
**STŘEDNĚDOBÝ PLÁN VÝZKUMU
A VÝVOJE PRO POTŘEBY
UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO
ÚLOŽIŠTĚ V ČR 2015 - 2025**

Autoři: Ilona Pospíšková

Antonín Vokál

Lukáš Vondrovic

a kolektiv

STŘEDNĚDOBÝ PLÁN VÝZKUMU A VÝVOJE PRO POTŘEBY UMÍSTĚNÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ V ČR 2015 - 2025

Kolektiv řešitelů: Pavel Dusílek

Markéta Dvořáková

Irena Hanusová

Miloš Kováčik

Ilona Pospíšková

Marek Vencel

Antonín Vokál

Lukáš Vondrovic

František Woller

Obsah

1	Shrnutí cílů, stavu a harmonogramu přípravy hlubinného úložiště	14
2	Obecný přístup k výzkumu a vývoji při přípravě hlubinného úložiště a zahraniční spolupráce.....	18
3	Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokality pro umístění hlubinného úložiště.....	23
3.1	Úvod	23
3.2	Provedené práce.....	23
3.3	Plánované práce	24
4	Zdrojový člen.....	25
4.1	Úvod	25
4.2	Provedené práce.....	25
4.3	Plánované práce	27
5	Geologická charakterizace horninového prostředí.....	31
5.1	Geologicko-průzkumné práce.....	32
5.1.1	Úvod	32
5.1.2	Provedené práce.....	32
5.1.3	Plánované práce	32
5.2	Databáze.....	33
5.2.1	Úvod	33
5.2.2	Provedené práce.....	33
5.2.3	Plánované práce	33
5.3	Geologické mapování, petrologický a mineralogický výzkum lokalit	34
5.3.1	Úvod	34
5.3.2	Provedené práce.....	34
5.3.3	Plánované práce	35
5.4	Geofyzikální charakterizace horninového prostředí	35
5.4.1	Úvod	35
5.4.2	Provedené práce.....	35
5.4.3	Plánované práce	35
5.5	Strukturně-geologický a DPZ výzkum.....	35
5.5.1	Úvod	35
5.5.2	Provedené práce.....	36
5.5.3	Plánované práce	36
5.6	Hydrogeologický a hydrologický výzkum	36

5.6.1	Úvod	36
5.6.2	Provedené práce.....	37
5.6.3	Plánované práce	37
5.7	Geochemický výzkum	38
5.7.1	Úvod	38
5.7.2	Provedené práce.....	38
5.7.3	Plánované práce	38
5.8	Výzkum geotechnických vlastností hornin	40
5.8.1	Úvod	40
5.8.2	Provedené práce.....	40
5.8.3	Plánované práce	40
5.9	Vytvoření syntetických 3D modelů.....	40
5.9.1	Úvod	40
5.9.2	Provedené práce.....	41
5.9.3	Plánované práce	41
5.10	Podzemní výzkumné pracoviště Bukov	42
5.10.1	Úvod	42
5.10.2	Provedené práce.....	42
5.10.3	Plánované práce	42
6	Výzkumné a vývojové práce potřebné pro hodnocení bezpečnosti.....	44
6.1	Úvod	44
6.2	Provozní bezpečnost.....	45
6.2.1	Úvod	45
6.2.2	Provedené práce.....	45
6.2.3	Plánované práce	46
6.3	Dlouhodobá bezpečnost.....	46
6.3.1	Úvod	46
6.3.2	Endogenní a exogenní jevy	47
6.3.3	Dlouhodobé vlastnosti inženýrských bariér.....	48
6.3.4	Transport radionuklidů.....	51
6.3.5	Přírodní analogy.....	52
6.3.6	Modelování sdružených procesů.....	53
6.3.7	Zpracování bezpečnostních rozborů	54
7	Výzkum a vývoj potřebný pro posouzení technické proveditelnosti hlubinného úložiště.....	57

7.1	Technické řešení úložiště	57
7.1.1	Úvod	57
7.1.2	Provedené práce.....	57
7.1.3	Plánované práce	59
7.2	Obalové soubory	62
7.2.1	Úvod	62
7.2.2	Provedené práce.....	63
7.2.3	Plánované práce	64
7.3	Tepelné dimenzování úložiště	66
7.3.1	Úvod	66
7.3.2	Provedené práce.....	66
7.3.3	Plánované práce	67
7.4	Manipulace, přeprava.....	68
7.4.1	Úvod	68
7.4.2	Provedené práce.....	69
7.4.3	Plánované práce	70
7.5	Tlumicí materiály	70
7.5.1	Úvod	70
7.5.2	Provedené práce.....	71
7.5.3	Plánované práce	71
7.6	Výplň, zátky, těsnicí systém	72
7.6.1	Úvod	72
7.6.2	Provedené práce.....	72
7.6.3	Plánované práce	73
7.7	Konstrukční práce v podzemní	73
7.7.1	Úvod	73
7.7.2	Provedené práce.....	73
7.7.3	Plánované práce	74
8	Výzkum a vývoj pro přípravu studie vlivu na životní prostředí.....	76
8.1	Úvod	76
8.2	Provedené práce.....	76
8.3	Plánované práce	77
9	Výzkum a vývoj pro potřebu vytvoření monitorovacího programu	79
9.1	Úvod	79
9.2	Provedené práce.....	79

9.3 Plánované práce	79
10 Výzkum a vývoj potřebný pro přípravu studie vlivu úložiště na socio-ekonomické aspekty	80
10.1 Úvod	80
10.2 Popis současného stavu	81
10.3 Plánované práce	82
11 Závěr	84
12 Seznam literatury ke kapitolám	85

Seznam obrázků:

Obr. 1: Vybrané lokality pro hlubinné úložiště	14
Obr. 2: Graf časové závislosti zbytkového tepelného výkonu vybraných aktinoidů v palivu s počáteční hmotností těžkých kovů 1 tuna	27
Obr. 3: Schéma ozářeného palivového proutku ([7-8]).....	29
Obr. 4: Srovnání radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a radiotoxicity uranové rudy	47
Obr. 5: Korozní cela ÚJV Řež pro provádění korozních experimentů v anaerobním prostředí	49
Obr. 6: Základní schéma pro výpočet efektivní dávky kódem GoldSim.....	55
Obr. 7: Schéma referenčního úložiště (2011)	58
Obr. 8: Základní charakteristika variant	61
Obr. 9: Instalace topného tělesa do bentonitových prefabrikátů v projektu Mock-up1 a obrázek z Mock-up instalovaného v URC Josef	71
Obr. 10: Schéma podzemního výzkumného pracoviště Bukov, v hloubce cca 500 m.....	75
Obr. 11: Ekologicko-krajinářské aspekty - potenciální implementace přístupu LANDEP	78

Seznam tabulek:

Tab. 1: Předpokládaný harmonogram přípravy, výstavby hlubinného úložiště	15
Tab. 2: Srovnání programu VaV s prioritními oblastmi IGD-TP a společnými aktivitami IGD-TP	19
Tab. 3: Dlouhodobé radionuklidy VJP a ostatních odpadů určených do hlubinného úložiště s poločasem rozpadu delším než 29 let.....	26
Tab. 4: Předpokládaný celkový inventář radionuklidů v HÚ	27
Tab. 5: Porovnání koncepčního přístupu referenčních projektů 1999 a 2011	58
Tab. 6: Porovnání logistiky Referenčních projektů 1999 a 2011	69

Seznam použitých zkratk:

ALARA	„As Low As Reasonable Achievable“, optimalizační princip používaný při práci s radioaktivními zdroji (§4, odst. 4 atomového zákona [1])
ARGONA	Arenas for Risk Governance, projekt 6. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
BELBaR	Projekt 7. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom, Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide Transport
CAST	Carbon 14 Source Term, Projekt 7. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
CEBAMA	Cement based materials, Projekt rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom Horizon 2020
CC	Cross-cutting activity
CMET	Competence Maintenance, Education and Training, aktivita podporovaná sekretariátem IGD-TP
ČGS	Česká geologická služba
ČR	Česká republika
ČVUT	České vysoké učení technické
DECOVALEX	Development of Coupled models and their Validation against Experiments, projekt vedený SKB
DOPAS	Technical Feasibility and Long-term Performance of Repository Components – Full-scale Demonstration of Plugs and Seals
EBS	Engineered Barrier System
EC	Evropská komise
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
EDZ	Excavation Disturbing Zone
EIA	Environment Impact Assessment
ENEF	European Nuclear Energy Forum
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
EU	Evropská unie
FEBEX	Full-scale Engineered Barriers Experiment, projekt vedený NAGRA
FEP	Feature, Event, Process (Znak, událost, proces)
FJFI	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
FSC	Forum on Stakeholder Confidence, aktivita podporovaná sekretariátem OECD-NEA
GAČR	Grantová agentura České republiky
GAP	Gap Analyses (analýza dostupnosti údajů)
GEOSAF	Demonstrating the Safety of Geological Disposal (aktivita podporovaná IAEA)
GIS	Geografický informační systém
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
HIDRA	Human Intrusion in Disposal of Radioactive Waste (aktivita podporovaná IAEA)

HÚ	Hlubinné úložiště
IAEA	International Atomic Energy Agency
IGD-TP	Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform
IPPA	Implementing Public Participation Approaches in Radioactive Waste Disposal, projekt 7. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
KBS-3	Kärnbränslesäkerhet (jaderná bezpečnost), švédský multibariérový princip ukládání vyhořelého jaderného paliva
LVR-15	Výzkumný lehkovodní reaktor v Centru výzkum Řež
JA	Joint Activity
JE	Jaderná elektrárna
LASMO	Large Scale Monitoring – mezinárodní projekt v laboratoři Grimsel
LTD	Long Term Diffusion – mezinárodní projekt v laboratoři Grimsel
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (též IAEA)
MaCoTe	Material Corosion Test – mezinárodní projekt v laboratoři Grimsel
MoDeRn	Monitoring Development for safe Repository Operation and Staged Closure - Projekt rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom Horizon 2020
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAPRO	National Program
NAGRA	National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste
NEA-OECD	Nuclear Energy Agency – Organization for Economic Cooperation and Development
NF-PRO	Near Field and their Coupling for Different Host Rocks and Repository Strategies, projekt 6. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
NJZ	Nový jaderný zdroj
OS	Obalový soubor
PAMINA	Performance Assessment Methodologies in Application to Guide the Development of the Safety Case, projekt 6. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
PEBS	Long-term Performance of Engineered Barrier Systems - projekt 7. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
PVP	Podzemní výzkumné pracoviště
RAO	Radioaktivní odpad
RED-IMPACT	Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal, projekt 6. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom
REDUPP	Reducing Uncertainty in Performance Prediction
RIM	Efekt vysokého vyhoření na povrchu pelety
RPHU	Referenční projekt hlubinného úložiště
RISCOM	Risk Communication, projekt 5. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom

SAO	Středněaktivní odpad
SEA	Strategic Environment Assessment
SDM	Site Descriptive Model
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB
SOÚ AV	Sociologický ústav Akademie věd
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů
TAČR	Technologická agentura České republiky
THMC	Sdružené procesy, označující vzájemné působení termálních, hydraulických, mechanických a chemických procesů
TUL	Technická univerzita v Liberci
UOS	Ukládací obalový soubor
ÚRAO	Úložiště radioaktivních odpadů
URC	Underground research laboratory (podzemní laboratoř)
VAO	Vysokoaktivní odpad
VaV	Program vědy a výzkumu pro potřeby hlubinného úložiště
VJP	Vyhořelé jaderné palivo
VVER	Lehkovodní reaktor (Vodovodjanoj Energetičeskij Reaktor)
WMS	Waste Management program - Specific activities
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
ŽP	Životní prostředí

Seznam použitých pojmů:

Lokalita	Území do vzdálenosti 20 km od hranice pozemku navrženého pro umístění.
Institucionální kontrola	Soubor činností, kterými je zabezpečována kontrola, údržba a monitoring lokality úložiště a vlastního úložiště radioaktivních odpadů po dobu stanovenou v bezpečnostní dokumentaci; institucionální kontrola může být aktivní a pasivní.
Jaderná bezpečnost	Stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod.
Kandidátní lokalita	Lokalita, v níž se plánuje zahájit nebo pokračovat v geologickém průzkumu ve smyslu § 2 zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích.
Nakládání s RAO	Shromažďování, třídění, zpracování, úprava, skladování a ukládání radioaktivních odpadů, k nimž je třeba povolení podle § 9 odst. 1) písm. j) atomového zákona [1].
Odstupňovaný přístup	Přístup, který zohlední složitost procesů, činností a jejich výstupů ve vztahu k jejich významu z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany.

Přepřacování VJP	Proces nebo činnost prováděná s cílem získat z VJP štěpný nebo množivý materiál pro další použití. Tato separace může být uskutečněna pomocí rozdílných technologických postupů.
Radiační ochrana	Systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí.
Radioaktivní odpad	Látky, předměty nebo zařízení obsahující radionuklidy nebo jimi kontaminované, pro něž se nepředpokládá další využití.
Skladování RAO/VJP	Předem časově omezené umístění radioaktivních odpadů nebo vyhořelého, případně ozářeného jaderného paliva do určených prostorů, objektů nebo zařízení.
Ukládání RAO	Trvalé umístění radioaktivních odpadů do prostorů, objektů nebo zařízení bez úmyslu jejich dalšího přemístění.
Uzavření úložiště RAO	Dokončení všech činností souvisejících s nakládáním s radioaktivním odpadem a jeho uvedení do stavu, který bude dlouhodobě bezpečný. Na základě zpracovaného programu uzavření úložiště je prokázáno, že prostory úložiště jsou chráněny dostatečnými bariérami zabraňujícími šíření radionuklidů do okolí a že odpad je uložen trvalým způsobem. Po uzavření úložiště je prováděna institucionální kontrola, kterou garantuje stát prostřednictvím SÚRAO.
Úložiště RAO	Prostor, objekt nebo zařízení na povrchu nebo v podzemí sloužící k ukládání radioaktivních odpadů.
Validace	Podrobení procesů a činností validaci vedoucí k potvrzení souladu položky ovlivňující jadernou bezpečnost nebo radiační ochranu s požadavky na její zamýšlené použití.
Vyhořelé jaderné palivo	Vyhořelé jaderné palivo je ozářené jaderné palivo, které bylo trvale vyjmuto z aktivní zóny jaderného reaktoru. Vyhořelé jaderné palivo může být považováno za dále využitelný energetický zdroj nebo může být určeno k uložení jako RAO.
Vyřazování z provozu	Činnosti, jejichž cílem je uvolnění jaderných zařízení nebo pracovišť, na kterých se vykonávaly radiační činnosti, k využití pro jiné účely.

Abstrakt

Tento dokument představuje střednědobý plán výzkumu a vývoje SÚRAO pro potřeby umístění hlubinného úložiště (HÚ) pro roky 2015 až 2025. Vychází z Aktualizace Koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR vzaté na vědomí vládou ČR v usnesení č. 1061 na jejím zasedání 15.12.2014. Hlavní úkol SURAO v této době je najít do roku 2025 vhodnou lokalitu pro umístění hlubinného úložiště a předložit návrh finální lokality k rozhodnutí vlády ČR. V dokumentu byly identifikovány, na základě podrobné analýzy prací provedených v ČR i v zahraničí v předchozích více než 20 letech, výzkumné a vývojové práce, které je nutno provést pro výběr dvou lokalit pro hlubinné úložiště v roce 2020 a výběr finální lokality pro hlubinné úložiště v roce 2025. Výběr prací pro toto období vychází jednak z potřeby charakterizovat potenciální lokality do úrovně postačující pro srovnání lokalit z hlediska proveditelnosti, bezpečnosti a vlivu úložiště na životní prostředí a potřeby připravit metodiky, nástroje a postupy pro hodnocení bezpečnosti a proveditelnosti úložiště tak, aby výsledky průzkumných aktivit jednotlivých lokalit mohly být vyhodnoceny.

Klíčová slova

hlubinné úložiště, radioaktivní odpady, siting, výběr lokality

Abstract

This document presents a medium-term plan for the research and development of SÚRAO for the location of the deep geological repository (DGR) for the years 2015 to 2025. It is based on the Update of the Concept of radioactive waste and spent nuclear fuel management taken note by Government of the Czech Republic in the December of 2014 in the resolution No. 1061. The main task of the SURAO at this time is to reduce the number of possible sites for a DGR to two candidate sites by 2020 and to propose one final site to Government for the decision by 2025. Research and development activities have been identified on the basis of a detailed analysis of the work carried out in the Czech Republic and abroad in the past more than 20 years of research and development work. The selection of works for this period stems from the need to characterize the characteristics of the sites to a level sufficient for comparison sites from the perspective of feasibility, safety and the impact of the DGR on the environment and living conditions and to prepare suitable methods, tools and procedures for the assessments.

Keywords

deep geological repository, radioactive waste, site selection

Účel dokumentu

Program výzkumu a vývoje (VaV) pro potřeby hlubinného úložiště rozpracovává činnost „výzkum a vývoj“ (činnost podle §2 písm. a) bod 6. zákona č. 18/1997[1]) a je koncipován tak, aby vytvářel předpoklady pro plnění činností „umístování“, „projektování jaderných zařízení“, „navrhování, výroba, opravy a ověřování systémů jaderných zařízení nebo jejich součástí, včetně materiálů k jejich výrobě“ a „navrhování, výroba, opravy a ověřování obalových souborů pro přepravy, skladování nebo ukládání jaderných materiálů“ (činnosti podle §2 písm. a) body 1., 2., 3., 4. zákona č. 18/1997[1]) podle požadavků atomového zákona a jeho prováděcích vyhlášek, zejména vyhlášky SÚJB č. 132/2008 Sb.[10], v platném znění, vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb.[11] a vyhlášky SÚJB č. 215/1997 Sb. [12], v platném znění, a v souladu s Programem zabezpečování jakosti SÚRAO (Řízený dokument SÚRAO S.37, Program zabezpečování jakosti umístění hlubinného úložiště 2013).

Program VaV vychází z Koncepce nakládání s RAO a VJP v ČR přijaté v usnesení vlády č. 487 ze dne 15. 5. 2002 a upřesňuje zejména milníky činnosti související s přípravou hlubinného úložiště v ČR, které by mělo být uvedeno do provozu v roce 2065. SÚRAO bude při přípravě hlubinného úložiště postupně zabezpečovat činnosti nutné pro:

- 1) Získání rozhodnutí MŽP o stanovení průzkumných území pro zvláštní zásah do zemské kůry a o stanovení chráněných území pro zvláštní zásah do zemské kůry na více lokalitách a k provádění geologického průzkumu a stanoviska MŽP k hodnocení vlivu průzkumu a následně úložiště na životní prostředí
- 2) Získání povolení BÚ k hornickým činnostem na lokalitách (se stanoviskem MŽP k dopadu prací na životní prostředí)
- 3) Získání rozhodnutí SÚJB o povolení k umístění JZ HÚ dle §9, odst. 1, písm.a), AZ.
- 4) Získání územního rozhodnutí od stavebního úřadu.

Program výzkumu a vývoje při přípravu hlubinného úložiště je v tomto dokumentu plánován na období 2014 až 2025 s výhledem až do roku 2030. Předpokládá se, že bude pravidelně zhruba v pětiletých periodách aktualizován v souladu s poznatky a zkušenostmi získávanými v rámci probíhajících výzkumných a vývojových prací a jejich využití při postupu výběru lokality HÚ. Do dokumentu budou zahrnuty názory všech zúčastněných stran (stakeholderů), zejména Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a ostatních dotčených státních orgánů (MPO, MŽP, ČBÚ) a rovněž zástupců obcí, kde se uvažuje o umístění hlubinného úložiště a široké veřejnosti. Zvláštní zřetel bude potom věnován požadavkům obyvatel obcí z kandidátních lokalit.

1 Shrnutí cílů, stavu a harmonogramu přípravy hlubinného úložiště


Systematický proces přípravy hlubinného úložiště v ČR začal po vypovězení smlouvy o bezplatném odvozu vyhořelého jaderného paliva do Ruské federace v roce 1989. Český geologický ústav již v roce 1992 vybral 27 potenciálně vhodných oblastí pro umístění hlubinného úložiště [1-1]. Do roku 1998 byla provedena obsáhlá rešerše dostupných geologických dat o těchto lokalitách a osm z nich bylo doporučeno k dalšímu průzkumu [1-2]. Byly shrnuty dostupné informace o množství vyhořelého jaderného paliva a ostatních odpadech, které bude třeba uložit do hlubinného úložiště, a analyzovány základní informace o vlastnostech odpadů, potřebných inženýrských bariérách a vlastnostech různých horninových prostředí. Byly konstrukčně navrženy ukládací obalové soubory na bázi uhlíkové oceli a vypracovány základní ideové projekty podzemní i nadzemní části hlubinného úložiště a navržen první český referenční koncept hlubinného úložiště vycházející ze švédského konceptu KBS-3 ve vertikálním uspořádání, který předpokládá uložení vyhořelého jaderného paliva v granitové hornině v hloubce zhruba 500 m, v ocelových obalových souborech obklopených ztuhnutým bentonitem [1-3]. V rámci přípravy tohoto referenčního projektu byl vypracován první dlouhodobý plán výzkumných a vývojových prací pro potřeby hlubinného úložiště [1-4].

Po kritickém zhodnocení vytipovaných oblastí z hlediska obecných kritérií pro umístění jaderných zařízení daných vyhláškou SÚJB č. 215/1997 Sb. [12], v platném znění, s uvážením možných budoucích antropogenních aktivit a případné kolize s ochranou přírody (jak vyplývá ze zákona č. 114/1992 Sb.[2], v platném znění) bylo v roce 2003 vybráno 6 potenciálních lokalit v granitovém horninovém prostředí [1-6]¹ (viz Obr. 1). U všech šesti upřednostněných lokalit byly posouzeny možnosti dopravního napojení, vyhodnocena hustota osídlení a určeny výhody a nevýhody umístění. Na těchto lokalitách proběhly v letech 2003 – 2005 geofyzikální výzkumné práce, které zúžily velikost zájmových území [1-7].



Obr. 1: Vybrané lokality pro hlubinné úložiště

¹ Jsou jimi lokality pracovně označované Čertovka (Lubenec, Blatno - Ústecký kraj), Březový potok (Pačejov, Chanovice - Plzeňský kraj), Magdaléna (Jistebnice, Vlksice - Jihočeský kraj), Čihadlo (Pluhův Žďár, Lodhéřov - Jihočeský kraj), Hrádek (Nový Rychnov, Rohozná – Kraj Vysočina) a Horka (Budišov, Oslavička- Kraj Vysočina)


 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

V roce 2004 vzala vláda usnesením č. 550/2004 na vědomí pozastavení geologických prací v šesti zkoumaných lokalitách z hlediska umístění hlubinného úložiště do roku 2009. Důvodem pozastavení byl nesouhlas dotčených obcí s aktivitami týkajícími se hlubinného úložiště. V roce 2009 byl usnesením vlády č. 929 ze dne 20. července 2009 schválen dokument Ministerstva pro místní rozvoj „Politika územního rozvoje České republiky 2008“, kde je v kapitole Odpadové hospodářství pod bodem (169) Sk1 uveden úkol vybrat z lokalit s vhodnými vlastnostmi horninového masivu a s vhodnou infrastrukturou dvě nejvhodnější lokality pro vybudování hlubinného úložiště za účasti dotčených obcí s termínem do roku 2015 (tento termín byl stanoven v Koncepci nakládání s RAO a VJP v ČR z roku 2002 [1-8]).

Zmíněné pozastavení prací na výběru lokality v letech 2005 – 2009 a posunutí schválení novely atomového zákona (2011), která obsahuje, mimo jiné návrh motivačních nástrojů pro obce zapojené do procesu výběru lokality pro HÚ, vyvolaly potřebu úpravy termínu pro ukončení výběru lokalit pro HÚ. V plánu činnosti SÚRAO na rok 2012 bylo navrženo posunutí milníku výběru dvou kandidátních lokalit do roku 2018. Tento termín byl potvrzen usnesením vlády č. 955 ze dne 20. prosince 2012, ve kterém je uloženo ministru průmyslu a obchodu provést prostřednictvím SÚRAO výběr dvou kandidátních lokalit hlubinného úložiště do 31. prosince 2018 a tento návrh se stanoviskem dotčených obcí předložit vládě ke schválení. Vzhledem k prodlužování řízení o stanovení průzkumných území je ohrožen i tento termín. Počítáme s tím, že bude třeba tento termín posunout až do roku 2020. Ani toto posunutí rozhodnutí o výběru dvou kandidátních lokalit HÚ by nemělo mít bezprostřední dopad na další časové milníky týkající se umístění, projektování, výstavby a uvádění HÚ do provozu (viz následující Tab. 1).

Tab. 1: Předpokládaný harmonogram přípravy, výstavby hlubinného úložiště

Provedení výzkumných studií k nalezení dalších potenciálně vhodných lokalit HÚ včetně revizí prací provedených do roku 2002	2016
Výběr dvou kandidátních lokalit na základě předběžné charakterizace lokalit se stanoviskem dotčených obcí	2020
Výběr finální lokality se stanoviskem dotčených obcí a podání žádosti o územní ochranu vybrané lokality	2025
Zahájení procesu EIA pro podzemní laboratoř ve finální lokalitě	2026
Podání žádosti o vydání územního rozhodnutí pro podzemní laboratoř ve finální lokalitě	2028
Zahájení procesu EIA pro HÚ	2035
Předložení dokumentace k územnímu řízení pro HÚ všem dotčeným orgánům včetně SÚJB (zadávací bezpečnostní zpráva)	2040
Předložení dokumentace ke stavebnímu řízení	2045
Výstavba hlubinného úložiště (s první ukládací sekcí) a další práce a příprava dokumentace pro zahájení provozu	2050–2064
Příprava dokumentace k povolení provozu HÚ, vydání rozhodnutí	2063–2065
Zahájení provozu hlubinného úložiště	2065

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

V aktualizovaném referenčním projektu z roku 2011 [1-5] je hlubinné úložiště navrženo tak, aby do jeho prostor bylo možné uložit VJP z provozovaných JE, tj. 4 bloků JE Dukovany, 2 bloků JE Temelín a plánovaných nových jaderných zdrojů (2 bloky NJZ Temelín a 1 blok NJZ Dukovany). Do hlubinného úložiště se předpokládá uložit i RAO z vyřazování stávajících JE, plánovaných NJZ a další RAO, které není možné uložit do přípovrchových úložišť.

Potenciální lokality budou hodnoceny na základě kritérií zahrnujících zejména: jadernou bezpečnost a radiační ochranu, technickou proveditelnost, dopad na životní prostředí a sociálně-ekonomické aspekty. Formulace požadavků, indikátorů vhodnosti a kritérií týkajících se posuzování vlivu HÚ na životní prostředí a socio-ekonomických faktorů, a způsob hodnocení lokalit budou průběžně diskutovány s dotčenou veřejností.

Posuzování potenciálních lokalit pro hlubinné úložiště bude kromě realizace geologických průzkumů a zjištění dalších charakteristik lokalit potřebných pro jejich posouzení rozděleno do 4 hlavních proudů, jejichž cílem je:

- 1) Vypracování studie ve formě bezpečnostní dokumentace shrnující všechny dostupné informace o lokalitách, popisné 3D modely lokalit a provedení bezpečnostních rozborů.
- 2) Vypracování studie technické proveditelnosti shrnující všechny údaje o proveditelnosti úložiště v lokalitách.
- 3) Vypracování studie vlivu úložiště na všechny složky životního prostředí a životní podmínky v lokalitách.
- 4) Vypracování studie socio-ekonomických vlivů úložiště na jednotlivé obce v lokalitách včetně aktualizace provedení průzkumů veřejného mínění.

Tento dokument rozpracovává podrobně náplň jednotlivých studií, na jejichž základě bude vybírána lokalita pro hlubinné úložiště.

Potřebné informace, data, argumenty, modely, nástroje, podklady budou získávány s podporou následujících projektů, jejichž řešení bylo zahájeno v druhé polovině roku 2014 nebo se plánuje zahájit v roce 2015:

- 1) **Provedení geologického průzkumu 7 lokalit pro zvláštní zásah do zemské kůry pro ukládání RAO** – projekty budou zaměřeny na upřesnění geologických informací ze 7 vybraných lokalit pro HÚ, potřebných pro přípravu 3D popisných modelů lokalit a vypracování výše zmíněných studií.
- 2) **Zhodnocení geologických a dalších informací vybraných částí českého moldanubika a dalších lokalit z hlediska potenciální vhodnosti pro HÚ** – cílem projektu je upřesnit data z dalších potenciálních lokalit.
- 3) **Výzkumná podpora hodnocení bezpečnosti**, zahrnující získání potřebných dat, argumentů, výpočetních nástrojů pro zhodnocení informací z geologických průzkumů a dalších informací potřebných pro bezpečnostní hodnocení jednotlivých lokalit. Tento projekt již byl zahájen v roce 2014. Byla uzavřena smlouva s ÚJV Řež a.s. o poskytování výzkumné podpory pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště. Hlavními subdodavateli ÚJV Řež a.s. jsou: ČVUT v Praze, Technická univerzita v Liberci, Ústav Geoniky AV ČR, Arcadis CZ a.s., ČGS, Progeo, s.r.o a Chemcomex Praha a.s.
- 4) **Podpora projektového řešení hlubinného úložiště na lokalitách** – pro všechny lokality bude navrženo specifické projektové řešení. Tento projekt bude zahrnovat

rovněž zhodnocení vlivu HÚ na životní prostředí v potenciálních lokalitách, revize a sběr dat pro hodnocení vlivu HÚ na životní prostředí.

- 5) **Zhodnocení socio-ekonomických vlivů hlubinného úložiště v potenciálních lokalitách** – v rámci projektu bude zhodnocen vliv úložiště na změnu socio-ekonomických podmínek v lokalitách vlivem přípravy, výstavby a provozu HÚ.

Cílem ostatních realizovaných či připravovaných projektů, především projektu experimentů v podzemní laboratoři PVP Bukov, projektu „Výzkum a vývoj UOS pro VJP“ a řady mezinárodních projektů: DOPAS, CAST, DECOVALEX, EBS Task Force, TDB, FEBEX, LTD, MaCoTe, LASMO, CEBAMA a dalších, je především:

- zvýšit znalosti a porozumět procesům probíhajícím v úložišti,
- vytvořit dostatečnou znalostní databázi pro hodnocení bezpečnosti HÚ,
- usnadnit transfer znalostí z vyspělých programů přípravy úložiště (Švédsko, Finsko, Francie atd. sdružených v platformě IGD-TP) a
- vychovávat odborníky pro tuto oblast.

2 Obecný přístup k výzkumu a vývoji při přípravě hlubinného úložiště a zahraniční spolupráce

Projekt hlubinného úložiště z pohledu výzkumu a vývoje výrazně přesahuje běžné požadavky na přípravu ostatních jaderných zařízení vzhledem k potřebě prokazovat bezpečnost v horizontu tisíců až statisíců let po jeho uzavření. I doba přípravy HÚ a jeho provozu až do jeho uzavření přesahuje obvyklou dobu přípravy a provozu jaderných zařízení (až 200 let). Důležitým cílem výzkumných prací je především porozumět procesům, které mohou v takto dlouhé době probíhat v úložišti a připravit bázi argumentů a dat pro obhájení bezpečnostního konceptu na každé posuzované lokalitě, od lokalit potenciálních přes kandidátní až po finální.

SÚRAO při návrhu plánu VaV vzalo v úvahu doporučení pracovní skupiny NAPRO (National Programmes), ustanovené Evropským jaderným fórem (ENEF) pro přípravu Národního programu [2-1], které v návaznosti na EC směrnici č. 70/2011/EUROATOM, uvádí následující tři možné způsoby plnění výzkumných a vývojových úkolů:

- vlastním výzkumem na národní úrovni potřebným pro implementaci projektů;
- společnými výzkumnými aktivitami na bilaterální či mezinárodní úrovni využíváním společných zdrojů a poznatků, zejména evropských rámcových programů výzkumu a vývoje,
- na základě kontraktu se zeměmi s pokročilejším výzkumným programem.


Všechny tyto možnosti SÚRAO plánuje využít k dosažení cílů projektu hlubinného úložiště.

Konkrétní program výzkumu a vývoje je závislý na zvolené koncepci hlubinného úložiště, tj. zejména na typu hostitelského horninového prostředí a předpokládaného typu obalového souboru. V České republice jsme omezeni především typem horninového prostředí, protože jsou k dispozici v dostatečných rozměrech pouze lokality s krystalinickými horninami.

Řada zemí je v oblasti výzkumů a průzkumů krystalinických hornin a jejich použití pro umístění HÚ mnohem dále než Česká republika. Společnými výzkumnými aktivitami na bilaterální či mezinárodní úrovni; využíváním společných zdrojů a poznatků, zejména evropských rámcových programů výzkumu a vývoje, je proto možné získat výsledky podstatně rychleji a levněji než vlastním výzkumem.

Významným přínosem je zejména vytvoření technologické platformy IGD-TP (Implementing Geological Disposal – Technology Platform).

Cílem programu IGD-TP je především splnění základní vize IGD-TP, tj. realizace úložiště v EU do roku 2025 ve Švédsku, Finsku či Francii. Pozornost je proto věnována zejména problémům spojeným s licencováním jejich konceptů úložišť. Velkým přínosem participace v těchto projektech pro Českou republiku je to, že se může podílet na výzkumu a získávat důležité informace o poznacích z přípravy hlubinného úložiště ze zemí, kde problematika hlubinného úložiště se řeší již více než 40 let. Každý národní program však musí vytvořit vlastní přístup k přípravě a realizaci HÚ. Při prokázání bezpečnosti HÚ musí být použity takové postupy, které zohlední specifické parametry geologických průzkumů, použitých technologií a vlastností navržených bariér.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

IGD-TP identifikovala následující strategické prioritní oblasti pro výzkum a vývoj v dalším období s vizí implementace prvního hlubinného úložiště v EU do roku 2025 (Švédsko, Finsko, Francie) [2-2].

Prioritní oblast 1: Bezpečnostní dokumentace (safety case).

Prioritní oblast 2: Formy odpadů a jejich chování.

Prioritní oblast 3: Proveditelnost úložiště a dlouhodobá funkčnost komponent úložiště. Demonstrace technologií (obalové soubory, instalace tlumících a výplňových materiálů, manipulace, přeprava).

Prioritní oblast 4: Vývoj strategie implementace vývoje úložiště.

Prioritní oblast 5: Provozní bezpečnost a bezpečnost výstavby úložiště.

Prioritní oblast 6: Monitorování.

Prioritní oblast 7: Komunikace s veřejností, proces rozhodování.

V současné době byly rozpracovány výše uvedené prioritní oblasti do tzv. společných aktivit (Joint Activities – JA), které jsou prioritní pro následující 4 roky a na jejichž základě jsou či budou iniciovány technické projekty podporované Evropskou komisí (EC). Tab. 2 uvádí kapitoly z VaV programu související s tématem společné aktivity.

IGD-TP se dále věnuje různým průřezovým otázkám, jako je komunikace s dozornými orgány, vzdělávání, udržování kompetence, knowledge management či komunikace (označované jako cross-cutting aktivity - CC).

Oblasti specifické pro nakládání s radioaktivními odpady jako je charakterizace lokalit, přeprava odpadů, systém pro řízení požadavků, příjem odpadů, technologická schémata či řízení nákladů a plánování jsou označovány jako aktivity specifické pro program nakládání s odpady (Waste Management program Specific activities – WMS) a nejsou řešeny společnými projekty.

Tab. 2: Srovnání programu VaV s prioritními oblastmi IGD-TP a společnými aktivitami IGD-TP

ID JA	Číslo prioritní oblasti v IGD-TP	Číslo kapitoly v programu VaV	Název prioritní oblasti	Název projektu podporovaného EC/stav přípravy
JA1	1	4	Formy odpadů a jejich chování	First-Nuclides – zahájen v r. 2012 REDUPP – zahájen v r. 2011
JA2	4	7.6	Demonstrace utěšňování úložiště v provozním měřítku	DOPAS (zahájen v r. 2012 za účasti SÚRAO, ČVUT a ÚJV Řež, a. s.)
JA3	2	4	Formy odpadů a jejich chování	CAST (vznik a chování C-14) – řešení zahájeno v r. 2013 za účasti SÚRAO


ID JA	Číslo prioritní oblasti v IGD-TP	Číslo kapitoly v programu VaV	Název prioritní oblasti	Název projektu podporovaného EC/stav přípravy
JA4	6	8	Monitorování životního prostředí – referenční stav	Doporučení postupu předloženo IGD-TP EG (Executive group) v r. 2012
JA5	5	6.2	Provozní bezpečnost	Diskuze v pracovní skupině za účasti SÚRAO
JA6	1/3	6.3.7 6.3.6	Zvýšení důvěry ve výpočetní kódy bezpečnostních rozborů	PEBS Uvažován nový projekt – CEBAMA zabývající se cementovými materiály (na přípravě se podílí SÚRAO)
JA7	6	9	Monitorovací program	MoDeRn 2 – uvažováno pokračování projektu (projektu MoDeRn 1 se SÚRAO zúčastnila)
JA8	1	6.3.7	„Peer review“ bezpečnostních rozborů	Shrnutí současných postupů – diskuze v pracovní skupině za účasti SÚRAO
JA9	1	6.3.6	Srovnání výpočetních kódů pro modelování procesů	Diskuze na návrhu zatím bez účasti SÚRAO
JA10	3		Dlouhodobá stabilita bentonitu v prostředí krystalinických hornin	BELBaR (účast ÚJV Řež, a. s. podporovaná SÚRAO)
JA11	3	7.2	Sdílení znalostí o materiálech obalových souborů	V přípravě
JA12	4	7	Úprava a optimalizace úložiště	Aktivita odložena
JA13	CC		Diskuzní fórum o komunikaci výsledků VaV	Aktivita podporovaná sekretariátem IGD-TP
JA14	CC		Kompetence, udržování, vzdělání a trénink (CMET)	Aktivita podporovaná sekretariátem IGD-TP

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025		Evidenční označení:	
			SÚRAO TZ 1/2015	
ID JA	Číslo prioritní oblasti v IGD-TP	Číslo kapitoly v programu VaV	Název prioritní oblasti	Název projektu podporovaného EC/stav přípravy
JA15	CC		Management znalostí z jaderné oblasti	V přípravě
JA16	WMS		Diskuzní fórum o specifických otázkách programů nakládání s odpady	Nepočítá se s evropským projektem na toto téma

Přínosná je i účast českých odborníků v projektech organizovaných IAEA či NEA-OECD za účasti zemí mimo EU, jako je USA, Kanada, Japonsko, Jižní Korea, Čína. Velmi hodnotné výsledky je například možno získat společnými experimenty v zahraničních podzemních laboratořích (například v laboratoři Grimsel ve Švýcarsku). Jejich hlavním cílem je porozumět procesům, které budou probíhat v hlubinném úložišti radioaktivních odpadů umístěném v krystalinických horninách, a získat data pro bezpečnostní rozbor. Jde zejména o dlouhodobý experiment zaměřený na zpomalení transportu radionuklidů jejich difúzí z puklin do matrice krystalinických hornin (experiment LTD podle anglického názvu Long Term Diffusion). Ve světě jde o ojedinělý experiment prováděný s radionuklidy v přírodním prostředí. V současné době se připravují další dva projekty, jichž se SÚRAO plánuje zúčastnit, z nichž jeden bude zaměřen na dlouhodobý monitoring strukturně tektonických poměrů (změn) v masivu krystalinických hornin v průběhu relevantního časového období s potenciálním vlivem na jeho dlouhodobou stabilitu (experiment LASMO podle anglického názvu Large Scale Monitoring) a druhý na dlouhodobé hodnocení rychlosti a mechanismu koroze materiálů obalových souborů, využívaných jako primární bariéra proti úniku radionuklidů v HÚ (experiment MaCoTe podle anglického názvu Material Corrosion Test). Důležitým cílem účasti SÚRAO v těchto experimentech je získat potřebné poznatky, ale i zkušenosti pro provádění obdobných experimentů v ČR.

Základní a aplikovaný výzkum zabývající se ukládáním RAO a VJP podpořilo usnesení vlády č. 552 z roku 2012, kde v rámci národních priorit výzkumu, vývoje a inovací byla schválena prioritní oblast 1.2.5 „Ukládání radioaktivního odpadu a použitého paliva“. Velmi důležitá je zde koordinující úloha SÚRAO, která je sice stanovena atomovým zákonem [1], v platném znění, (§ 26, odst. 3, bod g), ale zatím nebyla plně uplatněna. V minulých letech byly z prostředků různých poskytovatelů (MPO, MŽP, TAČR, GAČR) podpořeny desítky projektů, které SÚRAO nemohla ovlivnit a jejichž výsledky jí nebyly poskytnuty a nemohly tak být plně využity pro řešení problematiky nakládání s VJP a RAO v ČR. Do budoucna je proto žádoucí, aby SÚRAO a MPO spolu s poskytovateli dotací (zejména MŠMT a TAČR) zajistily v souladu s požadavky atomového zákona [1], v platném znění, účinnou koordinaci výzkumu a vývoje v této oblasti. Nezastupitelnou rolí MŠMT je však zejména příprava odborníků pro tento program, přesahující několik generací.

Časové plánování výzkumných a vývojových aktivit v letech 2014 – 2025 je podřízeno hlavnímu cíli pro toto období, tj. vybrat vhodné lokality pro hlubinné úložiště a prokázat, že dvě z těchto lokalit jsou vhodnější než ostatní lokality na základě logických a transparentních kritérií, které jsou diskutovány v kapitole 3.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

V České republice se v průběhu předchozích projektů vytvořily týmy odborníků schopných provádět výzkum a vývoj potřebný pro umístění hlubinného úložiště na evropské úrovni. Významným zdrojem poznatků a zkušeností byla především účast českých odborníků v evropských projektech 5. až 7. Rámcového programu EU EURATOM.

Náklady na výzkum a vývoj pro přípravu hlubinného úložiště budou hrazeny ze tří zdrojů:

- 1) Z prostředků jaderného účtu na projekty, které přímo vedou k získání podkladů pro výběr lokality pro umístění hlubinného úložiště (bezpečnostní zprávy, studie proveditelnosti, studie dopadu umístění úložiště na životní prostředí). Konkrétní plánované částky na výzkum a vývoj jsou uvedeny v ročních a střednědobých plánech činností SÚRAO schvalovaných každý rok vládou ČR.
- 2) Ze společných prostředků Evropské unie na výzkum a vývoj v rámci programu Horizon 2020 (projekty CEBAMA, MODERN 2, MIND). Tyto projekty jsou zaměřeny především na získání obecných poznatků, které jsou využitelné pro všechny evropské programy přípravy hlubinného úložiště.
- 3) Z dotačních prostředků ČR na výzkum a vývoj. Jde zejména o projekty TAČR a institucionální prostředky na výzkum a vývoj hrazené MŠMT.

3 Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria výběru lokality pro umístění hlubinného úložiště

3.1 Úvod

Následující základní požadavky pro výběr lokalit pro umístění hlubinného úložiště vycházejí z požadavků převzatých z Atomového zákona a jeho prováděcích vyhlášek [1], [11], [12] dalších zákonů a předpisů ČR [3], směrnic EU[14], doporučení MAAE [16], [19] a mezinárodní úmluvy o bezpečnosti nakládání s VJP a RAO [18]:


- 1) Úložiště musí být ve vybrané lokalitě proveditelné pomocí ověřených technologií, které jsou dostupné v této době, přičemž radiační ochrana musí být optimalizována k zajištění nejvyšší úrovně bezpečnosti. Náklady na úložiště musí být v souladu s principem optimalizace radiační ochrany, tj. se zohledněním hospodářských a společenských faktorů. Úložiště musí pojmout všechny radioaktivní odpady nepřijatelné do přípovrchových úložišť vzniklé na území ČR z provozu a z vyřazování stávajících i plánovaných JE a z využití ionizujícího záření v průmyslu, výzkumu či zdravotnictví.
- 2) Umístění úložiště ve vybrané lokalitě musí být bezpečné a jeho bezpečnost prokázána na základě znalostí o místě, kde má být úložiště postaveno s uvážením všech rizik přicházejících v úvahu v provozním období a v období po uzavření úložiště. Optimalizační mezí pro bezpečné uložení RAO je efektivní dávka 0,25 mSv za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel [11].
- 3) Umístění úložiště nesmí být ve zjevném, obtížně odstranitelném střetu indikujícím významné ohrožení či nadměrné poškození zvláště citlivých ekosystémů a zhoršení stavu jednotlivých složek ŽP.

Rozhodnutí o umístění úložiště musí být provedeno tak, aby veřejnost měla potřebnou příležitost účinně se účastnit procesu rozhodování o výběru lokality. K návrhu rozhodnutí Vlády ČR o vybraných dvou kandidátních lokalitách a lokalitě finální je třeba předložit stanoviska dotčených obcí.

3.2 Provedené práce

Základní kritéria na umístění jaderného zařízení, kterým je hlubinné úložiště, vycházejí z analýzy vyhlášky 215/1997 Sb.[12], v platném znění. Kritéria jsou zde rozdělena na kritéria vylučující a podmiňující. Tato kritéria jsou vztažena především na jaderná zařízení typu jaderné elektrárny či skladu vyhořelého jaderného paliva, tj. zařízení umístěná na povrchu. Pro hlubinné úložiště je třeba je doplnit dalšími aspekty specifickými pro toto jaderné zařízení umístěné stovky metrů pod povrchem země.

Aplikace této vyhlášky pro jaderná zařízení umístěná na povrchu byla zpracována v dokumentech [3-1] až [3-6]. V těchto dokumentech byla zhodnocena i ostatní legislativa související s výběrem lokality pro hlubinné úložiště.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Nejpodrobněji se výběrem a hodnocením kritérií pro lokalitu pro hlubinné úložiště zabývala zpráva zpracovaná v rámci projektu Geobariéra [3-5]. Kritéria vycházela z požadavků na:

- tektonickou stabilitu lokality, vyjádřenou vzdáleností lokality od zlomových linií různé kategorie a porušeností horninového masivu do hloubky zhruba 100 m,
- popsitelnost horninového masivu, vyjádřenou výskytem xenolitů, cizorodých ker, žilných hornin či výskytem možných ložisek,
- předpoklad dlouhodobé stability masivu, vyjádřený nepřítomností struktur s geodynamickou aktivitou,
- jednoduché hydrogeologické poměry, vyjádřené nízkou propustností hornin,
- příznivou konfiguraci horninového masivu vzhledem k přístupnosti z hlediska následného geologického průzkumu.

Dalšími kritérii byla kritéria vycházející z analýzy možného střetu zájmů se zákonem o ochraně přírody a krajiny (zák. 114/1992 Sb. [2], v platném znění), zákonem o vodách (zák. 254/2001Sb. [6], v platném znění), lázeňským zákonem (zák. 164/2001Sb. [9], v platném znění) a dalšími zákony platnými v době zpracování zpráv, které byly shrnuty v pracích [3-2] až [3-6].

3.3 Plánované práce

Základní dokument shrnující požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria pro první fázi výběru lokality bude publikován současně s vydáním tohoto střednědobého plánu výzkumu a vývoje [3-13].

Velký důraz je kladen na vztah výběru lokality s hodnocením bezpečnosti, proveditelnosti a dopadu na životní prostředí a životní podmínky v dotčených lokalitách. Velmi významnými dokumenty, ze kterých vychází, jsou obdobné dokumenty ze zemí připravujících hlubinné úložiště radioaktivních odpadů [3-7] až [3-12].

V další fázi je plánováno připravit a testovat multikriteriální model/modely pro hodnocení lokalit a provést hodnocení, se kterým budou souhlasit všechny zúčastněné strany. Počítá se s tím, že požadavky, indikátory v hodnosti a kritéria budou aktualizována v souladu s poznatky získávanými v průběhu řešení projektu.

4 Zdrojový člen

4.1 Úvod

V první fázi koncepčního plánování přípravy hlubinného úložiště musí být specifikovány a charakterizovány všechny odpady, které v hlubinném úložišti budou uloženy. Musí být kvantifikováno projektované množství odpadů a bilance aktivity. Na základě těchto informací může být vytvořen koncepční návrh úložiště (viz SSG 14,[4-1] požadavek I4).

V současné době se předpokládá, že palivové soubory se budou ukládat do hlubinného úložiště celé, nedemontované a ne dříve než 60 let po svém vyjmutí z reaktoru. Do té doby budou skladovány v již provozovaných, příp. nově vybudovaných skladů vyhořelého jaderného paliva v areálech JE (případně v centrálním skladu VJP).

VJP z výzkumných reaktorů bylo 12/2007 a 3-4/2013 v rámci iniciativy Global Threat Reduction Initiative (Snížení globálního ohrožení) odvezeno do Ruské federace, přepracovatelského závodu Mayak. Podle smlouvy mezi ruskou stranou a ÚJV Řež a.s. z paliva bude odstraněno více než 99 % uranu a plutonia, zbytek obsahující ekvivalent minoritních aktinidů a štěpných produktů bude vrácen do ČR v letech 2024 až 2033 a uložen v HÚ. Odpady po přepracování budou zpětně dovezeny do ČR a budou uloženy. Přestože se jedná o velmi malé množství odpadů, bude třeba řešit problém s jeho skladováním do doby provozu HÚ v režii SÚRAO.


V hlubinném úložišti je rovněž plánováno uložit RAO, které nesplňují stávající kritéria přijatelnosti pro uložení v ÚRAO Dukovany a Richard. Jedná se zejména o odpad z vyřazování (aktivované části konstrukčních dílů reaktoru a aktivované betony a zásypy z okolí šachty reaktoru), provozní aktivované materiály a předměty, institucionální RAO s dlouhodobými radionuklidy.

4.2 Provedené práce

Dostupné charakteristiky VJP byly shrnuty ve zprávách vedoucích ke zpracování referenčního projektu z roku 1999 (tzv. zpráva projektu MPO, koordinovaného ÚJV Řež, a. s., probíhajícího v letech 1993 – 1998) a při přípravě aktualizovaného referenčního projektu [4-3].

Informace o inventáři VJP produkovaného v českých jaderných elektrárnách vycházely zejména ze zpráv [4-4] až [4-5]. V roce 2011 byly výpočty inventáře VJP z reaktorů VVER 1000 dále aktualizovány pro palivo s vyšším stupněm vyhoření [4-6]. Výpočty byly vždy prováděny pro určitý reprezentační stupeň vyhoření paliva s tendencí uvažovat pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti vyšší stupeň vyhoření ukládaného paliva, než odpovídá skutečnému stupni vyhoření v jaderných elektrárnách. V současné době však jsou k dispozici již konkrétní data o VJP, takže je možno postupně upřesňovat výpočty směrem k reálným hodnotám.

Do hlubinného úložiště se uvažuje přímo uložit i palivové soubory z experimentálního reaktoru LVR-15 s nižším obohacením. Palivové články s vyšším obohacením (nad 20 % hm. ^{235}U) byly odvezeny do Ruské federace a budou uloženy ve formě vitrifikovaného odpadu. Zatím nebyly zpracovány studie analyzující chování tohoto paliva či vitrifikovaných zbytků po jeho přepracování v hlubinném úložišti.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Ostatní RAO, určené k uložení v HÚ, pochází zejména z vyřazování JE (aktivované části konstrukčních dílů reaktoru, aktivované betony a zásypy z okolí šachty reaktoru, provozní aktivované materiály a předměty), vyřazování výzkumných pracovišť IV. kategorie (experimentální reaktory Centra výzkumu Řež). Do hlubinného úložiště budou dále uloženy institucionální odpady, které nejsou/nebudou přijatelné do přípovrchových úložišť. Již vzniklé odpady jsou v současné době buď skladovány u producentů, nebo v úložišti Richard.

Zatím poslední ucelená aktualizace ukládaného inventáře byla provedena v rámci referenčního projektu, zpracovávaného v letech 2008-2011[7-12]. Za přijatého předpokladu, že HÚ pojme:

- nepřepřacované VJP provozovaných JE (EDU1-4; ETE1,2), (40 let provozu),
- nepřepřacované VJP z NJZ (EDU5, ETE3,4), (60 let provozu),
- VAO z přepracování VJP z výzkumných reaktorů (přepracované palivo z ÚJV Řež, a. s.) a LEU VJP,
- RAO neuložitelné v přípovrchových úložištích (z provozu JE, z vyřazování z provozu JE, z provozu výzkumných pracovišť, z vyřazování výzkumných pracovišť, neuložitelné institucionální RAO),


bude uloženo:

- cca 7 650 t U (celková hmotnost palivových souborů cca 12 000 t),
- cca 1 m³ VAO z přepracování VJP z výzkumných reaktorů,
- cca 4 300 t odpadu, neuložitelného v provozovaných, přípovrchových úložištích.

Na základě předběžných analýz dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště umístěného v hypotetické lokalitě [6-6], [6-39], [6-61] byly identifikovány dlouhodobé radionuklidy, které mohou nejvýrazněji ovlivnit výslednou efektivní dávku pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel (viz následující Tab. 3).

Tab. 3: Dlouhodobé radionuklidy VJP a ostatních odpadů určených do hlubinného úložiště s poločasem rozpadu delším než 29 let

Aktivační produkty	Aktinidy				Štěpné produkty	
¹⁰ Be	²²⁹ Th	²³⁰ Th	²³² Th		⁷⁹ Se	
¹⁴ C	²³¹ Pa				⁹⁰ Sr	
³⁶ Cl	²³³ U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	⁹³ Zr
⁴¹ Ca	²³⁷ Np					⁹⁹ Tc
⁵⁹ Ni	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴² Pu		¹⁰⁷ Pd
⁶³ Ni	²⁴¹ Am	²⁴² Am	²⁴³ Am			¹²⁶ Sn
⁹³ Zr	²⁴⁴ Cm	²⁴⁵ Cm	²⁴⁶ Cm			¹²⁹ I
⁹³ Mo						¹³⁵ Cs
⁹⁴ Nb						¹³⁷ Cs
^{108m} Ag				²²⁶ Ra		¹⁵¹ Sm
^{166m} Ho						

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

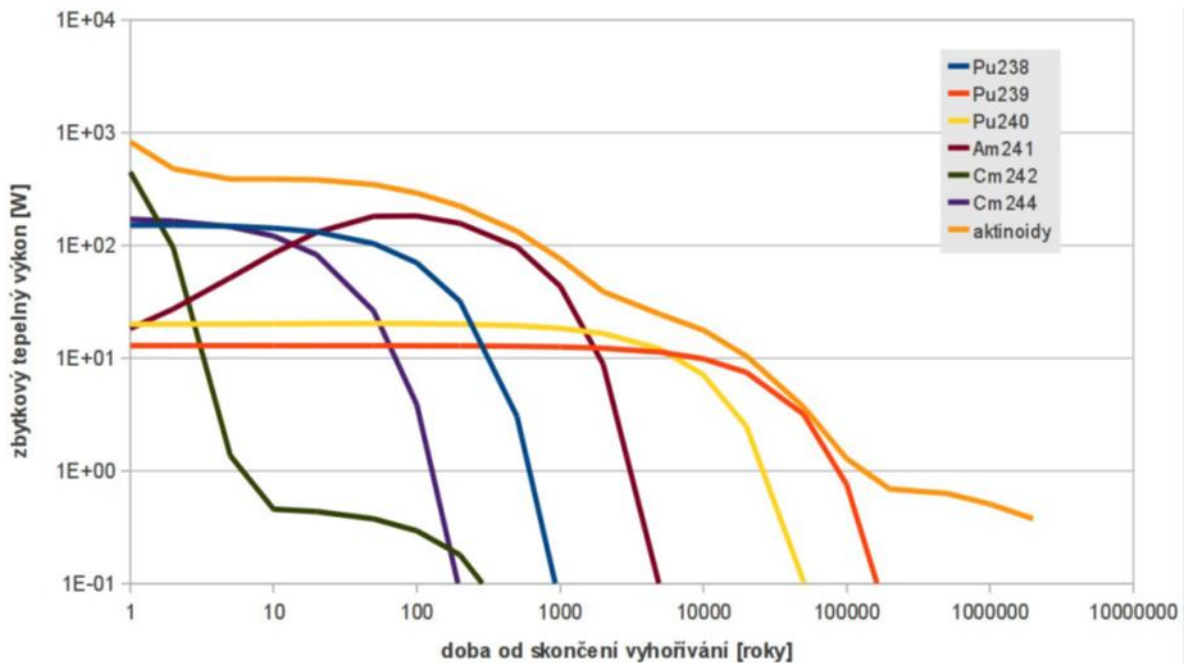
Celkový inventář radionuklidů z jaderných elektráren je uveden v Tab. 4.

Tab. 4: Předpokládaný celkový inventář radionuklidů v HÚ

EDU [Bq]	EDU_NJZ [Bq]	ETE [Bq]	ETE_NJZ [Bq]	celkem [Bq]
2.53E+17	4.96E+16	8.95E+16	9.88E+16	4.90E+17

Důležitým parametrem VJP je jeho tepelný výkon. Tepelný výkon palivových souborů závisí na stupni vyhoření paliva a době skladování vyhořelého jaderného paliva. Pokles tepelného výkonu velmi dobře vystihují mocninové závislosti.


V průběhu let bylo provedeno několik prací, které se zabývaly stanovením tepelného výkonu. Poměrně ucelená informace je prezentována v [4-7]. Práce [4-6] se zabývá vlivem vyhoření (délky palivového cyklu) na zbytkovou aktivitu aktinoidů a štěpných produktů v čase a na zbytkový tepelný výkon v čase. Pro VJP, které vyhořením, obohacením i délkou palivového cyklu odpovídá současnému stavu JE Temelín, je trend tepelného výkonu v čase od skončení vyhořívání znázorněn v následujícím grafu.



Obr. 2: Graf časové závislosti zbytkového tepelného výkonu vybraných aktinoidů v palivu s počáteční hmotností těžkých kovů 1 tuna

4.3 Plánované práce

Celková bilance inventáře k uložení a jeho základní charakteristiky jsou jedním ze základních vstupů jak do technického řešení HÚ, tak pro bezpečnostní rozbory, na jejichž základě se bude rozhodovat o výběru lokality. Je i nutnou podmínkou plnění EC direktivy 70/2011/EUROATOM [14].

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

V současné době lze charakterizovat následující nejistoty ve zdrojovém členu:

- nejistoty v předpokládaných zdrojích VJP,
Prodloužení životnosti stávajících JE, změna typu paliva a jeho charakteristik,
plánovaná výstavba NJZ.
- nejistoty v tepelném výkonu VJP,
Změna typu paliva, plánovaná výstavba NJZ.
- nejistoty v inventáři RAO z vyřazování a institucionálních RAO,
Úroveň odborných odhadů, resp. modelových výpočtů.

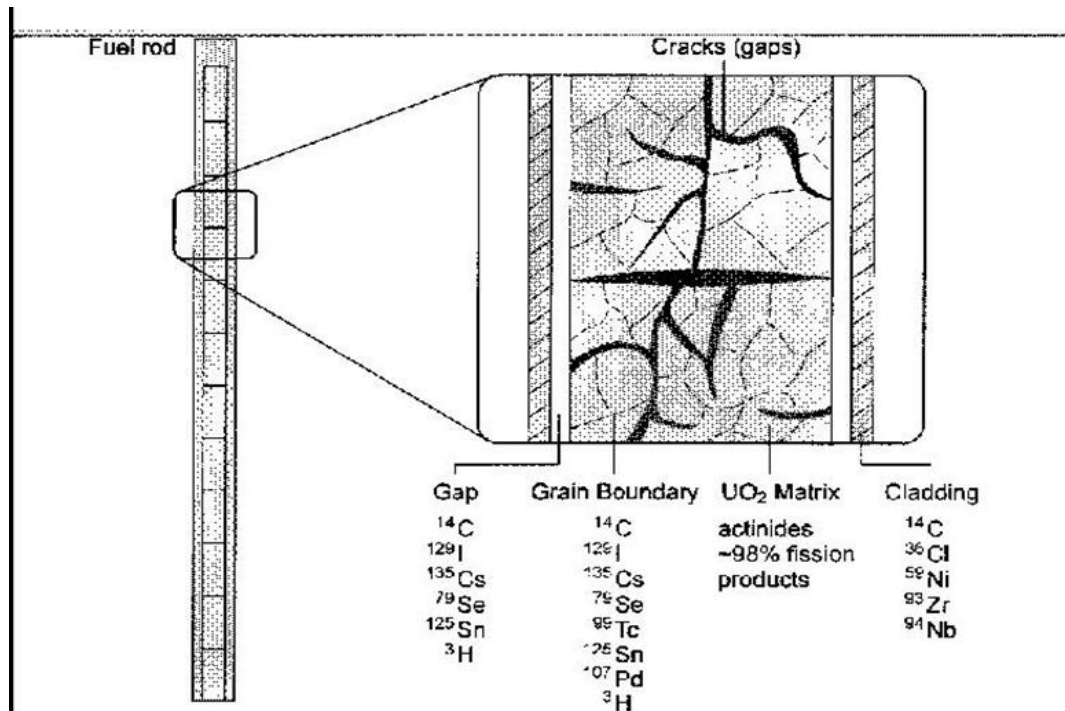
Tyto nejistoty budou odstraňovány postupnou aktualizací a doplňováním potřebných charakteristik. Předpokladem je zajištění potřebných dat již za provozu JE včetně parametrů, které jsou důležité nejen z hlediska pro technické řešení úložiště, ale i pro bezpečnostní hodnocení.

Práce budou zaměřeny zejména na aktualizace inventáře VJP a RAO, vytvoření struktury databáze VJP a ostatních RAO a jejich plnění. Aktualizace inventáře bude prováděna pravidelně (např. po cca 5 letech), ale i při výraznějších změnách (např. při změně typu a významných charakteristik paliva v JE, realizaci nových zdrojů atd.)

Pro optimalizaci nakládání s VJP a RAO a přípravu bezpečnostních rozborů je třeba znát především inventář dlouhodobých radionuklidů a rychlost jejich uvolňování z forem odpadů. Je třeba zhodnotit v současné době dostupné informace, provést parametrické výpočty pro různé stupně vyhoření paliva a získaná data zpracovat do formy přehledných databází, které budou průběžně aktualizovány s rostoucím množstvím informací o vyhořelých palivových souborech. Zejména data pro vyšší stupně vyhoření výpočty by měly být validovány experimentálním měřením. Vzhledem k složitosti této validace nadále předpokládáme vycházet ze zahraniční spolupráce.

Pro účely bezpečnostních výpočtů s VJP je nutno znát údaje ze čtyř možných zdrojů radionuklidů ve vyhořelých palivových souborech:

- 1) Matrice paliva.
- 2) Konstrukčních materiálů (hlavice, hexagonální trubky, pokrytí).
- 3) Mezery mezi pokrytím a maticí.
- 4) RIM zóny paliva.



Obr. 3: Schéma ozářeného palivového proutku ([7-8])

Zejména znalost inventáře z oblastí 3) a 4) je velmi důležitá, protože radionuklidy z této oblasti (například ^{129}I nebo ^{36}Cl) se mohou velmi rychle uvolnit po poškození obalového souboru do horninového prostředí. Patří do tzv. IRF (Instant Release Fraction) frakce okamžitě uvolnitelných radionuklidů po poškození obalového souboru.


Ve výzkumu je třeba se rovněž soustředit na upřesňování inventáře paliva s vyšším stupněm vyhoření včetně kvantifikace IRF frakce a získání přesnějších údajů o dlouhodobých aktivačních produktech konstrukčních materiálů paliva, zejména kritických dlouhodobých radionuklidů, jako je uhlík ^{14}C .

V období 2014 – 2025 se počítá pouze s omezeným množstvím laboratorních experimentů zaměřených na ověření vybraných forem odpadů pro ostatní RAO určené do HÚ.

Pro aktualizaci inventáře VJP a ostatních RAO se počítá s dodatečnými výpočty pomocí verifikovaných výpočetních kódů. Modelování okamžitě uvolnitelné frakce radionuklidů, zejména pro vyšší stupně vyhoření paliva, by mělo být korigováno s modelováním uvolňování plyných štěpných produktů (Fission Gas Release).

Pro období 2014 – 2025 SÚRAO počítá v této oblasti především s analýzou zahraničních informací a s aktivní účastí českých výzkumných organizací v zahraničních projektech zaměřených na oblast zdrojového členu a chování VJP a RAO v podmínkách HÚ a jejich aplikací pro české podmínky. Pro vypracování bezpečnostních rozborů bude třeba:

- připravit a implementovat databáze dat o vlastnostech VJP a RAO potřebných pro bezpečnostní rozbor,
- aktualizovat a upřesňovat rychlosti uvolňování radionuklidů z různých částí VJP (matrice, mezera, povlak, konstrukční části, RIM zóna) na základě analýzy nových zahraničních poznatků (získání těchto poznatků je velmi náročné na provádění experimentálních prací, proto se v tomto období počítá především s využitím mezinárodní spolupráce),

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- shrnout informace o vlastnostech forem ostatních RAO určených do HÚ, včetně vitrifikovaného RAO navraceného z Ruské federace v letech 2024 až 2026 a připravit návrh postupu jejich testování a případně i vývoje optimálních forem odpadů,
- upřesnit inventář kritických radionuklidů v konstrukčních materiálech VJP a ostatních typech RAO a rychlostech jejich uvolňování,
- připravit a zahájit experimentální a in situ programu hodnocení forem odpadů určených pro HÚ a zahájení experimentů.

5 Geologická charakterizace horninového prostředí

Cílem geologické charakterizace lokalit je získat data pro posouzení vhodnosti lokalit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti, stability horninového prostředí a technické proveditelnosti výstavby HÚ. Pro prokázání dlouhodobé bezpečnosti v horizontu tisíců až statisíců let je třeba získat údaje prokazující, že horninové prostředí po požadovanou dobu:

- zajistí fyzickou izolaci odpadů v bezpečné vzdálenosti od biosféry a potenciálních destruktivních procesů,
- udrží konstantní hydrogeologické, geomechanické a geochemické vlastnosti horninového prostředí příznivé pro plnění a zachování funkce inženýrských bariér,
- zpomalí migraci a akumulaci případných mobilizovaných radionuklidů a neaktivních kontaminantů na míru přípustnou z hlediska ohrožení potenciální budoucí populace.


Pro prokázání technické proveditelnosti hlubinného úložiště v určité lokalitě je třeba získat reálná geologická data o velikosti a charakteru jednotlivých homogenních bloků, které jsou vhodné pro vybudování úložných prostor, pomocí geologicko-průzkumných prací.

Geologicko-průzkumné práce umožňují získání komplexního souboru geovědních dat, která pomohou vzájemně porovnat a objektivně vyhodnotit geologické parametry jednotlivých lokalit, které jsou zvažované jako potenciální za účelem umístění trvalého hlubinného úložiště radioaktivních odpadů.

Cíle geologicko-průzkumných prací jsou následující:

- získání základních popisných geologických charakteristik průzkumného území v detailních měřítcích za pomoci souborných metod geologického mapování,
- validace a verifikace předpokládané zlomové sítě pomocí aplikace metod pozemní geofyziky, metod dálkového průzkumu Země (DPZ) a plošné geochemie, aktualizace stávajících mapových podkladů,
- získání geotechnických a technologických parametrů hornin pro projektové řešení nadzemní a podzemní části úložiště,
- získání uceleného souboru hydrogeologických dat pro zpřesnění geologického modelu území. Společně s výsledky verifikace zlomové sítě umožní odhad možných kritických cest z hloubky úložiště na povrch,
- transfer získaných relevantních dat do příslušných databázových prostředí a tvorbu návazných syntetických 3D geovědních modelů databáze a příslušných případových studií (safety case).

Nejvýznamnějším projektem terénního geologického výzkumu byl projekt Geobariéra [5-37], zaměřený na 6 lokalit vybraných na základě kritérií popsaných v kapitole 6. Jednalo se zejména o kompilační práce charakterizující petrologické a mineralogické vlastnosti příslušných granitových těles a okolních hornin, které se nacházejí na potenciálních lokalitách plánovaného HÚ. Rozsah a posloupnost geologicko-průzkumných prací byl v hrubých rysech popsán v Projektu prací na hypotetické lokalitě [8-2].

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

5.1 Geologicko-průzkumné práce

5.1.1 Úvod

Geologicko-průzkumné práce umožňují získání komplexního souboru geovědních dat, která pomohou vzájemně porovnat a objektivně vyhodnotit geologické parametry jednotlivých lokalit, které jsou zvažované jako potenciální za účelem umístění trvalého hlubinného úložiště radioaktivních odpadů.

Cíle geologicko-průzkumných prací jsou následující:

- získání základních popisných geologických charakteristik průzkumného území v detailních měřítcích za pomoci souborných metod geologického mapování,
- validace a verifikace předpokládané zlomové sítě pomocí aplikace metod pozemní geofyziky, metod dálkového průzkumu Země (DPZ) a plošné geochemie, aktualizace stávajících mapových podkladů,
- získání geotechnických a technologických parametrů hornin pro projektové řešení nadzemní a podzemní části úložiště,
- získání uceleného souboru hydrogeologických dat pro zpřesnění geologického modelu území. Společně s výsledky verifikace zlomové sítě umožní odhad možných kritických cest z hloubky úložiště na povrch,
- transfer získaných relevantních dat do příslušných databázových prostředí a tvorbu návazných syntetických 3D geovědních modelů databáze a příslušných případových studií (safety case).

5.1.2 Provedené práce

Nejvýznamnějším projektem terénního geologického výzkumu byl projekt Geobariéra [5-37], zaměřený na 6 lokalit vybraných na základě kritérií popsanych v kapitole 6. Jednalo se zejména o kompilační práce charakterizující petrologické a mineralogické vlastnosti příslušných granitových těles a okolních hornin, které se nacházejí na potenciálních lokalitách plánovaného HÚ. Rozsah a posloupnost geologicko-průzkumných prací byl v hrubých popsán v Projektu prací na hypotetické lokalitě [5-2].

5.1.3 Plánované práce

V rámci souboru geologicko-průzkumných prací jsou plánovány následující etapy průzkumů: etapa vyhledávání, etapa průzkumu a etapa detailního průzkumu.

5.1.3.1 Etapa vyhledávání

V rámci této etapy proběhnou všechny práce, které je možné provést bez zásahů do pozemku. Jedná se o metody geologického mapování, geofyzikálních měření DPZ, strukturní analýzy, geotechnické charakterizace a aplikaci metody plošná geochemie. Získaná data umožní verifikovat povrchovou geologickou stavbu, definovat strukturní plán území a poskytnout podklady pro návazné etapy prací.

5.1.3.2 Etapa průzkumu

V etapě průzkumu budou aplikovány metody spojené se zásahem do pozemku (vrtný průzkum, bodové a liniové sondy), které zpřesní a ověří data získaná povrchovým průzkumem v etapě vyhledávání. Získaná data umožní ověřit homogenitu horninového masivu v hlubších částech lokalit, verifikovat průběh a charakter křehkých a duktilních struktur, detailizovat stupeň hydrogeologického poznání a vývoj geotechnických vlastností hornin v hloubce.

5.1.3.3 Etapa detailního průzkumu

Tato etapa bude probíhat na omezeném počtu lokalit. Předpokládá další upřesnění geologické stavby, ověřování vrtným průzkumem charakter horninového masivu v hloubce úložiště s až dvojnásobným přesahem do jeho hloubky. Kromě vrtného průzkumu budou provedena cílená geofyzikální měření a detailní mapovací práce. Cílem bude získat maximálně věrohodná data pro proces licencování lokality u příslušných dozorových orgánů.

5.2 Databáze

5.2.1 Úvod

SÚRAO jako zadavatel geologicko-průzkumných a výzkumných prací prostřednictvím svých subdodavatelů generuje celou řadu geovědních dat. Tato data jsou v současné době archivována v GIS systému SÚRAO dle příslušných interních metodických postupů. Tato data pak slouží k vytvoření syntetických geovědních modelů, safety case, projekčním a inženýrským činnostem. Centrální datový sklad by pak unifikoval získávaná data, umožnil jejich přesné zařazení s využitím příslušného metadatového popisu a jednotné využívání.


Zároveň disponuje potřebnou hardwarovou infrastrukturou pro jejich skladování. Velkým deficitem je absence centrální geovědní databáze, kdy v lepším případě dochází k živelnému ukládání dat jako příloh závěrečných zpráv, v horším pak primární data zůstávají uložena na pracovištích jednotlivých kontraktorů. Řešením této situace je naprogramování a provozování centrálního datového úložiště SÚRAO, které bezpečným a hierarchickým způsobem archivuje získaná data. Zároveň pak tato data umožní exportovat do různých formátů za účelem tvorby mapových projektů, 3D modelů, modelů hodnocení bezpečnosti aj.

5.2.2 Provedené práce

V rámci projektu Geobariéra [5-37] a Skalka-digitální mapový archiv, byly naprogramovány dílčí databáze geovědních informací.

5.2.3 Plánované práce

Bude naprogramováno provozováno centrální datového úložiště SÚRAO, které bezpečným a hierarchickým způsobem archivuje získaná data. Zároveň pak tato data umožní exportovat do různých formátů za účelem tvorby mapových projektů, 3D modelů, modelů hodnocení bezpečnosti aj.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Centrální datový sklad bude archivovat následující okruhy dat:

- a) Geovědní statická data. Jedná se o data získaná v rámci geologických prací. Data lze rozdělit do následujících kategorií:
 - data z geologického mapování (např. popis geologické situace, strukturní měření, geofyzikální měření přenosnými přístroji, odebrané vzorky, data anizotropie magnetické susceptibility),
 - hydrogeologická charakteristika (např. vydatnost, konduktivita, Eh, pH, chemismus, opakovaná měření),
 - DPZ data (studované snímky, vygenerované interpretace),
 - geofyzikální data (VDV, VES, magnetika, gravimetrie, seismika, tj. data primární z přístrojů, plošná, liniová následná data opravená),
 - vrtná data (vrtný profil, karotážní data, hydrogeologické, inženýrsko-geologické charakteristiky),
 - inženýrsko-geologická data,
 - petrofyzikální data (elektrická vodivost, odpor, magnetická susceptibilita, objemová aktivita aj.).
- b) Geovědní dynamická data. Jedná se zejména o data získávaná z kontinuálních experimentálních prací v podzemních laboratořích. Monitorovanými veličinami jsou např. teplota tlak, napětí, seismické projevy, saturace aj. Tato data jsou obvykle získávána s krátkou časovou periodou, jejich objem proto bude značný.

5.3 Geologické mapování, petrologický a mineralogický výzkum lokalit

5.3.1 Úvod

Tyto metody jsou využívány jako základní prostředek pro geologické výzkumné a průzkumné práce. Poskytují základní informace o petrologickém a mineralogickém složení hornin, jejich chemizmu, vnitřní struktuře aj. Petrologické studium horniny v makro- a mikro- měřítku umožní definovat a odlišit základní horninové typy, včetně jejich teplotního, tlakového a časového vývoje. Mineralogická charakteristika je důležitá pro celkový popis horninových typů a také pro charakterizaci zlomových a puklinových systémů, zejména k odhadu jejich možné reaktivace a poslední aktivity. Geologické mapování je pak syntetickou metodou, která umožní vizualizovat povrchovou geologickou situaci a získat reálná terénní data, která lze dále aproximovat do hlubších partií.

5.3.2 Provedené práce

Nejvýznamnějším projektem geologického výzkumu byl projekt Geobariéra [5-37], zaměřený na 6 lokalit vybraných na základě kritérií popsanych v kapitole 3. Jednalo se zejména o kompilační práce charakterizující petrologické a mineralogické vlastnosti příslušných granitových těles a okolních hornin, které se nacházejí na potenciálních lokalitách plánovaného HÚ.

5.3.3 Plánované práce

Komplexní geologické mapování v podrobných měřítkách a s tím spojené práce jsou plánovány na všech lokalitách v rámci průzkumných prací. Obecně je projekt mapování popsán v projektu prací na hypotetické lokalitě [5-17] a [5-18].

5.4 Geofyzikální charakterizace horninového prostředí

5.4.1 Úvod

Geofyzikální metody jsou vedle hlubinných vrtů jedinými metodami, kterými lze studovat stavbu horninového masivu ve větších hloubkách. Data získaná v rámci geofyzikálních měření pomohou interpretovat míru homogenity jednotlivých horninových bloků, mocnost a dosah případných zlomových zón, a tím pádem verifikovat výsledky geologického mapování vedle prosté aproximace povrchových struktur do hloubky HÚ.

5.4.2 Provedené práce

Nejvýznamnějším projektem geologického a geofyzikálního výzkumu byl projekt Geobariéra [5-37], zaměřený na 6 lokalit vybraných na základě kritérií popsanych v kapitole 7. V rámci geofyzikálních prací byly aplikovány v omezeném rozsahu dílčí geofyzikální metody.

5.4.3 Plánované práce

V rámci průzkumu lokalit je navržena aplikace geoelektrických, gravimetrických a seismických metod [5-1] až [5-4].

Geoelektrické metody umožňují odhalit a definovat přípovrchová zlomová, popř. puklinová zvodnělá pásma, která často koincidují s mapovanými zlomovými strukturami.


Gravimetrické metody mohou na základě hustotního kontrastu určit hloubkový dosah určitých horninových typů (v podmínkách průzkumu HÚ jde zejména o granity), po určitém zpřesnění pak interpretaci zlomových struktur vyššího řádu.

Seismické metody pak na základě poklesu rychlosti seizmických vln detekují významná litologická rozhraní a zlomy ve větších hloubkách. Tyto geofyzikální metody budou aplikovány jak v rámci průzkumů, tak za účelem charakterizace prostředí PVP Bukov.

5.5 Strukturně-geologický a DPZ výzkum

5.5.1 Úvod

Na základě dat získaných strukturně-geologickým výzkumem kombinovaným s analýzou dálkového průzkumu Země (DPZ) lze definovat celkový tektonický plán oblasti a stupeň jejího tektonického porušení. Metoda DPZ poskytuje signální informace, a to zejména pro křehké struktury vyšších řádů. Omezeně lze touto metodou zmapovat alterační pásma a litologické hranice. V podmínkách českého masivu je vždy nutné tuto metodu doplnit terénní strukturní analýzou, a to z důvodu negeologického původu některých DPZ indikací.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Výsledná znalost duktilní a křehké anizotropie horniny je jedním z nevyhnutelných předpokladů pro definování bloků, které jsou potenciálně vhodné pro umístění HÚ.

5.5.2 Provedené práce

Iniciální strukturní analýza byla provedena na testovací lokalitě Melechov [5-29] a [5-34]. Problematikou strukturně-geologického popisu horninového prostředí se zabýval projekt „Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů“ [5-33]. Mezoskopická strukturní analýza spojená se studiem DPZ byla použita na lokalitě Kraví hora a Boletice [5-14] a [5-20]. Metody DPZ byly aplikovány na šesti lokalitách v rámci projektu Geobariéra [5-37].


5.5.3 Plánované práce

Za účelem kvantifikace stupně porušení a zhodnocení kvality horninového prostředí se předpokládá komplexní strukturní analýza, a to jak duktilních, tak křehkých struktur. Budou aplikovány klasické terénní i laboratorní metody (AMS, EBSD). Nedílnou součástí budou rešeršní práce, včetně kritického hodnocení již zmapované zlomové sítě. V rámci DPZ výzkumu proběhne studium za použití digitálního modelu reliéfu, radarových a satelitních snímků jednotlivých lokalit a nejbližšího okolí. Data získaná v rámci strukturního a DPZ výzkumu budou společně s výsledky dalších geologických a geofyzikálních prací sloužit k vyhotovení 3D geologických a strukturně-geologických modelů, které budou charakterizovat lokalitu z hlediska litologické stavby, duktilní anizotropie a stupně křehkého porušení. Tyto modely jsou základním vstupem pro tvorbu dalších nadstavbových modelů a také základem pro posouzení technické proveditelnosti úložiště.

5.6 Hydrogeologický a hydrologický výzkum

5.6.1 Úvod

Hodnocení mechanismů proudění podzemní vody, jako je analýza směru a rychlosti proudění, je důležitým vstupem pro hodnocení bezpečnosti, protože jako nejpravděpodobnější způsob šíření radionuklidů do okolního životního prostředí se považuje migrace prostřednictvím proudění podzemní vody. Bez ohledu na způsob uložení jsou na horninové prostředí kladeny takové požadavky, které mají tendenci omezit průtok, přítok a odtok podzemní vody, a tím zabránit nepřijatelnému uvolňování a šíření radionuklidů v případě porušení inženýrských bariér. Je třeba identifikovat potenciální preferenční cesty pro únik radionuklidů a popsat jejich vlastnosti. Přítomnost zvodnělých poloh a diskontinuit v hornině má zásadní vliv na posouzení dlouhodobé bezpečnosti HÚ. Jejich parametry (hustota, průběžnost, otevřenost apod.) v hostitelské hornině v blízkosti úložiště nesmí narušit či jiným způsobem ohrozit ochrannou funkci geologických a inženýrských bariér. Ředící schopnost hydrogeologického systému může být důležitá a měla by být rovněž hodnocena. Umístění HÚ by mělo být optimalizováno z hlediska výskytu cest pro pohyb podzemních vod z hlubinného úložiště do životního prostředí. (viz IAEA SSG-14; I.29).

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Data potřebná pro hydrogeologickou charakterizaci prostředí jsou:

- hydrogeologické zhodnocení místních a regionálních geologických formací, jejich podrobná charakterizace a identifikace zvodněných a nepropustných poloh v dostatečných podrobnostech,
- identifikace a charakterizace významných hydrogeologických formací v regionu (např. jejich lokalizace, mocnost a vzájemná propojenost a komunikace jednotlivých zvodnělých horizontů),
- stanovení celkové vodní bilance zájmového území pro umístění HÚ založené především na odhadu přítoku a odtoku podzemních vod oblasti,
- hydrogeologické charakteristiky prostředí (např. pórovitost, propustnost, hydraulický gradient apod.),
- proudění podzemní vody (průměrný průtok a převládající směry, množství tektonických poruch, jejich výplň, velikost, průběžnost a směr všech hydrogeologických jednotek v geologickém prostředí,
- fyzikální a chemické vlastnosti podzemní vody a hostitelské horniny v geologickém prostředí,
- výzkum paleo-hydrogeologického vývoje lokality,
- monitoring klimatických činitelů (srážky, teplota vzduchu).

5.6.2 Provedené práce

Zásadní práce v oblasti odhadu hydraulických a hydrochemických parametrů představují práce provedené v projektu Geobariéra, a to zejména dílčí závěrečná zpráva tohoto projektu [5-37].


Modelování sdružených úloh napjatosti, proudění a transportu látky v prostředí rozpukané horniny v souvislosti s vlastnostmi hostitelské horniny pro bezpečnost hlubinného úložiště probíhalo v rámci monitoringu tunelu Bedřichov [5-6] a v rámci projektu DECOVALEX („DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments“, tj. vývoj sdružených modelů a jejich validace na experimentálních datech) [5-7], [5-8], [5-9].

Informace z výzkumu hydraulických vlastností hornin regionálního měřítko rovněž obsaženy v práci zabývající se hydrogeologickou charakteristikou jižní části uranového ložiska Rožná a Olší se zřetelem na umístění hlubinného úložiště VJP a RAO na lokalitě Kraví hora [5-12], [5-19].

5.6.3 Plánované práce

Práce budou zaměřeny zejména na:

- shrnutí relevantních dat z potenciálních lokalit potřebných pro vytvoření základních hydrologických, hydraulických a hydrogeologických modelů,
- vytvoření hydraulických modelů – verze 0 na „referenční“ lokalitě (regionální a detailní měřítko) – koncepční model, definice hlavních cílů, geometrické vymezení, diskretizace modelu, ověření a zadání vstupních dat a okrajových podmínek, kalibrace modelu,
- vytvoření hydraulických modelů na navrhovaných lokalitách v regionálním měřítku,
- vytvoření hydraulických modelů na navrhovaných lokalitách v detailním měřítku,

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- prognóza simulace proudění podzemní vody při otvírce HÚ – vyhodnocení detailních modelů, proudění podzemní vody v navrhovaných lokalitách,
- průběžné upřesňování hydraulických modelů lokalit na základě dat z průzkumných prací a dalších expertních hodnocení možného vývoje lokalit.

5.7 Geochemický výzkum

5.7.1 Úvod

Jedním ze zásadních kritérií pro výběr lokality HÚ jsou vhodné geochemické a retenční vlastnosti horninového masivu včetně vhodného chemizmu podzemních vod. Jedná se konkrétně o parametry difúze, srážení, sorpce, iontovou výměnu a další chemické interakce, které ovlivňují retardační vlastnosti horninového prostředí. Neméně důležitým hlediskem je biogeochemická charakteristika prostředí, která může mít velký význam pro izolační vlastnosti horninového bloku (viz IAEA SSG-14; I.33, [16]).

Informace nezbytné k zhodnocení vybraných lokalit pro hlubinné úložiště by tak měly zahrnovat také popis geochemických a hydrochemických charakteristik hostitelské horniny a přítomné vody. Jde především o geochemické vlastnosti a chemické složení podzemní vody (podrobnější požadavky viz IAEA SSG-14; I.34, [16]).

5.7.2 Provedené práce

Významnější poznatky o geochemii granitoidních hornin (obsahy litofilních a stopových prvků včetně prvků vzácných zemin) byly shrnuty v pracích [5-23], [5-30], [5-27], [5-33] a to včetně užitých metodik.

Detailnější studie pro jednotlivé regionální oblasti jsou uvedeny v pracích [5-35], [5-29], [5-25], a [5-24].

Převážná většina prací z archivu SÚRAO byla zaměřena spíše na obecnou geologickou stavbu a strukturně tektonické poměry – např. [5-21], [5-22], [5-24], [5-25], [5-26], [5-28], [5-31], [5-34], [5-36] a [5-32].

5.7.3 Plánované práce

Cílem prací je v první fázi shrnutí dostupných dat o geochemii a hydrochemii kandidátních lokalit a jejich předpokládaném vývoji a vytvoření komplexních geochemických modelů pro všechny fáze vývoje úložiště (před zahájením výstavby, po zahájení výstavby, v průběhu výstavby, při provozu, po uzavření) v horizontu 1 miliónu let, zohledňující všechny důležité jevy, procesy a události včetně vlivu inženýrských bariér a dalších konstrukčních prvků (například změna redukčního prostředí na oxidační a naopak).

Podrobnost připravených modelů bude postupně zvyšována s rostoucím množstvím dat z lokalit. V první fázi budou připraveny modely na základě dostupných dat z existujících zdrojů a dat získaných z povrchu. V této fázi budou definovány případné anomálie (např. vody s nízkým pH), které by mohly ovlivnit bezpečnost úložiště (například přítomnost agresivních vod).

Experimentální práce by měly být zaměřeny na procesy probíhající při interakci horninového masivu s výplňovými a konstrukčními materiály. Navržené experimenty by měly probíhat v podzemních laboratořích (zejména v připravovaném PVP Bukov) v reálných podmínkách (v prostředí s reálnou, tzv. granitickou vodou) v řádu let, aby mohly být pozorovány a popsány případné mineralogické a strukturní změny horniny, a to zejména v pórovém prostoru, a rovněž charakterizován průběh transformačních procesů (vyluhování, sekundární cementace apod.). Důležitá je také interakce jílových koloidů s primární granitickou mineralizací a výplní křehkých deformací (stabilita a změny v chemizmu dosavadních fylosilikátů, vznik a stabilita novotvořených fází).

Je také potřeba identifikovat koncentraci koloidů či mikroorganismů, které mohou mít výrazný vliv na transportní vlastnosti krystalinických hornin.

Tato etapa připravuje vstupy pro ostatní fáze tohoto programu, zejména hodnocení transportu radionuklidů a degradace inženýrských bariér.

Předpokládá se, že výzkum v oblasti geochemie granitoidních hornin a jejich interakcí bude řešen v rámci projektu „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“ v letech 2014 - 2020. Práce budou zaměřeny především na:

- shrnutí a aktualizaci poznatků potřebných pro popis geochemického prostředí lokalit, zejména z hlediska potřeb bezpečnostních rozborů, přípravu podrobného programu prací potřebných pro popis geochemických parametrů (Eh, pH, složení vody v závislosti na interakci s materiály hornin a inženýrských bariér) na základě informací z kandidátních lokalit,
- přípravu modelů a interpretace poznatků získávaných v lokalitách do formy geochemických modelů, popisujících lokality po geochemické stránce a shrnující všechny informace potřebné pro hodnocení bezpečnosti HÚ v kandidátních lokalitách,
- testování, kalibrace, verifikace, validace a testování geochemického modelu/modelů lokalit v návaznosti či současně s vývojem geologických a hydrogeologických modelů lokalit,
- modelování rozpustnosti radionuklidů s využitím získaných znalostí z lokalit a shrnutí poznatků do přehledných tabulek pro bezpečnostní rozborů potřebné pro výběr tří až pěti kandidátních lokalit na základě dat z průzkumu lokalit,
- modelování a provedení experimentů potřebných pro prokázání vlivu inženýrských komponent úložiště na změnu geochemie prostředí,
- upřesnění geochemického modelu pro vybrané lokality na základě průzkumných prací a predikce geochemického vývoje lokality,
- shrnutí geochemických dat z geologické charakterizace lokalit pro bezpečnostní rozborů,
- shromažďování a stanovení transportních vlastností horninových prostředí potenciálních lokalit.

5.8 Výzkum geotechnických vlastností hornin

5.8.1 Úvod

Geotechnické parametry hostitelského prostředí HÚ významně ovlivňují zejména možnost výstavby úložiště, včetně nákladů na jeho vybudování, ale i provozní a dlouhodobou bezpečnost úložiště. Geotechnické vlastnosti horninového prostředí jsou dané mnoha parametry, jako např. genezí, mineralogickým složením, vnitřní stavbou horniny, tektonickým porušením, přítomností podzemní vody, napjatostním stavem, intenzitou ovlivnění exogenními procesy apod.

5.8.2 Provedené práce

Převážná většina prací z archivu SÚRAO byla doposud zaměřena na obecnou geologickou stavbu a strukturně tektonické poměry [5-21], [5-22], [5-24], [5-25], [5-28], [5-32]. Bylo vypracováno několik studií, které se v této oblasti výzkumu týkaly konkrétních oblastí, tj. Melechovského masivu a dále výzkumu v Bedřichovském tunelu a oblasti mezi ložisky Rožná a Olší [5-25], [5-26] a [5-28].

5.8.3 Plánované práce

Znalost zejména mechanických a technologických charakteristik horninového prostředí umožní optimalizovat umístění budoucího hlubinného úložiště v horninovém masivu. Optimální umístění vzhledem ke stávajícím křehkým strukturám a k případné duktilní anizotropii zajistí provozní bezpečnost během ražby a dlouhodobou stabilitu samotného objektu HÚ.


Primárním požadavkem na navazující výzkum v této oblasti je tedy znalost horniny a jejích fyzikálních vlastností (např. mineralogická a objemová hustota, pórovitost, vlhkost apod.), mechanických vlastností (např. pevnostní, přetváření a reologické) a technologických vlastností (např. rozpojitelnost, abrazivnost, tvrdost, tříštivost apod.), jakož i některých jiných (termofyzikální apod.), dále i znalost poměru samotných horninových masivů (napjatostní stav, tektonické porušení, zvodnění, rozsah a intenzita zvětrání apod.).

V první fázi budou zhodnocena archivní data, která následně budou doplněna daty získanými v rámci geologických průzkumných prací. Geotechnický výzkum bude také probíhat v rámci výstavby a charakterizace horninového prostředí v oblasti PVP Bukov.

5.9 Vytvoření syntetických 3D modelů

5.9.1 Úvod

Geologické modelování včetně 3D vizualizace je v současné době jedním z progresivních směrů v geologických vědách. Díky prudkému rozvoji zejména těžebního průmyslu jsou nyní k dispozici robustní softwary, které umožňují integrovat multidisciplinární data, pomocí kterých lze vytvářet syntetické geovědní modely. Tyto modely pak umožní efektivně umístit prostory HÚ a ohodnotit kvalitu horninového masivu z hlediska lokalizace zlomových struktur. Ve speciálních případech proběhne vývoj zcela nových nástrojů, a to pro vizualizaci výsledků

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

výzkumů či animace experimentů pro následné využití ať již v rámci navazujících výzkumných prací nebo pro potřeby prezentace činností SÚRAO.

5.9.2 Provedené práce

Žádné komplexní práce týkající se tvorby 3D geologických a strukturně – geologických modelů zájmových území zatím nebyly provedeny.

5.9.3 Plánované práce

Za účelem efektivní tvorby 3D modelů je třeba logickým a přehledným způsobem archivovat a strukturovat získaná data. Proto budou vyvinuty a naplněny speciální databáze, které budou pokrývat široké spektrum získaných dat. Získaná hmotná dokumentace bude uchována ve zvláštním skladu. Následovat bude tvorba vlastních 3D modelů. Pro potřeby zhodnocení území pro HÚ je třeba vytvořit zhruba následující sadu modelů:

- geologický a 3D strukturně geologický model,

V tomto modelu budou vizualizovány základní litologické variety, průběh a intenzita křehké a duktilní tektoniky. Samotný model se bude skládat ze dvou úrovní:

- a) regionální, ve které budou v hrubých rysech vizualizovány struktury regionálního charakteru, které mohou mít potenciální vliv na bezpečnost HÚ a
- b) detailní, ve kterém bude vizualizovaná ve větším detailu samotná lokalita. Modely by měly být zhotoveny do roku 2016 a následně aktualizovány a verifikovány daty získanými z geologicko-průzkumných prací.

- hydrogeologický model,

Tento model bude vycházet z geologického modelu a umožní vizualizovat hydrogeologický režim HÚ, potenciální šíření radionuklidů a bude definovat potenciální transportní cesty z HÚ.

- geochemický a hydrochemický model


Tento model popíše lokality po geochemické stránce a shrne všechny informace potřebné pro hodnocení chování různých forem radionuklidů ve vybraném horninovém prostředí.

- geomechanický model,

V tomto modelu budou vizualizovány geomechanické charakteristiky hornin a definovány homogenní bloky. Budou navrženy optimální směry báňských prací vzhledem k předpokládané anizotropii horninového masivu.

- 3D model podzemních prostor (např. PVP Bukov),

Tyto speciální modely budou vizualizovat podzemní pracoviště v gesci SÚRAO. Výsledný syntetický 3D strukturně geologický model pomůže efektivně lokalizovat jednotlivá experimentální výzkumná pracoviště, včetně lokalizace čidel nebo online vizualizace naměřených hodnot.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- 3D stress model,

Tento model bude vizualizovat pohyby v puklinovém systému a možnosti případných reaktivací. Předběžný model bude vycházet z dat naměřených v rámci projektu Lasmo, prováděném v laboratoři, a následně budou modely rozšířeny na jednotlivé lokality.

5.10 Podzemní výzkumné pracoviště Bukov

5.10.1 Úvod

Podzemní výzkumné pracoviště Bukov (PVP Bukov) představuje důležitou součást v plánu výzkumu a vývoje. Díky jeho lokalizaci v hloubkách předpokládaných pro umístění HÚ představuje unikátní možnost získat reálná data z těchto hloubek ve specifických podmínkách českého masivu. Díky kontrolovanému pásmu uranového dolu, v němž se PVP Bukov nachází, umožňuje projektovat experimenty, které jsou v podobných pracovištích v ČR a v zahraničí obtížně realizovatelné.

5.10.2 Provedené práce

V současné době probíhají práce spojené s výstavbou pracoviště.

5.10.3 Plánované práce

PVP Bukov bude sloužit jako testovací lokalita pro ověření konkrétních technických řešení a metodik postupu, které budou použity pro charakterizaci lokalit a při výstavbě podzemní laboratoře. Generický koncept, který byl v případě PVP Bukov zvolen, vychází z následujících cílů:

- a) Získání dat z hloubky 600 m:


V současné fázi výběru lokality je třeba získávat data, která v bezpečnostních a jiných studiích umožní prokázání stability a bezpečnosti zvolené hloubky úložiště. Získaná data také ověří věrohodnost charakteristik, které jsou zatím dostupné pouze v povrchových partiích uvažovaných lokalit. Jedná se zejména o porovnání a test spolehlivosti geotechnických parametrů, které jsou potřebné pro projektové řešení úložiště nebo metodiku extrapolace strukturního záznamu z povrchu do hloubky úložiště. Nedílnou součástí je verifikace syntetických 3D geovědních modelů (strukturní, hydrogeologický, geomechanický)

- b) Testování uvažovaných technických řešení

Hloubka 600 m a přesně popsané geologické prostředí umožní otestovat uvažovaná technická řešení v extrémním prostředí. Jedná se zejména o dlouhodobé sledování koroze, testování migračních vlastností hornin, testování stability zvolených bariér.

- c) Získání metodik studia

Specifické podzemní prostředí umožní osvojení základních metodik studia horninového prostředí, které bude možno využít jak při výběru lokalit (např. modelování zlomové sítě pomocí metody DFN – discrete fracture modelling), tak metodik plně využitelných v každé fázi výběru lokality. Jedná se např. o následující metodiky: strukturní dokumentace a jejího následného modelování, plánování, projektování a vyhodnocení vrtných prací, testy

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

ve vrtech, metodika studií hydrogeologických, geomechanických a transportních charakteristik, metodika speciálního geologického mapování. Všechny tyto a jiné metodiky jsou částečně k dispozici u vědecko-výzkumných institucí, ovšem bez přímé vazby na specifika hlubinného úložiště a tedy bez jakékoli úpravy. Projekt PVP Bukov umožní tyto metodiky modifikovat, sjednotit, přesně zacílit, dále umožní jednotným způsobem získání vyčerpávajícího spektra multidisciplinárních dat, jejich uniformní uložení do standardizované databáze a dále interpretaci ve formě příslušných modelů. Velkým benefitem je skutečnost, že tyto postupy bude vlastnit SÚRAO jako svoje unikátní know-how a tím pádem bude zaručena jejich aplikovatelnost a univerzálnost. Navíc projekt PVP Bukov umožní výchovu příslušných expertů pro problematiku HÚ minimálně na evropské úrovni vybudování dodavatelských řetězců schopných řešit vysoce odborné a dodavatelsky velmi specifické a náročné práce.

d) Získání know-how výstavby a charakterizace

Při výstavbě a uvedení do provozu PVP Bukov jsou získávány jedinečné zkušenosti, které umožní již v této fázi zodpovědně a věrohodně naprojektovat podzemní pracoviště na lokalitě (tzv. site-specific laboratory).

e) Ekonomická funkce

V porovnání s výstavbou podobného zařízení přímo z povrchu jsou náklady na vybudování PVP Bukov zhruba 1/100 (i v porovnání se zahraničními zkušenostmi). Navíc získaná data umožní optimalizaci projektového řešení úložiště tak, aby jeho výstavba a provoz byly co možná nejekonomičtější.

6 Výzkumné a vývojové práce potřebné pro hodnocení bezpečnosti

6.1 Úvod

Pro výběr lokality pro hlubinné úložiště, jeho výstavbu, provoz a uzavření je třeba prokazatelně a věrohodně doložit jeho bezpečnost, a to jak jeho provozní bezpečnost, pokrývající období několika desítek až stovek let, tak i tzv. dlouhodobou bezpečnost pokrývající období tisíců až statisíců let. Hodnocení provozní bezpečnosti se výrazně neliší od hodnocení provozní bezpečnosti současných jaderných zařízení kromě toho, že je třeba zvažovat i požadavky související s báňskou bezpečností.


Podle požadavků IAEA (SSR 5 [6-1], požadavek 6), provozovatel zařízení pro ukládání radioaktivních odpadů musí především porozumět procesům a událostem probíhajícím v úložném systému, a tím poskytnout dostatečnou důvěru v jeho bezpečnost. Tato důvěra musí být podpořena výsledky bezpečnostních rozborů a identifikací všech nejistot spojených s hodnocením bezpečnosti.

Hodnocení bezpečnosti, a to jak provozní, tak i dlouhodobé, vyžaduje využívání prediktivních modelů. Prokázání bezpečnosti po dobu tisíců let je možné pouze na základě abstrakce úložného systému do formy modelu a využívání různých matematických a výpočetních popisů procesů probíhajících v tomto systému. Modelový popis těchto procesů musí vycházet z obecně platných fyzikálních zákonů a jejich ověřování, například porovnáváním s daty z laboratorních a in-situ experimentů a přírodních analogů.

Oblast hodnocení bezpečnosti je prioritní oblastí všech národních programů výzkumu a vývoje hlubinného úložiště. Tak jako nelze předpokládat, že ze zahraničí bude možno získat či koupit projekt úložiště bez vazby na reálnou geologickou situaci v místě jeho realizace není možno očekávat, že bude možno v zahraničí zakoupit hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště zahrnující specifické místní prostředí České republiky (od geologické stavby, přes hydrogeologickou situaci až po biosféru).

V první fázi vývoje úložiště, spojené především s návrhem vhodného konceptu úložiště a nalezením vhodné lokality, je třeba se soustředit na práce, které vedou k transparentním indiciím a argumentům dokládajícím bezpečnost umístění úložiště ve vybraných lokalitách. Základním principem je to, že je třeba vybrat lokality, u kterých je možno očekávat, že s rezervou splní požadavky na provozní a dlouhodobou bezpečnost navrženého konceptu hlubinného úložiště pro uložení radioaktivních odpadů vyprodukovaných na území ČR. Upřednostňována je zpravidla ta lokalita, která splní bezpečnostní kritéria s dostatečnou rezervou, s uvážením všech rizik připadajících v úvahu v daném období životnosti úložiště, tj. je dostatečně robustní.

První fáze výběru lokalit je vždy prováděna na základě více méně sporadických dat, která neumožňují zpracovat podrobné bezpečnostní rozborů, protože nejsou k dispozici data z odpovídajících hloubek předpokládaného úložiště.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Pro hodnocení lokalit z hlediska dlouhodobé provozní bezpečnosti je třeba vycházet z předběžných/screeningových rozborů a souboru indikátorů (dat a argumentů) horninového prostředí svědčících o:

- 1) Pomalé migraci kontaminantů z úložiště do životního prostředí.
- 2) Dlouhodobé stabilitě horninového prostředí.
- 3) Pomalé degradaci inženýrských bariér.
- 4) Robustnosti lokality z hlediska možné intruze člověka k odpadům.
- 5) Popsatelnosti a predikovatelnosti horninového prostředí.
- 6) Bezpečnosti výstavby a technického řešení úložiště.

Program výzkumu a vývoje je tedy v období zúžení počtu lokalit a výběru finální lokality zaměřen na získání argumentů a dat, která umožní vzájemně porovnat kandidátní lokality. Podrobně jsou potřebná data a argumenty popsány v již zmíněném dokumentu [3-12] „Metodický pokyn SÚRAO MP.22, Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria pro umístění hlubinného úložiště, březen 2015

6.2 Provozní bezpečnost

6.2.1 Úvod

Podle požadavku Atomového zákona a související vyhlášek SÚJB [1] musí bezpečnostní analýzy prokázat, že míra ovlivnění personálu a obyvatelstva, žijícího v okolí jaderného zařízení, bude respektovat princip ALARA, a to jak v případě normálního provozu, tak i projektových nehod. Prokázání provozní bezpečnosti závisí na přijatém technickém řešení. Bez konkrétního technického řešení nelze sestavit odpovídající scénáře událostí a vyhodnotit možné důsledky různých nehod.

Bezpečnost provozu a soulad s příslušnými předpisy bude nutno zajistit v potřebné úrovni vždy, a to bez ohledu na vybranou lokalitu. Bezpečnostní rozbor pro jednotlivé pracovní činnosti bude nutno provádět souběžně s vývojem dotčeného zařízení, příp. důležitých objektů tak, aby výsledek bezpečnostního rozboru bylo možno zpětně promítnout do technického řešení.

Projekt hlubinného úložiště je specifický tím, že v ukládacím horizontu úložiště bude probíhat současně jeho výstavba i ukládání. Z tohoto požadavku musí vycházet nejen přístup k hodnocení bezpečnosti, ale i následně přijatá technicko-organizační opatření.

6.2.2 Provedené práce

První hodnocení bezpečnosti technického řešení bylo provedeno v rámci Referenčního projektu z r. 1999 [6-4]. Šlo spíše o vyhodnocení požadavků, kladených legislativou v této oblasti.

V aktualizaci Referenčního projektu [7-12] byly vyhodnoceny krizové scénáře uvolňování radionuklidů do životního prostředí, a provedeny kvantitativní výpočty.

Byly uvažovány následující scénáře:

- nehoda během přepravy přepravního OS po areálu úložiště,
- nehody při zavážce VJP do UOS,

- nehody při přepravě UOS a superkontejneru do místa uložení.

Nutno však podotknout, že oba Referenční projekty řešily odlišné technické zadání. I vytipování scénářů projektových nehod pak může být odlišné. Jako příklad lze uvést přepravu obalového souboru do podzemí; Referenční projekt 1999 řešil přepravu UOS do podzemí šachtou, Referenční projekt z r. 2011 uvažoval s přepravou po úpadnici. Je jisté, že v případě dopravy šachtou by tento scénář měl být uvažován také.

Veškeré práce týkající se provozní bezpečnosti je vždy třeba brát jako podpůrné ke zjištění stavu navrženého technického řešení, ale zároveň nutné k prokázání, že navržené technické řešení je realizovatelné a bezpečné.

Dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky, jsou uvedeny v:[6-4],[6-60].

6.2.3 Plánované práce

Bezpečnostní hodnocení musí být provedeno jak pro normální provoz, tak pro projektové nehody, které by mohly mít největší dopad na životní prostředí a obyvatelstvo. Bezpečnostní výpočty projektových nehod (únik radionuklidů z UOS) se musí zpětně promítnout do návrhu konstrukce UOS i přijatého technického řešení (např. do řešení speciální vzduchotechniky kontrolovaného pásma). Základními předpoklady pro hodnocení bezpečnosti je znalost zdrojového členu, konkrétních manipulací s UOS a znalosti konstrukce UOS a v něm uloženého inventáře radionuklidů.

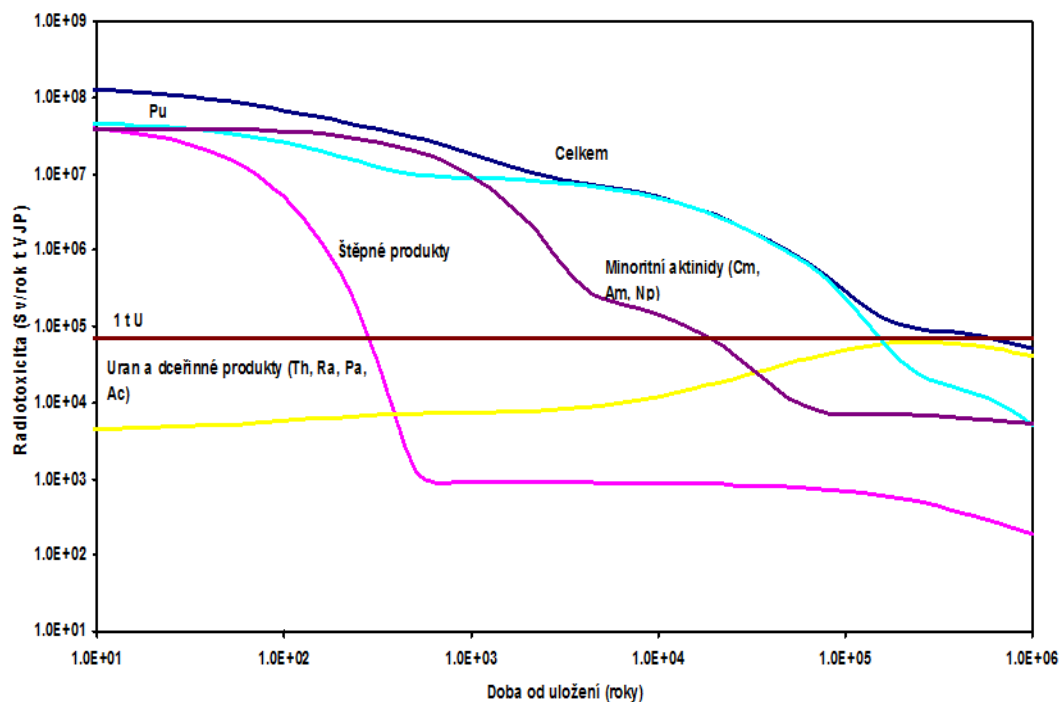
V rámci mezinárodní spolupráce IGD-TP se SÚRAO zapojila do spolupráce v pracovní skupině Operational and Construction Safety. Účelem tohoto projektu je identifikovat společné rysy, příp. rozdílný přístup v přístupech k řešení provozní bezpečnosti a bezpečnosti při realizaci, identifikovat problematiku/y, které by mohly být užitečně dále rozvíjeny v rámci následného EU projektu (technické a/nebo vědecké pracovní skupiny, platformy pro výměnu informací, technického projektu atd.), přičemž bude třeba vzít v úvahu další probíhající projekty na stejné téma (např. OECD-NEA). Pokud bude následný EU projekt považován za perspektivní, vytvořit nástin následného projektu EU. Na roky 2014 až 2025 jsou plánovány následující práce:

- vyhodnocování provozní bezpečnosti při změně nebo úpravě technického řešení a přípravě bezpečnostní dokumentace v souvislosti s výběrem lokality,
- zapojení se do spolupráce v pracovní skupině IGD-TP „Operational a Construction Safety“ a případných následných mezinárodních projektů.

6.3 Dlouhodobá bezpečnost

6.3.1 Úvod

Dlouhodobá bezpečnost úložiště spoléhá jak na umělé, tzv. inženýrské bariéry připravené člověkem (ukládací obalové soubory, tlumící, výplňové a těsnící materiály), tak především na dlouhodobou stabilitu horninového prostředí po dobu pokrývající nebezpečnost radioaktivních odpadů, tj. období mnoha tisíců až statisíců let. Z Obr. 4 plyne, že radiotoxicita vyhořelého jaderného paliva poklesne na úroveň radiotoxicity uranové rudy zhruba až za dobu 100 až 200 tisíc let.



Obr. 4: Srovnání radiotoxicity vyhořelého jaderného paliva a radiotoxicity uranové rudy

Při hodnocení úložiště je proto nutno počítat i s možnou změnou klimatu, zahrnující i několik ledových a meziledových dob. Je nutno zvažovat faktory jako zvedání a eroze povrchu lokality úložiště či různé seismické události. Při hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště je třeba zvažovat i událostí s velmi malou pravděpodobností výskytu, které nejsou běžně studovány. Především proto je třeba předložit důkazy, že všem procesům a událostem, které se mohou vyskytnout v úložném systému, je dobře porozuměno (dokument IAEA [6-1], SSR-5, požadavek 13).

Je rovněž nutno počítat s tím, že v průběhu tisíců let se na úložiště zapomene a v důsledku například průzkumných vrtů v lokalitě se do kontaktu s odpady může dostat neúmyslně či úmyslně člověk a narušit integritu bariér úložiště.

Prokazování dlouhodobé bezpečnosti a prokazování porozumění procesům probíhajícím v úložišti je klíčovým faktorem výzkumných prací ve všech zemích, které připravují hlubinné úložiště.

6.3.2 Endogenní a exogenní jevy

6.3.2.1 Úvod

Indikátorem dlouhodobé stability úložiště v kandidátních lokalitách jsou především průkazy o:

- dlouhodobé seismické stabilitě území v horizontu tisíců až statisíců let,
- pomalých vertikálních pohybech zemské kůry,
- nepřítomnosti postvulkanických jevů,
- malé pravděpodobnosti výrazných změn klimatu a změn v charakteru exogenních geodynamických procesů (např. zvětrávání, eroze/akumulace, svahové deformace apod.).

6.3.2.2 Provedené práce

Endogenní procesy, které mohou mít vliv na HÚ, byly komplexně studovány pro podmínky ČR v rámci projektu „Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů“. Dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky, jsou uvedeny v pracích: [6-2], [6-3].

6.3.2.3 Plánované práce

V rámci programu výzkumu a vývoje pro potřeby hlubinného ukládání a zejména hodnocení dlouhodobé bezpečnosti bude nezbytné systematicky zkoumat všechny tyto jevy: tj. zabývat se hodnocením pravděpodobnosti geodynamických jevů na lokalitě a tím jejich důsledky pro hlubinné úložiště a jednotlivé bariéry, zabývat se studiem rychlosti zvětrávání hornin a rychlostí eroze a denudace zemského povrchu v kandidátních lokalitách. Rovněž bude nezbytné studovat možný vliv budoucího zalednění.

SÚRAO plánuje v této oblasti vycházet z expertního posuzování a vyhodnocování názoru odborníků ze zmíněných oblastí. Na období 2014 až 2025 jsou plánovány následující práce:

- identifikace a shrnutí endogenních a exogenních jevů relevantních pro podmínky potenciálních lokalit HÚ, které by mohly ovlivnit dlouhodobou bezpečnost hlubinného úložiště,
- kvalifikovaný odhad seismických změn v potenciálních lokalitách v horizontu 100 000 až 1 000 000 let,
- kvalifikovaný odhad eroze a denudace v potenciálních lokalitách v horizontu 100 000 až 1 000 000 let,
- kvalifikovaný odhad klimatických změn v potenciálních lokalitách, zaměřených zejména na vlivy doby ledové,
- upřesňování odhadu endogenních a exogenních jevů ve vybraných kandidátních lokalitách, příprava návrhu na systematické sledování endogenních a exogenních jevů ve vybraných lokalitách.

6.3.3 Dlouhodobé vlastnosti inženýrských bariér

6.3.3.1 Úvod

Vhodnost lokalit pro hlubinné úložiště z hlediska dlouhodobé bezpečnosti není možno posuzovat pouze na základě geologických charakteristik lokalit. Zásadní je i výběr materiálů pro obalový soubor a ostatní inženýrské bariéry, které musí zadržet radionuklidy po dobu tisíců až statisíců let. Český koncept hlubinného úložiště se liší od švédského či finského konceptu tím, že zvažuje využití obalových souborů na bázi oceli bez měděného přebalu. Tento koncept je zdůvodněn tím, že Česká republika neleží na břehu moře, takže je možno očekávat menší koncentraci chloridů v podzemní vodě, které často iniciují lokální typy koroze, a rovněž z faktu, že v převážné části České republiky nelze očekávat vytvoření silné vrstvy ledu, která může významně přispívat k izostatickému a případně smykovému zatížení obalových souborů v glaciálním, respektive postglaciálním období. Znamená to však rovněž to, že bude třeba tyto předpoklady prokázat podrobným a rozsáhlým výzkumným programem.

Tlumicí a výplňové materiály musí přispět k pomalé korozi obalových souborů snížením možnosti kontaktu materiálu UOS s proudící vodou, předčasného mechanického poškození v důsledku seismo-tektonických jevů, zamezením možnosti mikrobiální koroze a později také ke zpomalení migrace radionuklidů do životního prostředí.

V referenčním projektu úložiště se pro tlumicí materiál a výplňový materiál využívá bentonit, který se vyznačuje schopností bobtnat při kontaktu s vodou, vysokými sorpčními schopnostmi, vysokou hodnotou specifického povrchu, vysokou schopností kationtové výměny, vysokou plasticitou a velmi nízkou propustností.

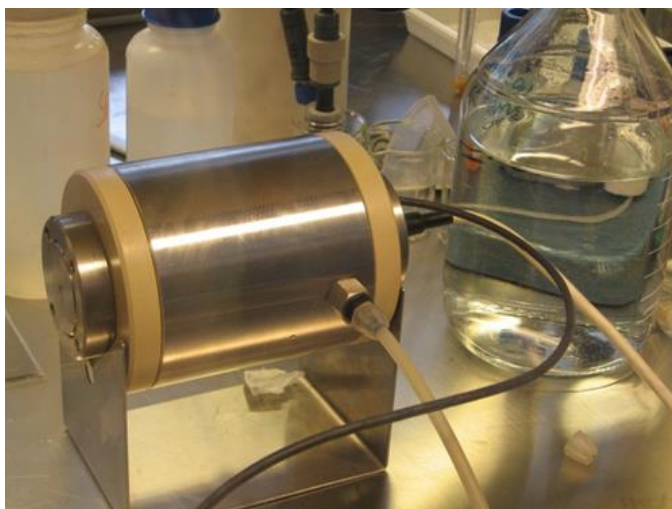
Výplňový materiál by měl dále hydrologicky izolovat celý systém inženýrských bariér a zajistit mechanickou stabilitu tunelů a šachet v hlubinném úložišti.

Nezastupitelnou roli v úložišti mají i materiály na bázi cementu, které se využívají jako konstrukční materiály pro zátky úložných vrtů, jako stavební materiál, či injektáž narušených zón hostitelského prostředí. Z dlouhodobého hlediska tyto materiály nesmí narušit bezpečnostní funkce ostatních inženýrských bariér. Významnou funkci mají cementové materiály pro fixaci dlouhodobých radionuklidů v úložišti vysoko a středněaktivních odpadů, které budou ukládány do speciálních kaveren hlubinného úložiště.


6.3.3.2 Provedené práce

Výzkum dlouhodobých vlastností materiálů obalových souborů byl řešen zejména v projektech koordinovaných ÚJV Řež, a. s., [6-6] a projektech prováděných v ČVUT v Praze [6-14] až [6-16]. Tyto projekty byly zaměřeny na vývoj metodik hodnocení koroze kovů za anaerobních podmínek a testování dlouhodobých vlastností tlumících a výplňových materiálů.

Výsledky experimentů s uhlíkovou ocelí prováděných ve vodném prostředí za redukčních podmínek (viz Obr. 5) ukazují, že dlouhodobě je korozní odolnost uhlíkové oceli v redukčním prostředí menší než $1 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$. V případě kontaktu se zhutněným bentonitem je však rychlost koroze v počátečním stádiu výrazně vyšší, a to až $46 \mu\text{m}\cdot\text{rok}^{-1}$ [6-6]. Další výzkum musí prokázat, že dojde k předpokládanému snížení rychlosti koroze s časem.



Obr. 5: Korozní cela ÚJV Řež pro provádění korozních experimentů v anaerobním prostředí

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Zhodnocení základních vlastností českých jílových materiálů (jak bentonitů, tak montmorillonitických jílů), které by mohly být využitelné v hlubinném úložišti jako tlumicí a zásypový materiál (buffer a backfill), je uvedeno v pracích [6-17], [6-18].

Významné poznatky a metodiky pro hodnocení transportu radionuklidů přes inženýrské bariéry, tj. v tzv. poli blízkých interakcí, byly získány především ze dvou velkých projektů řešených konsorciem výzkumných organizací koordinovaných ÚJV Řež, a. s., v letech 2001 až 2003 a v letech 2005 až 2008 [6-5].

Model vertikálního ukládání (KBS-3V) simuloval Mock-Up-CZ experiment, který poskytl informace o střednědobém chování bentonitového bufferu (téměř 4 roky) a informace o vývoji mnoha geotechnických parametrů (např. bobtnací tlak, stupeň saturace) v čase při tepelné zátěži [6-10].

Významné poznatky o chemizmu, mineralogii a geochemické stabilitě bentonitu z ložiska Rokle byly získány v rámci projektu Mock-Up-CZ – dismantling a sledování dlouhodobé stability inženýrských bariér na bázi bentonitu s využitím zatěžovacích procedur. Bentonity byly studovány, jak za laboratorních podmínek při tepelné zátěži, tak in-situ ve štole Josef [6-8], [6-9],[6-14], [6-15], [6-16], [6-18], [6-20].

Řada projektů menšího rozsahu obsahuje důležité informace o vlivu teploty a saturačních médií na bentonit, tvorbě koloidů a vzniku erozních procesů [6-7], [6-8].

6.3.3.3 Plánované práce

Pro období 2014 – 2025 SÚRAO počítá v této oblasti především s následujícími pracemi, které budou řešeny v rámci projektu „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“:

- zavedení a implementace experimentálních a analytických metodik pro stanovení distribuce selhávání navržených obalových souborů v podmínkách HÚ - podrobněji během prvních 100 000 let a odhad pro dobu 1 000 000 let,
- Stanovení vlivu mikroorganismů na rychlost koroze materiálů obalových souborů včetně stanovení životnosti mikroorganismů v prostředí zhutněného bentonitu
- analýza výsledků dlouhodobého chování bentonitu a jeho vlivu na korozi ostatních inženýrských bariér z dlouhodobého projektu FEBEX prováděného v podzemní laboratoři Grimsel,
- experimentální testování dlouhodobých vlastností materiálů na bázi cementu (ve spojení s mezinárodním projektem CEBAMA) a jejich interakce s ostatními bariérami,
- experimentální (laboratorní a in-situ v podzemní laboratoři) testování dlouhodobých vlastností navržených českých typů tlumicích, výplňových a konstrukčních materiálů a srovnání s obdobnými materiály ze zahraničí,
- testování, kalibrace, verifikace a validace THMC modelování dlouhodobých vlastností navržených českých typů tlumicích, výplňových a konstrukčních materiálů a predikce jejich chování v interakci s hostitelským prostředím a ostatními bariérami v horizontu 1 miliónu let.

6.3.4 Transport radionuklidů

6.3.4.1 Úvod

Primárním médiem pro transport radionuklidů z hlubinného úložiště do životního prostředí je především podzemní voda, ale v určitých případech radionuklidy mohou migrovat z úložiště i v plynné fázi, zejména s plyny vznikajícími při degradaci inženýrských bariér. Hlavním procesem, kterým se mohou radionuklidy dostat z úložiště do životního prostředí, však zůstává voda. Advektivní transport různých forem radionuklidů spolu s proudící vodou je ovlivněn řadou procesů, jako je jejich srážení, rozpouštění, difúze, sorpce či ředění v důsledku mísení s nekontaminovanou vodou. Procesy probíhající v přírodním prostředí jsou velmi komplexní a pro hodnocení je vždy třeba použít určitou abstrakci a zjednodušování. Toto zjednodušení však nesmí vést k podhodnocení nějakého procesu, který by pak mohl vést ke zvýšenému transportu radionuklidů do životního prostředí. Zejména předběžné bezpečnostní rozборы musí brát v úvahu i málo pravděpodobné procesy vedoucí k možnému průniku radionuklidů do životního prostředí a teprve následně musí být ověřeno, že tyto méně pravděpodobné procesy je možno zanedbat či jejich vliv zahrnout pod jiný důležitější proces. Příkladem je migrace radionuklidů s různými typy koloidů nebo mikroorganismů či již zmiňovaná migrace radionuklidů spolu se vznikajícími plyny.

Pro hodnocení migrace radionuklidů přes inženýrské bariéry a horninové prostředí do životního prostředí je třeba mít dostatek údajů především o charakteristikách horninového prostředí. Řešení transportu radionuklidů tedy navazuje na vytvoření 3D hydrogeologického modelu lokalit a určení možných transportních cest.

6.3.4.2 Provedené práce


Významné poznatky a metodiky pro hodnocení transportu radionuklidů přes inženýrské bariéry, tj. v tzv. poli blízkých interakcí, byly získány především ze dvou velkých projektů řešených konsorciem výzkumných organizací koordinovaných ÚJV Řež, a. s., v letech 2001 - 2003 a v letech 2005 - 2008 [6-5]. Transport radionuklidů v tzv. poli vzdálených interakcí byl řešen v rámci projektu, jehož výsledky jsou shrnuty v [6-3].

Kromě těchto velkých projektů byla podporována i řada menších projektů, zaměřených jednak na získání dat pro bezpečnostní rozборы, jednak pro prohloubení porozumění dané problematice a získání potřebných metodik. Výsledky těchto projektů je možno nalézt v pracích: [6-46] až [6-59].

6.3.4.3 Plánované práce

V období 2014 - 2020 bude pozornost zaměřena zejména na shrnutí a analýzu dat pro odnocení migračních vlastností horninového prostředí krystalinických hornin z kandidátních lokalit a kandidátních inženýrských bariér (bentonitu a případně bentonitu s příměsí inertních přísad) potřebných pro bezpečnostní rozборы umístění úložiště v kandidátních lokalitách.

Pro popis transportu radionuklidů jak přes inženýrské bariéry, tak především horninové prostředí je třeba vyvinout koncepční, matematické a výpočetní modely, které zjednoduší popis transportu radionuklidů přes inženýrské bariéry a horninové prostředí a umožní jeho predikci. Na základě hydraulických regionálních a lokálních modelů z kandidátních lokalit

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

budou připraveny modely transportu kontaminantů v horninovém prostředí s cílem ověřit a validovat modely pro určení transportních cest a dobu transportu kontaminantů do životního prostředí. V každé etapě bude pozornost věnována identifikaci nejistot, které je třeba vyřešit v další fázi přípravy úložiště. Obdobně budou připraveny i modely popisující transport radionuklidů přes inženýrské bariéry.

V období 2014 - 2025 budou řešeny následující práce:

- shrnutí a analýza transportních procesů, modelů a výpočetních kódů pro určení transportních cest a hodnocení transportu radionuklidů přes horninové prostředí a inženýrské bariéry,
- shrnutí a aktualizace odhadu transportních parametrů a příprava databází vstupních parametrů pro bezpečnostní rozbor,
- výběr vhodných procesních modelů pro popis transportu radionuklidů v krystalinickém prostředí a určení transportních cest na kandidátních lokalitách v návaznosti na přípravu 3D strukturně-geologických a hydrogeologických modelů,
- výzkum a vývoj procesních modelů a výpočetních kódů pro predikci transportu kritických radionuklidů v systému inženýrských bariér včetně transportu radionuklidů přes rozhraní UOS-bentonit a bentonit-granit,
- ověření vybraných modelů a implementace výpočetních kódů pro určení transportních cest v potenciálních lokalitách,
- experimentální ověřování a srovnání transportních charakteristik dostupných vzorků z různých horninových prostředí uvažovaných pro HÚ v ČR,
- experimentální ověření a srovnání transportních charakteristik inženýrských bariér, zejména bentonitu o různém stupni zhutnění, pro mobilní radionuklidy vyplývající z aktualizace referenčního projektu v hypotetické lokalitě.

6.3.5 Přírodní analogy

6.3.5.1 Popis současného stavu

Přírodní analog lze definovat jako výskyt určitého typu procesu (materiálu) v přírodním prostředí, jež je podobný nebo má nějaký vztah k procesům (materiálům), které se mohou vyskytnout ve vlastním uložišti, či jeho blízkém nebo vzdáleném okolí. Studia přírodních analogů je možno použít pro tvorbu koncepčních modelů procesů a jevů v uložišti a jeho okolí. Jejich studiem lze pochopit dlouhodobé procesy probíhající v uložišti.

Význam přírodních analogů spočívá především v oblasti validace modelů interaktivních procesů, tj. ověření shody predikcí modelu s nezávislými laboratorními experimenty, či experimenty in-situ; validací je tak ověřováno, zda model skutečně simuluje reálné chování systému.

Potenciál přírodních analogů spočívá i v jejich ilustrační funkci pro širší veřejnost. Přírodní analogy ilustrativní a srozumitelnou formou potvrzují charakter a predikovanou rychlost procesů v uložišti a jeho okolí, stabilitu a funkčnost navrhovaných umělých bariér (sklo, kontejner, zásypový materiál). Ilustrativní role je širšího charakteru, neboť přírodní analogy pomáhají usnadnit komunikaci úzce zaměřených specialistů s odborníky jiných profesí (geologie, stavebnictví) a širokou veřejností.

Program přírodních analogů pro podmínky ČR byl připraven již v roce 1994. Pozornost již tehdy byla upřena zejména na procesy probíhající na ložiscích uranových rud, tj. interaktivní procesy probíhající mezi uranovou mineralizací a přírodními materiály, které by mohly být součástí inženýrských bariér jako analog procesů probíhajících v úložištích vyhořelého nepřepřacovaného paliva.

V té době byla vybrána lokalita Ruprechtov a byla zahájena spolupráce s německou společností Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) se sídlem v Braunschweigu. Od této doby probíhal na této lokalitě obsáhlý výzkum až zhruba do roku 2011. V roce 2014 byla připravena zpráva shrnující dosažené výsledky [6-62].

V roce 1996 a 1997 byla pozornost zaměřena na studium degradace přírodních skel. Důvodů bylo hned několik - praktické použití skel (např. pro vitrifikaci RAO), kinetika procesů a experimentální data usnadňují pohled na termodynamický vývoj hornin obsahujících skla. Všechna přírodní skla jsou v podmínkách zemského povrchu termodynamicky nestabilní a mají tendenci chemicky zvětrávat nebo krystalovat (devitifikace). Přesto známe přírodní skla i z prekambria. Podmínky, za kterých se tak stalo, jsou důležité pro posouzení stability skel a mohou sloužit jako etalon pro skla používaná k vitrifikaci radioaktivního odpadu. Obdobná práce byla připravena pro SÚRAO v roce 2005. Tato oblast však nepokračovala. Jedním z důvodů bylo i to, že český koncept je zaměřen primárně na přímé ukládání vyhořelého jaderného paliva. Výsledky projektů lze nalézt v následujících pracích: [6-21] až [6-26].


6.3.5.2 Plánované práce

SÚRAO bude podporovat účast českých výzkumných organizací v projektech s mezinárodní účastí zaměřených na studium přírodních analogů relevantních k českému konceptu HÚ. Cílem této podpory je prohloubit porozumění dlouhodobým procesům probíhajícím v úložišti a zvýšit důvěryhodnost bezpečnostního hodnocení.

6.3.6 Modelování sdružených procesů

6.3.6.1 Úvod

Při modelování procesů relevantních pro hodnocení bezpečnosti je třeba uvažovat vzájemnou interakci různých komponent úložiště. Tyto procesy se nazývají THMC nebo sdružené procesy a označují vzájemné působení termálních, hydraulických, mechanických a chemických procesů. Jde například o vliv mechanického napětí na hydraulické procesy probíhající v úložišti či naopak. Významný vliv na procesy probíhající v úložišti má i teplota generovaná ukládanými odpady. Při analýze jednotlivých procesů vedoucích k popisu úložného systému je proto třeba zvažovat i jejich vzájemný vliv. Výsledky z modelování sdružených procesů jsou využity při vytváření modelů komplexních procesů, slouží k většímu porozumění procesům probíhajícím v úložišti a případné úpravě či korekci zjednodušených bezpečnostních modelů.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

6.3.6.2 Provedené práce

Modelováním sdružených procesů se zabývaly práce projektu probíhajícího v lokalitě Bedřichov [6-56] a mezinárodního projektu DECOVALEX [6-57], ve kterých byl sledován vliv tlaku na proudění v puklinách či komplexní procesy probíhající v bentonitu.

6.3.6.3 Plánované práce

V období 2014 - 2025 bude SÚRAO nadále podporovat účast českých výzkumných organizací v projektech se zahraniční účastí zaměřených na modelování sdružených procesů a porozumění THMC procesům probíhajícím v úložišti.

6.3.7 Zpracování bezpečnostních rozborů

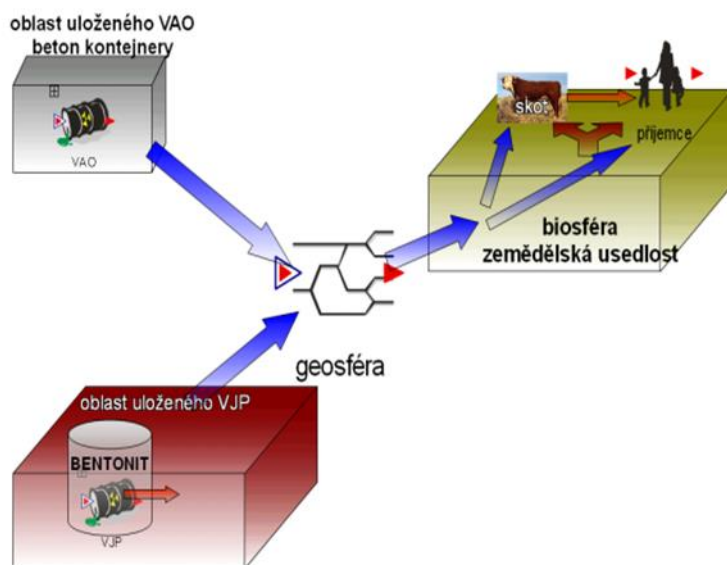
6.3.7.1 Úvod

SÚRAO je zodpovědná za přípravu bezpečnostní dokumentace², jejíž součástí jsou bezpečnostní rozborů. Příprava této dokumentace vyžaduje informace získávané z programu výzkumu a vývoje popsaného v tomto dokumentu a poskytuje základ pro jednání se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který bude posuzovat, zda byly zohledněny všechny rizikové faktory. Doporučení jak zpracovat bezpečnostní dokumentaci pro povolení umístění úložiště byla popsána v metodickém návodu SÚJB [6-27]. Tento metodický návod vycházel z platné legislativy a zahraničních poznatků dostupných do této doby (2004). Od této doby byla publikována řada nových doporučení IAEA, NEA-OECD, WENRA (IAEA dokumenty, [6-28]) a dokumenty WENRA ([6-29], [6-30], NEA-OECD [6-31]) pro přípravu bezpečnostní dokumentace (safety case) a podpůrných bezpečnostních rozborů. Tyto materiály byly zohledněny při přípravě této kapitoly.

6.3.7.2 Provedené práce

Práce v prvním období před vznikem SÚRAO byly zaměřeny na identifikaci požadavků na náplň a rozsah bezpečnostních zpráv pro povolení umístění, výstavby či provozu HÚ [6-32] až [6-37]. První modelová bezpečnostní zpráva pro hypotetickou lokalitu byla zpracována v rámci přípravy referenčního projektu v roce 1999 [6-38]. V letech 1999 - 2009 byla pozornost zaměřena na řešení vybraných problémů bezpečnostních rozborů ([6-42] až [6-44]). Při aktualizaci referenčního projektu v letech 2009 - 2011 byla připravena studie ve formě zadávací bezpečnostní zprávy shrnující všechny dostupné poznatky [6-61] a parametry potřebné pro vypracování zadávací bezpečnostní zprávy. Tato studie byla zpracována pro hypotetickou lokalitu s parametry odvozenými z geologického průzkumu lokalit Melechov, Potůčky a Příbram. Pro hodnocení provozní bezpečnosti byly využity průměrné hodnoty z kandidátních lokalit. Kromě inventáře radionuklidů ve VJP a ostatních RAO však většina dat byla převzata z výsledků zahraničních programů vývoje HÚ. Byl vytvořen robustní model možného transportu radionuklidů a vypočteny hodnoty efektivní dávky pro normální a alternativní scénáře vývoje hlubinného úložiště.

² V angličtině se velmi využívá termín „safety case“ pro zprávu shrnující všechny argumenty a důkazy o bezpečnosti úložiště. Jeho součástí jsou bezpečnostní rozborů (safety assessments).



Obr. 6: Základní schéma pro výpočet efektivní dávky kódem GoldSim


Dosažené výsledky indikují, že bezpečnost hlubinného úložiště je možno zajistit i při použití ocelových obalových souborů v prostředí krystalinických hornin. Výsledky této studie byly však zatíženy řadou výrazných nejistot, plynoucích nejenom z faktu, že zatím nejsou k dispozici konkrétní data z vybraných lokalit, ale i nejistot scénářů, dat a modelů použitých pro hodnocení.

6.3.7.3 Plánované práce

Cílem prací v této oblasti je především shromáždění dat, argumentů, zdůvodnění, modelů a dalších informací do formy bezpečnostní dokumentace pro výběr nejvhodnější lokality pro HÚ a získání povolení pro umístění hlubinného úložiště ve vybrané lokalitě.

Forma zadávací bezpečnostní zprávy pro umístění úložiště radioaktivních odpadů navržená v metodickém návodu SÚJB [6-27] kopíruje bezpečnostní zprávu pro umístění jaderných zařízení typu jaderné elektrárny. Předpokládáme, že stejně jak se budou zvyšovat znalosti potřebné pro přípravu bezpečnostní dokumentace, tak se budou i upřesňovat požadavky SÚJB plynoucí z postupného přebírání doporučení IAEA a WENRA. Hloubka požadavků na bezpečnostní dokumentaci bude zvyšována s rostoucím množstvím informací o lokalitě, projektovém řešení, vlastnostech horninového prostředí a inženýrských bariér. V první fázi bude připravena šablona bezpečnostní zprávy podle nových doporučení IAEA a WENRA, která bude diskutována s odborníky SÚJB.

Bezpečnostní dokumentace pro výběr 4 lokalit ze 7 či více kandidátních lokalit bude zatížena nedostatkem znalostí z hloubek odpovídajících hloubkám úložiště, protože se počítá pouze s povrchovým geologickým průzkumem. Bude třeba vycházet především ze základních odlišností, které budou vyjádřeny indikátory vhodnosti lokalit pro umístění hlubinného úložiště (viz kapitola 3 a dokument [3-12]). Hlavním cílem prvních bezpečnostních rozborů bude určit úroveň robustnosti jednotlivých kandidátních lokalit z hlediska dlouhodobé bezpečnosti na základě vybraných kritérií a screeningových výpočtů, odhadu nejistoty bezpečnostních rozborů v jednotlivých lokalitách a celkového zhodnocení, zda lze

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

s přijatelnou úrovní nejistot a nákladů vyhodnotit dlouhodobou bezpečnost úložiště v dané lokalitě.

Výsledky bezpečnostních rozborů pro všechny kandidátní lokality poskytnou základní informace indikující, zda umístění úložiště ve vybraných lokalitách je přijatelné. Výsledný odhad efektivní dávky může sloužit jako doplňující indikátor pro celkové zhodnocení lokality z hlediska dlouhodobé bezpečnosti.

Budou aktualizovány databáze jevů, procesů a událostí (FEPs), které mohou ovlivnit bezpečnost úložiště a odvozeny možné scénáře expozice člověka a životního prostředí, zahrnující i scénáře možného vývoje úložiště v rozmezí zhruba 1 miliónu let.

Budou odvozeny možné intruzní scénáře způsobené neúmyslným vniknutím člověka do úložiště a připraveny stylizované scénáře pro biosferické výpočty³.

Databáze parametrů vstupujících do bezpečnostních rozborů musí být připravena tak, aby bylo možno sledovat vývoj bezpečnostních rozborů jak z hlediska aktualizace jednotlivých parametrů, tak i z hlediska získávání potřebných znalostí pro provádění bezpečnostních rozborů. Tak jako v ostatních zemích bude k určitému datu připravena základní sada (baseline) parametrů použitých pro výpočty. Každá další změna parametrů bude potom zaznamenávána tak, aby bylo možno provádět kontrolu výpočtů a sledovat vývoj bezpečnostních rozborů.

Důležitým nástrojem v této oblasti je provádění citlivostních analýz a analýz neurčitosti, které umožňují identifikovat nejdůležitější parametry a rovněž identifikovat prioritní oblasti, kam je nutno alokovat nejvíce finančních prostředků. V této oblasti budou využity jak deterministické, tak pravděpodobnostní způsoby provádění citlivostních analýz a analýz neurčitosti.

Pro období 2014 - 2025 jsou plánovány následující práce:

- příprava šablony bezpečnostní dokumentace pro povolení umístění HÚ v souladu s aktualizací atomového zákona a souvisejících prováděcích předpisů a novými doporučeními IAEA a WENRA (ve spolupráci se SÚJB),
- verifikace transportního modelu s využitím kódu GoldSim a zavedení metodik pro provádění citlivostních analýz a analýz neurčitosti,
- aktualizace databáze FEPů a odvození scénářů vývoje úložiště,
- formulace stylizovaných transportních biosferických modelů sloužících pro srovnání výpočtu efektivní dávky z různých lokalit,
- příprava a plnění databáze parametrů a dalších informací důležitých pro bezpečnostní dokumentaci na základě průzkumu/výzkumu kandidátních lokalit a programu VaV prací pro vybrané varianty projektového řešení,
- provádění bezpečnostních rozborů pro různá projektová řešení, různé parametry potenciálních lokalit a různé scénáře vývoje HÚ včetně analýz neurčitosti a citlivostních analýz.

³ V horizontu mnoha tisíců let nelze jednoduše odhadnout vývoj biosféry, proto se využívají tzv. stylizované scénáře pro expozici člověka.

7 Výzkum a vývoj potřebný pro posouzení technické proveditelnosti hlubinného úložiště

7.1 Technické řešení úložiště

7.1.1 Úvod

Inženýrské bariéry, včetně formy odpadů a použitého obalového souboru, musí být navrženy a hostitelské prostředí vybráno tak, aby radionuklidy byly v tomto „zádržném“ systému uzavřeny po dobu jejich potenciálního rizika. (SSR 5 [7-1], požadavek 8). Inženýrské bariéry musí být fyzikálně i chemicky kompatibilní s hostitelským horninovým prostředím a celkové projektové řešení úložiště musí být navrženo tak, aby zajistilo bezpečnost po celou dobu trvání. (SSR 5 [7-1], požadavek 16).

Proto technické řešení a jeho design musí vycházet ze znalosti:

- celkového inventáře ukládaných odpadů,
- formy ukládaného VJP,
- materiálu a konstrukce UOS,
- způsobu ukládání obalových souborů (horizontální, vertikální),
- předpokládaných činností při nakládání s VJP a RAO (zavážení VJP do UOS v areálu HÚ nebo mimo areál),
- inženýrských bariér,
- plošného rozsahu a vlastností horninového prostředí lokality využitelné pro vybudování hlubinného úložiště.

Vybrané technické řešení musí být prověřeno provedeným bezpečnostním hodnocením a potvrzeno, že vyhovuje požadavkům dlouhodobého bezpečného uložení odpadu a zabránění úniku radionuklidů do životního prostředí (viz kapitola 6).

Přijaté technické řešení může být samozřejmě ovlivněno i požadavky platné legislativy. Dosavadní zpracované dokumentace HÚ respektují platné relevantní legislativní požadavky, kladené obecně na stavbu jaderného zařízení. V české legislativě v současné době však nejsou zohledněna všechna specifika tak ojedinělé stavby, jakou je HÚ.

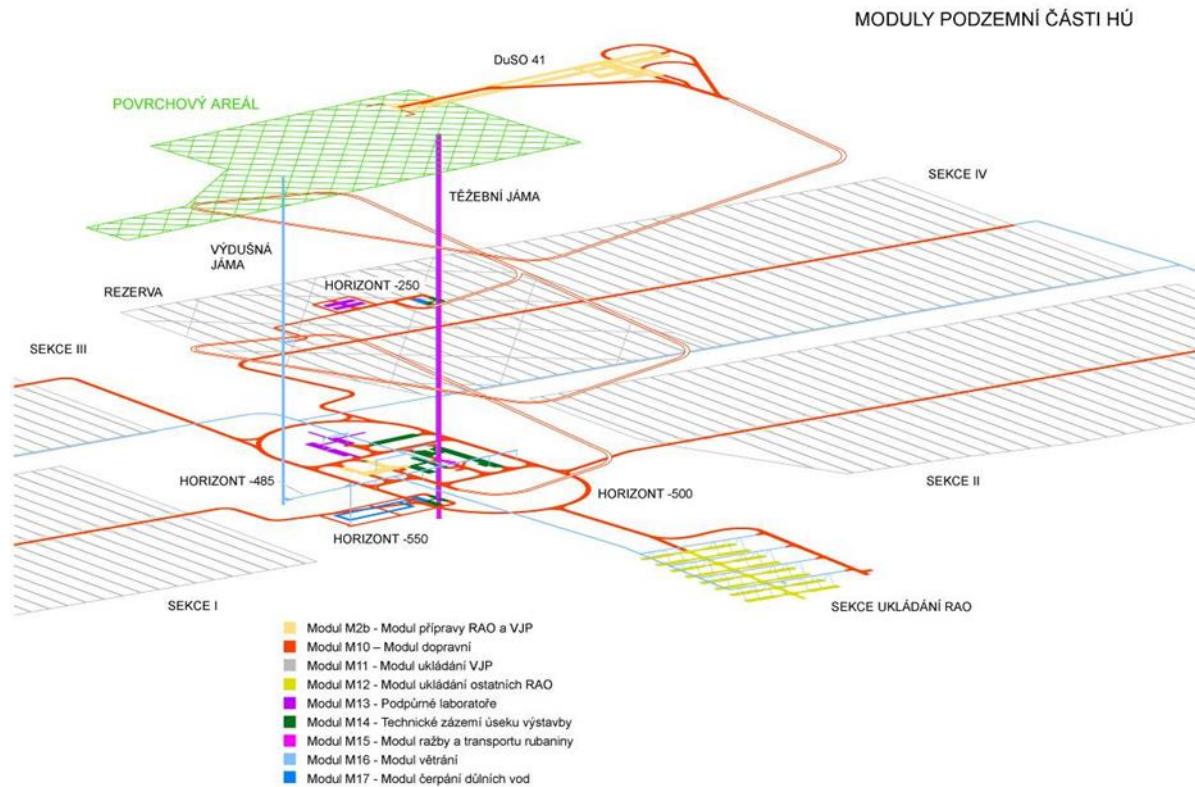
Vyhláška SÚJB č. 215/1997 Sb. [12], v platném znění, řeší umístování jaderných zařízení jiného typu a při umístování HÚ lze použít pouze pro posouzení povrchové a přípovrchové části HÚ. Nová legislativa pro tuto oblast je v současné době zpracovávána odborníky SÚJB.

Hlubinné úložiště je jaderné zařízení, které je třeba připravovat v souladu s vyhláškou SÚJB č. 132/2008 Sb. [10], v platném znění. V současné době však neexistují konkrétní technické požadavky pro vybraná zařízení určená pro hlubinné úložiště.

7.1.2 Provedené práce

Projektové práce na přípravě hlubinného úložiště začaly v roce 1993 přípravou tzv. vzorového úložiště [7-3]. V roce 1997 byl vytvořen podrobnější koncept úložné jednotky HÚ, který předpokládal uložení VJP do obalových souborů z uhlíkaté oceli do vertikálních vrtů v granitoidní hornině v hloubce 500 m. Úložné prostory s obalovými soubory by pak byly utěsněny zhuťným bentonitem. Na stejném podlaží měly být v ukládacích chodbách

uloženy i radioaktivní odpady, které nelze uložit ve stávajících úložištích, a utěsněny směsí bentonitu, písku a mleté horniny. Tento koncept byl převzat do referenčního projektu hlubinného úložiště připraveného v roce 1999 [7-5].




Obr. 7: Schéma referenčního úložiště (2011)

Aktualizace referenčního projektu (2009-2011) [7-12] převzala některé základní koncepční přístupy, např. uložení nepřepřacovaného VJP v granitoidní hornině v obalových souborech z uhlíkaté oceli a využití bentonitu jako těsnícího materiálu. Podrobnější porovnání základních vstupů do obou referenčních projektů je uvedeno v následující Tab. 5:

Tab. 5: Porovnání koncepčního přístupu referenčních projektů 1999 a 2011

	RPHÚ 2011	RPHÚ 1999
Umístění HÚ		
Lokalita	Hypotetická	dtto
Hloubka umístění úložných prostor	- 500 m	dtto
Okolní prostředí		
Horninový masív	Krystalinické horniny	dtto
Střední teplota zemského povrchu	10 °C	dtto

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015
Předpokládaný tlak okolního materiálu na ukládací pouzdro	20 MPa	dtto
Ukládací obalový soubor:		
VJP	Superkontejner (kovový UOS+bentonitové prefabrikáty + vnější koš OS)	Kovový UOS
RAO	Betonkontejner	dtto
Úprava RAO v HÚ	Úprava se provádí pouze u RAO vznikajících vlastní činností HÚ (cementace)	dtto
Technické řešení HÚ		
Umístění překládacího uzlu	V podzemní kaverně	V nadzemním areálu
Doprava UOS do podzemí	Šroubovice (úpadnice)	Svislá (šachta)
Způsob ukládání UOS s VJP	Horizontální	Vertikální
Způsob utěsnění ukládacích prostor	Materiály na bázi bentonitu (prefa-dílce, foukaný bentonit)	dtto

V roce 2011 byla pracovníky SÚRAO podána patentová přihláška [7-23], která se zabývala ukládáním obalových souborů s VJP do šikmých vrtů – 3DD koncept.

Pro představu, jak zájmové území splňuje potřeby referenčního technického řešení, byly provedeny studie lokalizace HÚ na všech zvažovaných lokalitách.

Dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky:

[7-3], [7-4], [7-5], [7-6], [7-7], [7-8], [7-9], [7-10], [7-11], [7-12], [7-13], [7-14], [7-15], [7-16], [7-17], [7-18], [7-19], [7-20], [7-21], [7-22], [7-23] [7-53].

7.1.3 Plánované práce

Vlastní technické řešení hlubinného úložiště bude výrazně ovlivněno řadou vstupních podmínek. Tyto podmínky lze rozčlenit v zásadě do tří skupin.

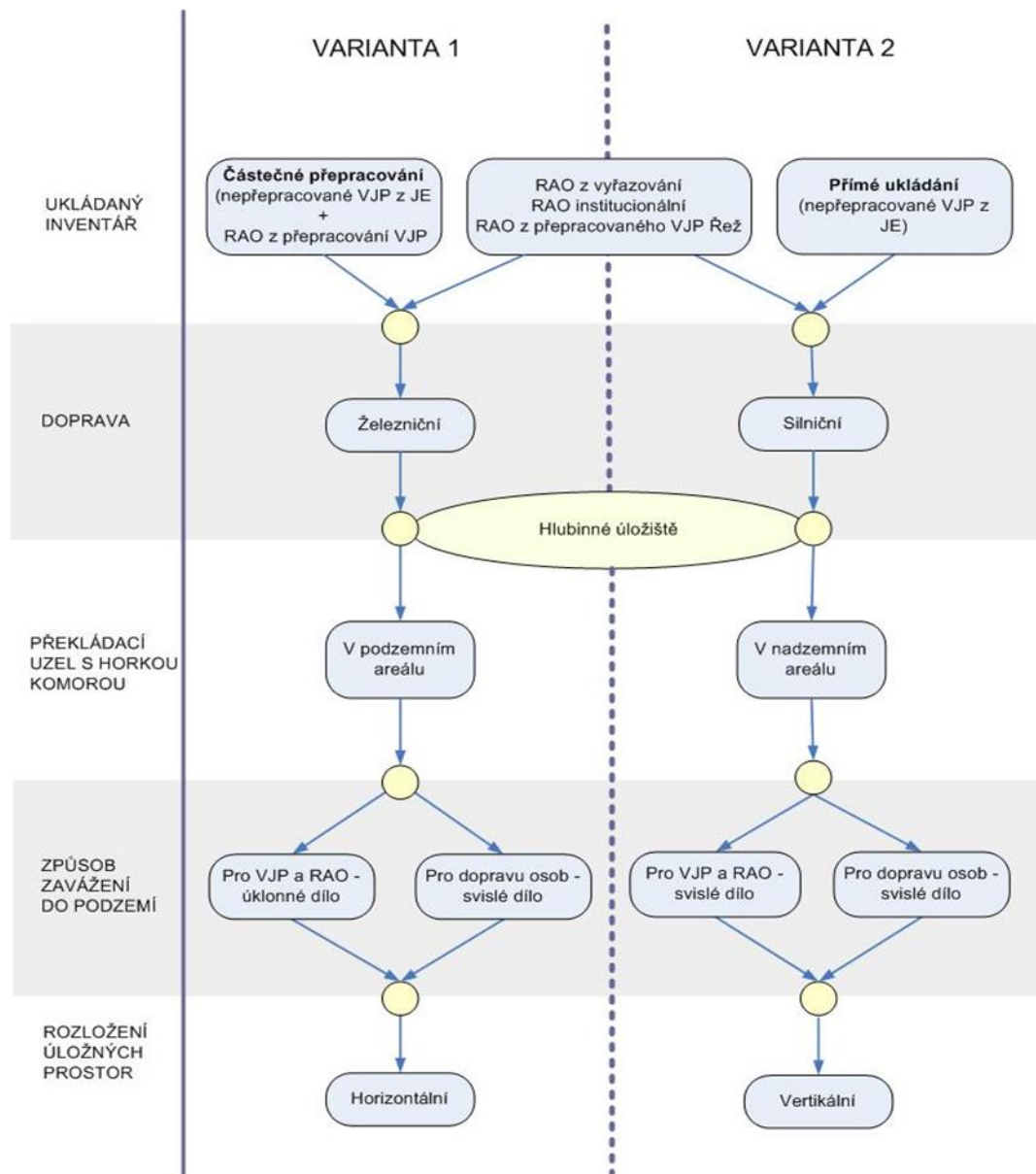
První skupinou jsou podmínky strategického charakteru, to znamená zejména specifikace množství ukládaného odpadu a jeho forma a základní vlastnosti. K těmto podmínkám lze zařadit rozhodnutí o umístění překládacího uzlu pro VJP (zda v areálu HÚ nebo mimo něj, např. v areálu JE nebo v jiné lokalitě). V případě umístění tohoto technologického uzlu mimo areál vlastního úložiště je třeba řešit přepravu UOS z překládacího uzlu do areálu úložiště.

Druhou skupinou jsou požadavky a omezení, vzniklé na základě charakteristiky lokality. Pro řešení podzemního areálu jsou to zejména ty, které se týkají kvality horninového masivu, např. údaje o průběhu hlavních diskontinuit, o rozpukání masivu, geotechnických vlastnostech skalního masivu, hloubkovém dosahu zvětrávacích procesů nebo chemickém složení podzemní vody. Pro povrchový areál to jsou například morfologie terénu v místě výstavby areálu, která může ovlivnit velikost nadzemního areálu i umístění některých důležitých i podpůrných technologií, možnosti napojení na místní infrastrukturu, povětrnostní podmínky atd.

Poslední, třetí skupinu, tvoří socio-ekonomické podmínky. V tomto případě se jedná spíše o to, jak vyhovět požadavkům veřejnosti na přijatelnost stavby a její výstavby, např. zakomponování areálu do okolní krajiny (podrobněji viz kapitola 10).

V současné době jsou v ČR rozpracovány dvě varianty technického řešení, ale v různé hloubce zpracování (viz Tab. 3). Je třeba je v první řadě rozpracovat do stejné hloubky technického řešení, jako vstupy pro vzájemné porovnání z hlediska hodnocení bezpečnosti, technické proveditelnosti a ekonomické náročnosti.

Technický projekt hlubinného úložiště je rozčleněn do modulů, které je do jisté míry možné řešit odděleně (např. překládací uzel s horkou komorou, podzemní horizont, propojení povrchového areálu s podzemním atd.).




Obr. 8: Základní charakteristika variant

Výsledné technické řešení vznikne na základě porovnávání jednotlivých možných řešení, přičemž bude použita kombinace nejvýhodnějšího řešení jednotlivých modulů. Výsledné řešení musí být technicky proveditelné, bezpečné a zároveň ekonomicky přijatelné (naplňující rovněž akceptovatelné socio-ekonomické požadavky) a bude možné posoudit proveditelnost na jednotlivých lokalitách. Důležitým faktorem je i vývoj technického a technologického pokroku ve sledovaných oblastech. V období 2014 - 2025 jsou plánovány následující práce:

- aktualizace technického řešení referenčního projektu pro vertikální řešení, posouzení 3DD konceptu a úprava technického řešení (definitivního úložného konceptu) na základě poznatků z průzkumu kandidátních lokalit,
- úprava technického řešení na základě poznatků z geologického průzkumu lokalit,
- příprava projektové dokumentace.

Předkládaná dokumentace bude svou hloubkou zpracování odpovídat kroku výběru lokality. Kromě studií proveditelnosti a návrhů technického řešení úložiště a všech jeho komponent,

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

kteří jsou vlastním výstupem této kapitoly, bude zahrnovat i výsledky bezpečnostních rozborů, socio-ekonomické studie a hodnocení vlivu na životní prostředí, které jsou blíže popsány v dalších kapitolách.

7.2 Obalové soubory

7.2.1 Úvod

Inženýrské bariéry, včetně formy odpadů a použitého obalového souboru, musí být navrženy a hostitelské prostředí vybráno tak, aby radionuklidy byly v tomto „zádržném“ systému uzavřeny po dobu jejich potenciálního rizika. SSR 5 [7-1], požadavek 8).


Obalový soubor je základním prvkem inženýrských bariér. Podle českých předpisů musí splňovat požadavky vyhlášek SÚJB, zejména vyhl. č. 317/2002 Sb. a vyhl. č. 309/2005 Sb.

Požadavky na ukládací obalový soubor s VJP je možno specifikovat následovně:

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

Předpoklady pro splnění životnosti obalového souboru jsou především:

- těsnost,
- korozní odolnost (v prostředí s nízkým oxidačně redukčním potenciálem, vysoká teplota, vysoká radiace, spolupůsobení bentonitových substrátů a granitické vody za přítomnosti plynných složek podzemního úložiště, přechod z aerobního do anaerobního prostředí atd.),
- kompatibilita s uvažovanými inženýrskými bariérami, případně dalšími materiály uvažovanými v hlubinném úložišti včetně betonu,
- mechanická odolnost vůči zátěžím:
 - tlakového působení,
 - seismických událostí,
 - vyvolaných tlaky a také možnými střížnými posuny na puklinách v horninovém masivu,
 - faktorů vyvolanými výraznou změnou klimatu a postvulkanickými událostmi,
 - vlivu prostředí uvnitř ukládacího obalového souboru (tlaková, tepelná, radiační zátěž).

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Ve světě je rozpracováno několik koncepcí ukládacích obalových souborů obvykle dvouplášťových. Jako materiály byly zvoleny litina, nerezové korozivzdorné a nelegované až vysoce legované oceli, barevné kovy (měď), studovány ale byly i keramické a polymerní materiály (pokud jde o celkovou pevnost, kompozity s vysokopolymerní matricí se silnou vláknitou výztuží představují materiály s vlastnostmi srovnatelnými a v některých případech lepšími než mají kovy). V SÚRAO poslední ucelená rešerše je zpracována v dokumentu [7-35].

Obalové soubory plní jednu ze základních bezpečnostních funkcí úložiště, tj. uzavřít/zadržet (contain) radionuklidy v obalovém souboru, dokud se z velké části nepřemění štěpné produkty na stabilní nuklidy. Čím delší bude tato doba, tím delší bude doba pro přeměnu radionuklidů a snížení nebezpečnosti odpadů. Skandinávský koncept hlubinného úložiště KBS-3 V/H spoléhá na termodynamickou stabilitu mědi v redukčních podmínkách úložiště umístěného 500 metrů pod povrchem země. Předpokládají, že měděné přebaly uzavřou za normálních redukčních podmínek vývoje úložiště odpady v obalovém souboru po dobu statisíců až miliónů let. Nevýhodou mědi je však její vyšší cena, problémy s hermetizací obalových souborů a problémy s dlouhodobou stabilitou termodynamických podmínek v konkrétním horninovém prostředí v řádu stovek tisíc let. V českém referenčním konceptu jsou proto považovány za referenční levnější materiály na bázi oceli, s kterými jsou v českém jaderném průmyslu bohaté zkušenosti. V případě, že se však neprokáže jejich stabilita za podmínek vybraných kandidátních lokalit, se SÚRAO může vrátit k úvahám převzetí konceptu s měděným přebalem.

Obalové soubory pro ostatní RAO musí, s výjimkou zajištění podkritičnosti a odvodu zbytkového tepla, splňovat stejné požadavky.

7.2.2 Provedené práce

V ČR se předpokládá použít obalový soubor pro VJP na bázi oceli. První návrhy byly připraveny již v letech 1993 - 1997 v rámci projektu podporovaném MPO. Vycházely ze zahraničních zkušeností a podmínek v ČR.

Ostatní RAO budou ukládány v beton-kontejnerech. Tento obalový soubor je v současné době navržen ideově a je pravděpodobné, že jeho konečná podoba se může změnit nebo upřesnit na základě komplexních znalostí o RAO, výsledků bezpečnostních analýz a detailního konstrukčního řešení.

Specifikace požadovaných parametrů a návrh konstrukce UOS byly více rozpracovány pro potřeby Referenčního projektu v r. 1999 [7-5]. Od té doby došlo ke zpřesnění požadavků na základě dalších prací, vlastní design UOS se však již výrazněji neměnil. Poslední aktualizace Referenčního projektu z r. 2011 uvažovala se stejnými UOS.

V bezpečnostních rozborech se předpokládá, že při korozi se neuplatní vliv mikrobů v důsledku toho, že obalové soubory budou obklopeny zhutněným bentonitem, kde podle literárních údajů [7-61] mohou přežívat pouze spory mikrobů. Tyto a další předpoklady bude nutno ověřit systematickým laboratorním výzkumem a ověřit experimenty in-situ v podzemních laboratořích.

Další dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky:

[7-5], [7-31], [7-32], [7-33], [7-34], [7-35], [7-12].

7.2.3 Plánované práce

Tyto práce jsou řešeny v rámci zakázky „Výzkum a vývoj ukládacího obalového souboru pro hlubinné ukládání vyhořelého jaderného paliva do stádia realizace vzorku“. Tento úkol je plánován pro období 2013 - 2018.

Jeho cílem je navrhnout obalové soubory pro bezpečné ukládání VJP s co největší životností. Z předběžných výpočtů vyplynulo, že střední životnost obalových souborů by měla být nejméně 10 000 let v podmínkách hlubinného úložiště.

Plnění díla zahrnuje:

- specifikaci veškerých procesů, jimž budou vystaveny konstrukční i funkční materiály a poté celý ukládací obalový soubor ve všech fázích vývoje hlubinného úložiště,
- specifikaci parametrů ukládacího obalového souboru s ohledem na ukládaný materiál (vyhořelé jaderné palivo) a ostatní systémy ukládacího systému tak, aby takto vytvořený multibariérový systém zajistil dodržení požadavků dlouhodobé bezpečnosti úložiště, včetně zdůvodnění, jak UOS navržený dodavatelem splní požadavky na provozní a dlouhodobou bezpečnost hlubinného úložiště,
- specifikaci vhodných konstrukčních materiálů včetně svarových materiálů a způsobů přípravy vzorků, vlastní přípravu vzorků ze všech navržených materiálů,
- návrh programu experimentálního ověření konstrukčních materiálů včetně svarových materiálů a materiálů povrchové úpravy a jeho následnou implementaci,
- návrh a provedení modelových výpočtů simulujících mechanické zatížení a korozi UOS v úložišti včetně možného působení seismických událostí,
- návrh a provedení programu tepelných výpočtů pro palivo z reaktorů VVER 440 a VVER 1000 a případně nové typy paliva z NJZ pro různé varianty ukládání UOS (vertikální, horizontální, šikmé),
- návrh technologií, použitelných pro výrobu jednotlivých konstrukčních prvků a ukládacího obalového souboru jako celku,
- návrh způsobů manipulace s ukládacím obalovým souborem, návrh manipulačních prostředků,
- návrh konstrukčního řešení obalového souboru včetně doložení zajištění požadavku jaderné bezpečnosti, těsnosti, korozní odolnosti, mechanické odolnosti, maximální teploty na povrchu obalového souboru, manipulovatelnosti ve všech fázích nakládání s ním, tj. od zavážení vyhořelým jaderným palivem po jeho uložení,
- vyhodnocení a doložení výsledků provedených experimentů a analýz indikujících, že navržený UOS může splnit všechna kritéria pro zajištění provozní a dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště,
- modelové ověření robustnosti konstrukčního a materiálového provedení UOS v různých zátěžových podmínkách s cílem prokázání jeho životnosti a zajištění dlouhodobé bezpečnosti úložiště,
- realizaci 1 vzorku (modelu) UOS VVER 440; kde průměr UOS zůstane zachován v poměru 1 : 1, vnitřní délka UOS bude zkrácena v poměru 1 : 2, tloušťka dna a vík bude odpovídat reálnému UOS (1:1).

Připravené vzorky materiálů z projektu budou využity pro dlouhodobé testování materiálů in-situ v podzemních pracovištích, které by měly sloužit k získání znalostí o chování kandidátních materiálů v podmínkách blízkých předpokládaným v hlubinném úložišti. V současné době předpokládáme tyto experimenty umístit v Grimselu (projekt MaCoTe

v letech 2014 - 2022) a v PVP Bukov (po jeho realizaci). Základním cílem bude určení korozní odolnosti vybraných materiálů v přírodním krystalinickém prostředí, predikce korozní odolnosti v čase – v řádu stovek a tisíců let, identifikace vlivu koroze na vlastnosti bentonitu a analýza korozních produktů.

Dosažené výsledky zatím neopravňují ani potvrdit ani vyloučit možnost využití materiálů na bázi oceli pro ukládací obalové soubory. Proto byl iniciován projekt zaměřený na rozsáhlý výzkum a vývoj ukládacích obalových souborů na bázi oceli. V této části bude pozornost zaměřena na predikci a modelování dlouhodobé odolnosti kandidátních materiálů obalových souborů a výzkum oblastí, které nebudou pokryty v projektu popsáném v kapitole 7.2. Výzkumné práce budou zahrnuty v projektu „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště“ v letech 2014 - 2020.

Pro referenční koncept hlubinného úložiště bude třeba prokázat, že rozptyl (distribuce) poškozování jednotlivých obalových souborů v hlubinném úložišti v čase bude statisticky odpovídat distribuci poškozování jednotlivých vzorků kandidátních materiálů zjištěné při laboratorních experimentech a experimentech in-situ.

Důležitým faktorem, který bude rovněž třeba prokázat, je, že nebude probíhat mikrobiální koroze v prostředí ztuhlého bentonitu, která může značně urychlit korozi kandidátních materiálů pro obalový soubor. Dále jsou plánovány následující práce:

- příprava a realizace konfirmačních in-situ experimentů se vzorky materiálů obalových souborů (MaCoTe-Grimsel, Bukov),
- návrh a zahájení implementace experimentálního programu zaměřeného na mikrobiální korozi materiálů obalového souboru.


Navržený obalový soubor a v něm uložený inventář bude třeba prověřit modelovým výpočtem z hlediska kritičnosti úložiště. Vývoj vlastního obalového souboru musí postupovat směrem ke schválení ukládacího obalového souboru v souladu s vyhláškou SÚJB č. 317/2002 Sb. [13], v platném znění, která je spojena i s průkazem zajištění jaderné bezpečnosti.

SÚJB na základě svých pravomocí a v souvislosti např. s novelizací jaderné legislativy, sledující modernizaci a soulad požadavků regulátorů v celosvětovém měřítku, může modifikovat anebo začlenit další požadavky, aby předkládaná schvalovací dokumentace prokázala, že navržený ukládací obalový soubor pro hlubinné úložiště a v něm uložený inventář vyhoví požadavku zajištění jaderné bezpečnosti v dlouhodobém horizontu.

7.2.3.1 Obalové soubory pro ostatní RAO

V současné době není finálně dořešen obalový soubor ani forma odpadů umístěných v tomto OS. Z řešení obalového souboru a formy odpadů v něm umístěných vyplývá bezpečnost jejich uložení. Je sice pravděpodobné, že formou odpadů bude cementová matrice, ale řada odpadů bude ve formě kovu či v jiné méně či více stabilní formě.

K tomu je třeba připravit specifikaci všech odpadů nepřijatelných do povrchových úložišť, tj. jak odpadů z provozu a vyřazování JE, tak institucionálních odpadů. Kromě radionuklidového složení specifikovat i jejich vlastnosti fyzikální, chemické a radiochemické. Na základě těchto údajů modelovat finální produkt a provést modelové bezpečnostní analýzy.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Za vývoj tohoto obalového souboru je podle stávajících přístupů zodpovědný producent odpadu – v tomto případě ČEZ, a. s. Je to proto, že více než 90 % ostatních RAO bude tvořeno odpadem z vyřazování JE. Řešení tohoto problému znamená ve spolupráci s ČEZ, a. s. iniciovat vznik výzkumného úkolu k jeho řešení. Řešením by mohla být iniciace výzkumného úkolu MPO.

7.3 Tepelné dimenzování úložiště

7.3.1 Úvod

Mezi hlavní charakteristiky vyhořelého jaderného paliva z energetických reaktorů patří aktivita a zbytkový tepelný výkon. Zbytkovým tepelným výkonem vyhořelého jaderného paliva se rozumí tepelný výkon uvolňující se v důsledku radioaktivních přeměn. V prvním období po vyvezení VJP z reaktoru jsou pro aktivitu a vývin zbytkového tepelného výkonu rozhodující štěpné produkty, v obdobích řádově stovky let pak tuto úlohu přebírají aktinidy. Zbytkový tepelný výkon je důležitý parametr, který bude mít vliv na rozmístění obalových souborů s VJP v hlubinném úložišti a tím také na celkovou velikost úložiště.

Vzhledem k uvažovanému multibariérovému bezpečnostnímu konceptu (první bariéru tvoří ukládací obalový soubor, druhou bariéru nepropustné jílové materiály a třetí bariéru stabilní horninové prostředí) je nutné uplatnit omezující podmínky celého systému na jednotlivé komponenty.

Patrně nejvíce omezující podmínkou celého systému je teplota bentonitu, při které může dojít k degradaci jeho majoritní složky, montmorillonitu, která je hlavním nositelem bobtnacích sorpčních vlastností, hydraulické vodivosti, schopnosti kationtové výměny atd. K těmto změnám dochází při teplotách 100 °C a výše, lépe je tedy uvažovat s konzervativní hodnotou 90, max. 95 °C.


Nepřekročení těchto hodnot musí být zajištěno po celou dobu životnosti úložiště, která se zpravidla pro účely bezpečnostních rozborů uvažuje 1 milion let. To znamená, že celý systém musí být nadimenzován tak, aby tato podmínka byla splněna především v prvním období (desítky až stovky let) po zavezení paliva do UOS, kdy lze počítat s nejvyšší hodnotou zbytkového tepelného výkonu.

Zajištění optimální teploty ovlivňuje řada parametrů:

- počáteční tepelný výkon obalových souborů,
- parametry bentonitu,
- tloušťka bentonitu okolo obalového souboru,
- tepelné parametry okolního prostředí,
- geometrie designu podzemního areálu úložiště (konfigurace úložných prostor),
- celkový počet uložených obalových souborů.

7.3.2 Provedené práce

První práce byly provedeny již v letech 1993 - 1997 v rámci projektu podporovaného MPO [7-39]. Na základě literárních podkladů byly shrnuty důležité termo-fyzikální parametry nezbytné pro řešení šíření tepla z hlubinného úložiště a možné mechanismy přenosu tepla z hlubinného úložiště do okolního prostředí. Byly rovněž identifikovány některé procesy

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

citlivé na teplotní zatížení. Modelově byl řešen případ šíření tepla ze tří úložných studní do granitoidního hostitelského prostředí.

Další, ucelenější výpočty byly provedeny pro Referenční projekt 1999. Bylo navrženo konstrukční řešení UOS, design podzemních úložných prostor, a pro toto řešení stanovena potřebná rozteč mezi obalovými soubory.

Aktualizace Referenčního projektu z r. 2011 uvažovala se stejnými UOS, technický design podzemí se sice změnil, ale rozteč mezi jednotlivými UOS ověřena nebyla, vycházela ze zkušeností z projektu 1999.

V letech 2001 - 2002 byly provedeny práce zaměřené na výpočet kumulativního zbytkového tepelného výkonu VJP, které by mělo být umístěno do hlubinného úložiště; jedná se o VJP EDU, ETE za 40 let provozu, s vyhořením daným nebo predikovaným k datu zpracování. Práce se soustřeďuje na určení parametrů VJP rozhodujících pro výpočty zbytkového tepelného výkonu, jeho výpočet a tvorbu databáze umožňující pravidelnou aktualizaci těchto výpočtů. Součástí je výpočtový program, který z vypočítaných hodnot tepelného výkonu VJP z ETE a EDU pro různé hloubky vyhoření stanovuje celkový tepelný výkon VJP a umožňuje dle zadaných reálných parametrů VJP optimalizaci v rámci UOS tak, aby byly dodrženy požadavky z hlediska maximálního generovaného tepla v jednom UOS a hodnocení celého postupu z hlediska kumulativního tepelného výkonu.

Dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky:


[7-5], [7-36], [7-37], [7-38], [7-39].

7.3.3 Plánované práce

Tato problematika si vyžaduje komplexní přístup k řešení. Už při vývoji konstrukce UOS musí být uvažováno se zbytkovým tepelným výkonem uloženého vyhořelého jaderného paliva a schopností obalového souboru tento tepelný výkon odvést do okolních bariér. To v první řadě souvisí s požadavkem na omezenou maximální povrchovou teplotu UOS, z čehož se odvíjí minimální velikost vnějšího povrchu UOS a od toho i jeho minimální průměr. Dalším požadavkem je, aby inženýrská bariéra tvořená bentonitem byla schopná odvést toto teplo dále do geologické bariéry tvořené horninovým masivem tak, aby bylo zaručeno nepřekročení maximální teploty pro celý systém úložiště a přitom nedošlo k nevratným změnám jednotlivých funkcí bentonitové bariéry (buffer).

Řešení této problematiky předpokládá:

- aktualizaci inventáře VJP z hlediska vydělovaného zbytkového tepelného výkonu,
- specifikaci parametrů buffer bariéry (na bázi bentonitu) vstupujících do teplotních výpočtů a jejich míry důležitosti pro prováděné výpočty,
- specifikaci tepelných parametrů horninového prostředí,
- určení maximálního tepelného jednotkového zdrojového členu, tj. provedení výpočtů a analýz, jejichž cílem bude stanovení optimálního množství VJP v UOS,
- přípravu teplotního modelu, který zohlední při zadaném zdrojovém členu dimenzování izolačního systému a geometrii designu podzemního areálu úložiště (konfigurace úložných prostor),
- v pokročilejší fázi prací je možné připravit aktualizaci teplotního modelu HÚ se započtením různé doby skladování VJP v bazénech a v meziskladu (pro optimální dimenzování úložiště).

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Vytvořený model bude využíván pracovníky SÚRAO při úpravách technického řešení úložiště v kandidátních lokalitách.

7.4 Manipulace, přeprava

7.4.1 Úvod

Při návrhu řešení logistiky materiálu i pracovníků je nutné vzít v úvahu předpokládanou koncepci nakládání s VJP a RAO a z toho plynoucí rozsah pracovních činností, bezpečnostních požadavků a stav technického pokroku v době realizace.

Při plánování logistiky v hlubinném úložišti je tedy třeba zodpovědět několik zásadních bodů:

- 1) Jakým způsobem budou dopravovány personál, materiál, VJP a RAO do areálu hlubinného úložiště? Bude použita pouze silniční, železniční doprava nebo kombinovaná přeprava? Jaké budou využity manipulační prostředky?
- 2) Jaké jsou předpokládané činnosti, které budou s VJP a RAO v areálu prováděny? Bude v areálu HÚ umístěn překládací uzel s horkou komorou a prostory pro zpracování ostatních RAO nebo budou do areálu přiváženy již UOS s VJP a RAO?
- 3) Jakým způsobem bude propojen nadzemní areál s podzemními ukládacími prostory? Bude VJP a RAO zaváženo po úpadnici nebo šachtou? Jakým způsobem bude dopravován ostatní materiál?
- 4) Jaká bude finální podoba UOS pro VJP a ostatní RAO?
- 5) Jak budou vypadat podzemní úložné prostory pro VJP a RAO? Bude jako konečná varianta zvoleno vertikální, horizontální nebo jiný způsob ukládání UOS s VJP? Jaký bude zvolen design prostor pro ukládání ostatních RAO?
- 6) Jak budou probíhat manipulace při finálním uložení UOS v ukládacím vrtu, jímce, bude ukládán superkontejner nebo individuálně UOS a budován buffer paralelně s ukládáním?

Lze předpokládat, že pro dopravu osob i běžného spotřebního materiálu budou využívány běžné dostupné prostředky. Přeprava VJP a RAO je specifická tím, že vzhledem ke zdrojovému členu, ukládací obalové soubory i požadavky na manipulace a přepravu vyžadují použít takové prostředky, které zajistí bezpečné nakládání s tímto odpadem a které budou v souladu s požadavky stávající legislativy.

Další specifikum projektu logistiky v hlubinném úložišti je dlouhá doba od zahájení prací na investičním záměru k jeho realizaci. I v této oblasti lze očekávat určitý vývoj. Protože ale technický design je nutno brát jako celek, je logistika nedílnou součástí technického řešení a je nutné soustavně sledovat vývoj v dotčené oblasti a průběžně aktualizovat související dílčí návrhy řešení.

Řešení variant logistiky bude mít i nezanedbatelný ekonomický dopad. Vždy však bude nutné v potřebné úrovni zajistit bezpečnost provozu a soulad s příslušnými předpisy.

VJP se po vyjmutí z bazénů vyhořelého paliva, umístěných v HVB, skladuje suchým způsobem v areálech stávajících JE. V Dukovanech se skladuje v obalových souborech CASTOR® 440/84 a CASTOR® 440/84M s typovým schválením jak pro přepravu, tak i pro skladování tedy typu B(U)F a S; v Temelíně v obalových souborech CASTOR® 1000/19 rovněž s typovým schválením B(U)F a S.

7.4.2 Provedené práce

V současné době se předpokládá, že VJP se bude do UOS překládat přímo v areálu hlubinného úložiště. Tomu je uzpůsoben koncept technického řešení – tj. vybavení hlubinného úložiště horkou komorou a s tím souvisejícími technologiemi.

UOS pro VJP se předpokládají víceplášťové, kovové s povrchovou úpravou, které svým provedením splní bezpečnostní požadavky na ně kladené.

Ostatní RAO budou ukládány v betonkontejnerech. Tento obalový soubor je v současné době však navržen pouze ideově a je pravděpodobné, že jeho konečná podoba se může změnit nebo upřesnit na základě komplexních znalostí o RAO, výsledků bezpečnostních analýz a detailního konstrukčního řešení.


Referenční projekty (1999 a 2011) se v různé hloubce zpracování zabývaly problematikou logistiky, která je nedílnou součástí technického řešení.

V r. 2003 byl zpracován návrh optimalizace technického řešení, kde přeprava byla řešena pouze okrajově, bez hlubšího rozpracování, jednalo se spíše o návrhy, které by měly být vzaty v úvahu při následném zpracování projektu.

Porovnání obou referenčních projektů je pro větší názornost provedeno v tabulkové formě.

Tab. 6: Porovnání logistiky Referenčních projektů 1999 a 2011

	RPHU 1999, optimalizace 2003	RPHU 2011
Napojení na infrastrukturu		
Přeprava obalových souborů s RAO a VJP	Železniční doprava, v optimalizaci 2003 návrh silniční dopravy	Železniční doprava
Osobní přeprava	Silniční doprava	Silniční doprava
Přeprava běžného spotřebního materiálu	Silniční doprava	Železniční doprava Silniční doprava
Celkové řešení HÚ		
Umístění překládacího uzlu (vč. horké komory)	Nadzemní areál	Podzemní areál
Způsob ukládání UOS	Vertikální v optimalizaci 2003 návrh horizontálního ukládání	Horizontální
Doprava do podzemí	Svislé dílo pro personál, VJP a RAO a ostatní materiál v optimalizaci 2003 návrh přepravy VJP a RAO po úpadnici	Úklonné dílo pro VJP a RAO, včetně přepravy materiálu pro výrobu superkontejneru, svislé dílo pro přepravu osob a ostatního materiálu

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Dostupné dokumenty z archivu SÚRAO, které se týkají dané problematiky:

[7-5], [7-10], [7-12].

7.4.3 Plánované práce

Logistika představuje problematiku, kterou je třeba řešit v souvislosti s dalšími oblastmi.

V současné době není nutné se zabývat přepravou osob a běžného materiálu, protože nevyžadují žádná další specifika s vlivem na koncepci řešení. Mohou v konečném důsledku pouze ovlivnit podobu povrchového areálu a v případě podzemního areálu jen v míře potřebné pro budování úložiště. Tyto informace však budou důležité pro posouzení vlivu výstavby HÚ na životní prostředí a obyvatelstvo.

Odlišná situace je v případě manipulací s VJP a RAO. Protože nejsou zatím jednoznačně rozhodnuty některé koncepční otázky, např. způsob přepravy UOS do podzemního areálu (vertikální doprava na laně, doprava po svážnici), design ukládacích prostor (vertikální, horizontální, příp. jiný způsob ukládání) a od toho se odvíjející manipulace při ukládání do úložného vrtu, umístění překládacího uzlu v areálu/mimo areál, je třeba každou problematiku řešit variantně.

Pro řešení logistiky VJP a RAO je základním předpokladem, jaké budou použity obalové soubory a znalost jejich základních parametrů.

Pak je možné pro každou z problematik (překládací uzel, doprava do podzemního areálu, design ukládacích prostor) zpracovat variantní návrh technického řešení včetně návrhu potřebných manipulačních prostředků.

Aby jednotlivé varianty zpracovávané problematiky mohly být porovnatelné, musí být rozpracovány do stejné úrovně. Technické řešení musí být podloženo bezpečnostním hodnocením a ekonomickou analýzou.

Studie logistiky manipulací s VJP a RAO bude zaměřena na:

- přepravu úložných obalových souborů s RAO a VJP od producenta do areálu HÚ,
- přepravu UOS z povrchu do ukládacího horizontu,
- umístění překládacího uzlu (vč. horké komory),
- způsob ukládání UOS,
- propojení nadzemního a podzemního areálu.

7.5 Tlumící materiály

7.5.1 Úvod

Bentonitová bariéra v hlubinném úložišti vyplňuje prostor mezi ukládacím obalovým souborem a přírodní horninovou bariérou, jedná se o tzv. tlumící materiál neboli buffer. Hlavními bezpečnostními funkcemi tohoto materiálu je bránit advektivnímu toku vody k obalovým souborům a tlumit vliv tekto-seismických procesů na obalové soubory. Jako nejvhodnější materiál byl zvolen bentonit, který splňuje přísné požadavky kladené na výplňový, tlumící a těsnicí materiál použitý při výstavbě geotechnické bariéry, tj. nízká propustnost, vysoká bobtnací schopnost a plasticita.

7.5.2 Provedené práce

Výzkumem a ověřováním těchto parametrů se zabývaly zejména práce: [7-40], [7-42], [7-44], [6-20].

Zhodnocením geotechnických vlastností českých jílových materiálů vhodných pro použití jako tlumící materiál v HÚ se zabývaly pak tyto zprávy [6-19], [7-42].

Významné poznatky o chování bentonitové bariéry z ložiska Rokle, dlouhodobě zatížené teplotou, a vlivem podzemních vod poskytl laboratorní projekt Mock-up [7-46] a jeho následná fáze dismantlingu (Obr. 9.) Na tento projekt později volně navázal projekt Mock-up-Josef realizovaný in-situ v URC Josef, který bude provozován do roku 2015.



Obr. 9: Instalace topného tělesa do bentonitových prefabrikátů v projektu Mock-up1 a obrázek z Mock-up instalovaného v URC Josef


V letech 2010 - 2013 byly vypracovány studie na téma využití stříkané formy těsnících materiálů na bázi bentonitů a technologie provedení samotného nástřiku, které by zajistily lepší vyplnění ploch v těžce přístupných místech HÚ [7-41], [7-43].

Další práce týkající se využití tlumících materiálů v HÚ v archivu SÚRAO [7-47], [7-48], [6-18], [7-45].

7.5.3 Plánované práce

V období 2014 - 2025 bude třeba především ověřit, zda tuzemské typy hořečnatovápěnatých bentonitů bude možno využít v plánovaném hlubinném úložišti. Je třeba porovnat vlastnosti tuzemských typů bentonitu a bentonitů navrhovaných v zahraničí. Při této práci budou využity především výsledky mezinárodního projektu „Alternative Buffer Materials“ řízeném SKB, ve kterém jsou srovnávány vlastnosti různých typů bentonitu včetně bentonitu z českých ložisek.

Bude pokračovat již běžící demonstrační experiment Mock-up-Josef, který bude zakončen v navazujícím projektu „Dismantling projektu Mock-up Josef“. Budou získány praktické zkušenosti o chování bentonitové bariéry zatížené dlouhodobým působením vysoké teploty a vody.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Budou iniciovány projekty zaměřené na problematiku výroby bentonitových komponent v HÚ (pelety, tvárnice, nástřik atd.), studium technologických spár a vlivu samohojení v inženýrských bariérách.

V závislosti na dalších výzkumech (teplo-technické, mineralogické atd.) je třeba optimalizovat nejen tloušťku, ale i složení inženýrské bariéry, bufferu, v okolí ukládacího obalového souboru. V oblasti mezinárodní spolupráce budou dále využívány mezinárodní projekty pro získání dat o chování v zahraničí používaných materiálů (DOPAS, Dismantling, FEBEX atd.)

Pro období 2014 - 2025 jsou plánovány následující práce:

- analýza výsledků projektu „Alternative Buffer Materials“ a stanovení odlišnosti českých typů bentonitu a nejistot jeho aplikace v českém konceptu HÚ, návrh výzkumného programu pro prokázání vhodnosti českých typů bentonitu,
- dokončení a analýza projektu Mock-Up Josef,
- optimalizační studie tloušťky a složení výplňového bentonitového materiálu v návaznosti na udržení jeho požadované funkce v prostředí konkrétních lokalit,
- prověření možnosti různých způsobů výroby bentonitových komponent,
- demonstrace vhodnosti českých typů bentonitu pro využití v HÚ (návrh a implementace experimentů in-situ a v laboratořích).

7.6 Výplň, zátka, těsnicí systém

7.6.1 Úvod

Uzavírání úložných prostor je závěrečným krokem technologického postupu ukládání. Koncept technického řešení předpokládá současné budování i provoz úložiště, proto musí těsnicí systém úložných prostor splňovat požadovanou funkci.

Po ukončení provozu úložiště budou v období vyřazování postupně uzavírány všechny prostory podzemního areálu. Úložiště musí být uzavřeno tak, aby splnilo svou bezpečnostní funkci. (IAEA, SSG-14 požadavek 19,[16]).


7.6.2 Provedené práce

Tyto činnosti budou prováděny hornickými postupy a postupy podzemního stavitelství. Detailněji se technologií výstavby výplní, zátek a těsnicích systémů zabývala především Aktualizace referenčního projektu 2011 (2. etapa) [7-12].

Uzavírání sekcí s VJP zahrnuje zejména zaplnění počátečních úseků ukládacích vrtů mezi jejich ústím a koncovou zátkou a zajištění ústí vrtů, zaplnění manipulačních nik, zaplnění křídla větrací chodby a následně zaplnění zavážecí chodby.

Z hlediska použitých materiálů pro výplňové systémy se pak počítá s využitím směsi drceného kameniva a jílového pojiva. Předpokládá se využití zejména již dříve vytěžené horniny společně s jílovými materiály, které byly již dříve prověřeny z hlediska geotechnické stability, mineralogie atd. [7-51], [7-47], [7-54].

V systému uzavírání jednotlivých ukládacích vrtů a sekcí v hlubinném úložišti byl poměrně jednoduše navržen systém zátkování a konečného uzavření již zaplněných částí HÚ. Studie

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

předpokládá využití betonových kónických zátek, které odolají tlaku těsnícího bentonitu za zátkou postupně syceného podzemní vodou [7-5]. Na tento již dříve navržený koncept nyní postupně navazuje mezinárodní projekt DOPAS, ve kterém je vyvíjena těsnící tlaková zátka.

7.6.3 Plánované práce

Stěžejním projektem v této oblasti je pro období 2014 - 2016 Evropský projekt DOPAS (DOPAS 323273 Technical feasibility and long-term performance of repository components – full-scale demonstration of plugs and seals), na kterém se SÚRAO aktivně podílí. Tento projekt bude demonstrovat konstrukční proveditelnost zátky HÚ.

Další zaměření prací v této oblasti by mělo především směřovat k:

- vývoji a ověření materiálů využitelných pro výplňové a těsnící systémy s primárním využitím zejména materiálů z českých jílových ložisek,
- výzkumu optimálního druhu (konzistence, tvar atd.) výplňových materiálů (velký důraz kladen na výzkum pelet, jílových těsnících bloků atd.),
- vývoji systémů pro zhotovení výplňového materiálu v požadované kvalitě,
- výzkumu v oblasti vzájemné interakce materiálů (low pH cement, injektážní hmoty atd.).

V této oblasti se budou využívat in-situ demonstrační experimenty v podzemních pracovištích, které musí korespondovat s podrobným laboratorním výzkumem.

7.7 Konstrukční práce v podzemí


7.7.1 Úvod

Základním principem projektování podzemních staveb hlubinného úložiště a s tím spojených konstrukčních prací v podzemí je především dokonalá znalost horninového prostředí, ve kterém se stavba nachází. Tato znalost vychází z podrobného inženýrsko-geologického průzkumu. Podklady získané z průzkumu mají projektantům pomoci rozhodnout o optimálním umístění podzemních staveb úložiště a o výběru způsobu ražby těchto děl. Při projektování hlubinného úložiště je někdy zapotřebí zohlednit rozdílné požadavky na podzemní práce a ukládání odpadů. V tomto případě je třeba využít kombinaci nejlepších dostupných technologií pro radiační ochranu, báňské, průmyslové a geotechnické práce (požadavek 16, par. 6.29, SSG-14, [7-1]).

7.7.2 Provedené práce

Nejpodrobněji se doposud problematikou konstrukčních prací v podzemí zabýval Referenční projekt 1999 [7-1] a na něj navazující Aktualizace referenčního projektu 2011 (2. etapa) [7-12]. Návrh koncepce podzemní části a její design byly vytvářeny zejména ze tří hlavních hledisek:

- splnění požadavků vyplývajících ze zadání a platné legislativy,
- zajištění funkčnosti zařízení,
- zajištění vysoké provozní bezpečnosti zařízení.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Podzemní část HÚ slouží především k dopravě VJP a RAO k místu uložení a vlastnímu ukládání radioaktivních odpadů; příp. též k překládce VJP z OS pro přepravu a skladování do ukládacích obalových souborů.

Ve smyslu zákona č. 44/1988 Sb. [5] (horní zákon), ve znění pozdějších předpisů, je ukládání radioaktivních a jiných odpadů v podzemních prostorech zvláštním zásahem do zemské kůry (viz § 34, odst.1, písm. b) a dle § 34, odst. 3 se podzemní prostory, které vzniknou zvláštními zásahy do zemské kůry považují za důlní díla. Výstavba a provoz těchto děl musí být plně v souladu s báňskou legislativou v režimu hornické činnosti ve smyslu zákona č. 61/1988 Sb. [15], ve znění pozdějších předpisů.

V letech 2010 - 2012 došlo k adaptaci řešení navrženého hlubinného úložiště na jednotlivých lokalitách a vznikl projekt tzv. plošné a prostorové lokalizace HÚ [7-16], [7-17], [7-18], [7-19], [7-56], [7-57], [7-58], [7-21]. Projekt čerpal z omezeného množství dat o znalostech horninového prostředí, které byly dostupné na jednotlivých lokalitách, a proto řešení podzemního areálu a s tím spojených konstrukčních prací bylo velmi obecné.

Všechny doposud zpracované projekty vycházely ze zkušeností provádění hornických činností a prací prováděných hornickým způsobem v České republice v době výstavby velkých důlních komplexů pro těžbu surovin. V současné době však trendy výstavby podzemních děl směřují spíše k nekonvenčním metodám výstavby a s nimi spojeným užitím tunelovacích strojů TBM a mechanizované ražby. Z tohoto důvodu SÚRAO zadala vypracování „Doporučení expertního týmu České tunelářské asociace pro zadání optimalizace“ [7-61].

Důležitým bodem pro samotné práce v podzemí je také volba ukládacího systému. Na toto téma byla již dříve zpracována srovnávací studie [7-11]. Diskuzi nad vertikálním, či případně horizontálním způsobem ukládání později doplnila SÚRAO o svůj systém 3DD šikmého ukládání [7-23]

Další práce z archivu SÚRAO vztahující se ke konstrukčním pracím v podzemí jsou [7-6], [7-7], [7-8], [7-10], [7-53].

7.7.3 Plánované práce

V této oblasti budou výzkumné a vývojové práce zaměřeny především na sběr dat z budování PVP Bukov (Obr. 10) a technologický postup ražby celého pracoviště s ohledem na:

- provedení hladkého výlomu s minimalizací zóny EDZ,
- studium vzniklé zóny EDZ a jejího vlivu na bezpečnost HÚ (toto je nutné zohlednit při dalším návrhu projektového řešení HÚ),
- zaměřit se na způsob vyztužování a zajišťování díla s přihlédnutím k vzájemné interakci materiálů (cement, beton, injektážní hmoty),
- studium způsobu ražby PVP Bukov a následná optimalizace technologických postupů pro ražbu HÚ, zejména s přihlédnutím k využití nových technologií v oblasti ražby podzemních děl a jam,
- aktuální trendy v oblasti výstavby podzemních děl a pravidelně optimalizovat projektové řešení HÚ v závislosti na nově získaných poznatcích.

V oblasti mezinárodní spolupráce sledovat data a vývoj ražeb především v již budovaném HÚ ve Finsku a následně ve Švédsku.



Obr. 10: Schéma podzemního výzkumného pracoviště Bukov, v hloubce cca 500 m

8 Výzkum a vývoj pro přípravu studie vlivu na životní prostředí

8.1 Úvod

Příprava záměru výstavby HÚ vyžaduje rovněž hodnocení dopadu na životní prostředí. Toto posouzení má dva hlavní specifické rysy - výstavba a provoz jsou plánovány se značným odstupem od současnosti a lokalita hlubinného úložiště v současné době není jednoznačně situována.

Předpokládá se, že dotčené území, ve smyslu zákona č. 100/2001 Sb. [3], bude tvořeno plochami určenými pro výstavbu povrchového areálu HÚ a souvisejících a vyvolaných staveb, včetně ploch zařízení staveniště.


Zájmové území, v němž se bude posuzovat vliv na životní prostředí, bude širší, a to v rozsahu podle jednotlivých okruhů životního prostředí. Lze říci, že analyzovány budou potenciální vlivy v okruhu několika desítek kilometrů (včetně zvažování možnosti vzniku přeshraničních vlivů), vlastní popis vlivů však bude proveden pouze ve vzdálenostech jejich reálného dosahu.

Specifickým rysem budou analýzy potenciálních vlivů na životní prostředí budoucích generací. Po uzavření úložiště bude v přiměřeném rozsahu kontinuálně pokračovat sledování lokality úložiště z důvodu kontroly zajištění bezpečnosti a hodnocení vlivu na okolí (zabezpečení institucionální kontroly), která se předpokládá po dobu 300 – 500 let. Výsledky budou mimo jiné sloužit i k informování veřejnosti, že nehrozí žádná bezpečnostní nebo radiační rizika.

Výstavba a vlastní provoz hlubinného úložiště budou probíhat v několika časových etapách, pro které budou charakteristické určité činnosti. Nejprve příprava a výstavba hlubinného úložiště, nadzemního i podzemního areálu, kdy budou probíhat pouze činnosti stavebního a důlního charakteru. V další etapě dojde k souběhu důlních prací, které budou zaměřeny na ražení a přípravu nových ukládacích sekcí pro VJP a RAO, a vlastní ukládání VJP a RAO a utěšňování zaplněných úložných prostor. V posledním časovém období provozu HÚ se budou provádět činnosti spojené s ukládáním VJP a RAO, včetně utěšňování zaplněných úložných prostor, a přípravné činnosti k ukončení provozu úložiště. Předpokládá se, že v žádné z etap nedojde k zvětšení dotčeného území nad rámec území uvažovaného pro vlastní výstavbu nebo provoz. V některých časových úsecích však může dojít k určité kumulaci vlivů, spojených např. s vyvážením rubaniny a současným navážením výplňových materiálů (kamenivo, bentonit apod.).

8.2 Provedené práce

První hodnocení vlivu na životní prostředí bylo provedeno v rámci Referenčního projektu z r. 1999 [8-1]. Tato dokumentace obsahovala i množství údajů, které příslušely spíše do ZBZ, nicméně obě dokumentace, tj. EIA i ZBZ, jsou svou náplní velice provázané, a proto se mnoho informací může objevit v obou dokumentacích. Další dokumentace posouzení vlivu výstavby a provozu HÚ byla zpracována v rámci aktualizace Referenčního projektu 2011 [8-2]. Ta byla zpracována s ohledem na různé fáze života HÚ, tj. posouzení vlivu při výstavbě, provozu i vyřazování. Oba dokumenty byly zpracovány v členění požadovaném

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

v té době platnou legislativou, tj. zákonem 244/1992 Sb., resp. zákonem č. 100/2001 Sb. [3], v rozsahu relevantním znalostem o předpokládaných lokalitách a úrovni technického řešení. Další informace, vztahující se k vlivu HÚ na ŽP, jsou obsaženy například v předběžné studii proveditelnosti HÚ [8-3]. Popisem výchozího stavu ŽP potenciálně vhodných území se zabýval projekt GEOBARIÉRA [8-5].

8.3 Plánované práce

V souladu s legislativními požadavky a doporučeními mezinárodních institucí (včetně IAEA) je třeba od začátku výzkumné a projektové přípravy HÚ (tzv. koncepční a plánovací fáze) se cíleně zabývat potenciálním vlivem umístění HÚ na životní prostředí. Hodnocení vlivů umístění HÚ neradiačního charakteru je vhodné provádět souběžně a soustavně v součinnosti se specifikací úložiště z hlediska jaderné bezpečnosti (dokument IAEA SSG-14, 6.24 [16]).


Pro období 2014 - 2025 jsou plánovány následující práce:

- návrh environmentálních kritérií z pohledu potenciálního vlivu HÚ na ŽP,
- vymezení hlavních okruhů střetů zájmů na jednotlivých lokalitách,
- GAP analýza pro vytipované lokality,
- příprava studií vlivu umístění HÚ na životní prostředí pro potenciální lokality.

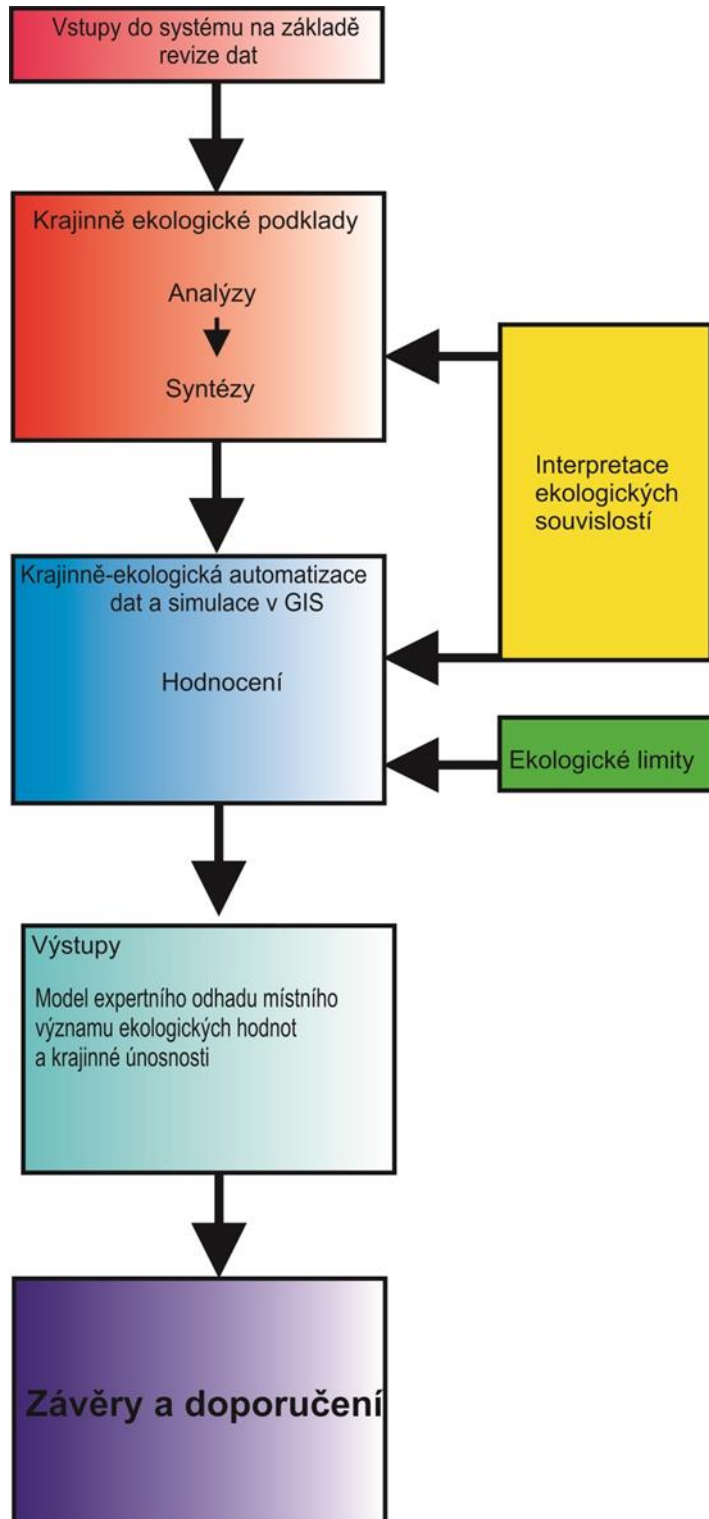
Tyto aktivity budou realizovány ve třech vzájemně se překrývajících (na sebe navazujících) krocích od přípravy koncepce a rozpracování plánu (2015 - 2017) přes srovnávací (pilotní) environmentální studie (2016 - 2018) k detailnějším studiím vlivu umístění a vypracování související projektové dokumentace (2018 - 2025).

V rámci tohoto středně-dlouhodobého programu hodnocení vlivu umístění HÚ na ŽP bude probíhat revize dostupných informací, včetně zohlednění dodatečných požadavků stávající, popř. budoucí legislativy a dostupných vědeckých poznatků a zkušeností. Pozornost bude věnována vymezení všech relevantních environmentálních souvislostí, vycházejí z nezbytnosti realizace záměru umístění HÚ z hlediska udržitelného rozvoje území ČR, etických intencí mezinárodně deklarovaných principů ochrany přírody a zdraví člověka. Předmětem této přípravné fáze prací (v dané oblasti posuzování vlivu umístění HÚ na ŽP popř. zdraví člověka) bude stručný návrh provedení pasportizace výchozího stavu, a to pro více vytipovaných lokalit s možností jejich vzájemného srovnání. Následně bude navržen rozsah cíleného sběru prioritně významných dat a jejich koncepční, na dané úrovni poznání „iterační“ časoprostorové zpracování s možností transparentní prezentace. Postupnou revizí a sběrem nových informací o posuzování dopadů umístění HÚ na životní prostředí budou vytvořeny podmínky pro průběžné posuzování a upřesňování jejich další potřeby, zohledněna dostupnost vhodných informačních zdrojů a způsob zajištění odpovídající úrovně a kvality informací a jejich zpracování včetně návrhu možnosti využití relačních databází, výstupů modelů a jejich časoprostorové vizualizace. Dostupná data budou s využitím pasportů zpracována do formy tabulek, tzv. „check-listů“, z kterých by mělo vyplynout, na co se bude vhodné prioritně v čase a prostoru do budoucna zaměřit.

V součinnosti s projektovou přípravou (např. se studií proveditelnosti) budou pilotně pro několik lokalit provedeny v rámci „pilotních“ či srovnávacích environmentálních studií předběžné hlukové studie pro několik variant technického řešení HÚ.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

„Pro přípravu související části hodnocení vlivu HÚ na životní prostředí je přitom velmi užitečné moci navázat na zahraniční zkušenosti partnerských organizací, které jsou již v mnoha ohledech v dané oblasti dále, např. Finska [8-4]. Nezanedbatelnou úlohu by měly hrát krajinářsko-ekologické aspekty umístění nadzemní části HÚ z pohledu územního plánování. Lze očekávat i možnost využití principů a modifikací ověřených tuzemských systémových přístupů a modelů např. LANDEP [8-6] (viz Obr. 11).



Obr. 11: Ekologicko-krajinářské aspekty - potenciální implementace přístupu LANDEP

9 Výzkum a vývoj pro potřebu vytvoření monitorovacího programu

9.1 Úvod

V souladu s doporučeními IAEA [9-10], [9-5], [9-21], [9-22], [9-23] je třeba věnovat náležitou pozornost zavedení programu monitoringu pro celý životní cyklus budoucího HÚ. Je třeba se zaměřit na monitoring procesů, které probíhají v hostitelské hornině, a to již před vybráním konečné lokality, aby bylo možno prokázat, že vybrané horninové prostředí pro umístění HÚ je dostatečně stabilní a v nejvyšší možné míře tak zaručuje bezpečný provoz budoucího úložiště. Sledování vývoje parametrů charakterizujících horninové prostředí v čase může přispět k poznání procesů v geosféře, které mohou nastat během budování úložiště i během jeho provozu, protože zaznamenané změny v monitorovaných parametrech mohou včas upozornit na nežádoucí jevy v masívu. Sledování projevů úložiště bude v omezené míře prováděno po určitou dobu v rámci institucionální kontroly.

9.2 Provedené práce

Problematika monitoringu byla částečně řešena v rámci projektu „ Pole vzdálených interakcí“ [9-26], kde byl navržen monitoring pro sledování geotechnických vlastností horninového masívu v dílčí zprávě [9-27].

V předchozích letech byl rovněž vypracován projekt na ověřování stability Českého masívu [9-2] a provedeny studie, které se věnovaly otázce dlouhodobého sledování seismicity a geodynamického vývoje Českého masívu [9-13], [9-8], [9-24]. Problematika monitoringu je rovněž zmiňována v Projektu prací na hypotetické lokalitě [9-20], který bude výchozím materiálem pro plán průzkumných prací na potenciálních lokalitách pro umístění HÚ.

Sběr dat z reálného prostředí, který je nedílnou součástí monitorovacích prací, včetně jejich zpracování a uchování pro potřeby budoucího vyhodnocení, byl ve větším rozsahu poprvé řešen v rámci prací na testovací lokalitě melechovský masív v dílčí části databáze [9-12]. Další práce věnované organizaci sběru dat z reálných podmínek a jejich uchování v možné databázi bylo řešeno v rámci projektu [9-26], včetně návržení možného datového modelu.

9.3 Plánované práce

Monitorovací práce budou zaměřeny zejména na systematický monitoring lokalit pro umístění úložiště od zahájení průzkumných prací přes jeho výstavbu, provoz a uzavření. Jde zejména o monitoring dopadů výstavby a provozu HÚ na životní prostředí a s tím související monitoring v biosféře a na zemském povrchu. Pro předejití případných střetů zájmů souvisejících s výběrem lokality pro umístění HÚ je nutné na potenciálních lokalitách podchytit výchozí stav všech složek životního prostředí, a to ještě před započítím jakýchkoliv invazivních prací souvisejících s výběrem finální lokality a poté je v pravidelných intervalech monitorovat.

10 Výzkum a vývoj potřebný pro přípravu studie vlivu úložiště na socio-ekonomické aspekty


10.1 Úvod

Je zřejmé, že zneškodnění VJP a RAO musí být bezpečné a ekonomické. V současné době se prakticky ve všech zemích světa stále více zdůrazňuje požadavek, aby vybraná řešení byla přijatelná pro veřejnost. Příprava hlubinného úložiště pro vysokoaktivní odpady a vyhořelé jaderné palivo je multidisciplinární projekt, dialog a zapojení všech zainteresovaných stran se ukazují být zásadními faktory jeho úspěšné realizace. Zvolená řešení musí proto být nejenom bezpečná a ohleduplná k životnímu prostředí, ale musí být všeobecně přijímána jak v lokalitách, kde jsou či by měla být tato zařízení umístěna, tak širokou veřejností. Rozhodnutí o určitém řešení vyžaduje transparentní přístup, který zahrnuje také možnost veřejnosti se nejenom vyjádřit ke zvolenému řešení, ale i toto řešení aktivně ovlivnit. K tomu je nezbytné vytvořit patřičný institucionální a právní rámec, reflektující význam a jedinečnost projektu úložiště. Tento přístup je uplatňován ve všech vyspělých zemích provozujících jadernou energetiku a je zakotven i v článku 10 směrnice Rady 2011/70/Euratom [10-1].

Během mnohaleté mezinárodní diskuse byla vytvořena řada dokumentů, které popisují jednotlivé příklady ze zahraničí i teoretické studie rozhodovacích procesů. V roce 2000 bylo založeno OECD-NEA Forum on Stakeholder Confidence (FSC), jehož cílem je podpořit sdílení mezinárodních zkušeností týkajících se sociální dimenze nakládání s RAO a VJP. FSC zkoumá možnosti, jak zajistit efektivní dialog mezi všemi zúčastněnými stranami v rozhodovacích procesech. Problematice se věnuje rovněž pracovní skupina Evropského jaderného fóra („Information and Transparency“), jež přijala soubor 22 doporučení k otázkám komunikace v oblasti jaderné energetiky a nakládání s radioaktivními odpady [10-2]. Je všeobecně známo, že neexistuje nejlepší řešení, které by bylo úspěšně aplikovatelné ve všech zemích. Každá země má svou vlastní historii, právní řády, stanoviska daná minulými zkušenostmi i další odlišné podmínky, které významně odlišují jednotlivé národy. Základním principem by mělo být vytváření partnerství a hledání rovnováhy mezi zájmy státu a zájmy obcí. Pro takovýto proces zapojení veřejnosti jsou významné tři následující, níže uvedené oblasti, které je třeba naplňovat současně:

- Informovanost a komunikace

Právo o svobodném přístupu k informacím je v ČR kodifikováno v zákoně č. 106/1999 Sb. [7]. Tento zákon upravuje pravidla pro poskytování informací a podmínky práva svobodného přístupu k informacím v souladu s příslušným předpisem Evropských společenství (směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/98/ES, o opakovaném použití informací veřejného sektoru). Právo na informace o životním prostředí upravuje zákon č. 123/1998 Sb. [8] v souladu s právem Evropských společenství (směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/4/ES, o přístupu veřejnosti k informacím o životním prostředí). Dostupnost informací o konci palivového cyklu a nakládání s VJP a RAO je prvním předpokladem pro diskusi všech zainteresovaných stran o způsobu budoucího řešení nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR. Kontinuita, přehlednost a otevřenost informací jsou hlavními komunikačními cíli všech organizací zodpovědných za nakládání s VJP a RAO. SÚRAO se zaměřuje na obecnou vzdělávací funkci v oblasti existence, vzniku, úpravy

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

a bezpečným ukládáním RAO jak ve vytipovaných lokalitách, tak v regionech s provozovanými úložišti a v neposlední řadě také u široké veřejnosti.

- Motivace obcí

Motivace je běžnou součástí procesu umísťování jaderných zařízení, existuje řada příkladů dobré praxe a motivačních schémat. Výhody pro obce dotčené umístěním skladu či úložištěm radioaktivního odpadu obvykle představují opatření ve třech oblastech: peněžní podpora, sociální výhody, posílení pravomocí dotčených obcí. Motivace obcí, v jejichž blízkosti jsou již v provozu jaderná zařízení, je v ČR zajišťována jak provozovatelem jaderných elektráren ČEZ, a. s., tak i provozovatelem úložišť SÚRAO. Od roku 2012 bylo zavedeno i motivační schéma pro průzkum lokalit vytipovaných pro umístění hlubinného úložiště. Systém motivací (kompenzací, přidané hodnoty) bude rozpracován podle jednotlivých fází projektu za aktivní účasti Pracovní skupiny pro dialog o HÚ.

- Zapojení obcí

Zapojení všech dotčených obcí a dalších subjektů do procesu rozhodování je významným prvkem k dosažení pokroku v přípravě jakéhokoliv zásadního projektu.

10.2 Popis současného stavu

V rámci umísťování úložiště začaly různé země implementovat různé formy zapojování veřejnosti do rozhodovacích procesů, založené především na transparentnosti, participaci, otevřenosti, jasných pravidlech a rolích všech zainteresovaných aktérů. Hlavním cílem je otevřená diskuse o reálné potřebě hlubinného úložiště, ochraně práv komunit dotčených při vyhledávání vhodné oblasti k umístění, o současné situaci kolem průzkumů a o výhradách a požadavcích vytipovaných lokalit.


Participační přístup k veřejnosti byl poprvé uplatněn v ČR v souvislosti s řešením evropského projektu ARGONA 2006 - 2009⁴, v jehož rámci byla vytvořena tzv. Referenční skupina pro výběr lokality pro hlubinné úložiště složená ze zástupců obcí, neziskových organizací, ministerstev, SUJB, ÚJV Řež, a.s., SÚRAO, SOÚ AV a zahraničních expertů. Jejím cílem bylo především diskutovat všechny, byť i sebemenší problémy, které mohou ovlivnit pocity lidí na lokalitách pro hlubinné úložiště. Na tuto referenční skupinu poté navázala v roce 2010 „Pracovní skupina pro dialog o hlubinném úložišti“, jež zahrnuje kromě zástupců státu i zástupce obou parlamentních komor, zástupce všech uvažovaných lokalit a zástupce nevládních organizací. Cílem tohoto přístupu je vytvořit dlouhodobý transparentní program zapojení všech zainteresovaných stran do projektu hlubinného úložiště v ČR⁵. V návaznosti na projekt ARGONA byl v letech 2010 - 2013 řešen v rámci 7. rámcového programu výzkumu a vývoje Euratom projekt IPPA⁶, který dále rozvíjel participační přístup k veřejnosti při přípravě hlubinného úložiště. Stěžejním tématem projektu IPPA byla otázka, jak může zapojení veřejnosti pomoci řešit celospolečenské otázky a posílit demokratické rozhodovací procesy při vyhledávání lokality pro úložiště radioaktivních odpadů. Projekt IPPA se zabýval především uplatněním teorií participace veřejnosti do praxe.

Nedílnou součástí tohoto přístupu je sledování vývoje názoru obyvatel v kandidátních lokalitách na možnost umístění hlubinného úložiště v katastrech jejich obcí a aktivity

⁴ 6. rámcový program výzkumu a vývoje Euratom www.argonaproject.eu

⁵ <http://www.surao.cz/cze/Pracovni-skupina>

⁶ www.ippaproject.eu

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Pracovní skupiny pro Dialog. Pracovní skupina je jedinečným příkladem aplikace švédského participačního modelu RISCUM a na mezinárodní úrovni je její činnost velmi ceněna.

10.3 Plánované práce

Zásadní tři oblasti, které je třeba příslušnými studii více specifikovat a vyjasnit, jsou:

- 1) Legislativní rámec zapojení veřejnosti – Pracovní skupiny pro Dialog.
- 2) Transparentnost - vyjasnit rozhodovací proces a precizně definovat role všech zúčastněných.
- 3) Posílení důvěry mezi jednotlivými účastníky procesu.

Je velmi důležité dále rozvíjet participační přístup k jednání s veřejností, vyjasnit si mechanismus zpracování výsledků práce a projednat rozšíření působnosti. Pracovní skupiny pro dialog o hlubinném úložišti - vytvořit lokální pracovní skupiny na jednotlivých lokalitách. SÚRAO navrhne participační program, který bude specifikovat práva a povinnosti všech zúčastněných subjektů v jednotlivých fázích vývoje a provozování úložiště, určí nástroje a prostředky vzájemné komunikace a stanoví kompenzační principy. Pro zajištění nezávislé činnosti Pracovní skupiny pro dialog o hlubinném úložišti je nutné poskytnout finanční prostředky, a to jak pro činnost Pracovní skupiny (nezávislé komise), tak i jejich podskupin přímo v lokalitách a tento princip také zakotvit v legislativě [10-5].


Transparentnost procesu s aktivním zapojením dotčených obcí a veřejnosti v souladu se směrnicí Rady 2011/70/Euratom [10-1] v návaznosti na doporučení pracovních skupin Evropského jaderného fóra je nezbytným předpokladem úspěšného a dlouhodobě udržitelného rozhodnutí o výběru lokality. Vytvoření právního rámce s jasně specifikovanou rolí dotčených obcí v procesu výběru lokality úložiště je pak základním předpokladem pro vytvoření ovzduší důvěry mezi účastníky procesu a pomáhá dosažení konsenzuálního řešení [10-6].

Nedostatek důvěry v českém programu přípravy HÚ je jedním ze základních bodů, které je třeba řešit. Byl způsoben chybami komunikace v minulosti a také obecnou nedůvěrou veřejnosti v centrální instituce. Vedle toho ale na základě výsledků výzkumu veřejného mínění veřejnost věří odborníkům, a proto je třeba zaměřit se na soustavné a trvalé zvyšování důvěry v odbornost SÚRAO a jejich dodavatelů a v systém zapojování veřejnosti do rozhodovacího procesu při umísťování HÚ. Institucionalizace pozice Pracovní skupiny, její posílení, osamostatnění a vlastní financování by mohla být jedním z prvních kroků k posílení důvěry.

Výzkum a vývoj v této oblasti musí zahrnovat přípravu studií odborníky z oblasti sociologie a ekonomiky, kteří objektivně posoudí vliv umístění úložiště v kandidátních lokalitách na socio-ekonomický vývoj lokalit, včetně zahrnutí i „psychologických“ faktorů vycházejících z diskuse s lidmi z lokalit a jejich názoru na dlouhodobý vývoj jejich obcí a celé lokality. Tyto studie souvisí i s řešením studií proveditelnosti a hodnocením dopadu úložiště na životní prostředí.

Důležité je i zajištění širší informovanosti obyvatelstva o potřebě hlubinného úložiště v návaznosti na přínosy jaderné energetiky a využívání ionizujícího záření ve výzkumu, průmyslu a zdravotnictví.

Všechny socio-ekonomické faktory bude nutné pravidelně měřit – vyhodnocovat jejich posuny či zásadní změny – pravidelným výzkumem veřejného mínění v návaznosti

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

na jednotlivé milníky v harmonogramu prací na přípravě hlubinného úložiště. Především počáteční fáze průzkumů bude klíčová pro zajištění dat z lokalit před zahájením geologické fáze projektu.

11 Závěr

V této studii byly identifikovány výzkumné a vývojové práce, které je nutno provést pro výběr dvou lokalit pro hlubinné úložiště v roce 2020 a výběr finální lokality pro hlubinné úložiště v roce 2025. Uvedené termíny dokončení jednotlivých prací jsou však pouze přibližné, protože nelze v současné době odhadnout vliv zainteresované veřejnosti na získání povolení SÚRAO ke geologickému průzkumu v kandidátních lokalitách. Některé práce zejména v oblasti hodnocení dlouhodobé bezpečnosti a projektových prací je však možno zahájit ještě před zahájením průzkumných prací na lokalitách a některé práce dokonce musí být zahájeny před zahájením průzkumných prací, aby výsledky průzkumu mohly být přiměřeně vyhodnoceny.


K zajištění efektivního, objektivního a optimálního průběhu výzkumných a vývojových činností byla vytvořena pracovníky SÚRAO směrnice S 12 „Vývoj a výzkum“, která specifikuje pravidla pro řízení výzkumných a vývojových prací, a směrnice S 36 „Příprava hlubinného úložiště“, jejímž cílem je popsat činnosti, posloupnost jejich provádění, zodpovědnosti a požadavky na kvalitu tak, aby příprava jednotlivých akcí byla zajištěna s maximální efektivitou, za podmínek dodržení legislativních pravidel a v požadované kvalitě, tj. za minimálních nákladů, v požadovaných termínech a bez zjištěných nedostatků a odchylek.

Pro provádění jednotlivých fází nebo etap přípravy je zpracováván „Plán managementu projektu“ (PMP). V tomto PMP se stanoví cíle, účel, hlavní výstupy a činnosti a jejich objektivně ověřitelné ukazatele, zdroje, prostředky ověření a předpoklady a rizika projektu, HMG, náklady projektu atd. PMP bude zpracován přiměřeně normě ČSN ISO 10006 „Systém managementu jakosti – Směrnice pro management jakosti projektů“.

12 Seznam literatury ke kapitolám

Legislativa

- [1] Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů
- [2] Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny
- [3] Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů
- [4] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [5] Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)
- [6] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých dalších zákonů
- [7] Zákon č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím
- [8] Zákon č. 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí
- [9] Zákon č. 164/2001 Sb., o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (lázeňský zákon)
- [10] Vyhláška SÚJB č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd
- [11] Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně
- [12] Vyhláška SÚJB č. 215/1997 Sb., o kritériích na umístění jaderných zařízení a velmi významných zdrojů ionizujícího záření
- [13] Vyhláška SÚJB č. 317/2002 Sb., o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě)
- [14] Směrnice EC – Council Directive 2011/70/EUROATOM of July 2011 establishing a Community Framework for the Responsible and Safe Management of Spent Fuel and Radioactive Waste
- [15] Zákon České národní rady č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě
- [16] IAEA, Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011, Appendix I” Siting of geological disposal facilities, p. 55
- [17] Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste, ICRP Publication 81, ICRP Annals of the ICRP, September 1999
- [18] Společná úmluva o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady, Sdělení Ministerstva zahraničních věcí č. 3/2012 Sb.

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [19] MAAE (IAEA) dokument, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR-5, Pub. 1449, MAAE, Vienna, 2011

Kapitola 1: Shrnutí cílů, stavu harmonogramu přípravy hlubinného úložiště


- [1-1] Novotný P., Výběr horninových těles Českého masivu jako kandidátů pro lokality úložiště vyhořelého paliva z jaderných elektráren a návrh studijních lokalit, ČGU Praha, 1991
- [1-2] Woller F. a kol., Kritická rešerše archivovaných geologických informací. Část 1 a 2, 1998, arch. č. SÚRAO 1/98
- [1-3] 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, 1999, (arch. č. SÚRAO 30/99, 33/99)
- [1-4] Holub J. a kol., Návrh výzkumných a vývojových činností, (arch. č. SÚRAO, 23/99)
- [1-5] Pospíšková I. a kol., Aktualizace referenčního projektu HÚ v hypotetické lokalitě, ÚJV Řež, a. s., 2008 - 2012, (arch. č. SÚRAO 3/09, 22/09, 21/10, 56/10, 9/11, 10/11, 16/11, 29/11, 4/12, 5/12)
- [1-6] Šimůnek P., Výběr lokality a staveniště HÚ RAO v ČR – Analýza území ČR, Energoprůzkum Praha, s. r. o., 2003, arch. č. SÚRAO 10/03, 11/03, 55/03, 56/03
- [1-7] Sdružení společností Aquatest, a. s., a Stavební Geologie Geotechnika, a. s., (GeoBariéra), Provedení geologických prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště, 2003 - 2005, arch. č. SÚRAO 57/03, 58/03, 1 – 7/04, 49 – 51/05
- [1-8] MPO, Koncepce nakládání s VJP a RAO v ČR, 2002, Usnesení vlády ČR 483 z roku 2002

Kapitola 2: Obecný přístup k výzkumu a vývoji při přípravě hlubinného úložiště a zahraniční spolupráce

- [2-1] Guidelines for the establishment and notification of national programmes under the council directive 2011/70EURATOM of 19 July 2011 on the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste
- [2-2] IGD-TP, Strategic Research Agenda, 2011

Kapitola 3: Příprava požadavků, indikátorů vhodnosti a kritérií výběru lokality hlubinného úložiště


- [3-1] IAEA, Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011, Appendix I" Siting of geological disposal facilities, p. 55
- [3-2] Šimůnek P. (1999): Přehled kritérií pro umístění hlubinného úložiště RAO a VP, (arch. č. SÚRAO 17/99)
- [3-3] Woller F., Šimůnek P., Požadavky na lokalitu v etapě hodnocení lokalit, ZA.S./HÚ, 2002

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [3-4] Šimůnek P. et al., Výběr lokality a staveniště HÚ RAO v ČR, 2004, (arch. č. SÚRAO 55-56/03, 2003 a 34/04)
- [3-5] Marek J. a kol., Kritéria pro zúžení lokalit a kategorizace tektonických zón. Dokument projektu Geobariéra, 2005
- [3-6] Woller F., Výběr lokalit pro HÚ a kritéria jejich hodnocení v etapě charakterizace lokalit, 2011, (arch. č. SÚRAO 27/11)
- [3-7] Ernst T., Fritschi M., Vomvoris S., Stepwise site selection in Switzerland – Sectoral plan status and outlook, Proceedings of the 13th Int. Conf. on Env. Rem. And Radioactive waste management, 2010, 40150
- [3-8] AkEnd committee (Německo), Site Selection Procedure for Repository Sites, Recommendations, 2002
- [3-9] NDA-RWMD, A proposed framework for stage 4 of the MRWS Site Selection Process, Technical Note No. 8150715, 2008
- [3-10] NWMO (Kanada), Moving forward together: Process for selecting a site for Canada's deep geological repository for used nuclear fuel, 2010
- [3-11] BRC (Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future), Report to the Secretary of Energy, Washington, D.C, 2012
- [3-12] J. Andersson et. al., What requirements does the KBS-3 repository make on the host rock, Technical Report TR-00-12
- [3-13] Metodický pokyn SÚRAO MP.22, Požadavky, indikátory vhodnosti a kritéria pro umístění hlubinného úložiště, Revize 1, červen 2015

Kapitola 4: Zdrojový člen


- [4-1] IAEA, Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011
- [4-2] MPO, Koncepce nakládání s VJP a RAO v ČR, 2002, Usnesení vlády ČR 483 z roku 2002
- [4-3] 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, 1999, (arch. č. SÚRAO 30/99, 33/99)
- [4-4] Matějka K., Zíb A., Novotná L.: Ocenění dopadů použití MOX paliva na ukládání VJP, 2001, (arch. č. SÚRAO 30/01)
- [4-5] Zíb A., Novotná L., Šebela P., Matějka K.: Modelové ocenění dopadu použití paliva MOX na inventář RAO, 2004, (arch. č. SÚRAO 60/04)
- [4-6] Rataj J. a kol., Charakteristika použitého jaderného paliva v ČR, 2011, (arch. č. SÚRAO 41/11)
- [4-7] Pospíšková I. a kol., Aktualizace referenčního projektu HÚ v hypotetické lokalitě, ÚJV Řež, a. s., 2008 - 2012, (I.etapa) (arch. č. SÚRAO 3/09, 22/09, 21/10, 56/10, 9/11, 10/11, 16/11, 29/11, 4/12, 5/12)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [4-8] Ferry C., Poulesquen A., Poinssot C., Grambow B., Lemmens K., Part 2: Reference report on the state of the art of spent fuel properties and spent fuel alteration under long term storage and disposal conditions, Contract No: FI6W-CT-2003-02389, draft version 10-11-2004

Kapitola 5: Geologická charakterizace horninového prostředí

- [5-1] Rudájev V. et al, Katalog geovědních průzkumných metod, Zpráva pro MPO, VIL93-01, 1994
- [5-2] Procházka J., Metodika geologicko-průzkumných prací pro hostitelskou strukturu HÚ ve vyvřelých horninách, VIL 93-05, 1994
- [5-3] Woller F. et al., Obecný projekt geologických aktivit souvisejících s vývojem HÚ VAO a VP v podmínkách ČR, VIL 94-03, 1994
- [5-4] Procházka F., Program prací na testovací lokalitě, ČGS, 1999, (arch. č. SÚRAO 29/99)
- [5-5] IAEA dokument, Scientific and Technical Basis for the Geological Disposal of Radioactive Wastes, TRS - 413, Vienna, 2003
- [5-6] Hokr M. a kol., Modelování proudění a transportu látky na lokalitě Bedřichov – 3D „test case“ v rámci mezinárodního týmu D-2011, závěrečná zpráva, 2011, (arch. č. ÚRAO závěrečná zpráva 39/11, průběžná zpráva 25/10, 40/10, 14/11 a podklady pro KD 12/11, 37/11, 15/12).
- [5-7] Hokr M a kol., Vývoj kódů pro simulace T-H-M-C procesů v horninovém prostředí HÚ a jejich validace na experimentech v rámci mezinárodního projektu Decovalex-2011, 2009, (arch. č. SÚRAO 38/08, 49/08, 02/09, 18/09 a závěrečná zpráva 42/09)
- [5-8] Blaheta R. a kol., Vývoj kódů pro simulace THMC procesů v horninovém prostředí HÚ a jejich validace na experimentech v rámci mezinárodního projektu Decovalex-2011, 2009, (arch. č. SÚRAO 57/09)
- [5-9] Blaheta R. a kol., Zhodnocení a doplnění existujících dat o THMC procesech granitického prostředí bedřichovských tunelů pro jejich využití k validaci matematických modelů v rámci mezinárodního projektu Decovalex-2011, 2009, (arch. č. SÚRAO 16/09, 21/09)
- [5-10] Blaheta R. a kol., Rozvoj metod identifikace parametrů a modelování procesů THMC, doplnění existujících dat o THMC procesech granitického prostředí s využitím zapojení do mezinárodního projektu Decovalex-2011, 2011, (arch. č. SÚRAO 41/10, 13/11)
- [5-11] Rukavičková L. a kol., Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ VJP a vysoce aktivních odpadů, 2009, (arch. č. SÚRAO 56/09)
- [5-12] Ondřík J. a kol., Hydrogeologická charakteristika jižní části uranového ložiska Rožná a uranového ložiska Olší se zřetelem na umístění hlubinného úložiště VJP a RAO na lokalitě Kraví hora, 2010, (arch. č. SÚRAO 62/10, 18/11)
- [5-13] Navrátilová V. a kol., Zhodnocení informací z území mezi ložisky Rožná a Olší z hlediska vymezení masivu vhodného pro vybudování HÚ, (arch. č. SÚRAO 21/11)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [5-14] Hrkalová M. a kol., Zhodnocení existujících geologických a dalších informací z území mezi ložisky Rožná a Olší z hlediska vymezení horninového masivu potenciálně vhodného pro vybudování hlubinného úložiště (arch. č. SÚRAO 61/10)
- [5-15] Milický M. a Polák M., Modelové řešení proudění podzemní vody a transportu radionuklidu ¹⁴C v podzemní vodě, 2007, (arch. č. SÚRAO 37/07, 38/07, 21/08)
- [5-16] Milický M. a kol., Hydrogeologický a transportní model lokality HÚ – citlivostní analýzy a hodnocení vlivu hydrogeologických a transportních parametrů na šíření radionuklidů, 2004, (arch. č. SÚRAO 06/05)
- [5-17] Procházka J. a kol., Projekt prací na hypotetické lokalitě, 2010, (arch. č. SÚRAO technická zpráva 5/10 a závěrečná zpráva 30/10,31/10)
- [5-18] Procházka J. a kol., Plán výzkumu a vývoje pro potřeby HÚ pro období do roku 2016 s výhledem do roku 2025, 2011, (arch. č. SÚRAO 22/11)
- [5-19] Královcová a kol., Zpracování hydrogeologického a transportního modelu oblastí Rožná a Olší a bezpečnostní výpočty hlubinného úložiště v lokalitě Kraví hora, 2012, závěrečná zpráva, (arch. č. SÚRAO 35/12)
- [5-20] Hrkalová M. a kol., Kritická rešerše geologických informací o území současných vojenských újezdů ČR z hlediska vymezení potenciálně vhodného území pro umístění HÚ - Boletice, 2008, (arch. č. SÚRAO 46/08)
- [5-21] Woller F., Modifikace metodiky multikriteriálního hodnocení lokality Boletice pro stanovení nadějnosti umístění hlubinného úložiště, 2009, (arch. č. SÚRAO 55/09)
- [5-22] Kopačková V., Tektonická analýza a interpretace družicových snímků, 2010, (arch. č. SÚRAO 34/10)
- [5-23] Pačes T. a kol., Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů, 2010, (arch. č. SÚRAO 32/10)
- [5-24] Leichmann J., Vybrané petrofyzikální vlastnosti hornin lokality Skalka, 2010, (arch. č. SÚRAO 16/10)
- [5-25] Martínek K. a kol., Stanovení petrofyzikálních vlastností hornin na lokalitě Boletice, 2010, (arch. č. SÚRAO 9/10)
- [5-26] Gvoždík I, Chaloupková M., Kučera P., Malý V., Marek J., Milický M., Polák M., Rout J., Šmejkalová T., Uhlík J., Vysoká H., Ověření geotechnické a hydrogeologické stability zájmového území mezi ložisky Rožná a Olší., 2013, (arch. č. SÚRAO 11/13)
- [5-27] Procházka V., Výzkum účinku radioaktivních minerálů na okolí v některých granitoidech a pararulách moldanubické oblasti, 2010, (arch. č. SÚRAO 8/10)
- [5-28] Klomínský J., Geologická a strukturní charakteristika granitoidů z vodárenských tunelů v Jizerských horách – etapa 2004 - 2005, (arch. č. SÚRAO 33/05 a 46/05)
- [5-29] Breiter K. a Procházka J., Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa, 2004 (Detailní pozemní geologický výzkum, arch. č. SÚRAO 46/04)
- [5-30] Žáček et al., Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa (Detailní geochemický výzkum), 2004, (arch. č. SÚRAO 49/04)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [5-31] Klomínský J. a kol., Geologická a strukturní charakteristika granitoidů z tunelu v Bedřichově v Jizerských horách, 2003, (arch. č. SÚRAO 60/03)
- [5-32] ÚJV Řež, a. s., Zásady nomenklatury, klasifikace a typologie granitoidů, (arch. č. SÚRAO 2/98)
- [5-33] Pačes T. a Mikšová J. (eds.), Pole vzdálených interakcí hlubinného úložiště vysoce aktivních odpadů v České republice, ČGS, 2012
- [5-34] Melechovský masiv 2. etapa – Vyhodnocení povrchových křehkých struktur a puklinové sítě na testovací lokalitě, (arch. č. SÚRAO 42/06)
- [5-35] Melechovský masiv – detailní geochemický výzkum, (arch. č. SÚRAO 49/06)
- [5-36] Woller F., Zhodnocení perspektivnosti karbonských sedimentů Žatecké deprese Kladensko-Rakovnické pánve v oblasti VÚ Hradiště pro umístění HÚ, 2009, (arch. č. 29/09)
- [5-37] Geobariéra, T-Plan, Aquatest, Provedení geologických a dalších prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění HÚ, 2005, (arch. č. SÚRAO 49/05, 50/05, 51/05, 52/05, 53/05)
- [5-38] Woller F., Modifikace metodiky multikriteriálního hodnocení lokality Boletice pro stanovení nadějnosti umístění hlubinného úložiště, 2009, (arch. č. SÚRAO 55/09)

Kapitola 6: Výzkum a vývoj potřebný pro hodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště


- [6-1] IAEA dokument, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR-5, Pub. 1449, IAEA, Vienna, 2011
- [6-2] Schenk V. a kol., Kritická rešerše archivovaných geologických informací, Geodynamika, Seismologie a dálkový průzkum země, 1998, (arch. č. SÚRAO 1/98)
- [6-3] Pačes T. a kol., Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů, 2010, (arch. č. SÚRAO 32/10)
- [6-4] 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, 1999, (arch. č. SÚRAO 30/99,33/99)
- [6-5] Vokál A., Zavedení metod hodnocení inženýrských bariér, 2001 - 2003 (arch. č. SÚRAO 1/01, 32/01, 7/02, 8/02, 2/03, 4/03, 5/03, 23/02, 25/03, 33/03, 35/03)
- [6-6] Vokál A. a kol., Výzkum procesů pole blízkých interakcí hlubinného úložiště VJP a vysoce aktivních odpadů, 2006 - 2008, (arch. č. SÚRAO 18/08, 21/07,32/06)
- [6-7] Červinka R. a Vejsadů, J., Studium vývoje vlastností a eroze bentonitu z lokality Rokle, (arch. č. SÚRAO 42/10, 42/11)
- [6-8] Křížová V. a kol., Mineralogický, chemický a geochemický výzkum stability dlouhodobě tepelně zatíženého materiálu bentonitové bariéry na vzorcích získaných z experimentu Mock-Up-CZ, 2008, (arch. č. SÚRAO 14/06, 62/06, 10/07, 25/07, 5/08, 8/08 (závěrečná zpráva)
- [6-9] Křížová V. a kol., Sledování dlouhodobé stability inženýrských bariér na bázi bentonitu s využitím zatěžovacích procedur a experimentů in situ a hodnocení jejich

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- retardační funkce, 2010, (arch. č. SÚRAO 31/08, 32/08, 35/09, 23/10 (závěrečná zpráva)
- [6-10] Pacovský J., Vašíček R. a Hausmannová L., Experimentální výzkum materiálu na bázi bentonitu při dlouhodobém působení teploty a saturačního média s extrémními účinky, 2010, (arch. č. SÚRAO 33/08, 34/09, 17/10 (závěrečná zpráva)
- [6-11] Pacovský J. a Štáštka J., Výzkum možnosti využití stříkaného bentonitu pro konstrukci těsnicí vrstvy hlubinného úložiště, (arch. č. SÚRAO 47/10, 5/11, 15/11, 24/11, 32/11, 10/12)
- [6-12] Pacovský J., Vašíček R. a Hausmannová L., Geotechnický výzkum přírodních zelených jííl miocenního cyprisového souvrství z lokality Skalná – Nová Ves, 2011, (arch. č. SÚRAO 49/10, 7/11, 33/11 (závěrečná zpráva)
- [6-13] Štáštka J., Technologie stříkaného backfillu, 2009, (arch. č. SÚRAO 45/07, 12/08, 36/08, 37/08, 5/09, 38/09 (závěrečná zpráva)
- [6-14] Pacovský J. a Svoboda J., Fyzikální modelování – uplatnění přírodních bentonitů; Analýza, vývoj a experimentální ověření materiálů na bázi bentonitů a smektitických jííl, 2007, (arch. č. SÚRAO 50/07)
- [6-15] Pacovský J. a kol., Mock-Up-CZ – fyzikální model multibariérového systému, 2006, (arch. č. SÚRAO 32/00, 16,37/02, 62/03, 64/03, 22/04, 52/04, 10/05, 11/05, 24/05, 28/06, 29/06 (závěrečná zpráva)
- [6-16] Pacovský J., Matějka P., Zeman J. a kol., Geotechnický, bakteriologický a korozní výzkum dlouhodobě tepelně zatíženého materiálu bentonitové bariéry při saturaci syntetickou granitickou vodou, 2008, (arch. č. SÚRAO 63/06, 9/07, 24/07, 47/07, 7/08, 8/08 (závěrečná zpráva)
- [6-17] Příkryl R. a kol., Verification of substitution bentonites by montmorillonitic clays, 2004, (arch. č. SÚRAO 13/03, 15/03, 29/03, 39/04, 56/04 (závěrečná zpráva)
- [6-18] Pacovský J. a kol., Verification of substitution of bentonites by montmorillonitic clays, 2004, (arch. č. SÚRAO 47/02, 58/02, 68/03, 17/04, 40/04, 61/04 (závěrečná zpráva)
- [6-19] ANDRA Dossier 2005 Argile-Phenomenological Evolution of a geological Disposal System. Chatenay-Malabry, France: ANDRA 2005.
- [6-20] Pacovský J. a kol., Studium geotechnických charakteristik IB HÚ, 2001, (arch. č. SÚRAO 25/99, 32/00, 33/00, 34/00, 35/00, 36/00, 37/00, 38/00, 38/01)
- [6-21] Hanzlík J., Laciok A., Valvoda Z., Vaněček M., Žák K., Program přírodního analogu v podmínkách ČR, Zpráva KOO94-07, 1994
- [6-22] Woller J., Skopový J., Přírodní analog Ruprechtov, Zpráva SPA 96-01, 1996
- [6-23] Havlová V., Laciok A., Červinka a kol., Přírodní analog Ruprechtov, ÚJV Řež Praha, 2000 - 2011, (arch. č. SÚRAO 17/01, 29/00 až 31/00, 35/01, 27/02 až 30/02, 22/03, 24/03 až 28/03, 70/03, 23/04 až 26/04, 31/04, 32/04, 19/05, 20/05, 28/05, 48/05, 25/06, 1/08, 23/08, 1/09, 58/09, 59/09, 19/10, 11/11)
- [6-24] Bouška V., Pačesová M., Tolar V., Studium degradace přírodních skel, SPA 96-02, 1996

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [6-25] Bouška V., Laciok A., Mráz L., Pačesová M., Tolar V, Studium přírodních analogů – degradace přírodních skel, SPA 97-01, 1997
- [6-26] Jelínek E., Goliáš V., Ettler V., Procházka R., Pittauerová D., Fejgl M., Antropogenní analogy – Studium metalurgických strusek a skel barvených uranem jako analogů pro sklovité nosiče radioaktivních odpadů, 2005, (arch.č. SÚRAO 34/05)
- [6-27] SÚJB, Metodický návod k provedení požadavků ustanovení § 13 odst. 3 písm. d) a g) atomového zákona č. 18/1997 ve znění pozdějších předpisů pro Postup zpracování bezpečnostní zprávy pro povolení umístění úložiště radioaktivních odpadů, 2004
- [6-28] IAEA dokument, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide, No-SSG-23, 2012
- [6-29] WENRA dokument, Report on the European pilot study on the regulatory review of a safety case for geological disposal of radioactive waste, version for consultation, 2010
- [6-30] WENRA dokument, Radioactive waste disposal facilities safety reference levels report, draft version 2012; http://www.wenra.org/media/filer_public/2012/11/19/v0_draft_disposal_report.pdf
- [6-31] NEA/OECD, The nature and purpose of the post-closure safety cases for geological repositories, 2013, NEA No. 78121
- [6-32] Konopásková S., Lietava P., Návrh optimálního softwarového vybavení oblasti aktivit v programu vývoje HÚ, BAZ 94-01, 1994
- [6-33] Konopásková S., Osnova a náplň předběžné, zadávací, provozní a závěrečné bezpečnostní zprávy, BAZ 94-03, 94-04, 94-05, 94-06, 94-07, 1994
- [6-34] Konopásková S., Kritické zhodnocení veličin ovlivňujících bezpečnost a rozhodovací procesy při vývoji HÚ, BAZ 94-08, 1994
- [6-35] Konopásková S., Modelová bezpečnostní zpráva pro účely územního rozhodnutí, BAZ 95-01, 1995
- [6-36] Konopásková S., Scénáře chování úložného systému, BAZ 97-01, 1997
- [6-37] Konopásková S, Pergl L., Modelový popis referenčního úložného systému, BAZ 97-02, 1997
- [6-38] Lietava P. a kol., Zadávací bezpečnostní zpráva, Referenční projekt povrchových i podzemních systémů HÚ v hostitelském prostředí granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodního projektu a hloubce projektové studie, 1999, (arch.č. SÚRAO 30/99, 33/99)
- [6-39] Vokál A., Modelové výpočty uvolňování radionuklidů z HÚ VJP – PAGODA, 2001, (arch. č. SÚRAO 33/01)
- [6-40] Laciok A. Landa J., Testování indikátorů bezpečnosti a indikátorů chování úložného systému, 2002, (arch. č. SÚRAO 4/02, 5/02)
- [6-41] DIAMO s. p., Testovací příklad modelového řešení hypotetického úložného systému, 2002, Arch. č. SÚRAO 63/02

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [6-42] Laciok A., Landa J., Modelování biosferických systémů pro ukládání RAO v podmínkách klimatických změn (project BIOCLIM), 2003, (arch. č. SÚRAO 88/03, 89/03, 90/03, 91/03, 92/03, 93/03)
- [6-43] Lukin D., Vokál A., Předběžné výpočty dopadu vybraných scénářů na nakládání s RAO, výstup 10, project RED-IMPACT, 2004, (arch.č. SÚRAO 66/04)
- [6-44] Landa J., Laciok A., Výzkum biosféry pro účely hodnocení ukládání RAO a přenos výsledků z mezinárodního projektu Bioprotá, 2006, (arch. č. SÚRAO 6/06, 26/06 60/06)
- [6-45] IAEA dokument, Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011, Table 1 Features of the safety case and supporting assessment throughout the lifetime of a disposal facility, p. 25
- [6-46] Beneš P. a kol., Migrace aktinidů a jódu v přírodním prostředí, 2003, (arch. č. SÚRAO, 16/02, 17/02, 48/03)
- [6-47] Štamberg K., Vopálka D., Výsledky modelových výpočtů sorpčního projektu OECD/NEA, 2002, (arch. č. SÚRAO 62/02)
- [6-48] Vokál A. a kol., Výzkum procesů pole blízkých interakcí hlubinného úložiště VJP a vysoce aktivních odpadů, 2006 – 2008, Arch č. SÚRAO 32/06, 21/07, 18/08
- [6-49] Pačes T. a kol, Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ VJP a VAO, 2010, (arch. č. SÚRAO 32/10)
- [6-50] Beneš P. a kol., Analýza speciace a sorpce aktinidů v podzemních vodách, 2007 – 2009, (arch č. SÚRAO 30/07, 13/08, 41/08, 19/09)
- [6-51] Lukin D., Vopálka D., Vokál A., Transportní model pole blízkých interakcí (RED-IMPACT), 2004, (arch. č. SURAO 66/04)
- [6-52] Havlová V, Laciok A., Výzkum difúze radionuklidů v horninovém prostředí, 2006 – 2007, (arch. č. SÚRAO 5/06, 31/06, 61/06, 51/07)
- [6-53] Havlová V a kol., Experimentální výzkum difúze radionuklidů do granitoidních hornin, 2010 – 2011, (arch. č. SÚRAO 18/10, 60/10)
- [6-54] Milický M., Hydrogeologický a transportní model lokalit HÚ, PROGEO, s.r.o, 2004, (arch. č. SÚRAO 6/05, 2005)
- [6-55] Milický M., Modelové proudění podzemní vody a transport radionuklidů v podzemní vodě, PROGEO, s.r.o, 2007 (arch. č. SÚRAO 37/07, 38/07)
- [6-56] Hokr M., Slovák J., Klominský J., Data for the 3D Problem Task C – Bedřichov tunel, 2008, (arch. č. SÚRAO 38/08)
- [6-57] Hokr M. a kol, Vývoj kódů pro simulace THMC procesů v horninovém prostředí HÚ a jejich validace na experimentech v rámci mezinárodního projektu Decovalex-2011, 2008 – 2009, (arch.č. SÚRAO 2/09, 18/09, 21/09, 42/09)
- [6-58] Vokál A. a kol, Modelování transportu (projekt PAMINA), 2008 – 2010, (arch. č. SÚRAO 22/08, 45/08, 23/09, 64/09, 7/10)
- [6-59] Hokr M. a kol., Modelování proudění a transport látky na lokalitě Bedřichov – 3D “test case” v rámci mezinárodního týmu Decovalex-2011, 2010–2011, (arch.č. SÚRAO 25/10, 40/10, 14/11, 39/11)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [6-60] Pospíšková I. a kol., Aktualizace referenčního projektu HÚ v hypotetické lokalitě, ÚJV Řež, a.s., 2008-2012, (III. etapa, část A, C1, C3) (arch. č. SÚRAO 3/09, 22/09, 21/10, 56/10, 9/11, 10/11, 16/11, 29/11, 4/12, 5/12)
- [6-61] Vokál A. a kol., Studie zadávací bezpečnostní zprávy, díl C-2, Aktualizace referenčního projektu HÚ RAO v hypotetické lokalitě (III. Etapa), 2010, (arch. č. SÚRAO 56/10)
- [6-62] Noseck U., Havlová V., Brassier T., Brewitz W., Červinka R., Woller F., Natural Analogue Study Ruprechtov, An Experience Report, November 2014, GRS-349

Kapitola 7: Výzkumné a vývojové práce potřebné pro vypracování studie technické proveditelnosti


- [7-1] IAEA, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR-5, Pu. 1449, 2011
- [7-2] IAEA, Geological disposal facilities, Specific Safety Guide, SSG-14, Publication 1483, 2011
- [7-3] Valvoda Z. a kol., Vzorový projekt hlubinného úložiště, 1993 (PAE93-01)
- [7-4] ÚJV Řež Praha, Aktuální stav a trendy programů vývoje hlubinného ukládání RAO v zahraničí, 1998 (arch. č. SÚRAO 7/98)
- [7-5] 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, EGP Invest, 1999 (arch. č. SÚRAO 30/99, 33/99)
- [7-6] Holub J. a kol., Návrh výzkumných a vývojových činností vyplývajících z Referenčního projektu HÚ a jejich časová a ekonomická náročnost, EGP Invest, 1999 (arch. č. SÚRAO 23/99)
- [7-7] Holub J. a kol., Analýza referenčního projektu hlubinného úložiště, EGP Invest, 2002 (arch. č. SÚRAO 9/02)
- [7-8] Holub J. a kol., Optimalizace projektu hlubinného úložiště, EGP Invest, 2002 (arch. č. SÚRAO 10/02, 11/02)
- [7-9] Holub J. a kol., Dopady přípravy a provozu hlubinného úložiště na obyvatelstvo, 2003 (arch. č. SÚRAO 18/03)
- [7-10] Holub J. a kol., Optimalizace projektu HÚ, rev. 1, EGP Invest, 2003 (arch. č. SÚRAO 19/03)
- [7-11] Holub J. a kol., Porovnání horizontálního a vertikálního ukládání VJP v podzemním areálu HÚ, 2006 (arch. č. SÚRAO 8/05, 14/05, 21/05, 64/06)
- [7-12] Pospíšková I. a kol., Aktualizace ref. projektu HÚ v hypotetické lokalitě, ÚJV Řež, 2008-2012 (arch. č. SÚRAO 3/09, 22/09, 21/10, 56/10, 9/11, 10/11, 16/11, 29/11, 4/12, 5/12)
- [7-13] Krajíček L., Aktualizace referenčního projektu HÚ RAO v hypotetické lokalitě, Ateliér T-plan, 2010 (arch. č. SÚRAO 55/10)
- [7-14] Holub J. a kol., Lokalita Skalka - Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Varianta I, Varianta II, 2010 (arch. č. SÚRAO 39/10)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [7-15] Holub J. a kol., Lokalita Kraví Hora - Ověření prostorové a plošné lokalizace HÚ, 2011 (arch. č. SÚRAO 4/11)
- [7-16] Holub I. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Boletice, EGP Invest, 2011(arch. č. SÚRAO 30/11)
- [7-17] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Blatno-Čertovka, EGP Invest, 2012 (arch. č. SÚRAO 2/12)
- [7-18] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Lodhěřov – Čihadlo, EGP Invest, 2012 (arch. č. SÚRAO 6/12)
- [7-19] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Božejovice-Magdaléna, EGP Invest, 2012 (arch. č. SÚRAO 11/12)
- [7-20] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Lhotka – Budišov, 2012 (arch. č. SÚRAO 12/12)
- [7-21] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ Boletice - Areál Chlum E-podzemní stavby HÚ, D- nadzemní stavby HÚ - Areál Chlum, překladiště Polná, EGP Invest, 2012 (arch. č. SÚRAO 14/12)
- [7-22] Krajíček L., Předběžná studie proveditelnosti HÚ v zájmovém území Boletice, T-plan, 2012, (arch. č. SÚRAO 13/12)
- [7-23] Dvořáková M. a Slovák J., The system of storage boreholes for storage of a spent nuclear fuel and a method of the storage of the spent nuclear fuel, 2011, podána česká a evropská patentová přihláška
- [7-24] Matějka K., Zíb A., Novotná L., Ocenění dopadů použití MOX paliva na ukládání VJP, 2001 (arch. č. SÚRAO 30/01)
- [7-25] Zíb A., Novotná L., Šebela P., Matějka K., Modelové ocenění dopadů použití paliva MOX na inventář RAO, ČVUT FJFI, 2004 (arch. č. SÚRAO 60/04)
- [7-26] Velický M., Silber R., Vokál A., Analýza zahraničních poznatků o degradaci VJP v prostředí HÚ, 2005, (arch. č. SÚRAO 19/06)
- [7-27] Vokál A., Shromáždění a aktualizace vstupních údajů o inventáři a vývoji tepla vyhořelých palivových souborů, 2006, (arch. č. SÚRAO 20/06)
- [7-28] Marková L., Měření izotopického složení VJP z reaktorů VVVR-440 a vypracování mezinárodního benchmarku simulujícího ozařování vzorků, 2009 (arch. č. SÚRAO 43/09)
- [7-29] Rataj J. a kol., Charakteristika použitého jaderného paliva v ČR, ČVUT FJFI, 2011 (arch. č. SÚRAO 41/11)
- [7-30] MPO, Koncepce nakládání s VJP a RAO 2002, Usnesení vlády ČR 483 z roku 2002
- [7-31] Zíb A., Matějka K., Podklady pro stanovení požadavků na životnost kontejnerů pro ukládání vyhořelého jaderného paliva VVER 440 a VVER 1000, ČVUT FJFI, 2000 (arch. č. SÚRAO 25/00)
- [7-32] Vokál A. a spol., Pracovní postup stanovení koroze kovů za anaerobních podmínek, ÚJV Řež, a.s., 2002 (arch. č. SÚRAO 21/02)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015


- [7-33] Vokál A., Carlsson T., Corrosion Products Characteristics, Preliminary report, 2004, (arch. č. SÚRAO 28/04)
- [7-34] Vokál A. a spol., Výzkum procesů pole blízkých interakcí, 2006 (arch. č. SÚRAO 32/06)
- [7-35] Matal, O. a kol., Kontejnery pro hlubinné ukládání RAO, 2009, (arch. č. SÚRAO 7/09, 17/09)
- [7-36] Matějka K., Zíb A., Novotná L., Šebela P., Ocenění zbytkového tepelného výkonu vyhořelého jaderného paliva přijatého do hlubinného úložiště, 2001 (arch. č. SÚRAO 29/01)
- [7-37] Matějka K., Šebela P., Zíb A., Vývoj a úprava programu VJP teplo, 2002 (arch. č. SÚRAO 19/02)
- [7-38] Blaheta R. a kol., Tepelná analýza referenčního návrhu úložiště VJP, 2012 (arch. č. SÚRAO 8/12, XXX)
- [7-39] Vaněček M. a kol., Studie tepelného toku v horninovém systému a jeho vliv na HÚ, 1994, (arch. č. BIZ94-15)
- [7-40] Pacovský J., Vašíček R. a Hausmannová L., Experimentální výzkum materiálů na bázi bentonitu při dlouhodobém působení teploty a saturačního média s extrémními účinky, 2010 (arch. č. SÚRAO 33/08, 34/09, 17/10, závěrečná zpráva)
- [7-41] Pacovský J. a Šťástka J., Výzkum možnosti využití stříkaného bentonitu pro konstrukci těsnicí vrstvy hlubinného úložiště, 2010-2012 (arch. č. SÚRAO 47/10, 5/11, 15/11, 24/11, 32/11, 10/12)
- [7-42] Pacovský J., Vašíček R. a Hausmannová L., Geotechnický výzkum přírodních zelených jíílů miocenního cyprisového souvrství z lokality Skalná – Nová Ves, 2011, (arch. č. SÚRAO 49/10, 7/11, 33/11 závěrečná zpráva)
- [7-43] Šťástka J., Technologie stříkaného backfillu, 2009, (arch. č. SÚRAO 45/07, 12/08, 36/08, 37/08, 5/09, 38/09 závěrečná zpráva)
- [7-44] Vokál A. a kol., Research of Processes Occurring in Near-Field of Deep Geological Repository, 2008, (arch. č. SÚRAO 18/08)
- [7-45] Pacovský J. a Svoboda J., Fyzikální modelování – uplatnění přírodních bentonitů; Analýza, vývoj a experimentální ověření materiálů na bázi bentonitů a smektitických jíílů, 2007, (arch. č. SÚRAO 50/07)
- [7-46] Pacovský J. a kol., Mock-Up-CZ – fyzikální model multibariérového systému, 2006, (arch. č. SÚRAO 32/00, 16,37/02, 62/03, 64/03, 22/04, 52/04, 10/05, 11/05, 24/05, 28/06, 29/06 závěrečná zpráva)
- [7-47] Pacovský J., Matějka P., Zeman J. a kol., Geotechnický, bakteriologický a korozní výzkum dlouhodobě tepelně zatíženého materiálu bentonitové bariéry při saturaci syntetickou granitickou vodou, 2008, (arch. č. SÚRAO 63/06, 9/07, 24/07, 47/07, 7/08, 8/08 závěrečná zpráva)
- [7-48] Přikryl R. a kol., Verification of substitution bentonites by montmorillonitic clays, 2004, (arch. č. SÚRAO 13/03, 15/03, 29/03, 39/04, 56/04 závěrečná zpráva)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [7-49] Pacovský J. a kol., Verification of substitution of bentonites by montmorillonitic clays, 2004, (arch. č. SÚRAO 47/02, 58/02, 68/03, 17/04, 40/04, 61/04 závěrečná zpráva)
- [7-50] ANDRA Dossier 2005 Argile-Phenomenological Evolution of a geological Disposal System. Chatenay-Malabry, France: ANDRA 2005
- [7-51] Pacovský J. a kol., Studium geotechnických charakteristik IB HÚ, 2001, (arch. č. SÚRAO 25/99, 32/00, 33/00, 34/00, 35/00, 36/00, 37/00, 38/00, 38/01)
- [7-52] Vokál A. a kol., Zavedení metod hodnocení IB, 2003, (arch. č. SÚRAO 1/01, 32/01, 7/02, 8/02, 30/03, 32/03, 33/03, 34/03, 35/03)
- [7-53] Prostorové zpracování výkresové části nadzemního a podzemního areálu HÚ, EGP Invest, 2003, 2004 (arch. č. SÚRAO 67/03, 12/04)
- [7-54] Příkryl R. a kol., Verification of substitution bentonites by montmorillonitic clays, 2004, (arch. č. SÚRAO 13/03, 15/03, 29/03, 39/04, 56/04 závěrečná zpráva)
- [7-55] Pacovský J. a kol., Verification of substitution of bentonites by montmorillonitic clays, Arch. čísla jednotlivých výstupů SÚRAO 47/02, 58/02, 68/03, 17/04, 40/04, 61/04 (závěrečná zpráva, 2004)
- [7-56] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Horka – Budišov, EGP Invest, 2012 (arch. č. SÚRAO 12/12)
- [7-57] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Hrádek - Rohozná, 2012
- [7-58] Holub J. a kol., Ověření plošné a prostorové lokalizace HÚ - Lokalita Březový potok - Pačejov, 2012
- [7-59] Krajíček L., Aktualizace předběžné studie proveditelnosti umístění HÚ RAO ve vybraných lokalitách, T-plan, 2010, (arch. č. SÚRAO 55/10)
- [7-60] Krajíček L., Předběžná studie proveditelnosti HÚ v zájmovém území Boletice, 2012, (arch. č. SÚRAO 13/12)
- [7-61] Doporučení expertního týmu CzTA pro zadání optimalizace, Česká tunelářská asociace ITA-AITES 2012
- [7-62] Pedersen K., Microbial processes in radioactive waste disposal, SKB technical report TR-00-04, April 2004

Kapitola 8: Výzkum a vývoj pro hodnocení dopadu HÚ na životní prostředí


- [8-1] 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, 1999 (arch. č. SÚRAO 30/99,33/99)
- [8-2] Pospíšková I. a kol., Aktualizace referenčního projektu HÚ v hypotetické lokalitě, ÚJV Řež, a.s., 2008-2012, (IV.etapa) (arch. č. SÚRAO 3/09, 22/09, 21/10, 56/10, 9/11, 10/11, 16/11, 29/11, 4/12, 5/12)
- [8-3] Krajíček L. a kol., Předběžná studie proveditelnosti, Terplan, Sdružení Geobariéra, 2004, lokality Blatno, Lodhěřov, Božejovice, Budišov, Pačejov, Rohozná (arch. č. SÚRAO 1 až 8/04)

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [8-4] POSIVA Oy, Expansion of the Repository for Spent Nuclear Fuel. EIA 2008
- [8-5] Sdružení společností Aquatest, a. s., a Stavební Geologie Geotechnika, a.s., (GeoBariéra), Provedení geologických prací pro hodnocení a zúžení lokalit pro umístění hlubinného úložiště, 2003 - 2005, arch. čísla SÚRAO 57/03, 58/03, 1 – 7/04, 49 – 51/05
- [8-6] Ružička M., Krajinnokoekologické plánovanie – LANDEP I Systémový prístup v krajinej ekologii, Nitra, 2000, ISBN 80-968030-2-6

Kapitola 9: Výzkum a vývoj pro potřebu vytvoření monitorovacího programu


- [9-1] EIA Koncepce nakládání s RAO (54/00)
- [9-2] Projekt ověřování stability Českého masívu, 1999, arch. č. SÚRAO 13/99
- [9-3] Sběr dat z podzemních děl v granitoidech, arch. č. SÚRAO 24/99
- [9-4] Procházka a kol, Program prací na testovací lokalitě, ČGS, 1999, arch. č. SÚRAO 22/99
- [9-5] IAEA dokument, Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste, IAEA-TECDOC-1208, IAEA, Vienna, 2001
- [9-6] Vyhodnocení informací ze starých důlních děl ražených v granitoidech (37/01)
- [9-7] Procházka J. kol., Výběr polygonů na testovací lokalitě – 1. etapa, ZZ Vymezení perspektivních ploch pro 2. etapu výběru polygonů. ČGS, arch. č. SÚRAO 3/01 – ověřit obsah
- [9-8] Seismická aktivita v ČR a Evropě, arch. č. SÚRAO 44/02
- [9-9] Dilatance na zlomech v Českém masívu, arch. č. SÚRAO 64/02
- [9-10] IAEA dokument, Scientific and Technical Basis for the Geological Disposal of Radioactive Wastes, TRS - 413, Vienna, 2003
- [9-11] Klomínský J. a kol., Geologická charakteristika granitoidů tunelu Bedřichov, ČGS, 2003, arch. č. SÚRAO 60/03
- [9-12] Kopačková V., dílčí zpráva Databáze, ČGS, 2004 in Procházka a kol, Výběr polygonů na testovací lokalitě melechovský masív – 2. etapa, arch. č. SÚRAO 43/04
- [9-13] Seismotektonický info systém, 2005, arch. č. SÚRAO 1/05
- [9-14] Klomínský J. a kol., Geologická a strukturní charakteristika granitoidů z vodárenských tunelů v Jizerských horách, ČGS, 2005, arch. č. SÚRAO 31, 33,46/05
- [9-15] Procházka F. a kol, Výběr polygonů na testovací lokalitě melechovský masív – 2. etapa, ČGS, 2006, arch. č. SÚRAO 44/06
- [9-16] Sledování dlouhodobého vlivu teploty na stabilitu ostění tunelu, CEG, 2008, arch. č. SÚRAO 35/08
- [9-17] Výzkum dlouhodobého působení teploty a saturačního média na bentonit, CEG, 2008, arch. č. SÚRAO 33/08
- [9-18] Klomínský J. a kol., Tunel Bedřichov - studium dynamiky puklinové sítě, ČGS, 2008, arch. č. SÚRAO 19/08

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

- [9-19] Klomínský J. a kol., Tunel Bedřichov – charakteristika granitoidů in situ, ČGS, 2010, arch. č. SÚRAO 24/10
- [9-20] Procházka F. a kol, Projekt prací na hypotetické lokalitě, ČGS, 2010, arch. č. SÚRAO tech. zpráva (5/10) a projekt (30,31/10)
- [9-21] IAEA dokument, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Vienna, Specific Safety Guide, No-SSG-14, IAEA 2011
- [9-22] IAEA dokument, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, No. SSR-5, IAEA, Vienna, 2011
- [9-23] IAEA dokument, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide, No-SSG-23, IAEA, Vienna, 2012
- [9-24] Stabilita hluboké části horninového masivu, arch. č. SÚRAO 45/11.
- [9-25] Hokr M. a kol, Tunel Bedřichov 2011, TUL. dosud probíhá
- [9-26] Pačes T. a kol., Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů, ČGS, 2010, Arch. č. SÚRAO 32/10
- [9-27] Tlamsa J., Návrh monitorovacích metod a přístrojové techniky pro sledování dynamiky geotechnických vlastností horninového masivu, ARCADIS Geotechnika a.s., 2009 in Pačes T. a kol., Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů, ČGS, 2010, Arch. č. SÚRAO 32/10
- [9-28] Program monitorování ÚRAO Bratrství-040, PHB01Br, Hostím-011, PHB01Ho, Richard-030, PHB01Ri, S17, S29, S30, S31 a S32

Kapitola 10: Výzkum a vývoj potřebný pro přípravu studie vlivu úložiště na socio-ekonomické aspekty

- [10-1] Směrnice Rady 2011/70/EURATOM ze dne 19. července 2011, kterou stanoví rámec Společenství pro odpovědné a bezpečné nakládání s vyhořelým palivem a radioaktivními odpady
- [10-2] Good practices guide on Transparency for Nuclear Projects in the European Union, Brussels, http://ec.europa.eu/energy/nuclear/forum/transparency/doc/guide_on_good_practices.pdf
- [10-3] The Regulator's Evolving role and Image in Radiactive Waste Management (NEA OECD www.oecd-nea.org/rwm/fsc/reports.html)
- [10-4] NEA (2007b), Fostering a Durable Relationship Between a Waste Management Facility and its Host Community, Adding Value through Design and Process, OECD, Paris. www.oecd-nea.org/rwm/fsc/reports.html.
- [10-5] Collective Statement adopted in March 2012 by the NEA Radioactive Waste Management Committee, "Geological Disposal of Radioactive Waste: National Commitment, Local and Regional Involvement"
- [10-6] NEA (2009b), "Towards Transparent, Proportionate and Deliverable Regulation for Geologic Disposal: Main Findings from the RWMC Regulators' Forum

 SÚRAO	Střednědobý plán výzkumu a vývoje pro potřeby umístění hlubinného úložiště v ČR 2015 - 2025	Evidenční označení:
		SÚRAO TZ 1/2015

Workshop.Tokyo, 20-22 January 2009", NEA/RWM/RF(2009)1, OECD, Paris,
[www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/RWM/RF\(2009\)1&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/RWM/RF(2009)1&docLanguage=En).



**Střednědobý plán výzkumu a vývoje
pro potřeby umístění hlubinného úložiště
v ČR 2015 - 2025**

Evidenční označení:

SÚRAO TZ 1/2015

NAŠE BEZPEČNÁ BUDOUCNOST



SÚRAO

Správa úložišť radioaktivních odpadů

Dlážděná 6, 110 00 Praha 1

Tel.: 221 421 511, E-mail: info@surao.cz

www.surao.cz