



**SÚRAO**

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ  
RADIOAKTIVNÍCH  
ODPADŮ

# Priority střednědobého plánu výzkumu a vývoje SÚRAO na roky 2020 až 2030



# 1. Úvod

Výzkumné a vývojové aktivity Správy úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) zahrnují aktivity vývoje hlubinného úložiště (HÚ), výzkumné aktivity zaměřené na zvýšení bezpečnosti již provozovaných úložišť nízko a středněaktivních odpadů Dukovany, Richard u Litoměřic a Bratrství u Jáchymova a ukládání materiálů kontaminovaných přírodními radionuklidy, které vznikají jako vedlejší produkt při průmyslové činnosti.

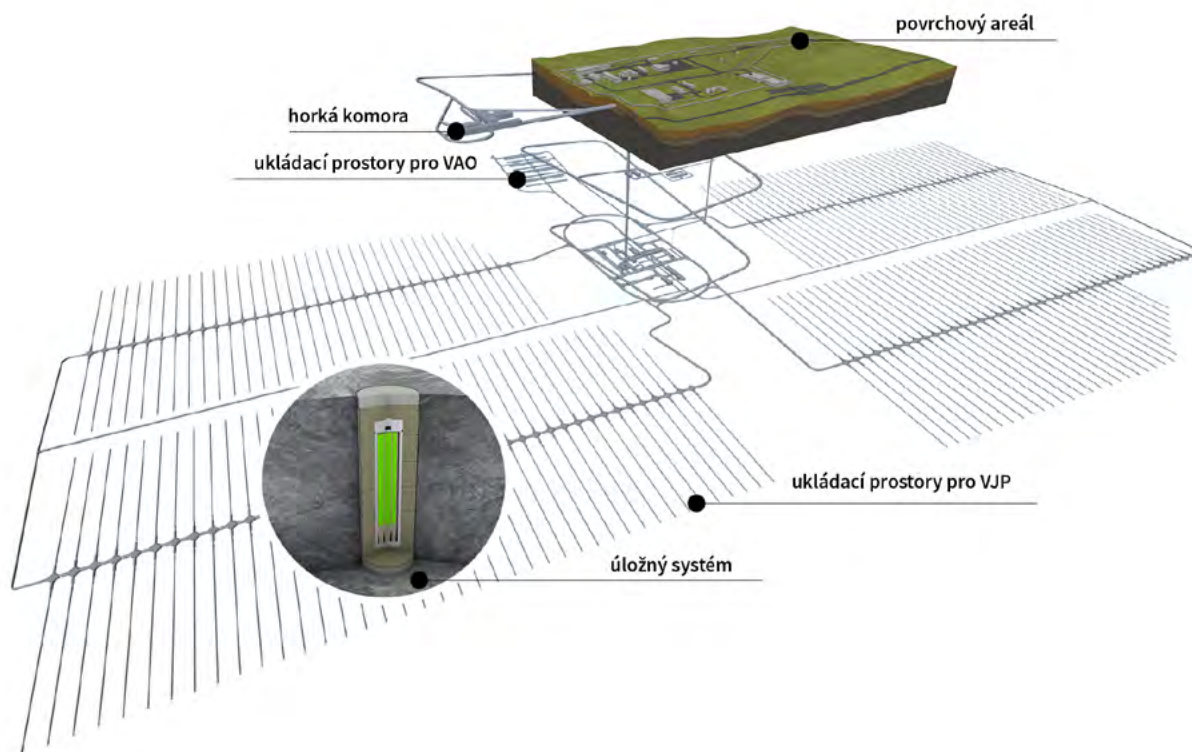
**Aktualizovaný plán VaV (Vokál et al. 2020) byl proto rozdělen na následující oblasti:**

- 1) VaV pro přípravu HÚ
- 2) VaV pro bezpečný provoz provozovaných úložišť
- 3) VaV pro ukládání materiálů kontaminovaných přírodními radionuklidy
- 4) Strategické studie

SÚRAO při přípravě plánu VaV vychází ze zahraničních poznatků zemí jako je Finsko nebo Švédsko, které při přípravě hlubinného úložiště jsou již těsně před jeho výstavbou a horninové prostředí, do kterého chtějí umístit HÚ, je podobné horninovému prostředí v ČR. Postupy, technologie a konkrétní technická řešení je nutné přizpůsobit lokálním podmínkám prostředí tak, aby bylo možno zaručit jejich bezpečnost.

Plán výzkumu a vývoje (VaV) přípravy úložišť radioaktivních odpadů se výrazně liší od obdobných plánů přípravy jiných jaderných zařízení z důvodu potřeby prokazovat bezpečnost v horizontu tisíců až statisíců let i po jejich uzavření. Rovněž doba přípravy úložišť přesahuje dobu obvyklou pro přípravu ostatních jaderných zařízení včetně jaderných elektráren. Na rozdíl od umísťování ostatních jaderných zařízení, které zpravidla vychází již z konkrétního projektu, při přípravě úložišť radioaktivních odpadů současně probíhá jak příprava projektu úložiště, který závisí na vlastnostech horninového prostředí, tak i proces umísťování. Dalším časovým aspektem je pak nalezení konsensu s širokou veřejností.

## 2. Výzkum a vývoj (VaV) pro přípravu hlubinného úložiště



↑ Obr. 1 Koncept hlubinného úložiště

Nově připravený plán VaV hlubinného úložiště byl ovlivněn jednak ukončením významných projektů SÚRAO, které byly zahájeny v letech 2014 až 2018 a přinesly mnoho poznatků, které vyvolaly potřebu úpravy další výzkumných úkolů a jednak tím, že stále není vyřešena možnost zahájení průzkumných prací na kandidátních lokalitách s využitím hlubinných vrtů. Na základě dopisu ministra průmyslu a obchodu starostům dotčených obcí z listopadu 2019 se v současné době předpokládá, že na kandidátních lokalitách se budou podávat žádosti o stanovení průzkumného území pro zvláštní zásah do zemské kůry, které umožní zahájení průzkumných prací, až po vstupu tzv. zákona o zapojení obcí v platnost, nebo po 1. lednu 2023, a to podle toho, co nastane dříve. Hlavním cílem plánu VaV do roku 2025 není proto připravit podklady pro výběr finální a záložní lokality pro umístění hlubinného úložiště v roce 2025 tak, jak bylo původně plánováno, ale připravit podklady pro výběr koncepčního projektového technického řešení hlubinného úložiště pro vybranou referenční lokalitu. Současně se však budou připravovat podklady pro výběr finální a záložní lokality do roku 2030.

Příprava hlubinného úložiště (Obr. 1) vychází především z potřeby prokázat bezpečnost úložiště, která je zajišťována společně stabilním horninovým prostředím a systémem inženýrských bariér po dobu statisíců let. Nejdůležitějším imperativem, zejména ze začátku přípravy hlubinného úložiště, je však porozumět vlastnostem, událostem a procesům, které mohou ohrozit bezpečnost úložiště.

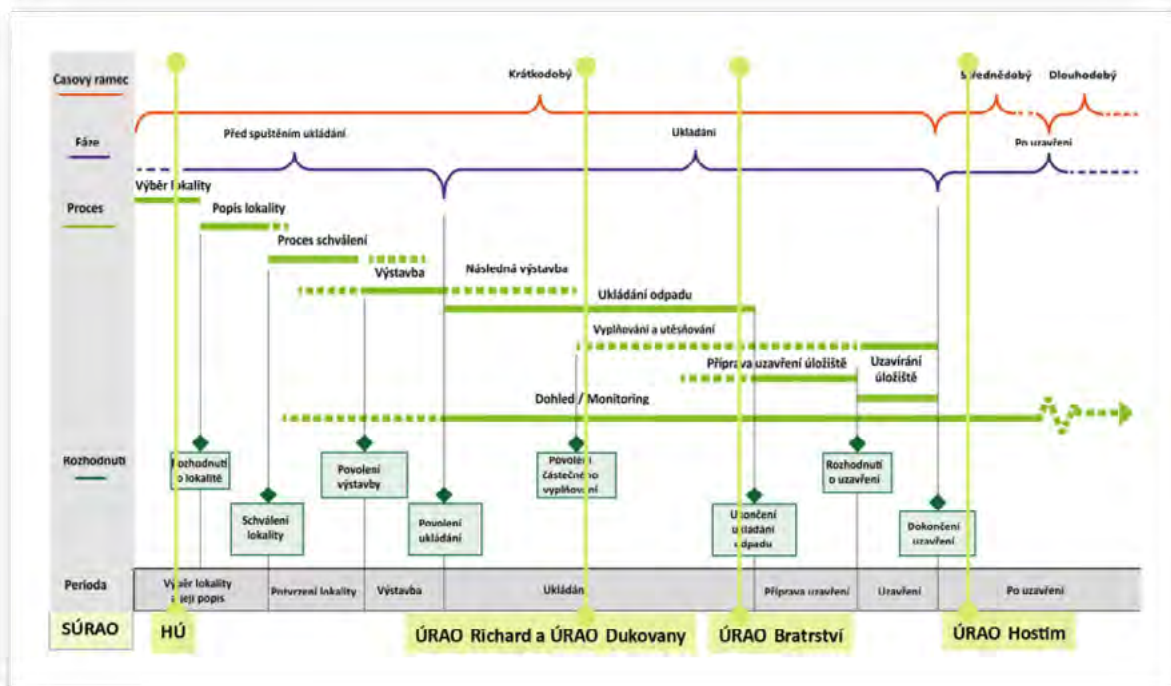
Plán VaV pro přípravu HÚ byl rozdělen do následujících oblastí:

- 1) Řízení výzkumu a vývoje
- 2) Aktualizace inventáře a vlastností odpadů
- 3) Výběr a charakterizace lokalit
- 4) Vývoj koncepčního technického řešení HÚ
- 5) Hodnocení bezpečnosti HÚ
- 6) Výzkumné experimenty v PVP Bukov
- 7) Hodnocení vlivu úložiště na životní prostředí

## 2.1 Řízení výzkumu a vývoje

Příprava úložišť radioaktivních odpadů zahrnuje různé fáze (Obr. 2), které trvají několik desítek let. Jenom první fáze přípravy HÚ, výběr lokality a její popis, byla zahájena v ČR již kolem roku 1989 a její ukončení se předpokládá nejdříve v roce 2030. Výstavba HÚ by měla být zahájena zhruba v roce 2050 a vlastní provoz, který bude trvat více než 100 let, v roce 2065.

Takto dlouhý proces přípravy a provozu hlubinného úložiště vyžaduje zavedení projektového systémového přístupu řízení procesů, požadavků a získávaných dat. Zcela prioritní je rovněž uchování nejenom informací a dat, ale i získaných znalostí.



↑ Obr.2 Referenční časový rámec s vyznačením hlavních milníků při budování hlubinného úložiště (ICRP, 2013 upraveno) s vyznačením jednotlivých úložišť

Většinu procesů přípravy hlubinného úložiště je možno považovat za procesy výzkumu a vývoje. Tyto procesy se neustále opakují až do prokázání bezpečnosti vybrané lokality a navrženého projektu hlubinného úložiště a získání všech povolení pro jeho uzavření. SÚRAO chce při aktualizaci systému řízení více než doposud využít základní principy projektového řízení. Velmi

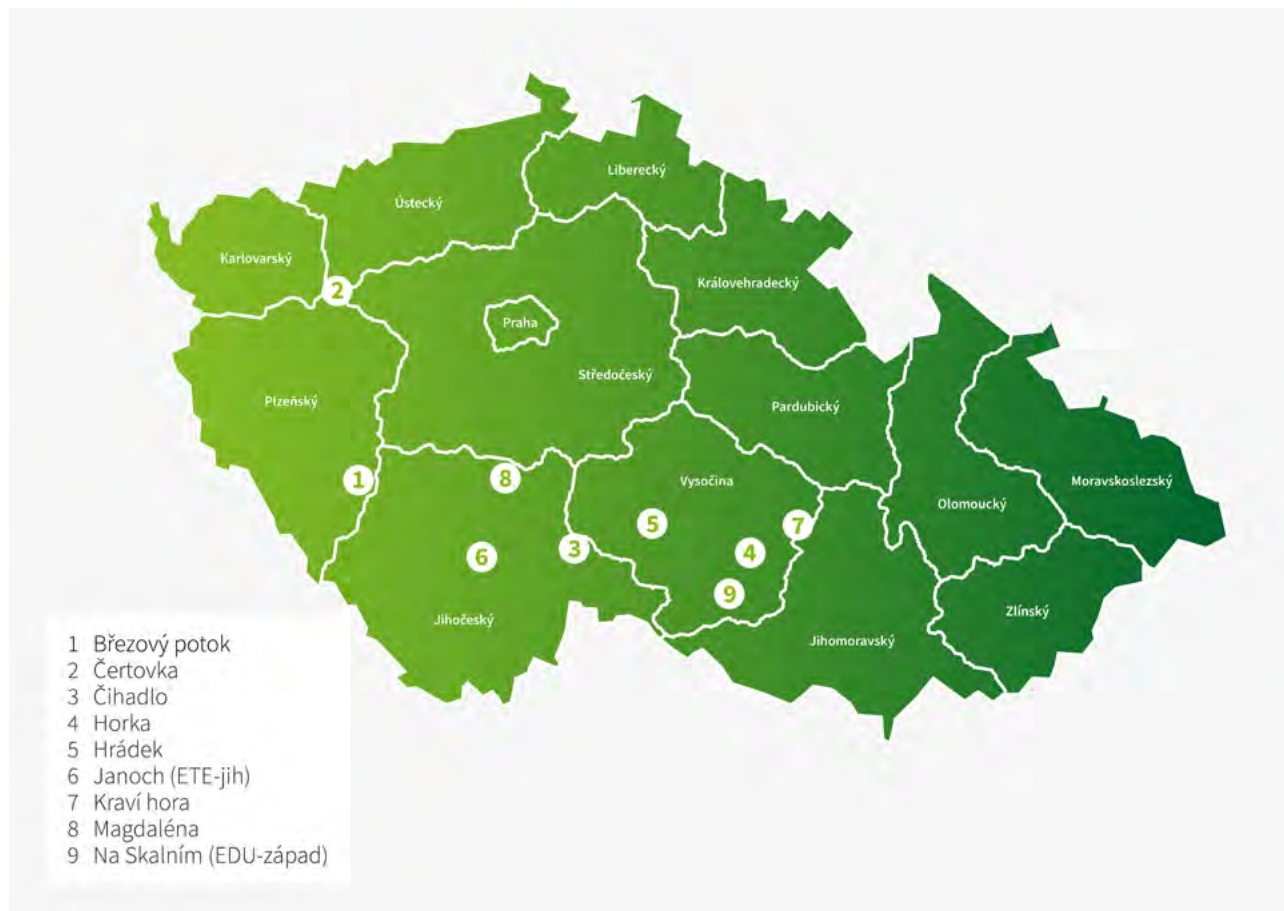
důležitou součástí řízení bude především analýza všech legislativních, bezpečnostních a projektových požadavků a požadavků všech dalších dotčených stran a shrnutí projektových východisek pro projekt hlubinného úložiště v souladu s vyhláškou č. 329/2017 Sb. o požadavcích na projekt jaderného zařízení.

## 2.2 Aktualizace inventáře a vlastností odpadů

Inventář radionuklidů a vlastností odpadů, které je třeba uložit do HÚ, je třeba kontinuálně aktualizovat, a to zejména s ohledem na uvažovanou výstavbu nových jaderných zdrojů v ČR a možnosti zavedení nových technologií, jako je pokročilé přepracování vyhořelého paliva, vedoucích ke sníženému objemu odpadů

potřebných k uložení do hlubinného úložiště. Určitou nejistotou, týkající se inventáře a vlastností odpadů, které bude třeba uložit do HÚ, jsou odpady z vyřazování jaderných elektráren z provozu.

## 2.3 Výběr a charakterizace lokalit



↑ Obr. 3 Potenciální lokality HÚ hodnocené v roce 2020

### Charakterizace kandidátních lokalit je nyní rozdělena do tří fází:

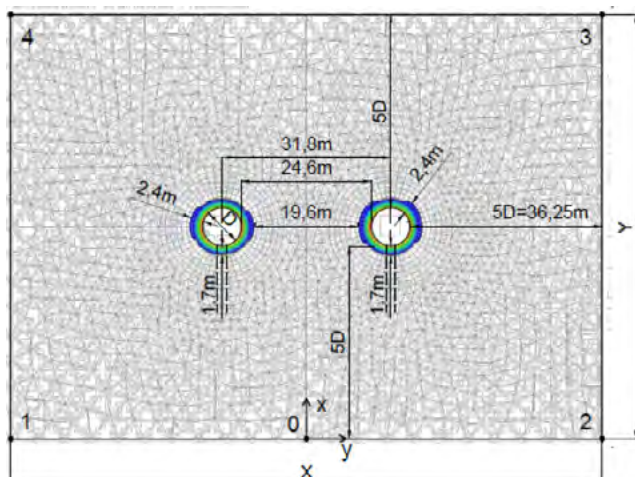
1. Aktualizace syntetických popisných modelů referenčních lokalit v hloubkách úložiště a získání dalších geovědních informací bez využití geologického průzkumu s hlubinnými vrty pro výběr optimálního technického řešení pro podmínky krystalinických hornin ČR a hodnocení bezpečnosti navržených technických řešení (2020-2023).
2. Aktualizace syntetických popisných modelů a dalších geovědních informací o referenčních lokalitách na základě průzkumných a výzkumných prací s využitím geologického průzkumu s hlubinnými vrty pro výběr finální a záložní lokality (2023-2030).
3. Podrobná charakterizace dvou vybraných lokalit (od 2030 dále).

Uvedená období pro jednotlivé fáze jsou pouze přibližná, protože výrazně závisí na získání všech povolení pro realizaci potřebných průzkumných prací na lokalitách a dohodě se všemi dotčenými stranami.

Aktualizace modelů a dalších geovědních informací do získání povolení geologických průzkumných prací se bude opírat především o další analýzy archivních informací, výzkumné práce prováděné v podzemních pracovištích, zejména PVP Bukov, a poznatků z analogických lokalit v tuzemsku i zahraničí.

Kromě aktualizace popisných geologických, hydrogeologických, geomechanických či geochemických modelů lokalit bude výzkum zaměřen na vytvoření prediktivních modelů geodynamického a klimatického vývoje lokalit na období zhruba do jednoho miliónu let a zahájení systematického monitorování lokalit. Výsledky budou sloužit zejména pro přípravu možných scénářů vývoje hlubinného úložiště.

## 2.4 Vývoj koncepčního projektového řešení HÚ



← Obr. 4 Stabilitní výpočty pro podzemní část hlubinného úložiště

Příprava projektu HÚ se odlišuje od projektu ostatních jaderných zařízení nejenom tím, že vlastní příprava výstavby probíhá po dobu desítek let, ale zejména tím, že horninové prostředí je důležitou bariérou vlastního technického řešení a výběr inženýrských bariér či uspořádání úložiště jsou výrazně závislé na vlastnostech horninového prostředí.

Hlubinné úložiště je specifickým typem jaderného zařízení, které se skládá ze dvou provozních částí s rozdílnými činnostmi při nakládání s radioaktivními látkami a rozdílnými nároky na životnost objektů a zařízení. První provozní částí jsou objekty, zařízení a technologie nezbytné k zajištění provozu hlubinného úložiště, tj. objekty sloužící k příjmu, přeložení VJP do UOS a zavážení VJP a RAO, které mohou být umístěny jak na povrchu, tak v přípovrchových objektech. Povrchové či přípovrchové provozy úložiště představuje především horká komora pro překládání vyhořelého jaderného paliva z transportních a skladovacích obalových souborů do ukládacích obalových souborů a řada pomocných provozů a zařízení pro přípravu komponent úložiště. Druhá provozní část HÚ, ukládací prostory, je umístěna v podzemí. Hlubinné úložiště musí být navrženo tak, aby bylo možné bezpečně uložit všechny radioaktivní odpady, existující, i dle strategických záměrů ČR plánované a nepřijatelné do přípovrchových úložišť.

První referenční projekt v ČR byl připraven již v roce 1999 (Holub et al, 1999). Úložný koncept vycházel ze švédského ukládacího konceptu KBS-3 (SKBF/KBS, 1983), založeného na termodynamické stabilitě ukládacího obalového souboru (UOS) s měděným přebalem. UOS je v úložném vrtu obklopen ztuhnutým bentonitem, který jednak brání migraci korozivních látek (sulfidů, chloridů) k povrchu UOS a jednak brání proliferaci sulfát redukujících bakterií

vyvolávajících mikrobiální korozi vysokým bobtnacím tlakem. Z důvodu zejména menšího obsahu chloridů v podzemních vodách krystalinických hornin v ČR, než mají podzemní vody ve Švédsku či Finsku a zároveň i z ekonomických důvodů, byl v českém konceptu měděný UOS nahrazen dvouvrstvý UOS s vnitřním pouzdrém z korozivzdorné oceli a vnějším přebalem z uhlíkové oceli. Sodný bentonit typu Wyoming navržený ve švédském konceptu byl zejména z ekonomických důvodů nahrazen vápenatohořecnatým bentonitem z českých nalezišť. Jinak navržený úložný koncept odpovídal i rozměrově švédskému konceptu KBS-3V, tj. UOS jsou vloženy do vertikálních vrtů v hloubce 500 m pod povrchem země a obklopeny ztuhnutým bentonitem o tloušťce 350 mm. V roce 2011 byl připraven další referenční koncept, který vycházel ze švédského konceptu KBS-3H, kde UOS jsou ukládány horizontálně ve vrtech. Jedinou odlišností od švédského konceptu bylo opět použití dvouvrstvého UOS s vnitřním pouzdrém z korozivzdorné oceli a vnějším přebalem z uhlíkové oceli a českého typu bentonitu.

V rámci projektu zaměřeného na výzkum UOS bylo navrženo více než 12 možných variant UOS pro vyhořelé jaderné palivo, z nichž jako referenční varianta zůstává varianta dvouvrstvého UOS s vnitřním pouzdrém či pouzdry z korozivzdorné oceli a vnějším obalem z uhlíkové oceli. Hlavním cílem pro příští období bude prokázat, že tato varianta zabezpečí, že po dobu nejméně několik set tisíc let se za normálních podmínek vývoje úložiště nepoškodí prakticky žádný UOS s VJP.

V předchozích projektech SÚRAO byla velká pozornost věnována výplňovým materiálům na bázi tuzemského bentonitu či montmorillonitických jílů. Doposud však nebylo zcela prokázáno, že tuzemské suroviny splní všechny požadavky na komponenty vhodné pro použití v hlubinném úložišti. V příštím období se SÚRAO chce

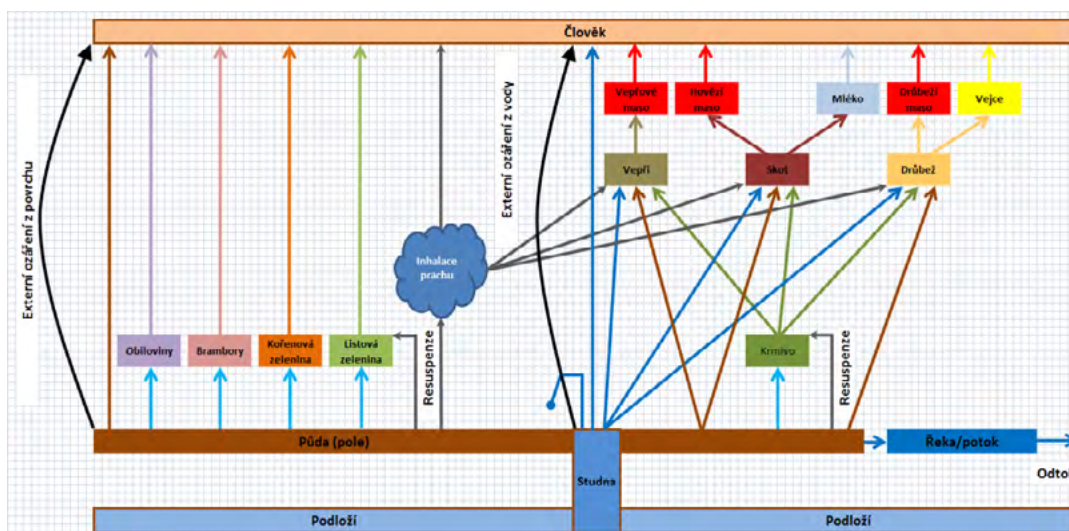
zaměřit na systematický výzkum a vývoj technického řešení hlubinného tak, že na konci roku 2025 bude připraven a zdůvodněn referenční a alternativní návrh koncepčního technického řešení HÚ vhodný pro podmínky krystalinického horninového prostředí ČR.

V první řadě budou na základě české legislativy formulována projektová východiska a projektové požadavky pro celé úložiště podle požadavků vyhlášky č. 329/2016 Sb., které budou dekomponovány až do úrovně jednotlivých komponent úložiště. Na základě těchto požadavků bude navrženo vhodné technické řešení pro referenční lokalitu, včetně výzkumu

souvisejících technologií. Výsledkem řešení bude upřesnění cenové kalkulace úložiště a zhodnocení proveditelnosti, provozní bezpečnosti a spolehlivosti navrhovaných technických řešení.

Navržené referenční technické řešení úložiště bude představovat základní vstup pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště. Neznamena to však, že toto řešení musí být konečné pro hlubinné úložiště, ale bude představovat základ pro optimalizaci uspořádání úložiště a inženýrských komponent v souladu se získáváním nových poznatků a zkušeností.

## 2.5 Hodnocení bezpečnosti HÚ



↑ Obr. 5 Příklad hodnocení migrace radionuklidů z úložiště do biosféry

Hlubinné úložiště musí v rámci zajišťování jaderné bezpečnosti a radiální ochrany vycházet z principu ochrany do hloubky, které je zajišťováno vytvořením řady zálohujících se fyzických bezpečnostních bariér, které jsou vloženy mezi radioaktivní látky a okolí hlubinného úložiště.

Hlavní bezpečnostní funkce všech jaderných zařízení, včetně hlubinné úložiště, jsou podle atomového zákona (zákon č. 263/2016 Sb. § 45) následující:

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

Úložný koncept musí jednoznačně prokázat splnění všech těchto bezpečnostních funkcí jak v době provozu,

tak i po uzavření úložiště s uvažováním všech vlastností, událostí a procesů, které mohou nastat v úložišti po dobu statisíců let (vyhláška č. 377/2016 Sb.).

Hodnocení provozní bezpečnosti či přepravy VJP v hlubinném úložišti se bude lišit jenom velmi málo od hodnocení probíhajících v jaderných elektrárnách či ostatních jaderných zařízeních. Jedinou významnou výjimkou je to, že je třeba při hodnocení zohlednit specifika práce v podzemních dílech. Jde o velmi důležitý faktor, který je nutno prioritně zvažovat při vývoji všech technologií technického řešení úložiště. Co však odlišuje výzkum a vývoj HÚ od obdobných velkých projektů je to, že je třeba vycházet z řešení požadavků na dlouhodobou bezpečnost v horizontu statisíců let po skončení provozu úložiště.

Hodnocení dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště vychází ze shrnutí všech vědeckých a technických argumentů a důkazů zdůvodňujících

jeho bezpečnost. Základními vstupy pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti je jak popis geologických, hydraulických, geochemických či geomechanických vlastností lokalit, tak vlastnosti inženýrských bariér či navržené projektové uspořádání úložiště.

Základní součástí hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště jsou bezpečnostní rozbor, jejímž cílem je spočítat efektivní dávku, kterou může obdržet reprezentativní osoba v budoucnosti z hlubinného úložiště za určitých postulovaných podmínek (scénářů), které zohlední všechny, i méně pravděpodobné, události a procesy, které se mohou vyskytnout po uzavření úložiště.

#### **Hlavní cíle pro následující období zhruba do roku 2030 v oblasti hodnocení dlouhodobé bezpečnosti jsou:**

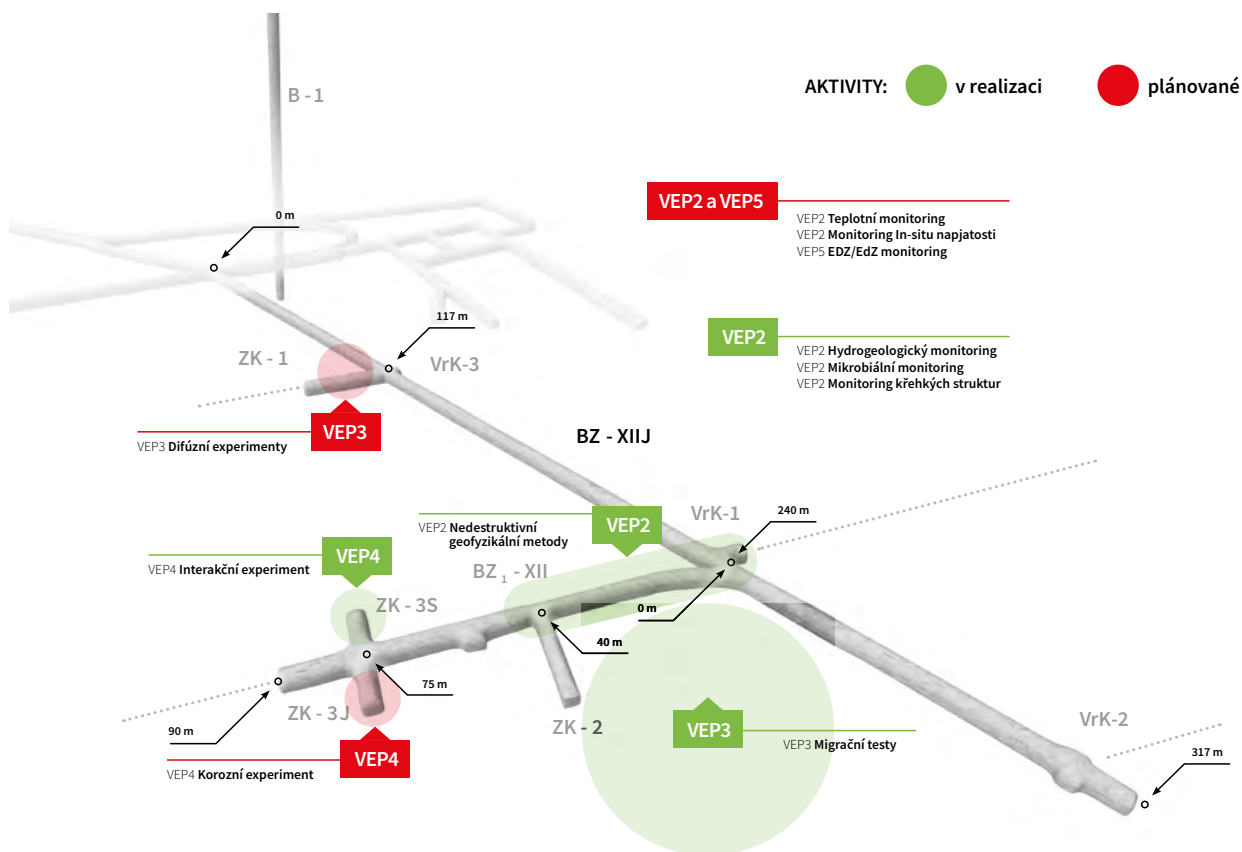
1. Připravit bezpečnostní hodnocení pro výběr optimálního úložného systému pro podmínky ČR na základě archivních informací o vybrané referenční lokalitě a informací z výzkumných prací prováděných v tuzemsku i v zahraničí (do roku 2025).
2. Následně po provedených průzkumných pracích s využitím hlubinných vrtů připravit bezpečnostní hodnocení čtyř vybraných lokalit pro výběr finální a záložní lokality (do roku 2030).

#### **Dílními cíli plánu VaV do roku 2025 jsou:**

1. Aktualizace vlastností, událostí a procesů, které mohou ovlivnit bezpečnost úložiště, odvození scénářů normálního a alternativního vývoje úložiště pro různé varianty úložného systému na základě analýzy bezpečnostních funkcí úložiště a jeho komponent.
2. Bezpečnostní hodnocení funkčnosti a spolehlivosti navržených bariér úložiště na základě srovnání modelových a experimentálních výsledků.
3. Upřesnění migračních parametrů radionuklidů v navržených inženýrských bariérách a horninovém prostředí úložiště pro různé scénáře vývoje úložiště.
4. Vyvinuté a verifikované koncepční, matematické a výpočetní modely pro bezpečnostní rozbor úložiště.
5. Bezpečnostní hodnocení navržených technických řešení ve formě bezpečnostní studie pro úložný systém (safety case I) pro vybranou lokalitu včetně citlivostní rozborů a rozborů.



## 2.6 Výzkumné experimenty v PVP Bukov



↑ Obr. 6 Výzkumné aktivity v PVP Bukov

### Cílem experimentů v tzv. generických podzemních laboratořích, jako je PVP Bukov, je především:

- 1) získat dostatek zkušeností a poznatků pro porozumění procesům probíhajících v úložišti,
- 2) získat data potvrzující výsledky laboratorních experimentů a prediktivního modelování pro bezpečnostní rozbor,
- 3) demonstrovat proveditelnost technologií.

Podnětem k vybudování generické, hlubinné podzemní laboratoře PVP Bukov byla zejména možnost využití stávající důlní infrastruktury uranového dolu Rožná I pro vybudování laboratoře v reálném prostředí za menších nákladů než při budování obdobné laboratoře na „zelené louce“. Laboratoř (Obr. 6) byla vystavěna poblíž jámy B-1 na 12. patře dolu v hloubce okolo 550 m. Předpokládá se, že PVP Bukov bude využíván zhruba do roku 2035 a na tento projekt navážou práce v konfirmační podzemní laboratoři na finální lokalitě.

### Činnosti v PVP Bukov byly rozděleny do celkem sedmi oblastí:

1. Vývoj a výzkum materiálů inženýrských bariér. Výzkum korozních vlastností materiálů pro UOS. Výzkum interakcí mezi materiály inženýrských bariér (bentonit, beton) a horninou. Verifikace a validace THMC modelů.
2. Vývoj metodik popisu horninového prostředí. Sběr popisných geologických dat, jejich uložení do databází a interpretace ve formě 3D modelů.
3. Testování a vývoj metod dlouhodobého monitoringu procesů probíhajících v horninovém masivu (hydrogeologie, pohyby křehkých struktur, mikrobiologické osídlení, teplota masivu, seismicita). Vývoj nedeštruktivních geofyzikálních metod.
4. Výzkum proudění podzemních vod a transportu radionuklidů v horninovém prostředí. In-situ testy ve vrtech. Vývoj a testování modelovacích nástrojů.
5. Vývoj a testování metod pro charakterizaci porušené (EDZ) a ovlivněné (EdZ) oblasti hornin v okolí podzemních prostor.

6. Vývoj nových konstrukčních postupů výstavby podzemních děl (vrtné a razicí práce, injektáže, zajištění výrubu při prostupu přes poruchové zóny).
7. Komplexní experimenty testující chování prvků ukládacího systému v reálném měřítku a podmínkách v HÚ. Testování technologií pro manipulaci, konstrukce experimentálních modelů a monitoring procesů.

**Do roku 2023–2025 budou hlavní cíle výzkumných prací v PVP Bukov zaměřeny zejména na:**

1. Stanovení přenositelnosti poznatků získaných z povrchových částí horninového prostředí PVP Bukov do hlubinných částí pro predikci vlastností lokalit v hloubce úložiště.

2. Zhodnocení vývoje mikrobiální aktivity (původní i zanesené) na základě monitoringu.
3. Ověření šíření teploty v úložišti od zdrojů simulujícího vyhořelé palivo.
4. Ověření predikce transportu mobilních radionuklidů v izolační části úložiště.
5. Ověření vlastnosti materiálů UOS v reálných podmínkách horninového prostředí.
6. Ověření predikce THMC procesů v reálných podmínkách úložiště.
7. Ověření vlivu ražebních postupů na rozsah poškození horniny a izolační schopnosti horniny.

## 2.7 Hodnocení vlivu úložiště na životní prostředí

Podle doporučení IAEA (Mezinárodní agentury pro atomovou energii) umístění hlubinného úložiště má být navrženo tak, že kvalita životního prostředí bude dostatečně chráněna a potenciální negativní dopady bude možné zmírnit na přijatelnou úroveň, s ohledem na technické, ekonomické, sociální a environmentální faktory. Toto musí být prokázáno vyhodnocením dopadů umístění HÚ v dané lokalitě na jednotlivé složky ŽP, veřejné zdraví, přírodní zdroje, kulturní památky a hmotný majetek.

Dlouhodobým cílem je prostřednictvím kompletní studie vlivů HÚ na životní prostředí (proces EIA) prokázat a doložit, že HÚ v celém svém životním cyklu nepovede k významnému zhoršení stavu jednotlivých složek ŽP a nebude mít negativní dopad na zdraví obyvatelstva.

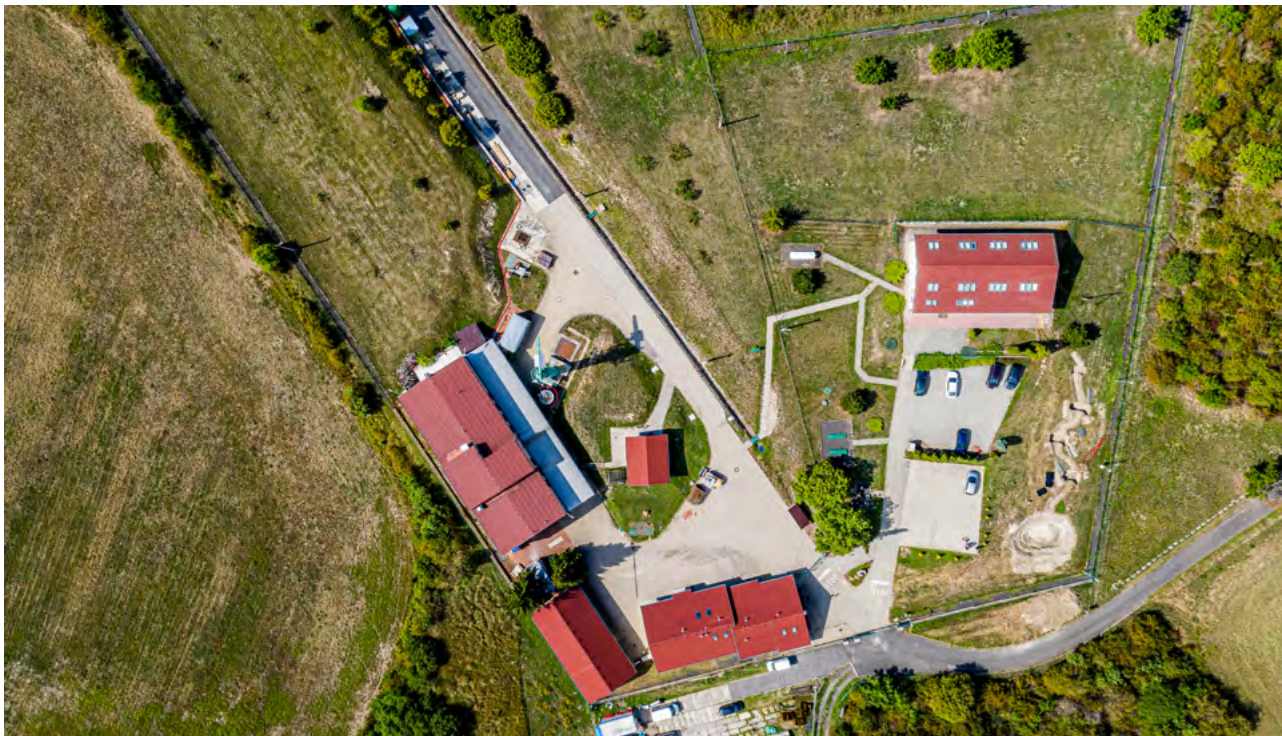
**Práce hodnocení vlivu úložiště na životní prostředí se budou v příštím období soustřeďovat na:**

1. Zpřesnění a shrnutí informací v souvislosti

s postupujícími výzkumnými a průzkumnými pracemi v dalších etapách výběru (biologické hodnocení, rozptylová studie, hluková studie, hodnocení dopravní zátěže apod).

2. Vypracování studie zpracované v souladu s metodikou EIA prokazující, že umístění hlubinného úložiště ve vybrané lokalitě má v průměru méně negativních vlivů na životní prostředí a veřejné zdraví než ostatní kandidátní lokality.
3. Projednání studie s dotčenými obcemi a dalšími zainteresovanými stranami formou veřejných slyšení.

## 4. Výzkum a vývoj (VaV) pro bezpečný provoz provozovaných úložišť RAO



↑ Obr. 7 ÚRAO Richard

### SÚRAO v současné době provozuje tři úložiště radioaktivních odpadů:

1. Přípovrchové úložiště Dukovany se nachází v jihovýchodní části areálu JE Dukovany (EDU) a bylo uvedeno do trvalého provozu v roce 1995 a slouží zejména pro ukládání RAO z jaderných elektráren EDU a jaderné elektrárny Temelín (ETE). S uvažovanou výstavbou nových jaderných zdrojů bude třeba zahájit práce na možném rozšíření ÚRAO Dukovany tak, aby tam bylo možno umístit i odpady z nových jaderných zdrojů.
2. Podzemní úložiště Richard je umístěno v důlním díle Richard, na severozápadním okraji města Litoměřice a bylo uvedeno do trvalého provozu v roce 1964. Jedná se o úložiště institucionálních nízkých a středněaktivních odpadů, tzn. radioaktivních odpadů, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu. V současné době probíhá jeho rekonstrukce s cílem navýšit jeho kapacitu.
3. Podzemní úložiště Bratrství, určené pro ukládání odpadů kontaminovaných přírodními radionuklidy, nacházející se v úvodní části štolového patra bývalého uranového dolu Bratrství situovaného poblíž města Jáchymov, bylo uvedeno do trvalého provozu v roce 1974. Jeho kapacita je již téměř vyčerpána a připravují se plány na jeho uzavření.

Výzkum a vývoj provozovaných úložišť je především svázán s aktualizací bezpečnostních rozborů zohledňujících jak stav úložiště, tak i stav poznání v ČR a ve světě. Speciální pozornost bude rovněž věnována funkční způsobilosti jednotlivých prvků monitorovacích sítí. Všechny prvky monitorovacích sítí (hydrogeologické, seismické, klimatické) budou napojeny na online monitorovací systém a data budou přenášena v reálném čase do databází SÚRAO.

### Aktualizace bezpečnostních rozborů všech tří úložišť bude vycházet ze zhodnocení stavu a předpokládaných aktivit na konkrétních úložištích. Obecně pro všechna úložiště:

1. Bude prověřen stav jednotlivých úložišť na základě monitoringu horninového prostředí a stavu inženýrských komponent a případné aktualizace monitoringu horninového prostředí i inženýrských bariér,
2. Budou aktualizovány bezpečnostní zprávy z hlediska zahrnutí prověření stavu úložiště, uvažovaných změn v úložišti a nových poznatků ve světě od posledních aktualizací bezpečnostních zpráv.

### **Pro bezpečnostní rozbor úložiště v Dukovanech je třeba do aktualizace bezpečnostních zpráv zahrnout:**

1. Možné rozšíření úložiště vybudováním třetího dvouřadu tak, aby zde byla vytvořena kapacita i pro odpady z nových jaderných zdrojů.
2. Dopracování uzavření ÚRAO Dukovany ve formě úvodního projektu.

Pro bezpečnostní rozbor úložiště Richard je nutné počítat s jeho rozšířením a případně i s novými typy skladovacích a ukládacích OS. V rámci aktualizace bezpečnostních rozborů bude proveden výpočet vlivu rozšíření ÚRAO Richard na bezpečnost, se zahrnutím poznatků získaných v předchozích letech v tuzemských i zahraničních projektech.

## **5. Ukládání odpadů typu NORM/TENORM**

NORM/TENORM odpady jsou odpadní materiály s obsahem přírodních radionuklidů, které vznikají při činnostech nesouvisejících se záměrným mírovým využíváním jaderné energie a ionizujícího záření (přírodní radionuklid není využíván pro své radioaktivní, štěpné nebo množivé charakteristiky včetně činnosti související se získáváním radioaktivního nerostu – odpad není původem z radiačních činností definovaných v § 2 odst. 2 písm. f) bod 2 zákona č. 263/2016 Sb.). Původcem jsou zpravidla provozovatelé pracovišť s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, zdrojem odpadů charakteru NORM/TENORM může být ale teoreticky i nezajištěná „stará ekologická zátěž“.

Potřeba odstraňovat významná množství odpadů charakteru NORM/TENORM jako RAO v podmínkách ČR by mohla mít významné dopady na kapacitní, případně jiné technické možnosti provozovaných ÚRAO, a může proto v budoucnu ohrozit bezproblémové plnění povinností SÚRAO vyplývajících ze zákona č. 263/2016 Sb., případně dalších právních předpisů a dokumentů (např. Koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR).

V současné době v ÚRAO Bratrství je již téměř naplněna celá jeho kapacita. Všechny výzkumné činnosti budou proto souviset s přípravou jeho uzavření a přípravou závěrečné bezpečnostní zprávy.

### **Pro všechny úložiště bude třeba počítat s:**

1. aktualizací databáze vlastností, událostí a procesů ovlivňujících bezpečnost a odvozením souvisejících scénářů vývoje úložiště a expozice člověka a životního prostředí,
2. výzkumnými pracemi souvisejícími s aktualizací dat a ověřením předpokladů pro bezpečnostní rozbor, případně aktualizací výpočetních kódů pro bezpečnostní rozbor.

### **SÚRAO plánuje následující aktivity**

1. Provedení analýzy a predikce vzniku odpadů charakteru NORM/TENORM (Naturally Occurring Radioactive Materials/Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) a zpracování přehledu dostupných způsobů jejich odstraňování v podmínkách České republiky (ČR).
2. Vyhodnocení případných rizik vzniku významných objemů odpadů tohoto charakteru, které by bylo nutno v budoucnu odstraňovat jako radioaktivní odpad (RAO) uložením v úložištích radioaktivních odpadů (ÚRAO).
3. Vyhodnocení možností ukládat perspektivně tyto odpady na specializovaných skládkách určených k ukládání velmi nízké aktivních odpadů.

## 6. Strategické studie

Důležitým úkolem SÚRAO je kontinuálně sledovat stav úrovně vědy a techniky ve světě a zajistit uplatnění nových poznatků v praxi tak, aby byly vždy používány ty nejlepší možné technologie. SÚRAO tento úkol plní účastí v řadě mezinárodních projektů a iniciací strategických studií vedoucích ke zvýšení jaderné bezpečnosti a radiační ochrany a efektivnosti ukládání radioaktivního odpadu. Jde například o následující typy strategických studií:

1. Analýza možnosti dlouhodobého skladování VJP a jeho dopadu na HÚ.
2. Analýza možnosti přepracování VJP a jeho dopadu na HÚ.
3. Nakládání s radioaktivním odpadem z navrhovaných nových typů jaderných reaktorů.
4. Aktualizace nakládání s odpady z vyřazování jaderných elektráren.
5. Studie možností snížení objemu nízké a středněaktivních odpadů vznikajících v ČR vhodnými solidifikačními technologiemi.

## 6. Závěr

Předložený plán výzkumu a vývoje SÚRAO zohledňuje aktualizaci Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v České republice schválenou usnesením vlády č. 597 ze dne 26. srpna 2019 (dále jen „Koncepce“) a požadavky nového atomového zákona č. 263/2016 Sb. a jeho prováděcích předpisů. Tento plán je určen především pro období do výběru finální lokality hlubinného úložiště, tj. zhruba do roku 2025 až 2030. Podrobněji je zpracován střednědobý plán na příštích 5 let. Hlavním cílem prací pro příštích 5 let je kromě pokračování geologického výzkumu a průzkumu potenciálních lokalit HÚ, příprava dokumentu shrnujícího skutečnosti podmiňující

projektování HÚ, požadavky na vybraná zařízení a jejich bezpečnostní funkce a projektová východiska na projekt hlubinného úložiště a projektové požadavky, na jehož základě bude vybráno optimální technické řešení hlubinného úložiště nejvhodnější pro podmínky krystalinických hornin v ČR. Na rozdíl od předchozích plánů výzkumu a vývoje, tento plán zahrnuje i výzkumné činnosti potřebné pro zvyšování jaderné bezpečnosti a radiační ochrany provozu stávajících úložišť ÚRAO Dukovany a ÚRAO Richard a ÚRAO Bratrství. Níže jsou uvedeny klíčové výstupy vyplývající z priorit plánu výzkumu a vývoje.

↓ Tabulka 1: Předpokládané výstupy VaV přípravy HÚ do roku 2030

Ev. č.	Název výstupu	Termín
1	Aktualizace systému řízení požadavků, procesů, dat, informací a znalostí	12/2023
2	Aktualizace inventáře a vlastností odpadů	12/2023
3	Charakterizace lokalit pro umístění hlubinného úložiště (popisné modely) pro přípravu referenčního technického řešení HÚ a ohodnocení jeho bezpečnosti na základě aktualizace archivních dat, zahraničních dat a dat z experimentů v podzemní laboratoři	06/2024
4	Návrh možného uspořádání hlubinné části HÚ pro referenční lokalitu na základě postupně upřesňovaného popisu lokality	06/2024
5	Návrhy vhodných výplňových materiálů ukládacích vrtů a ukládacích tunelů včetně jejich parametrů a možných technologií jejich výroby a umístování	06/2024
6	Návrhy vhodných výplňových materiálů HÚ VAO a SAO včetně jejich parametrů a možných technologií jejich výroby a umístování	06/2024
7	Návrhy ostatních inženýrských komponent HÚ včetně odhadu jejich parametrů a možných technologií jejich výroby a umístování	06/2024
8	Koncepční návrhy manipulací v podzemní části HÚ, vyhodnocení jejich proveditelnosti a provozní bezpečnosti	06/2024
9	Posouzení vhodnosti navrženého technického řešení UOS pro VJP	06/2024
10	Návrhy vhodných UOS pro VJP z reaktoru LVR 15 a ostatní VAO a SAO	06/2024
11	Shrnutí výsledků experimentů z PVP Bukov	06/2024
12	Aktualizace ceny navržených technických řešení HÚ	09/2024
13	Celkové zhodnocení navržených technických řešení na základě vyhodnocení proveditelnosti, provozní bezpečnosti a ceny	06/2025
14	Bezpečnostní ohodnocení navržených technických řešení podzemní části HÚ (Safety case I)	12/2025
15	Aktualizace plánu VaV do roku 2030	06/2026
16	Charakterizace vybraných lokalit metodami geologického průzkumu s využitím hlubokých vrtů a dat z podzemní laboratoře	06/2029
17	Výsledky pokračujících experimentů VaV	06/2029
18	Technické řešení povrchových částí HÚ na vybraných lokalitách a výsledky aktualizací projektů podzemní části HÚ	06/2029
19	Ohodnocení vlivu úložiště na životní prostředí ve vybraných lokalitách	12/2029
20	Bezpečnostní dokumentace pro výběr a zdůvodnění vybraných lokalit na základě multikriteriální analýzy pro vyjádření SÚJB a zahraniční review (Safety case II)	12/2029
21	Dokumentace a zdůvodnění finální a záložní lokality, projednání se všemi dotčeným stranami a předložení návrhu finální a záložní lokality vládě k rozhodnutí	06/2030

↓ Tabulka 2: Plánované výzkumné činnosti pro provozované úložiště

Oblast	Výstupy	Termín
ÚRAO Dukovany	Prověření stavu ÚRAO Dukovany na základě monitoringu horninového prostředí a stavu inženýrských komponent	12/2025
	Aktualizace vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost ÚRAO Dukovany	12/2023
	Výzkumné práce pro aktualizaci dat a výpočetních kódů pro bezpečnostní rozbor	12/2025
	Aktualizace bezpečnostního rozboru ÚRAO Dukovany zohledňující stav úložiště a uvažované změny úložiště	12/2026
ÚRAO Richard	Prověření stavu ÚRAO Richard na základě monitoringu horninového prostředí a stavu inženýrských komponent	06/2024
	Aktualizace vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost ÚRAO Richard	12/2021
	Výzkumné práce pro aktualizaci dat a výpočetních kódů pro bezpečnostní rozbor	06/2024
	Aktualizace bezpečnostního rozboru ÚRAO Richard zohledňující stav úložiště a uvažované změny, zejména rekonstrukci úložiště	12/2024
ÚRAO Bratrství	Prověření stavu ÚRAO Bratrství na základě monitoringu horninového prostředí a stavu inženýrských komponent a podrobný projekt uzavření ÚRAO Bratrství	12/2024
	Aktualizace vlastností, procesů a událostí ovlivňujících bezpečnost ÚRAO Bratrství	12/2022
	Výzkumné práce pro aktualizaci dat a výpočetních kódů pro bezpečnostní rozbor	12/2024
	Příprava bezpečnostního rozboru pro uzavření ÚRAO Bratrství zohledňující stav před uzavřením	12/2025

## Použitá literatura

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.

ICRP PUBLICATION 122: Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste, 2013

IAEA dokument , Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, , Appendix I" Siting of geological disposal facilities, Vienna 2011

SKBF/KBS document (1983), Final Storage of Spent Nuclear Fuel – KBS-3

Vokál A., Vondrovič L., Hausmannová L., Dohnálková M., Hanusová I., Augusta J., Konopáčková K., Urík J., Kováčik M., Vencel M., Popelová E., Lahodová Z., Mikláš O., Máčelová M., Sud J. (2020): Střednědobý plán výzkumu a vývoje SÚRAO pro období 2020-2030. – MS SÚRAO, TZ 525/2020, Praha.

Vyhláška č. 329/2017 Sb., Vyhláška o požadavcích na projekt jaderného zařízení

Vyhláška č. 377/2016 Sb., Vyhláška o požadavcích na bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a o vyřazování z provozu jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. Kategorie

Zákon č. 263/2016 Sb. atomový zákon, v platném znění