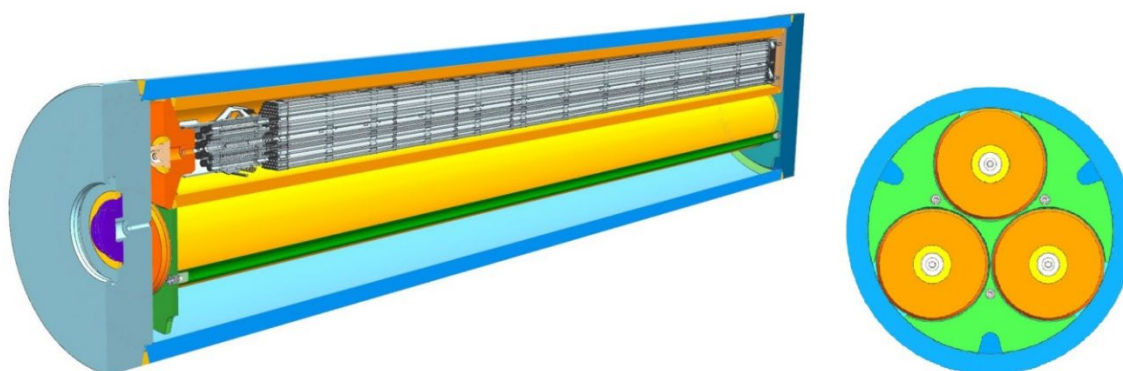
Návrhové a designové parametry pro UOS vychází z výzkumného projektu zaměřeného na vývoj UOS (Forman L., et al., 2021). Pro účely bezpečnostního hodnocení bude řešena i varianta, kde místo několika vnitřních pouzder bude jen jedno pouzdro, ve kterém budou umístěny všechny PS, mezi VP a VO je navržena 3,5 mm mezera. Návrhové parametry UOS:

- Minimální životnost: 1 000 000 let
- Maximální teplota na povrchu UOS: 95 °C
- Specifikace UOS dle VJP:

Palivo	VVER 440	VVER 1000	NJZ
Počet ks	3100	1800	2700
Výška	3790 mm	5 205 mm	Hodnota zatím nebyla stanovena
Šířka	Vnější obal 914/65 mm, vnitřní pouzdro 7xVP 244,5/36 mm	Vnější obal 914/65 mm, vnitřní pouzdro 3xVP 355,6/40 mm	Hodnota zatím nebyla stanovena
Hmotnost UOS + palivové soubory	17 379 kg	12 135 kg	Hodnota zatím nebyla stanovena



Obr. 3 – Model UOS ŠKODA 440/7 (Forman L., et Al, 2021)



Obr. 4 - Model UOS ŠKODA 1000/3 (Forman L., et Al, 2021)

3.4 Buffer

Buffer je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS. Předpokládá se použití bentonitu z české provenience, který je vápenato-hořečnatý.

Návrhové parametry bufferu vychází především z dlouhodobých vědecko-výzkumných prací Hausmannová L., et al. (2018) a Hofmanová E., et al. (2019) a dále technického projektového řešení HÚ (Grünwald L., et al., 2017), které bylo následně optimalizováno po upřesnění konstrukčních rozměrů ukládacího vrtu a UOS.

Návrhové parametry bufferu:

- Šířka: 368 mm (tato hodnota vychází z požadavku na minimální tloušťku bufferu 350 mm, která je poté navýšena na základě dostupných profilů pro vrtání a průměru UOS)
- Tloušťka pod UOS: 350 mm
- Tloušťka nad UOS: 350 mm
- Objemová hmotnost sušiny 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
- Forma (bloky či pelety) taková, aby byla dosažena objemová hmotnost sušiny celé bariéry 1600 kg/m³.

Detailní návrhové parametry jednotlivých komponent (bloky a pelety) např. objemová hmotnost sušiny, vlhkost a u pelet zrnitost, velikost spár v tuto chvíli nejsou stanoveny.

3.5 Distanční blok

Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená kompaktovaným bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako buffer, umístěná v ústí ukládacího vrtu nad UOS a bufferem.

Návrhové parametry distančního bloku vychází především z dlouhodobého výzkumu materiálu inženýrských bariér (Hausmannová L., et al., 2018) a (Hofmannová E., et al., 2019) a potřeb vycházejících z projektového řešení HÚ (Grünwald L., et al., 2017).

Návrhové parametry distančního bloku:

- Šířka: 1650 mm
- Délka: 500 mm
- Objemová hmotnost sušiny 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
- Forma (bloky či pelety) taková, aby byla dosažena objemová hmotnost sušiny celé bariéry 1600 kg/m³.

Detailní návrhové parametry jednotlivých komponent (bloky a pelety) např. objemová hmotnost sušiny, vlhkost a u pelet zrnitost, velikost spár v tuto chvíli nejsou stanoveny.

3.6 Backfill

Backfill je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem ve formě pelet, umístěná v zavážecí chodbě.

Návrhové parametry backfillu vychází především z dlouhodobých vědecko – výzkumných prací (Hausmannová L., et al., 2018).

Návrhové parametry backfillu:

- Objemová hmotnost sušiny celé bariéry: 1400 kg/m³
- Vlhkost po umístění: hodnota zatím nebyla stanovena
- Forma: pelety

Návrhové parametry pelet:

- Objemová hmotnost sušiny: nad 2000 kg/m³
- Vlhkost: hodnota zatím nebyla stanovena
- Zrnitost: zatím nebyla stanovena

3.7 Těsnicí tlaková zátka

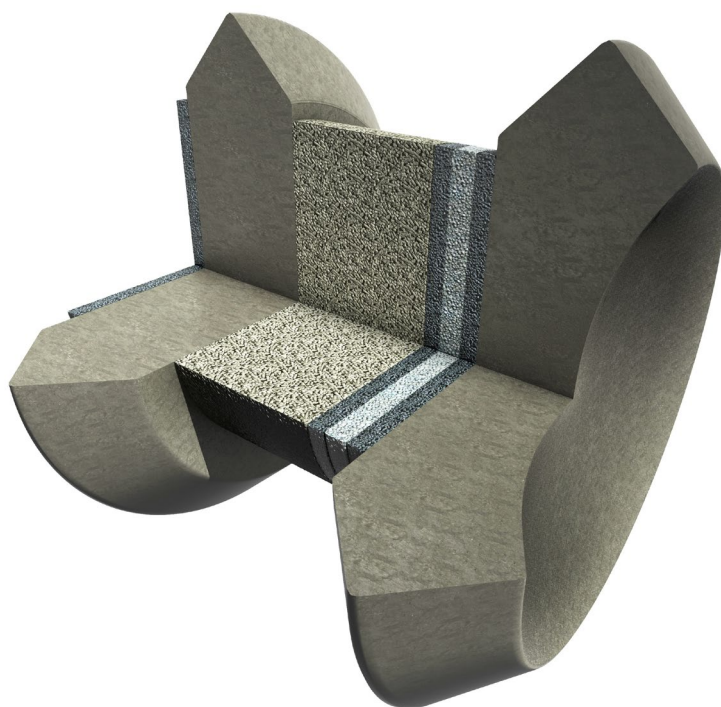
Těsnicí zátkou je myšlena inženýrská komponenta – vícevrstvá konstrukce, které se skládá z vnějších betonových částí a vnitřního těsnicího prvku z bentonitového materiálu umístěná na

ústí zaplněné zavážecí chodby, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby. Schéma zátky je znázorněno na Obr. 5.

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

Návrhové parametry těsnicí tlakové zátky:

- Odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku
- Pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena
- Minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena
- Objemová hmotnost sušiny těsnicího prvku uvnitř konstrukce zátky: shodná s parametry backfillu.

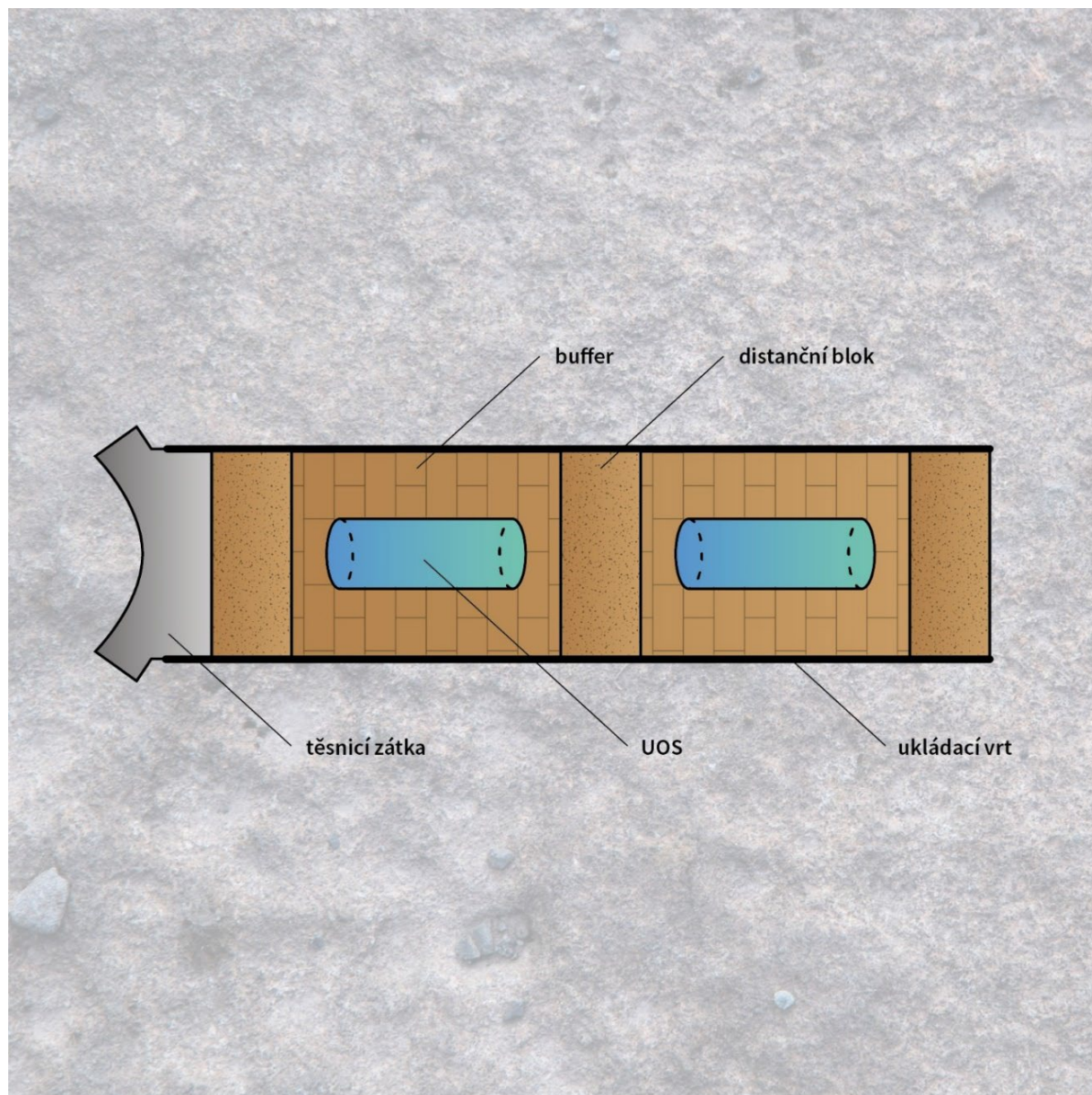


Obr. 5 - Schéma těsnicí zátky

4 Úložiště VJP – technický koncept horizontální

Horizontálním způsobem ukládání je rozuměno ukládání UOS s VJP do samostatných subhorizontálních ukládacích vrtů, realizovaných z páteřních chodeb na ukládacím horizontu HÚ. V každém vrtu je umístěn větší počet UOS, který odpovídá délce samotného vrtu a konkrétním podmínkám horninového prostředí v okolí vrtu. UOS je ve vrtu umístěn horizontálně, obklopen bentonitovým bufferem. Mezi jednotlivými UOS a ústím vrtu jsou umístěny bentonitové distanční bloky. Po zaplnění ukládacího vrtu je vrt trvale uzavřen těsnicí tlakovou zátkou. Za ní se pak v páteřní chodbě nachází výplňový materiál systému zavírání, který po zaplnění všech ukládacích vrtů trvale uzavře tuto část úložiště. Schéma horizontálního ukládání je znázorněno na Obr. 6.

Horizontální ukládací způsob byl poprvé rozvinut v Aktualizaci referenčního projektu HÚ v roce 2011 (Pospíšková I. et al., 2011) a dále v roce 2017 (Grünwald L., et al., 2017), návrhové parametry byly následně optimalizovány s přihlédnutím k výsledkům projektu vývoje UOS (Forman L., et al., 2021).



Obr. 6 - Schéma horizontálního ukládacího systému

4.1 Ukládací vrty

Ukládacím subhorizontálním vrtem je myšleno kruhové dílo umístěné do boku zavážecí chodby. Vrt je realizován v horizontálním směru s mírným sklonem z důvodu zajištění odvodu případného přítoku podzemních vod do vrtu.

V případě horizontálního ukládání se předpokládá s ražbou ukládacích vrtů výlučně za pomoci plnoprofilových vrtných strojních sestav. Ukládací vrty budou raženy kolmo k páteřním chodbám z tzv. bočních rozrážek. Tyto prostory slouží k osazení vrtných souprav, instalaci přidružené technologie a umožňují bezproblémovou manipulaci s nimi. Boční rozrážka bude ražena konvenční metodou za pomoci trhacích prací.

Návrhové parametry ukládacího vrtu:

- Průměr ukládacího vrtu: 2200 mm (pro všechny typy VJP), (Grünwald L., et al.,2017)
- Horizontální osová vzdálenost mezi jednotlivými UOS ve vrtu je závislá na typu paliva (Grünwald L., et al.,2017): 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 L., et al.,2017): 35 000 mm
- Maximální délka ukládacího vrtu: 290 000 mm (Grünwald L., et al.,2017)
- Celkový počet potřebných ukládacích vrtů při uvažované délce vrtu 290 000 mm je 404 (Grünwald L., et al.,2017).
- Zóna ovlivněná ražbou v okolí ukládacího vrtu je 350 mm (Grünwald L., et al.,2017).

4.2 Ukládací obalový soubor - UOS

Ukládací obalový soubor pro horizontální ukládání je totožný jako pro vertikální, popis je v kapitole 3.3.

4.3 Buffer

Buffer je inženýrská bariéra tvořená kompaktovaným bentonitem, umístěná v ukládacím vrtu, jež obklopuje UOS. Předpokládá se použití bentonitu z české provenience, který je vápenato-hořečnatý.

Návrhové parametry bufferu vychází především z dlouhodobých vědecko-výzkumných prací (Hausmannová L., et al., 2018) a (Hofmanová E, et al., 2019) a dále technického projektového řešení HÚ (Grünwald L., et al.,2017). Návrhové parametry bufferu byly následně optimalizovány po upřesnění konstrukčních rozměrů UOS.

Návrhové parametry bufferu:

- Šířka: 643 mm
- Tloušťka před UOS: 350 mm
- Tloušťka za UOS: 350 mm
- Objemová hmotnost sušiny 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.
- Forma (bloky či pelety) taková, aby byla dosažena objemová hmotnost sušiny celé bariéry 1600 kg/m³.

Detailní návrhové parametry jednotlivých komponent (bloky a pelety) např. objemová hmotnost sušiny, vlhkost a u pelet zrnitost, velikost spár v tuto chvíli nejsou stanoveny.

4.4 Distanční blok

Distanční blok je inženýrská bariéra, tvořená kompaktovaným bentonitem se shodnými materiálovými parametry jako buffer, umístěná v ukládacího vrtu k zajištění požadované vzdálenosti mezi jednotlivými UOS.

Návrhové parametry distančního bloku vychází především z dlouhodobého výzkumu materiálu inženýrských bariér (Hausmannová L., et al., 2018) a (Hofmannová E., et al., 2019) a potřeb vycházejících z projektového řešení HÚ (Grünwald L., et al., 2017). Jsou jimi především:

Návrhové parametry distančního bloku:

- Šířka: 2200 mm
- Délka: 500 mm
- Objemová hmotnost sušiny 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
- Forma (bloky či pelety) taková, aby byla dosažena objemová hmotnost sušiny celé bariéry 1600 kg/m³.

Detailní návrhové parametry jednotlivých komponent (bloky a pelety) např. objemová hmotnost sušiny, vlhkost a u pelet zrnitost, velikost spár v tuto chvíli nejsou stanoveny.

4.5 Těsnicí tlaková zátka

Těsnicí zátkou je myšlena inženýrská komponenta – vícevrstvá konstrukce, které se skládá z vnějších betonových částí a vnitřního těsnicího prvku z bentonitového materiálu umístěná na ústí zaplněného ukládacího vrtu, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celého vrtu.

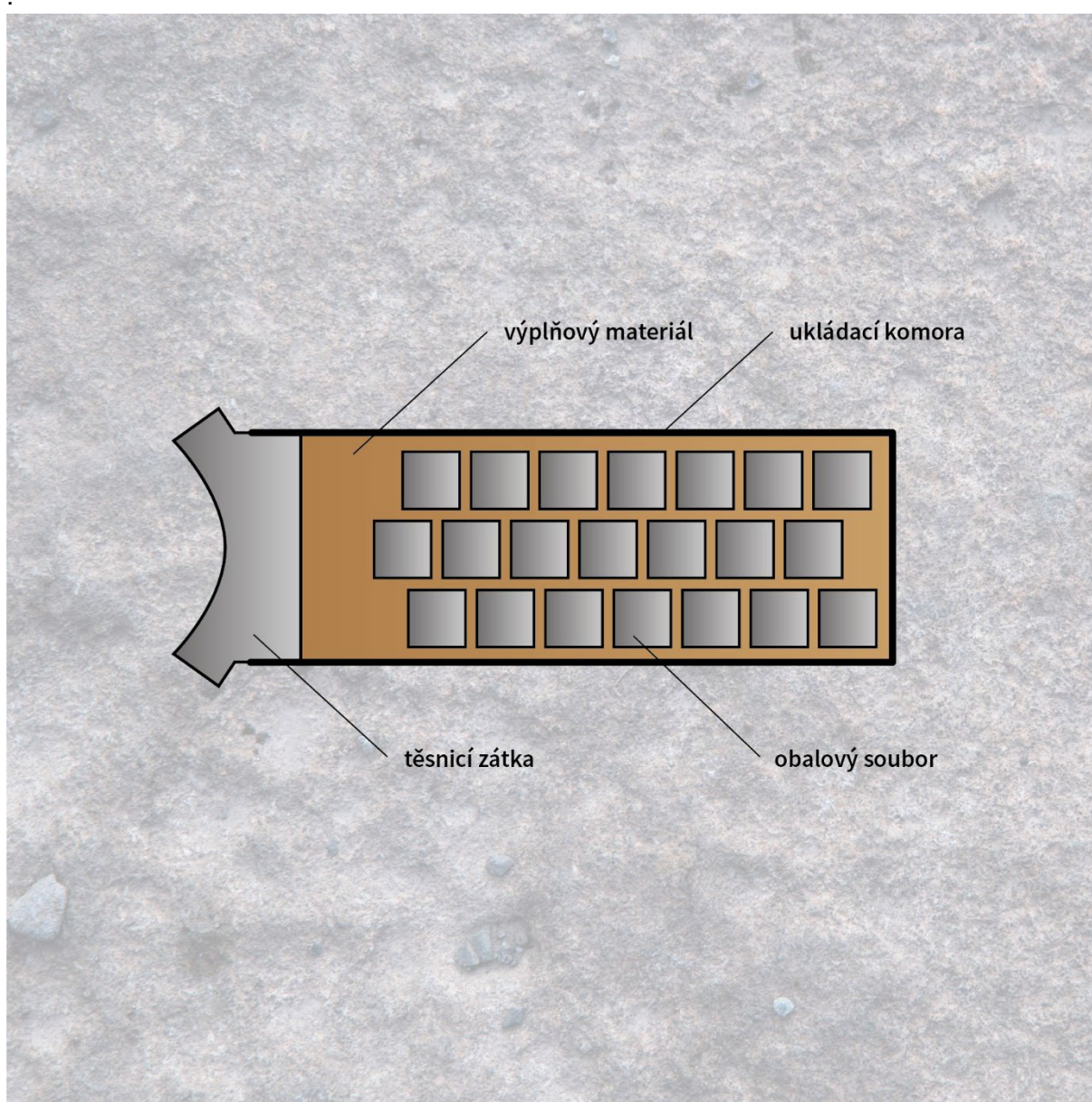
Návrhové parametry těsnicí zátky vychází především z potřeb projektového řešení HÚ (Grünwald L., et al., 2017) a dříve realizovaného výzkumu v rámci mezinárodního projektu DOPAS (Dvořáková M., et al., 2013).

Návrhové parametry těsnicí tlakové zátky:

- Odolnost vůči bobtnacímu tlaku backfillu a hydrostatickému tlaku
- Pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena
- Minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena
- Objemová hmotnost sušiny těsnicího prvku uvnitř konstrukce zátky: shodná s parametry backfillu.

5 Technický koncept ukládání ostatních RAO

Technický koncept ukládání ostatních RAO v hlubinném úložišti je postaven na trvalém uložení radioaktivních odpadů typu VAO, SAO a ostatních RAO které nesplňují podmínky přijatelnosti do stávajících úložišť. Pro uložení tohoto typu odpadů 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 těsnicí zátkou. Inventář byl zpracován ve zprávě (Touš M., et al., 2018). Schéma ukládání ostatních RAO je znázorněno na Obr. 7.



Obr. 7 - Schéma ukládání ostatních RAO typu VAO/SAO do ukládacích komor

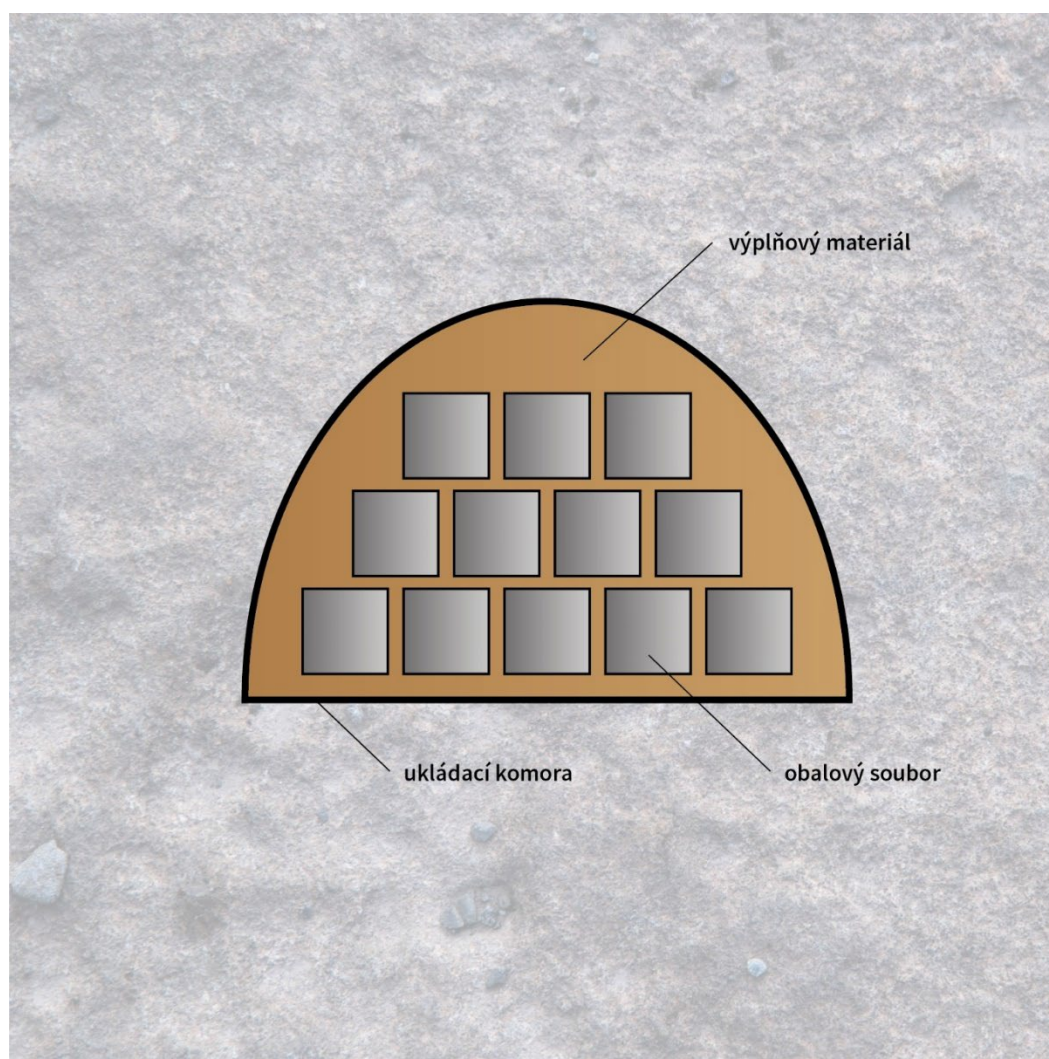
Způsob ukládání ostatních RAO byl poprvé navržen v referenčním projektu HÚ v roce 1999 (Holub I., et al., 1999) a aktualizován v roce 2017 (Grünwald L., et al., 2017).

5.1 Ukládací komora

Ukládací komorou (viz Obr. 8) 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 vychází z technického řešení HÚ (Grünwald L., et al., 2017):

- Délka: 55 000 mm
- Šířka: 10 500 mm
- Výška: 4 800 mm
- Počet komor v HÚ: 18



Obr. 8 - Příčný řez komorou pro ukládání ostatních RAO

5.2 Obalový soubor

Obalový soubor je primární fyzickou bariérou pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti úložiště pro ostatní RAO.

Technické řešení a návrh obalového souboru vychází z Referenčního projektu 1999 (Holub I., et al., 1999).

Návrhovými parametry pro obalové soubory jsou:

- Délka: 1700 mm
- Šířka: 1700 mm
- Výška: 1500 mm
- Hmotnost: hodnota zatím nebyla stanovena
- Počet kusů v HÚ: 3000
- Počet OS v jedné komoře: 204

5.3 Výplňový materiál komory

Výplňový materiál komory je určen k závěrečnému vyplnění komory před jejím uzavřením.

Forma materiálu musí být taková, aby byla zajištěna dlouhodobá stabilizace obalových souborů.

Návrhové parametry bariéry zatím nebyly stanoveny.

5.4 Těsnicí zátka

Těsnicí zátkou je myšlena inženýrská komponenta – betonová konstrukce, umístěná na ústí zaplněné ukládací komory, kónického tvaru, zaklíněná do horniny v podobě prstence kolem celé chodby.

Návrhové parametry těsnicí zátky:

- Odolnost vůči tlaku z výplňového materiálu
- Odolnost vůči hydrostatickému tlaku
- Pevnost v tlaku konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena
- Minimální objem kameniva konstrukčního materiálu (betonu) zátky: hodnota zatím nebyla stanovena.

6 Uzavírání úložiště

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 svém umístění a hloubce (ukládací horizont/střední horizont/povrch) v hlubinném úložišti (viz Tabulka 1).

Tabulka 1 – Rozdělení uzavírání do sekcí dle hloubky s příslušnými parametry

Hloubka	Ukládací horizont- 500 m	Střední horizont -200 – (-500) m	Povrch – přípovrchová část (do -200 m)
Objemová hmotnost sušiny	Shodná s backfillem	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena
Koeficient propustnosti	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena	Hodnota zatím nebyla stanovena
Forma	Bentonit	Bentonit/kamenivo	Kamenivo

7 Závěr

Tento dokument stručně shrnuje základní návrhové parametry hlubinného úložiště v jednotlivých variantách řešení tak, jak jsou v současném stádiu rozpracovanosti dostupné pro další výzkum a vývoj. Jedná se o:

- vertikální koncept ukládání VJP
- horizontální koncept ukládání VJP
- koncept ukládání ostatních RAO.

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

Reference

- DVOŘÁKOVÁ M., HANUSOVÁ I., SVOBODA J., VENCL M. (2014): Experiment EPSP – stavba zátky pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu v rámci Evropského projektu Dopas. Tunel 23 (2), 4-10.
- FIEDLER, F. A KOL., LOKALITA ČIHADLO - LODHÉŘOV. OVĚŘENÍ PLOŠNÉ A PROSTOROVÉ LOKALIZACE HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ. STUDIE, UHERSKÝ BROD: EGPI INVEST, SPOL. S R. O., 2012.
- FORMAN L., PICEK M. DOBREV D., GONDOLLI J., MENDOZA MIRANDA A.N., STRAKA M., KOUŘIL M., STOULIL J., MATAL O., ČERMÁK J., KRÁL L., ŽALOUDEK J., VÁVRA M, ČUPR M. (2021): ZÁVĚREČNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA VÝZKUMNÁ ČÁST PROJEKTU VÝZKUM A VÝVOJ UKLÁDACÍHO OBALOVÉHO SOUBORU PRO HLUBINNÉ UKLÁDÁNÍ VYHOŘELÉHO JADERNÉHO PALIVA DO STADIA REALIZACE VZORKU, PRAHA, ZZ 544/2021
- GRÜNWALD, L., BUREŠ P., ŠPINKA O., POŘÍZEK J., NOHEJL J., FIEDLER F., KOBYLKA D., BITTNAR Z., ZAHRADNÍK O. (2017), Optimalizace podzemních částí HÚ referenčního projektu, PRAHA: SPOLEČNOST "ČVUT-SATRA-MOTT MACDONALD CZ", SÚRAO TZ 134/2017
- HASAL M., MICHALEC Z., BLAHETA R. (2019): PROVEDENÍ PŘEDBĚŽNÉHO VÝPOČTU TLAKU NA UOS - ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA. – MS SÚRAO, TZ 388/2019, PRAHA.
- HAUSMANNOVÁ L., HANUSOVÁ I., DOHNÁLKOVÁ M. (2018): Shrnutí výzkumu českých bentonitů pro hlubinné úložiště – do roku 2018. - MS SÚRAO, TZ 309/2018, Praha.
- HOFMANOVÁ E., ČERVINKA R., VOPÁLKA D., BABOROVÁ L., BRÁZDA L., PECKOVÁ A., VETEŠNÍK A., VIGLAŠOVÁ E., VAŠÍČEK R. (2019): TRANSPORT RADIONUKLIDŮ Z ÚLOŽIŠTĚ / VSTUPNÍ PARAMETRY A PROCESNÍ MODELY PRO HODNOCENÍ TRANSPORTU RADIONUKLIDŮ PŘES INŽENÝRSKÉ BARIÉRY: ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA. – MS SÚRAO ZZ 420/2019, PRAHA.
- HOLUB, J. A KOL., REFERENČNÍ PROJEKT POVRCHOVÝCH I PODZEMNÍCH SYSTÉMŮ HÚ V HOSTITELSKÉM PROSTŘEDÍ GRANITOVÝCH HORNIN V DOHODNUTÉ SKLADBĚ ÚVODNÍHO PROJEKTU A HLOUBCE PROJEKTOVÉ STUDIE, PRAHA: EGP INVEST, SPOL S R. O., 1999.
- IAEA (2011A): SAFETY STANDARDS, DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE, SPECIFIC SAFETY REQUIREMENTS, No. SSR- 5, IAEA, VIENNA 2011
- IAEA (2011B), DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE, SPECIFIC SAFETY GUIDES, No. SSR-14, MAAE, VIENNA, 2011
- POSPÍŠKOVÁ, I. A KOL., AKTUALIZACE REFERENČNÍHO PROJEKTU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ V HYPOTETICKÉ LOKALITĚ, PRAHA: ÚJV ŘEŽ A. S. - DIVIZE ENERGOPROJEKT, 2011.
- RATAJ J., FRÝBORT J., HERALTOVÁ L., FEJT F., REŠERŠNÍ SLOŽENÍ A GEOMETRIE ANALYZOVANÝCH PALIVOVÝCH SOUBORŮ. - MS SÚRAO, TZ 7/2015, PRAHA.
- SKB DESIGN AND PRODUCTION OF THE KBS-3 REPOSITORY. SKB TR 10-12. SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB, 2010

ŠPINKA P., BUTOVIČ A., BUREŠ P., GRÜNWARD L., POŘÍZEK J., SOURAL J., ZAHRADNÍK O., MARTINČÍK J., KOBYLKA D. (2020): STUDIE UMÍSTITELNOSTI – AKTUALIZACE BŘEZOVÝ POTOK. ČVUT-SATRA-MOTT MACDONALD CZ, MS SÚRAO, TZ 514/2020

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

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

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

ZAHRADNÍK O, PÖPPERLE J, MAKÁSEK P, HABARTA D, BUTOVIČ A, GRÜNWARD L, BUREŠ P, ŠPINKA O, MARTINČÍK J, KOBYLKA D (2020A): STUDIE UMÍSTITELNOSTI – AKTUALIZACE, NA SKALNÍM, ČVUT-SATRA-MOTT MACDONALD CZ, MS SÚRAO, TZ 519/2020

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

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

Zákony a směrnice:

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

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

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



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ

NAŠE
BEZPEČNÁ
BUDOUCNOST

www.surao.cz