

# ***REFERENČNÍ PROJEKT HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ***

*Příloha č. 2  
Posouzení vlivu koncepce hlubinného  
ukládání na životní prostředí - EIA*

EGP Invest, spol. s r. o. Uh. Brod  
Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.  
Energoprojekt Praha a. s.

Listopad 1999

*t*

Korektury textů

Správa úložišť radioaktivních odpadů, 2006

# Referenční projekt

povrchových i podzemních systémů HÚ v hostitelském prostředí

granitových hornin v dohodnuté skladbě úvodního projektu

a hloubce projektové studie

## Posouzení vlivu koncepce hlubinného ukládání na životní prostředí - dokumentace EIA

*Objednatel:* SÚRAO Praha

*Zhotovitel:* EGP Invest, spol. s r. o. Uh. Brod

*Řešitelé:* Ústav jaderného výzkumu Řež a.s.  
Energoprojekt Praha a. s.

*Autoři:* RNDr. Peter Lietava, Ing. Antonín Vokál, CSc.,  
RNDr. František Woller, Ing. Josef Klumpar\*  
\* - Energoprojekt Praha a.s.

*Zodpovědný  
pracovník řešitele:* RNDr. Peter Lietava



## Obsah

Seznam použitých zkratk	5
1 Úvod	7
1.1 Vazba dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy	7
1.2 Podklady k dokumentaci EIA	7
1.3 Členění dokumentace EIA	8
1.4 Postulované údaje	10
1.4.1 Stručný popis hypotetické lokality	10
1.4.2 Obecná charakteristika modelové lokality	10
1.4.3 Geologické a hydrogeologické podmínky	11
1.4.4 Klimatické podmínky	11
1.4.5 Modelová charakteristika životního prostředí	11
1.4.6 Demografická situace v lokalitě	12
1.4.7 Ochranná pásma, chráněná území a území dotčená výstavbou	12
1.4.8 Předpokládané požadavky na odstranění staveb, bourací práce nebo odstranění dřevin	13
1.4.9 Předpokládaný dočasný a trvalý zábor zemědělského a lesního půdního fondu	13
1.4.10 Předpokládané požadavky na územně technické podmínky a koordinace	13
1.4.11 Podmíněné nebo vyvolané investice, bilance zemních prací, depónie, zemníky, požadavky na konečné úpravy území, ozelenění a jiné úpravy nezastavěných ploch	14
1.4.12 Předpokládané požadavky na odvedení podzemních a povrchových vod s návrhem systémů	14
1.4.13 Napojení na dopravní síť	14
1.4.14 Nároky na pracovní síly, dopravu osob a veřejné služby	15
1.5 Literatura	15
2 Vlivy HÚ na obyvatelstvo	16
2.1 Zdravotní rizika, sociální a ekonomické důsledky	16
2.1.1 Zdravotní rizika	16
2.1.2 Sociální a ekonomické důsledky	51
2.2 Počet obyvatel ovlivněných výstavbou a provozem HÚ	52
2.3 Narušení faktorů ovlivněných výstavbou a provozem HÚ	54
2.4 Narušení faktorů pohody	54
2.5 Literatura	55
3 Vlivy HÚ na ekosystémy, jejich složky a funkce	56
3.1 Vlivy na ovzduší a klima	56
3.2 Vlivy na vodu	57
3.3 Vlivy na půdu, území a geologické podmínky	58

3.4	Vlivy na flóru a faunu .....	63
3.5	Vliv na ekosystémy .....	63
4	Vlivy HÚ na antropogenní systémy, jejich složky a funkce .....	64
4.1	Vliv na budovy, architektonické a archeologické památky a jiné lidské výtvořy .....	64
4.2	Vliv na kulturní hodnoty nehmotné povahy .....	64
4.3	Poškození a ztráty geologických a paleontologických památek .....	64
5	Vlivy HÚ na strukturu a funkční využití území .....	64
5.1	Vliv na dopravu .....	64
5.2	Vliv navazujících souvisejících staveb, činností a infrastruktury .....	65
5.3	Vliv na estetické kvality a rekreační využití území .....	65
6	Ostatní vlivy .....	65
6.1	Biologické vlivy .....	65
6.2	Vliv hluku a záření .....	65
6.3	Jiné ekologické vlivy .....	66
7	Velkoplošné vlivy v krajině .....	67
7.1	Vhodnost lokalizace variant HÚ z hlediska ekologické únosnosti území .....	67
7.2	Současný a potenciální výsledný stav ekologické zátěže území .....	67
8	Popis opatření navržených k eliminaci, minimalizaci případně kompenzaci účinků na prostředí .....	67
8.1	Územně plánovací opatření .....	67
8.2	Technická a kompenzační opatření .....	68
8.2.1	Návrh opatření k odstranění nebo minimalizaci negativních účinků ve smyslu zákona 244/1992 .....	68
8.3	Jiná opatření .....	69
8.4	Literatura .....	69

## Seznam použitých zkratk

ALARA	princip rozumného omezování dávek (As Low As Reasonably Achievable)
DOD	Ministerstvo obrany USA (Department of Defence)
DOE	Ministerstvo energetiky USA (Department of Energy)
DP	dobývací prostory
EDZ	porušená zóna vzniklá ražbou (Excavated Disturbed Zone)
EIA	posuzování vlivu na životní prostředí (Environmental Impact Assessment)
EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí USA (Environmental Protection Agency)
FEP	vlastnosti, události a procesy (Features, Events and Processes)
HI	index nebezpečnosti (Hazard Index)
HÚ	hlubinné úložiště
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency)
ICRP	Mezinárodní komise pro radiační ochranu (International Commission on Radiation Protection)
IUR	riziko pro jednotkový inhalační příjem (Inhalation Unit Risk)
JEDU	jaderná elektrárna Dukovany
JETE	jaderná elektrárna Temelín
OSF	faktor sklonu pro orální (ingesční) cesty příjmu (Oral Slope Factor)
PDF	hustota pravděpodobnosti (Probability Density Function)
PK	palivová kazeta
RAO	radioaktivní odpad
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivního odpadu
TK	těžký kov

ÚOS	úložný obalový soubor
VAO	vysokoaktivní odpad
VJP	vyhořelé jaderné palivo
VVER	typové označení tlakovodných reaktorů (Vodovodjanoj Energetičeskij Reaktor)
ZBZ	zadávací bezpečnostní zpráva
ŽP	životní prostředí

# 1 Úvod

Součástí Referenčního projektu je podle požadavků zadavatele projektu taky posouzení vlivu na ŽP podle § 14 a přílohy části C bodu III. a IV. zákona č. 244/1992 Sb. (dokumentace EIA). Vzhledem k současnému stupni rozpracovanosti Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR nelze pracovat s konkrétní lokalitou pro budoucí hlubinné úložiště (HÚ). Z tohoto důvodu bude dokumentace EIA vypracována pouze pro hypotetickou lokalitu HÚ. Současně nejsou k dispozici ani další údaje týkající se jak např. inženýrských bariér, tak i celkové koncepce nakládání s radioaktivními odpady (RAO) a s vyhořelým palivem (VP) v ČR. Tyto skutečnosti výrazným způsobem ovlivňují rozsah a úroveň detailního zpracování jednotlivých částí předkládané dokumentace EIA. Smyslem této modelové dokumentace není hodnotit vlivy neexistující činnosti, ale přiblížit se problematice, která nastane po výběru skutečné lokality a vytvořit předběžný obraz toho, jaké vlivy lze očekávat a jaký soubor informací bude potřebný pro odpovědné posouzení.

## 1.1 Vazba dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy

V rámci Referenčního projektu je současně vypracována i zadávací bezpečnostní zpráva podle zákona č. 18/1997 Sb. (atomový zákon). Ze struktury dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy je patrné (viz obr. 1.1), že se oba dokumenty v některých bodech překrývají. Jedná se zejména o části týkající se vyhodnocení vlivu hlubinného úložného díla na obyvatelstvo, pracovníky a životní prostředí (bod III, položka 1 a 2 Zákona č. 244/1992 a položky 2 a 3 obsahu zadávací bezpečnostní zprávy), dále o části zabývající se ukončením provozu hlubinného úložiště (bod IV, Zákona č. 244/1992 a položka 4 obsahu zadávací bezpečnostní zprávy). Těmto částem je při vypracování dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy věnována zvýšená pozornost i z důvodu demonstrace možností řešitele projektu realizovat bezpečnostní analýzu HÚ. Rozdílnost dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy z hlediska vyhodnocení vlivu HÚ na obyvatelstvo a ŽP spočívá zejména v tom, že pro dokumentaci EIA se vyžaduje dokladovat jak radiační, tak neradiační vlivy HÚ, zatímco zadávací bezpečnostní zpráva klade důraz na detailní vyhodnocení radiačních bezpečnosti úložného díla.

## 1.2 Podklady k dokumentaci EIA

Od počátku řešení Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR bylo vypracováno několik zpráv, které se obecně zabývaly problematikou struktury a věcné náplně dokumentace EIA [1], [2]. Paralelně byla vypracována i řada prací, které se zabývaly zejména výběrem variant pro referenční HÚ [7], scénáři chování referenčního HÚ [8] a modelovým popisem referenčního HÚ [9]. Vzhledem k částečnému překrývání obsahu dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy jsou v předkládané zprávě využity i podklady pro dokumentaci EIA publikované v [3], [4], [5] a [6].

### 1.3 Členění dokumentace EIA

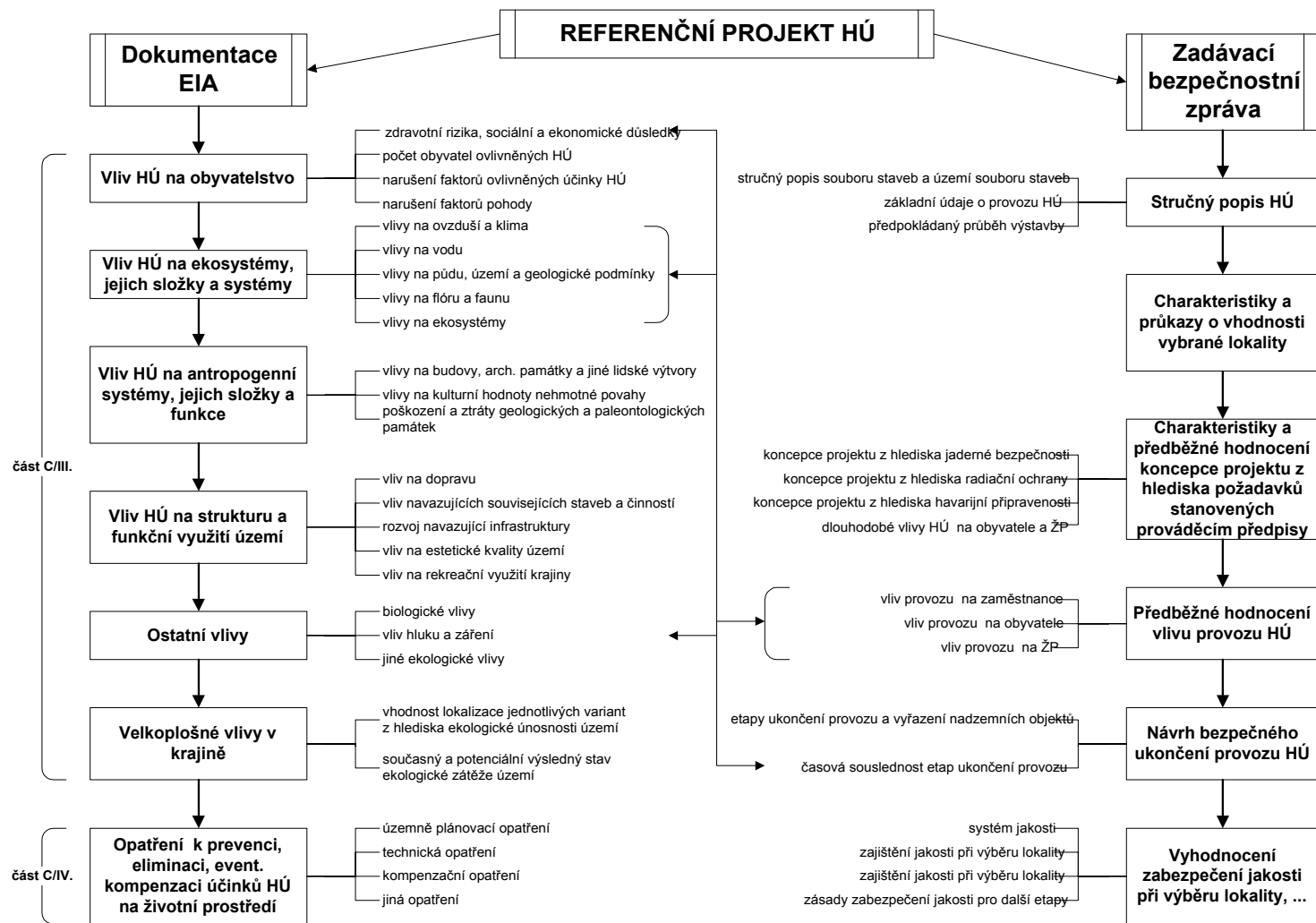
Členění dokumentace EIA vychází ze Zákona č. 244/1992 Sb. o posuzování vlivu na ŽP podle § 14 a přílohy části C bodu III. a IV. a současně zohledňuje i současnou úroveň znalostí a informací získaných v průběhu Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR. Detailnější členění dokumentace EIA odpovídá nabídce projektu [10]. Dokumentace EIA spolu se zadávací bezpečnostní zprávou inventarizuje podklady, jejichž vypracování bude nutné pro zahájení územního řízení v přípravné fázi výstavby HÚ. Toto řízení bude probíhat pravděpodobně v letech 2010 - 2020.

Předkládaná dokumentace EIA dodržuje předepsanou strukturu podle Zákona č. 244/1992 Sb. Současný stav řešení Program vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR neumožňuje pokrýt celý rozsah posuzování vlivů HÚ na ŽP tak, jak to vyžaduje zákon č. 244/1992 Sb. Zejména jsou ovlivněny ty části dokumentace EIA, které se týkají konkrétní lokality budoucího HÚ. Vzhledem k tomuto omezení se autoři této práce soustředili zejména na :

- strukturu bezpečnostních rozborů včetně hodnocení radiačních a neradiačních vlivů HÚ na obyvatelstvo a ŽP,
- přehled právních předpisů majících vazbu na zákon č. 244/1992 Sb.

Jednotlivé kapitoly dokumentace EIA jsou členěny v souladu se Zákonem č.244/1992 Sb. na následující kapitoly :

- vlivy HÚ na obyvatelstvo; kapitola 2 dokumentace EIA obsahuje přehled krátkodobých a dlouhodobých radiačních vlivů HÚ na obyvatelstvo v návaznosti na výsledky zadávací bezpečnostní zprávy. Současně obsahuje i přehled možných radiačních a neradiačních vlivů výstavby a provozu HÚ a ukončení provozu HÚ na obyvatelstvo,
- vlivy HÚ na ekosystémy, jejich složky a systémy; kapitola 3 vychází z ohodnocení vlivu referenčního HÚ na jednotlivé složky ŽP zejména v období výstavby a provozu HÚ,
- vlivy HÚ na antropogenní systémy, jejich složky a funkce; kapitola 4 sumarizuje kritéria, kterých splnění zaručí minimalizaci vlivu HÚ na jednotlivé složky antropogenních systémů,



Obr. 1.1 Srovnání struktury dokumentace EIA a zadávací bezpečnostní zprávy

- vlivy HÚ na strukturu a funkční využití území; v období výstavby a částečně i provozu HÚ dojde ke značnému ovlivnění lokality HÚ. Kapitola 5 se proto soustřeďuje na inventarizaci těchto vlivů na základě plánovaných prací podle referenčního projektu,
- ostatní vlivy; v rámci kapitoly 6 je největší pozornost věnována radiačním vlivům HÚ v návaznosti na kapitolu 2 a zadávací bezpečnostní zprávu,
- velkoplošné vlivy v krajině,
- opatření k prevenci, eliminaci event. kompenzaci účinků HÚ na ŽP; poslední kapitola 8 upřesňuje možná opatření vedoucí k minimalizaci vlivu HÚ na ŽP v souladu s Referenčním projektem HÚ.

## **1.4 Postulované údaje**

### **1.4.1 Stručný popis hypotetické lokality**

Hypotetická lokalita se nachází v území, které bylo zvoleno na základě výběru dle vylučujících a podmiňujících kritérií v souladu s podmínkami definovanými vyhláškou č. 215/1997 Sb. V rámci Referenčního projektu se předpokládá, že porovnáním v úvahu připadajících lokalit multikriteriální analýzou bylo prokázáno, že tato lokalita je pro plánované využití vhodná. Geologické a hydrogeologické podmínky zaručují dlouhodobou stabilitu díla a zachování potřebných bariér bránících únikům radionuklidů z uložených radioaktivních materiálů do životního prostředí. Zásah do krajiny způsobený výstavbou a následným provozem zařízení nenarušuje zásadním způsobem ostatní požadavky na funkční využití území a v souladu se schváleným územním plánem je výstavba věcně i časově koordinována s ostatními činnostmi ovlivňujícími rozvoj území. Soubor staveb plní předpoklady dané územním plánem velkého územního celku pro zabezpečování trvalého souladu všech přírodních, civilizačních a kulturních hodnot v území, zejména se zřetelem na péči o životní prostředí a ochranu jeho hlavních složek - půdy, vody a ovzduší.

### **1.4.2 Obecná charakteristika modelové lokality**

Modelová lokalita se nachází v relativně řídké osídleném území republiky, v nejbližším okolí v okruhu cca 3 km se nenacházejí větší obce a průmyslové aglomerace. V nejbližším okolí se netěží žádné nerostné suroviny a ani se zde nevyskytují dosud nevyužívaná naleziště. Pozemky jsou využívány částečně pro zemědělské účely a částečně jsou zalesněny. Zájmové území není chráněnou přírodní ani kulturní rezervací. Nevyskytují se zde ohrožené druhy flóry a fauny. Terén je mírně zvlhčený a nemá návaznost na chráněné vodní zdroje.

### 1.4.3 Geologické a hydrogeologické podmínky

V souvislosti s výběrem lokality a s jejím vyhodnocením dle požadavků daných vyhláškou č.215/1997 Sb. o kritériích na umístování jaderných zařízení byly provedeny další průzkumy, které potvrdily vhodnost předběžného výběru a doplnily data potřebná pro provedení potřebných důkazů souladu lokality s podmínkami vylučujícími i podmiňujícími kritérii.

Souhrnně lze konstatovat, že závěry všech výše uvedených prací potvrzují vhodnost lokality a opravňují k vydání územního rozhodnutí.

### 1.4.4 Klimatické podmínky

Vybraná lokalita se nachází v klimatických podmínkách, které lze charakterizovat jako typické kontinentální, odpovídající průměrným klimatickým podmínkám ČR, bez významných statistických extrémů teplot, srážek a rychlostí větru.

Z hydrometeorologických údajů získaných z nejbližších stanic ČHMÚ lze pro lokalitu odvodit následující klimatické podmínky:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
Lokalita HÚ	-2,0	-0,2	3,7	8,5	13,4	16,8	18,1	17,4	13,5	8,5	3,7	0,0	8,5

Tab. 1.1 Průměrná teplota vzduchu [°C]

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
Lokalita HÚ	20,4	19,2	22,7	32,8	55,2	56,5	59,8	63,0	41,0	29,9	31,3	24,0	455,9

Tab. 1.2 Úhrn srážek [mm]

Převládající směr větru -	SSV
Průměrná rychlost větru	1,8 m/s
Zaznamenané extrémy za posledních 50 let:	
Denní úhrn srážek	70 mm
Měsíční úhrn srážek	400 mm
Nárazový vítr	110 km/h
Max. teplota	+ 45°C
Minimální teplota	- 39 °C

### 1.4.5 Modelová charakteristika životního prostředí

Životní prostředí v zájmovém prostoru není silně zasaženo negativními vlivy průmyslové a zemědělské činnosti. Poškození půdního fondu a lesních porostů je

vyvoláno zejména emisemi ze vzdálenějších zdrojů. Lokalita je charakteristická kulturní krajina ovlivněná intenzivním zemědělstvím s přidruženou průmyslovou malovýrobou.

V nejbližším okolí staveniště se nenacházejí kulturně historické památky ani známé lokality archeologických nálezů.

Dopravní struktura odpovídá průměrné hustotě silniční a železniční sítě ČR, bez hlavních silničních a železničních tahů.

#### **1.4.6 Demografická situace v lokalitě**

Hypotetická lokalita staveniště byla zvolena i s uvážením požadavků na co nejmenší dopady na okolní obyvatelstvo. V důsledku hlubinného ukládání spočívají nepříznivé vlivy především ve stavebním ruchu v průběhu výstavby nadzemních objektů a v dopravní zátěži komunikací při etapovitém budování podzemních úložných prostor. Nejbližší sídla jsou v dostatečné vzdálenosti, takže obyvatelé nebudou zatíženi hlukem a prachem ze staveniště. Doprava materiálů na staveniště a odvoz rubaniny, respektive kameniva k odběratelům budou řešeny s co nejmenšími dosažitelnými doprovodnými negativními účinky. Zvláštní pozornost bude nutno věnovat psychologickým aspektům, protože vědomí přítomnosti jaderného zařízení může mít v závislosti na způsobu a úrovni informování větší negativní účinky než jiné reálné vlivy. Výsledky posledního sčítání obyvatelstva jsou uvedeny v následujícím přehledu.

Počet obyvatel v nejbližších obcích dle výsledků sčítání z roku 2000:

Nejbližší obec	500 obyvatel	4 km SSV
Nejbližší město	5000 obyvatel	10 km JZ
Okruh 3 km	50 obyvatel	
Okruh 5 km	1000 obyvatel	
Okruh 10 km	8 000 obyvatel	
Okruh 30 km	30 000 obyvatel	

Protože územní plán velkého územního celku ani územní plány obcí a regulační plány nezahrnují další průmyslové aktivity představující významné zvýšení pracovních příležitostí, nelze očekávat přesídlování obyvatelstva z jiných obcí do zájmové lokality. Dle provedených demografických prognostických studií není předpoklad významných změn v počtu obyvatelstva. Očekává se stagnace nebo mírný pokles počtu obyvatel doprovázený statistickým posunem obyvatelstva do vyšších věkových kategorií.

#### **1.4.7 Ochranná pásma, chráněná území a území dotčená výstavbou**

Hypotetická lokalita je v souladu se stanovenými kritérii pro výběr situována v území tak, aby nezasahovala do ochranných pásem, chráněných území a nenarušovala objekty kulturních památek. Z tohoto důvodu nejsou nutná žádná specifická opatření chránící

tyto zájmy nebo kompenzující způsobené škody. Nejbližší lokality a objekty na které se vztahují příslušné předpisy chránící zvláštní zájmy jsou ve vzdálenosti více než 50 km od vybrané lokality.

#### **1.4.8 Předpokládané požadavky na odstranění staveb, bourací práce nebo odstranění dřevin**

Vzhledem k výběru staveniště se nepředpokládá odstraňování stávajících staveb. Nelze vyloučit potřebu bouracích prací k odstranění ojedinělých nevyužívaných opuštěných objektů určených k demolicí, nebo odstranění základů již demolovaných staveb.

Předpokládá se možný částečný zásah do lesních porostů, takže kromě kácení náletových dřevin bude nutné vyjmutí odpovídající plochy staveniště z lesního půdního fondu. Rozsah nutného kácení porostů bude záviset i na možnostech napojení komunikací na silniční a železniční síť.

#### **1.4.9 Předpokládaný dočasný a trvalý zábor zemědělského a lesního půdního fondu**

Celkově lze předpokládat pro výstavbu vlastního úložiště trvalý zábor půdy 29,5 ha., přičemž bude pravděpodobně převažovat zemědělská půda nižší bonity.

Rozsah trvalého záboru převážně zemědělské půdy bude záviset na délce komunikací potřebných pro napojení staveniště na silniční a železniční síť. Očekává se vybudování cca 3 km silnic a cca 5 - 10 km železniční vlečky.

Rozsah dočasného záboru převážně zemědělské půdy bude úměrný délce nově budovaných komunikací, délce výkopů pro pokládku kabelů k telekomunikačnímu spojení a výstavbě stožárů elektrického vedení pro dodávku energie.

#### **1.4.10 Předpokládané požadavky na územně technické podmínky a koordinace**

- Silniční příjezd na staveniště (komunikace v kvalitě silnice II. třídy ze dvou protilehlých stran areálu).
- Železniční příjezd na staveniště (vlečka s únosností trati odpovídající zátěži těžké nákladní přepravy).
- Elektrické vedení VN.
- Napojení na celostátní telefonní síť.
- Odvodnění srážkových vod ze zpevněných ploch areálu, čerpaných důlních vod a přečištěných odpadních vod.

#### **1.4.11 Podmíněné nebo vyvolané investice, bilance zemních prací, depónie, zemníky, požadavky na konečné úpravy území, ozelenění a jiné úpravy nezastavěných ploch**

- Bilance zemních prací - očekává se skrývka cca 170 tis. m<sup>3</sup> zeminy. Část tohoto objemu bude deponována na místě k ozelenění ploch po ukončení výstavby a pro rekultivaci pozemků po ukončení provozu a vyřazení stavby. Zbývající zemina bude poskytnuta na vhodné rekultivace jiných, méně kvalitních pozemků v blízkém okolí stavby.
- Nakládání s rubaninou - vzhledem k vysoké kvalitě těžené horniny je možné zavést přidruženou výrobu kameniva vhodného pro stavebnictví. Tímto způsobem bude zhodnocena významná část produkce a průběžný odvoz sníží nároky na skládkové prostory. Štěrka potřebný pro konečné uzavření úložiště po ukončení provozu bude ukládán na přilehlém depóniu a zahrnován zeminou tak, aby byly vytvářeny zatravněné terénní vlny částečně kompenzující zásahy do krajiny.
- Po ukončení výstavby budou rezervní a manipulační plochy upraveny sadbovou výsadbou a upraveny tak, aby zmírnily provedený zásah do krajiny a zlepšily estetický vzhled areálu.

Po ukončení provozu úložiště bude projektem vyřazování řešeno i opětovné uvolnění pozemků pro jiné účely.

#### **1.4.12 Předpokládané požadavky na odvedení podzemních a povrchových vod s návrhem systémů**

Podzemní vody budou odkalovány a zavedeny do výpustního kanálu z areálu. Vody pocházející z prostor, kde je potenciální možnost kontaminace radioaktivními látkami, budou monitorovány a v případě překročení legislativních limitních hodnot pro uvolnění do životního prostředí budou zavedeny na čisticí stanici aktivních vod.

Odvodnění zpevněných ploch a svody ze střech jednotlivých objektů budou dešťovou kanalizací zavedeny do výpustního kanálu areálu úložiště

#### **1.4.13 Napojení na dopravní síť**

Napojení na železniční síť je provedeno železniční vlečkou, která je součástí investiční akce výstavby úložiště. Vlečka prochází železniční vrátnicí a uvnitř areálu je rozdělena na kolejiště do průmyslové a do aktivní zóny.

Napojení na silniční síť je rovněž provedeno v rámci přípravy k výstavbě úložiště. Přípojka na nejbližší státní silnici je rozbočena a vedena ke dvěma protilehlým vrátnicím průmyslové zóny areálu

#### **1.4.14 Nároky na pracovní síly, dopravu osob a veřejné služby**

Nároky na pracovní síly budou po dobu provozu úložiště proměnlivé dle probíhající fáze. Předběžně je uvažováno s počtem 303 - 363 pracovníků.

Doprava pracovníků bude zajištěna autobusovými spoji z nejbližších obcí. Pro individuální dopravu se počítá s dostatečnou parkovací plochou před areálem úložiště.

V souvislosti s přílivem zejména výstavbových pracovníků vzrostou nároky na ubytovací kapacity v okolí výstavby a související občanskou vybavenost - služby, obchodní síť, sportovní a kulturní potřeby, zdravotnické zařízení. Tato problematika je řešena investorem akce a orgány místní správy v souladu se schválenými územními a regulačními plány.

### **1.5 Literatura**

1. Konopásková S., Jedináková V., Blažek J.: Posouzení vlivu HÚ na životní prostředí (EIA), inventarizace podkladů, BAZ 95-02, ÚJV Řež, 1996
2. Konopásková S., Lietava P., Nachmilner L.: Revize podkladů pro modelovou dokumentaci EIA, BAZ 96-01, květen 1997
3. Konopásková S.: Osnova a náplň bezpečnostní zprávy pro územní řízení, BAZ 94-03, ÚJV Řež, květen 1995
4. Konopásková S.: Osnova a náplň bezpečnostní zprávy pro stavební řízení, BAZ 94-04, ÚJV Řež, květen 1995
5. Konopásková S.: Osnova a náplň bezpečnostní zprávy pro kolaudační řízení, BAZ 94-05, ÚJV Řež, květen 1995
6. Konopásková S.: Osnova a náplň provozní bezpečnostní zprávy, BAZ 94-06, ÚJV Řež, květen 1995
7. Mandík F., Čihák F., Vavřina V., Blažek J.: Výběr varianty pro návrh koncepčního řešení hlubinného úložiště, PAE 97-03, ÚJV Řež, červenec 1998
8. Konopásková S.: Scénáře chování referenčního úložného systému na základě FEPs, BAZ 97-01, ÚJV Řež, březen 1998
9. Konopásková S.: Modelový popis referenčního úložného systému, BAZ 97-02, ÚJV Řež, březen 1998
10. Nabídka projektu „Referenční projekt HÚ RAO v hypotetické lokalitě“, EGP Invest s.r.o., srpen 1998

## 2 Vlivy HÚ na obyvatelstvo

Cílem této kapitoly je vyhodnotit vliv HÚ v hypotetické lokalitě z pohledu zdravotních vlivů a rizik, sociálních důsledků, ekonomických důsledků, počtu ovlivněných obyvatel, narušení faktorů ovlivněných účinky výstavby, provozu a období po ukončení provozu úložného systému a narušení faktorů pohody. Vlivy úložného systému na obyvatelstvo patří mezi nejvýznamnější a nejsledovanější oblasti a proto je této problematice věnována v rámci dokumentace EIA zvýšená pozornost.

### 2.1 Zdravotní rizika, sociální a ekonomické důsledky

#### 2.1.1 Zdravotní rizika

Z potenciálních zdravotních vlivů na obyvatelstvo připadají v souvislosti s výstavbou, provozem a období po ukončení provozu HÚ do úvahy :

- radiační vlivy,
- neradiační vlivy,
- psychogenní vlivy (faktory narušení pohody) - viz. kap. 2.4.

#### 2.1.1.2 Radiační vlivy provozu HÚ a poprovozního období na obyvatele

Upřesněné zadání Referenčního projektu klade důraz zejména na návrh struktury bezpečnostních analýz HÚ s důrazem na demonstraci postupů při jejich vypracování a identifikaci kritických míst z hlediska prokázání dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložného díla v období po uzavření HÚ. Z tohoto důvodu jsou legislativou požadovaný rozsah a struktura vyhodnocení Referenčního projektu upraveny tak, aby odpovídaly požadavkům zadavatele projektu a aby byly v souladu s nabídkou projektu [1]. Výsledky bezpečnostní analýzy referenčního HÚ v hypotetické lokalitě budou současně podkladem pro vypracování dokumentace EIA a pro formulaci požadavků na související části celkového Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR :

- předprovozní období; v předprovozním období; tj. v období realizace průzkumných prací a výstavby HÚ, se vzhledem k nepřítomnosti radioaktivních materiálů v lokalitě HÚ nepředpokládají žádné radiační vlivy na obyvatelstvo způsobené jinými, než přirozenými zdroji ionizujícího záření. Lze očekávat výskyt přirozených radionuklidů v čerpaných důlních vodách. Vzhledem k tomu, že lokalita se nenachází v místě ložiska uranových rud, nepředpokládají se ani významné radiační vlivy těchto vod na okolí,
- provozní období; zvláštností hlubinného úložného systému je prolínání předprovozního a provozního období v důsledku souběhu výstavby HÚ a ukládání VJP a RAO do již vybudovaných prostor. Tato skutečnost se ale prakticky projeví pouze při ocenění vlivu provozu HÚ na zaměstnance. Jediným působením provozu HÚ na obyvatelstvo se v současnosti jeví expozice v důsledku havárie při

transportu VJP a RAO do úložných prostor. Kvantitativní ocenění následků této havárie bude možné až po vyhodnocení transportních cest v konkrétní lokalitě. Příslušné analýzy budou doloženy v „Dokumentaci pro povolení přepravy jaderných materiálů a radionuklidových zářičů“ zpracované v souladu s písmenem M přílohy zákona č.18/1997 Sb a předkládané SÚJB s žádostí o vydání povolení. Výsledky analýz musí potvrdit soulad s požadavky na zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany. Protože rozhodnými okolnostmi pro splnění těchto požadavků jsou použité obalové a transportní prostředky, může proces schvalování probíhat nezávisle na výběru lokality.

Detailní vyhodnocení předprovozního období a vlivu vlastního provozu HÚ na obyvatele a ŽP bude vypracováno až po výběru lokality HÚ.

- poprovozní období; tato část je těžištěm předkládané zprávy. Členění jednotlivých podkapitol hodnocení referenčního projektu je rozděleno do dvou hlavních částí:
  - přehled aktuálních legislativních limitů pro ozáření pracovníků a obyvatelstva; první podkapitola stručně sumarizuje platné závazné legislativní limity ozáření, které jsou relevantní pro bezpečnostní analýzy HÚ.
  - obecná struktura bezpečnostní analýzy HÚ; v druhé podkapitole je navržena struktura bezpečnostní analýzy a její místo v celkové struktuře vývoje HÚ. Následující části druhé podkapitoly popisují jednotlivé základní prvky bezpečnostní analýzy:
    - definice a screening FEP; způsob definice a výběru vlastností, událostí a procesů charakteristických pro referenční HÚ
    - vývoj a screening scénářů; konstrukce scénářů na základě vybrané skupiny FEP a jejich screening pomocí vhodných metod (matematické nástroje, expertní odhady). Tato část se současně i zabývá výběrem, případně vývojem matematických nástrojů pro účely screeningu scénářů
    - pole blízkých interakcí; návrh vývoje koncepčního modelu pole blízkých interakcí, vyhodnocení, případně vývoj matematického nástroje pro kvantifikaci zdrojového členu včetně jeho validace a verifikace, vzorový výpočet zdrojového členu a základní citlivostní analýza a analýza neurčitostí
    - pole vzdálených interakcí; návrh vývoje koncepčního modelu pole vzdálených interakcí, vyhodnocení, případně vývoj matematického nástroje pro simulaci hydrogeologické situace a transportu kontaminantu včetně jeho validace a verifikace výpočetního nástroje, vzorový výpočet proudění podzemní vody v hypotetické lokalitě HÚ a transportu kontaminantu a základní citlivostní analýza a analýza neurčitostí
    - biosféra; definice referenční biosféry v podmínkách ČR, výběr, případně vývoj biosférického modelu včetně jeho validace a verifikace a vzorový výpočet kontaminace složek ŽP pro referenční HÚ

- provedení bezpečnostní analýzy; porovnání a interpretace výsledků referenčního výpočtu s platnými legislativními limity a směrnými hodnotami a identifikace kritických částí úložného systému z hlediska zabezpečení dlouhodobé radiační ochrany obyvatelstva a ŽP.

### **Přehled aktuálních legislativních limitů a směrných hodnot**

Dlouhodobá bezpečnost úložiště je založena na požadavku, aby riziko expozice v různých časových obdobích jeho existence bylo udržováno na přijatelně nízké úrovni. Základem omezení rizika jsou :

- princip stejné bezpečnosti současné generace a generací budoucích,
- respektování limitu ročního efektivního dávkového ekvivalentu osob z kritické skupiny obyvatelstva.

Tato dvě základní omezení požadují omezení kontaminace složek životního prostředí pod přípustnou míru, jejíž překročení by mělo za následek zvýšení rizika obdržení dávkového ekvivalentu nad stanovený limit. Jejich součástí je zároveň udržení vlastností prostředí na úrovni, odpovídající stavu před zahájením výstavby úložiště. Případné změny vlastností životního prostředí se musí pohybovat v rozmezí zlomků obvyklých fluktuací, typických pro sledovanou veličinu v období před zahájením provozu úložiště (teplota, obsah jednotlivých kontaminantů, pH podzemních vod apod.).

Základním legislativním podkladem pro vypracování bezpečnostní analýzy referenčního HÚ v hypotetické lokalitě je atomový zákon a jeho prováděcí předpisy, zejména vyhláška č.184/97 o požadavcích na zajištění radiační ochrany. Tato vyhláška definuje několik typů limitů podle toho, jaké skupiny populace jsou vystaveny účinkům ozáření, jaký je důvod ozáření a v jakých veličinách je ozáření vyjádřeno :

- základní limity obecné se vztahují na ozáření obyvatel v okolí zdroje ionizujícího záření ( tj. i HÚ). Tyto limity se nevztahují na pracovníky kategorie A (poučená osoba starší 18 let jejíž dávky jsou systematicky měřeny, vyhodnocovány a evidovány a která se v průběhu 24 měsíců podrobila preventivní lékařské prohlídce) a B (poučená osoba starší 18 let, která při své práci přichází vědomě a dobrovolně do styku se zdroji ionizujícího záření), na osoby podílející se na likvidaci radiační havárie, na lékařské ozáření, na zvláštní ozáření podle §12 a na ozáření související s přípravou na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření,
- základní limity pro pracovníky kategorie A a B,
- základní limity pro učně a studenty,
- zvláštní limity,
- odvozené limity vztahující se na pracovníky, ale vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách než základní limity.

Kvantitativní hodnoty limitů jsou uvedeny na obr. 2.1. Pro účely bezpečnostní analýzy je směrodatnou hodnota efektivní dávky pro obyvatelstvo z vnitřního ozáření 1 mSv/rok a zejména směrná hodnota ozáření považovaná za dostačující k prokázání rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany 50  $\mu$ Sv/rok efektivní dávky pro obyvatele. Základními požadavky pro aplikaci tohoto limitu jsou :

- limit musí být splněn po celé sledované období nezávisle na výsledcích monitorování a na funkčnosti monitorovacího systému,
- období, po které je limit uplatňován, musí být v časovém intervalu, během kterého lze reálně vyhodnotit chování systému. Toto období se pohybuje v rozmezí 0 -  $10^4$  ( $10^5$ ) let,
- úložiště musí být provozováno tak, aby byl limit dodržen pro :
  - normální provoz,
  - nestandardní situace a havárie.

Současně obsahuje vyhláška č 184/97 Sb. i způsob finančního ocenění opatření vedoucích ke zvýšení radiační ochrany pracovníků a obyvatelstva. Toto ocenění vychází ze směrné hodnoty ozáření, která se považuje za dostatečnou k prokázání rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany při nakládání se zdroji ionizujícího záření. Tato hodnota je :

- 1 Sv pro roční kolektivní efektivní dávku,
- 1 mSv pro roční efektivní dávku u pracovníků kategorie A nebo B a
- 50 mSv pro roční efektivní dávku u ostatních osob.

Přínos ochranných opatření se při tomto postupu stanovuje tak, že snížení kolektivní efektivní dávky u ozáření kolektivu pracovníků nebo u osob se násobí :

- 0,5 mil. Kč/Sv pro případ, kdy efektivní dávka v průměru u jednotlivce nepřesáhne 10% příslušných základních limitů,
- 1,0 mil. Kč/Sv pro případ, kdy efektivní dávka v průměru u jednotlivce přesáhne 10% a nepřesáhne 30% příslušných základních limitů,
- 2,5 mil. Kč/Sv pro případ, kdy efektivní dávka v průměru u jednotlivce přesáhne 30% příslušných základních limitů,
- 1 mil. Kč/Sv pro lékařské ozáření,
- 1 mil. Kč/Sv pro přírodní ozáření a
- 5 mil. Kč/Sv pro radiační nehody.

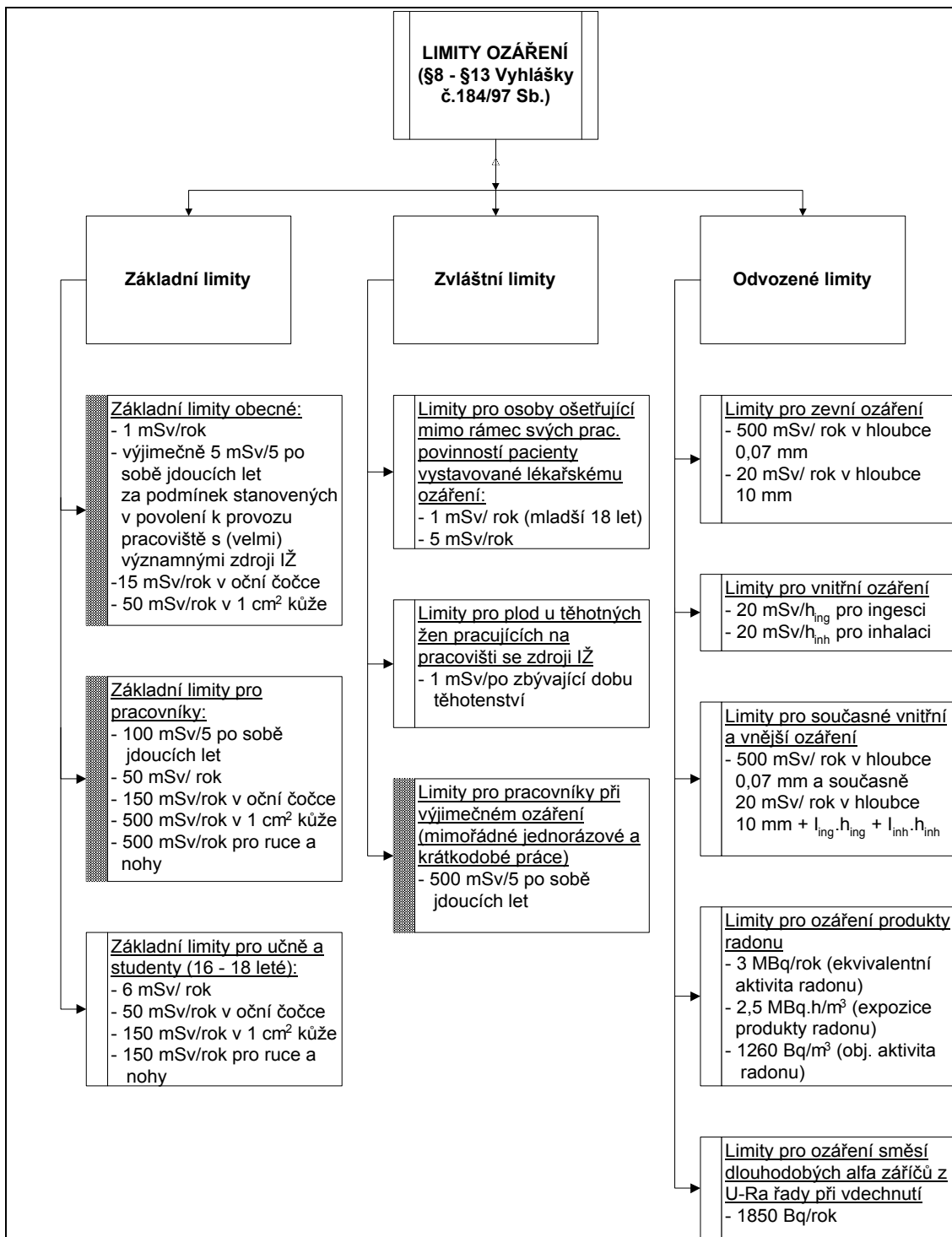
Výše uvedené součinitele platné pro rok 1997 vydání vyhlášky se násobí koeficientem míry inflace tak, aby byly přínosy a náklady hodnotitelné vzhledem k období vynaložení nákladů a získání přínosů.

I když podle vyhlášky č. 184/97 Sb. je rozhodujícím bezpečnostním kritériem velikost efektivní dávky pro osobu z kritické skupiny obyvatel, lze vzhledem k současnému stavu rozpracovanosti Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR definovat pouze referenční kritickou skupinu a následně kvantifikovat efektivní dávky. Při uvážení teoreticky možných ozáření jednotlivce z obyvatelstva a průměrné hustoty osídlení v ČR je však při přijatých konzervativních modelech možno výsledky analýz v hypotetické lokalitě považovat za ilustrativní i pro reálné v úvahu připadající lokality.

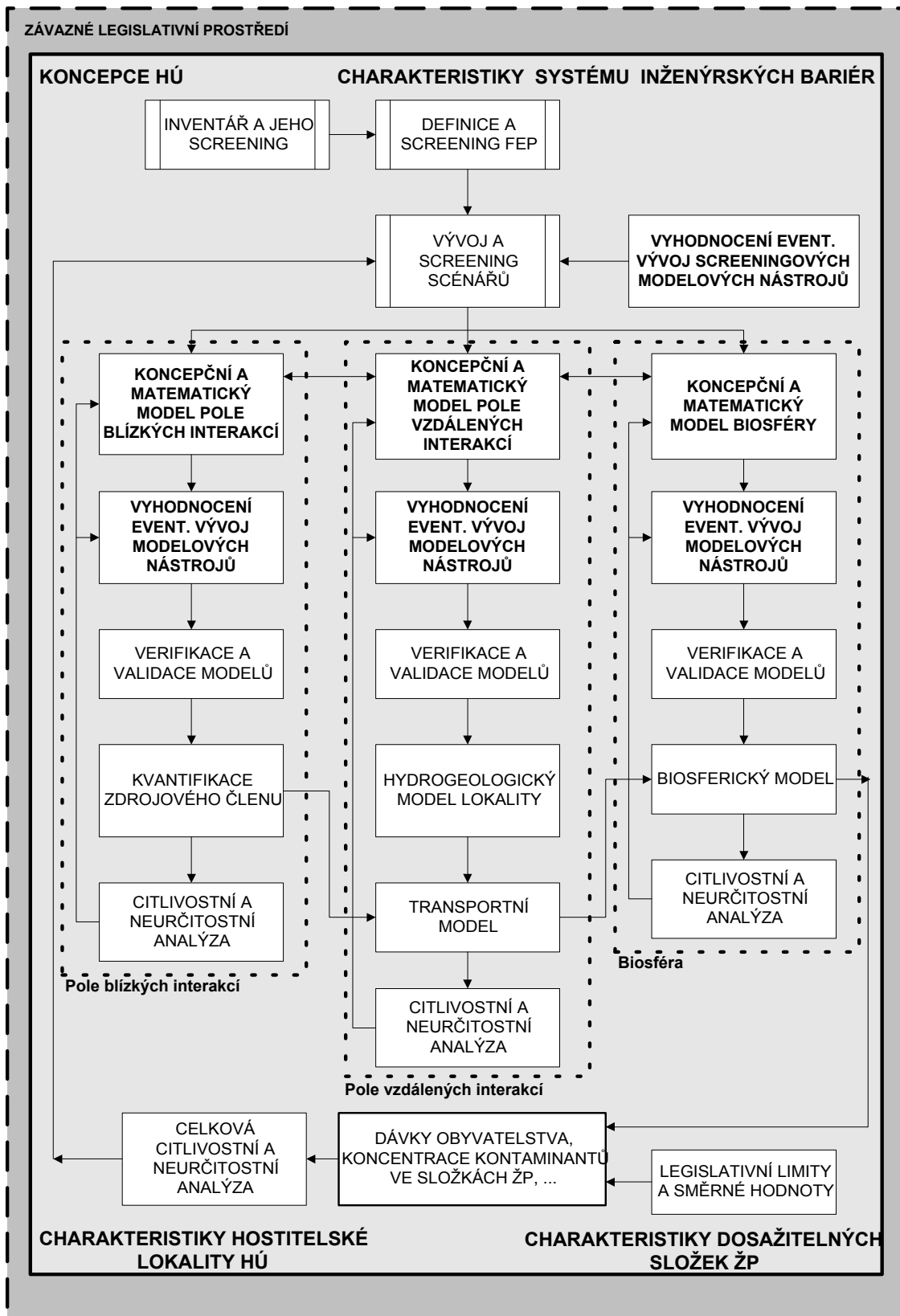
### **Bezpečnostní analýza referenčního hlubinného úložného systému**

Navržená struktura bezpečnostního rozboru, která je podkladem jak pro dokumentaci EIA, tak i pro ZBZ, zohledňuje všechny v dnešní době známé a požadované prvky bezpečnostních analýz úložných systémů RAO. Bezpečnostní analýza musí ve všech fázích respektovat platné legislativní prostředí, u kterého lze vzhledem k odhadované délce projektu vývoje HÚ předpokládat v budoucnosti určité změny. Tyto změny mohou následně ovlivnit strukturu a výstupy bezpečnostní analýzy. Jak již bylo uvedeno v předešlé kapitole, pro účely Referenčního projektu se vychází z atomového zákona a jeho prováděcích předpisů.

Druhou oblastí, která ovlivňuje všechny výchozí předpoklady bezpečnostní analýzy, jsou základní informace o koncepci HÚ a struktuře všech částí úložného systému. Pro účely Referenčního projektu byl navržen soubor vstupních údajů, které vycházejí ze současné úrovně znalostí a poznatků získaných od počátku Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR. Tyto údaje přitom nelze chápat jako závazné pro další etapy vývoje HÚ, včetně celkové koncepce HÚ. Jedná se pouze o definici technického a konstrukčního rámce pro potřeby Referenčního projektu a v následujícím období bude nutno v průběhu výzkumných a vývojových prací tyto údaje verifikovat, nebo nově stanovit pro konkrétní navrženou a schválenou skladbu jednotlivých složek hlubinného úložného díla.



Obr. 2.1 Limity ozáření podle vyhlášky č. 184/97 Sb. (zvýrazněné hodnoty jsou relevantní pro program vývoje HÚ)



Obr. 2.2 Základní struktura bezpečnostní analýzy

## Koncepce referenčního HÚ

Projekt referenčního HÚ uvažuje ukládání VJP a RAO do jednoúrovňového hlubinného úložného díla v hloubce 500 m pod povrchem v granitovém horninovém prostředí. Střední teplota zemského povrchu je 10<sup>0</sup>C. Obalové soubory s VJP jsou uloženy vertikálně, v úložných šachtách. Úložné obalové soubory jsou navrženy pro 2 typy VJP z reaktorů typu VVER-440 a VVER-1000. Palivové články z reaktorů VVER-440 jsou umístěny po 7 kusech v jednom kontejneru a palivové články z reaktorů VVER-1000 po 3 kusech v jednom kontejneru. Maximální střední vyhoření paliva je 45 000 MWd/tU (VVER-440) a 50 000 MWd/tU (VVER-1000). Úložné šachty jsou utěsněny materiálem na bázi bentonitu.

## Inventář VJP a RAO

Při odhadu inventáře VJP a RAO uloženém v referenčním HÚ byla zohledněna jejich produkce pouze v rámci civilního sektoru. Základními předpoklady pro odhad inventáře referenčního HÚ byly :

- provoz 2 JE typu VVER na území ČR,
- přímé ukládání VJP z jaderně-energetických reaktorů bez přepracování,
- provoz 2 výzkumných reaktorů na území ČR (ÚJV Řež, a.s.),
- přímé ukládání VJP z výzkumných reaktorů bez přepracování,
- ukládání RAO, které nesplňuje kritéria přijatelnosti do stávajících ÚRAO, do HÚ.

VJP - produkce VJP z jaderně-energetických reaktorů vychází z předpokladu 4 leté kampaně a 30 / 40 let provozu pro reaktory typu VVER-440 a VVER-1000. Pro EDU byla vyhodnocena i produkce VJP pro 5 letou kampaň a 30 / 40 let provozu. Počet palivových kazet (PK) a hmotnosti těžkého kovu (TK) jsou uvedeny v tab. 2.1.

Varianta	1	2	3	4
kampaň / provoz	4 / 30	4 / 40	5 / 30	5 / 40
EDU - počet PK	12461	16167	11789	14909
TK/PK [kg TK]	120	120	120	120
celkem TK [t]	1495	1940	1415	1789
ETE - počet PK	2792	3602		
TK/PK [kg TK]	496	496		
celkem TK [t]	1370	1787		

Tab. 2.1 Produkce VJP v EDU a ETE po dobu jejich plánovaného provozu



- štěpné produkty - H-3, Kr-85, Sr-90, Y-90, Zr-93, Tc-99, Ag-108m, Cd-113m, Sn-126, Sb-126m, Sb-126, I-129, Cs-135, Cs-137, Ba-137m, Sm-151
- aktivační nuklidy vzniklé z konstrukčních materiálů - H-3, C-14, Ar-39, Ca-41, Fe-55, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Y-90, Zr-93 ... Mb-93m, Nb-94, Mo-93 ... Nb-93m, Tc-99.

### **RAO - podle původu lze RAO dělit na:**

#### **RAO z vyřazování JE**

Při vyřazování JE Dukovany z provozu vznikne RAO, které nesplňují kritéria přijatelnosti ÚRAO Dukovany, ze 3 zdrojů:

- fragmenty vnitroreaktorových částí a tlakových nádob reaktorů
- aktivované stínění biologické ochrany (nerez ocel)
- aktivovaný beton okolí šachty reaktoru.

Pro tyto RAO byly navrženy 2 druhy úložných obalových souborů o vnějších rozměrech cca 1,9x1,9x2,5 m. Využitelný objem kontejnerů je 3,21 m<sup>3</sup> a 1,22 m<sup>3</sup>. Celkový plánovaný objem RAO z vyřazování JE Dukovany je asi 2000 m<sup>3</sup> (140 ks kontejnerů). Nejvýznamnějším kontaminantem je Ni-63.

Při odhadu produkce RAO z vyřazování JE Temelín z provozu se počítá se 2 zdroji odpadů:

- fragmenty vnitroreaktorových částí,
- fragmenty tlakových nádob reaktorů.

Aktivované fragmenty vnitroreaktorových částí včetně provozních odpadů a tlakové nádoby reaktoru budou uloženy v betonovém kontejneru (vnější objem 3 m<sup>3</sup>, vnitřní objem 1,3 m<sup>3</sup>). Celkový odhadovaný objem RAO je 624 m<sup>3</sup> (208 ks kontejnerů). Dominantními izotopy v okamžiku odstavení jsou Fe-55, Ni-59, Ni-63, Co-60 a další izotopy vzniklé aktivací oceli :

- institucionální RAO - jedná se zejména o odpady obsahující alfa zářiče. Odhad stávajícího množství je cca 300 ks sudů o objemu 200 l a produkce přibližně 10 ks sudů ročně,
- RAO z výzkumných provozů ÚJV Řež, a.s.

RAO skladované v současnosti v areálu ÚJV Řež, a.s. zahrnují :

- RAO v vymíracích nádržích v objektu 211/5,
- odpady v horkých komorách ze svědečného programu v objektu 250,
- ozařovací kanály a sondy v odložišti reaktoru LVR-15.

Předpokládaným zdrojem RAO budou odpady z decommissioningu jaderných reaktorů LVR-15 a LR-0.

Vymírací nádrže v objektu 211/5 obsahují 4,5 m<sup>3</sup> kapalných RAO o objemové aktivitě 0,5 MBq/l (nádrž A) a 8,0 m<sup>3</sup> kapalných RAO o objemové aktivitě 21,0 MBq/l (nádrž B). Kapalný odpad z nádrže A lze zpracovat běžným způsobem zahuštěním na odparce a následně fixovaný koncentrát naplnit do 200 l sudů (nízko- a středněaktivní odpad). Kapalný odpad z nádrže B lze přímo fixovat do cementové směsi a 200 l sudů (cca 85 sudů s VAO). Současně nádrž B obsahuje cca 450 předmětů o sumární aktivitě 140 TBq (Cs-137, štěpné produkty). Celkový objem pevných VAO v nádrži B je asi 2,5-3,0 m<sup>3</sup>. Po fixaci reprezentuje tento objem asi 250 ks sudů.

Horké komory v objektu 250 obsahují RAO ze svědečného programu. Jedná se zejména o použitá ozařovací pouzdra a vzorky ocelí. V současné době je zde skladováno 200 ks plechovek o objemu 2 l. Pro trvalé uložení ve stíněných sudech představuje tento odpad cca 200 ks sudů o objemu 200 l.

V bazénu odložiště reaktoru LVR-15 jsou skladovány cca 2 m<sup>3</sup> RAO ve formě ozařovacích kanálů a sond. Tyto kanály a sondy jsou z oceli třídy 17 a slitin Al. Podle navrženého způsobu likvidace lze předpokládat produkci 37 ks sudů o objemu 200 l.

V průběhu rekonstrukce reaktoru VVR-S na typ LVR-15 v letech 1987-89 došlo k výměně reaktorové nádoby, která se v současnosti nachází v překladišti RAO (obj. č. 211/6) v areálu ÚJV Řež, a.s.. Hmotnost reaktorové nádoby je asi 3500 kg (Al) + 250 kg (lžice tepelné kolony).

RAO které vzniknou v důsledku decommissioningu reaktoru LR-0 budou pocházet zejména z :

- vestavby reaktorové nádoby a z částí reaktorové nádoby,
- některých experimentálních částí,
- kontejneru neutronového zdroje.

Vzhledem k tomu, že hlavním zdrojem kontaminace je Co-60 a odpady budou stabilizovány, neuvažuje se s jejich uložením v HÚ.

### **Definice a screening FEP**

Definování scénářů na základě souboru znaků, událostí a procesů (Features, Events, Processes - FEP) je hlavním podkladem pro hodnocení chování systému. I když na současném stupni poznání lze některé průběhy chování systému, které mohou být popsány jako scénáře, zcela bez dalších pochybností definovat, systematický postup k jejich definování a modelovému popisu musí vycházet ze širší základny. Každý probíhající scénář je následkem iniciující události a jeho průběh je důsledkem souboru FEP, ke kterým v systému dochází. Tyto FEP přímo nebo nepřímo ovlivňují únik a transport kontaminantů z úložného systému a následně radiační zátěž obyvatelstva a složek ŽP. Aby mohl být definován pravděpodobný nebo kritický průběh scénáře, je

třeba vyhodnotit v úvahu přicházející FEP a stanovit, které z nich jsou pro scénáře určující.

Cílem hodnocení chování systému je sledovat FEP v plné šíři s tím, že budou definovány události reálné, pravděpodobné a ovlivňující tak, aby chování systému mohlo být popsáno poměrně jednoduchým způsobem, který vyčerpává všechny kritické možnosti a nezanedbává podstatné jevy.

Na počátku přípravy seznamu FEP je návrh klasifikace FEP. V současnosti existuje několik mezinárodních databází FEP, které byly vypracovány pro účely národních a mezinárodních projektů vývoje HÚ v Belgii (cca 130 FEP pro jíly v lokalitě Mol), Kanadě (cca 280 FEP pro granitovou hostitelskou strukturu), Francii, Španělsku (cca 120 FEP pro HÚ v krystaliniku), Švédsku (cca 150 FEP pro HÚ), Švýcarsku (cca 240 FEP pro HÚ v krystaliniku), UK, USA (cca 240 FEP definovaných v rámci projektu WIPP), IAEA (cca 60 obecných FEP pro přípravu scénářů úložných systémů) a NEA (cca 130 FEP pro HÚ). Každá z těchto databází používá svou vlastní klasifikaci FEP podle :

- místa vzniku FEP (blízké pole, vzdálené pole, biosféra - Kanada, Švédsko, Švýcarsko),
- původu vzniku FEP (přírodní události a procesy, FEP jako následek lidské činnosti, ... - IAEA, NEA, USA),
- místa a původu vzniku FEP (Španělsko).

Na základě vyhodnocení uvedených databází FEP a způsoby jejich klasifikace se v rámci mezinárodních programů (IAEA, NEA) začíná prosazovat vícestupňová kategorizace založena na :

- FEP pole blízkých interakcí,
- FEP pole vzdálených interakcí,
- externích FEP,
- kontextu analýzy.

Kontext analýzy definuje rozsah analýzy, který plyne např. z legislativních požadavků, z požadavků na požadované výstupy z analýzy a z jednotlivých etap analýzy.

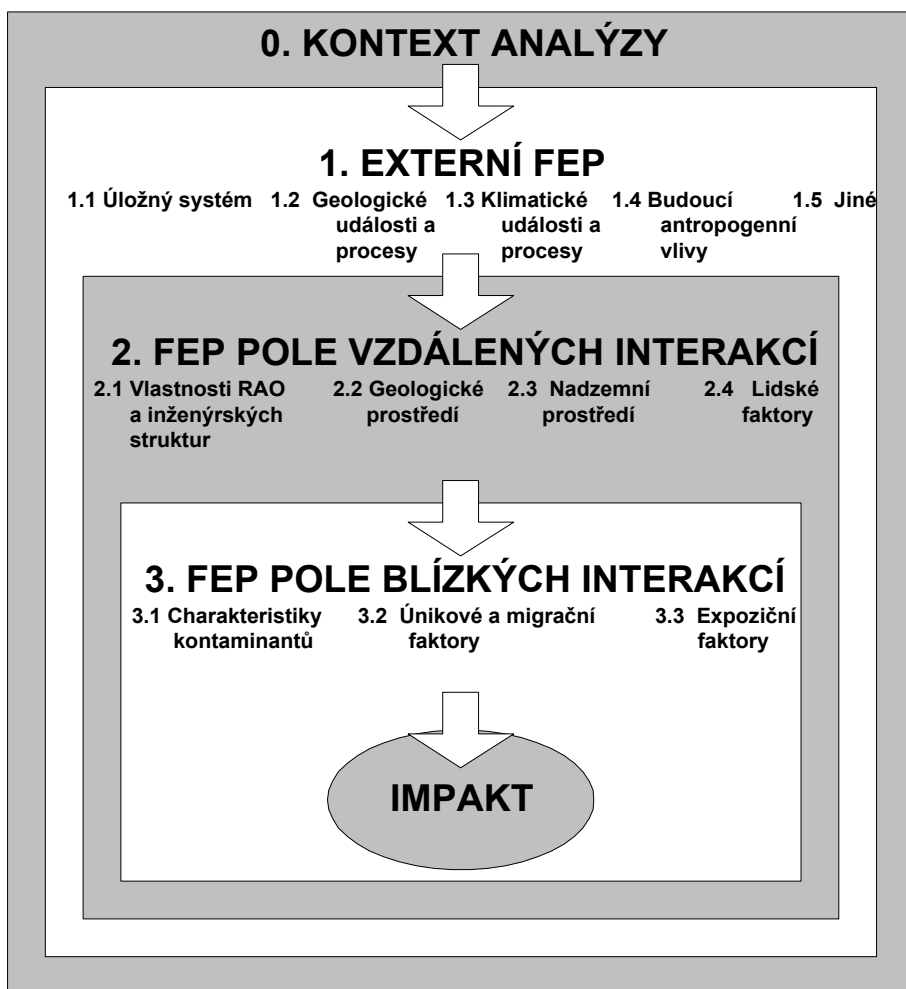
Externí FEP jsou FEP, které nepocházejí z úložné oblasti a mají obecný a globální původ. Externí faktory nejsou ovlivněny procesy v úložném systému nebo jsou ovlivněny pouze minimálně. Při vývoji modelů HÚ reprezentují často okrajové a počáteční podmínky pro modelovou oblast.

FEP pole vzdálených interakcí jsou FEP, které ovlivňují vývoj fyzikálních, chemických, biologických a antropogenních podmínek v hostitelské struktuře HÚ. Tyto faktory jsou dominantní při odhadu úniku a migrace radionuklidů do biosféry.

FEP pole blízkých interakcí popisují procesy, které přímo ovlivňují únik a migraci radionuklidů přes inženýrské bariéry HÚ do geologického prostředí.

Druhým krokem v procesu definice FEP je příprava obecného seznamu FEP, která obsahuje přehled všech FEP roztríděných podle navrženého klasifikačního schématu. Pro účely Referenčního projektu lze např. využít mezinárodního seznamu FEP, který byl vypracován v rámci projektu PAAG (NEA).

Soubor FEP je vždy specifický pro navrhovaný úložný systém. Z tohoto důvodu je nutno na základě screeningu obecného seznamu FEP definovat ty FEP, které jsou relevantní pro konkrétní úložný systém. Tento screening je možné docílit např. svázáním obecného seznamu FEP s databázemi projektu vývoje HÚ a na základě vyhledání vazeb mezi jednotlivými projektovými databázemi a obecné databáze FEP identifikovat soubor FEP charakteristických pro konkrétní úložný systém. Obecný screening tak umožňuje relativně jednoduchým způsobem redukovat položky seznamu FEP pouze na základě kontextu analýzy a základního popisu úložného systému.



Obr. 2.3: Klasifikační schéma mezinárodní databáze FEP

Dalším krokem při vyhodnocování položek seznamu FEP je výběr a aplikace vyhodnocovací metody. Pomocí vyhodnocovacích metod lze provést detailnější

screening FEP a identifikovat ty FEP, kterých vliv na složky systému jsou zanedbatelné event. málo pravděpodobné. V posledním období se ve srovnatelných zahraničních programech vývoje HÚ používají zejména 2 vyhodnocovací metody :

- diagram závislostí,
- interakční matrice.

### **Vývoj a screening scénářů**

Základem popisu systému je definice scénářů chování úložného systému na základě vyhodnocení seznamu FEP. Scénář představuje hypotetickou posloupnost jevů, událostí a procesů, které definují budoucí stav a chování úložného systému pro účely bezpečnostních analýz. Tyto scénáře budou vypracovány nejenom pro účely bezpečnostních zpráv jednotlivých etap, ale i pro účely hodnocení vlivů na životní prostředí. Kvantifikace chování systému se provádí bezpečnostním rozbořem. Bezpečnostní rozbor ve fázi pro územní řízení slouží jednak pro účely bezpečnostní zprávy pro územní řízení, jednak jako jeden ze základních zdrojů hodnocení vlivů na životní prostředí (dokumentace EIA).

V paralelních zahraničních a mezinárodních projektech se klade důraz na to, aby modelové chování systému bylo popsáno tak, že s největší pravděpodobností odpovídá reálnému chování systému. Pro hlubinné úložiště chybí většina vstupních dat, umožňující využití pravděpodobnostních metod hodnocení, i když ani tyto metody nedávají zcela záruku toho, že stochastický model systému je reálný. Pravděpodobnostní hodnocení pouze zaručuje, že systém se bude chovat popisovaným způsobem, pokud jeho složky budou mít parametry, stanovené pravděpodobnostními výpočty. Z tohoto důvodu se klade důraz na ocenění nejen reálných a pravděpodobných scénářů, ale i scénářů havarijních.

Reálný scénář oceňuje situaci tak, jak by měla probíhat, pokud budou splněny předpoklady, související se zajištěním funkce systému. Reálný scénář chování úložného systému vychází z rozboru FEP, z nichž jsou sledovány ty, které jsou pro systém rozhodující. Základních scénářů chování systému může být několik, z nichž je opět vybrán ten, který má pro bezpečnost systému rozhodující význam.

Reálný scénář by měl obsahovat základní prvky, které jsou dány funkcemi úložného systému a jeho podsystémů a mohou ovlivnit jeho chování :

### **BIOSFÉRA**

- přenos radionuklidů k člověku se uskutečňuje prostřednictvím podzemní vody a ostatních složek ekosystému,
- pro stanovení dávky a kontaminace složek životního prostředí je nutné vzít v úvahu podmínky ředění, kapacitu recipientu, usazování nebo akumulaci radionuklidů. Dále se sleduje způsob využití území, používání zdrojů vody a pod.,
- dávku lze omezit v procesu umístování výběrem lokality s vhodnými podmínkami,

- s ohledem na požadavek bezpečnosti systému i pro období na které nelze učinit spolehlivou prognózu využívání území, je nutné vycházet z konzervativního předpokladu budoucího maximálně možného využití území pro intenzivní zemědělskou výrobu, maximálně možného využití vodních zdrojů a z toho vyplývajícího maximálně teoreticky možného uvedení radionuklidů do potravinových řetězců.

## **HOSTITELSKÁ STRUKTURA**

- hostitelská struktura poskytuje implementovanému systému inženýrských bariér stabilní chemické a mechanické podmínky,
- pokud je porušena funkce systému inženýrských bariér, hostitelská struktura :
  - retarduje transport radionuklidů pomalým prouděním vody a tím i dlouhým transportním časem,
  - zadržuje radionuklidy.

## **VÝPLŇOVÝ MATERIÁL**

- působí jako fyzická a chemická bariéra, těsnicí bariéra a jako filtr
- bentonit působí proti mechanickým tlakům
- chemické vlastnosti prostředí působí pozitivně na omezení korozivního prostředí v okolí kontejneru
- nízká hydraulická konduktivita zajišťuje retardaci tak, že korozivní částice nedosahují oblast umístění kontejneru a naopak kontaminanty jsou udržovány v nejbližším okolí kontejneru
- vlastnosti bentonitu umožňují, že rozpuštěné látky a částice jsou zachyceny filtrací a sorpcí

## **KONTEJNER**

- kontejner odolává mechanickým tlakům
- palivový soubor není v důsledku odolnosti kontejneru vystaven působení okolního prostředí
- kontejner zabraňuje úniku radionuklidů a pronikání okolní vody k radionuklidům díky dlouhodobé hermetičnosti

## **PALIVO**

- palivo zadržuje radionuklidy díky nízké rozpustnosti a dlouhodobé odolnosti proti korozi

- radionuklidy jsou pevně vázány ve struktuře paliva a jsou tedy málo rozpustné.

Kromě scénářů normálního vývoje, které definují pravděpodobné chování úložného systému v dlouhodobém časovém horizontu, je úložný systém popsán i havarijními scénáři, které popisují abnormální chování systému v různých časových horizontech. Z hlediska dlouhodobé bezpečnosti se jedná o havarijní scénáře vzniklé v provozním i poprovozním období, a to např. v důsledku špatné funkce bariérového systému. Havarijní scénáře vznikají v důsledku nepříznivých počátečních podmínek, případně iniciujících událostí, a jejich důsledkem je nepříznivé chování úložného systému.

Pro první screening scénářů se vychází ze znalosti FEP a jejich vazeb. Důvodem vyloučení scénáře z dalšího vyhodnocení může být :

- velice malá pravděpodobnost inicializačních událostí; tj. událostí, které jsou základním předpokladem vzniku sledovaného scénáře,
- minimální následky scénáře,
- téměř úplná eliminace následků scénáře podsystémy úložného systému,
- globální negativní následky scénáře, které výrazně dominují nad následky úniku aktivity z HÚ.

Zbylé scénáře se analyzují v druhé etapě screeningu kvalitativně na základě diskuse následků, kvantitativně pomocí jednoduchých konzervativních modelů, standardními metodami rizikových analýz anebo detailnějšími výpočty pomocí specializovaných programů. Metoda screeningu je závislá na charakteru scénáře. V této etapě lze využít vyhodnocovacího mechanismu FEP, popsaného v předešlé kapitole, který umožňuje identifikovat ty kritické FEP, které musí být kvantitativně ohodnoceny v bezpečnostních rozbořech. Po ukončení výběru scénářů lze opětovně využít seznam FEP pro kontrolu úplnosti scénářů.

### **Vyhodnocení a vývoj screeningových modelových nástrojů**

V počátečních etapách vývoje HÚ v podmínkách ČR se jako jedním z kritických požadavků jeví výběr screeningového modelového nástroje, umožňuje realizovat jednoduchou, rozumně konzervativní bezpečnostní analýzu pro :

- vyhodnocení variant způsobu ukládání VJP a RAO,
- ocenění jednotlivých kandidátních lokalit HÚ z hlediska radiační bezpečnosti,
- účely identifikace kritických scénářů tak, jak bylo uvedeno v předešlé kapitole,
- účely přípravy a upřesnění plánu výzkumných a vývojových prací.

Vhodný screeningový program musí umožňovat jednoduché, konzervativní ocenění všech podsystémů HÚ a následně ocenit rizika, případně efektivní dávky pro vybranou kritickou skupinu osob. Současně by screeningový program měl umožňovat jak deterministické, tak i stochastické výpočty, které by umožnily odhadnout vliv

neurčitosti stanovení jednotlivých parametrů na výslednou sledovanou veličinu. Screeningové programy pochopitelně nenahrazují simulační nástroje umožňující detailní analýzu složek úložného systému; tj. např. nelze od screeningového programu očekávat detailní prostorové vyhodnocení hydrogeologické situace a transportu kontaminantu v lokalitě. Na druhou stranu je ale nutné při výběru event. vývoji tohoto nástroje doložit stupeň konzervativnosti řešení pro jednotlivé podsystémy. Toho lze dosáhnout např. porovnáním výsledků existujícího detailního hydrogeologického a transportního modelu s výsledky modelu vzdálených interakcí screeningového programu.

Proces vyhodnocování screeningových nástrojů má za cíl zmapovat vlastnosti komerčně dostupných softwarových produktů na trhu a na základě konkrétních požadavků plynoucích z celkové koncepce ukládání VJP a RAO doporučit nákup nebo modifikaci jednoho z nich.

Pokud vyhodnocovací proces prokáže, že neexistují vhodné softwarové produkty, bude nutné zahájit vývoj vlastního softwarového nástroje, který by splňoval požadavky zadavatele. Současně by na základě výsledků vyhodnocování screeningových nástrojů bylo možno identifikovat ty části komerčních modelů, které by bylo možné využít i při vlastním vývoji. K zajištění jakosti výsledků screeningových programů je potřebná jejich standardizace a periodická aktualizace.

### **Koncepční a matematický model**

Po dokončení definice scénářů je nutné analyzovat důsledky jejich průběhu pro bezpečnost úložného systému. V závislosti na konkrétním scénáři lze postupovat kvalitativní (zejména při nedostatku vstupních údajů) a kvantitativní metodou. V případě scénářů, které lze kvantitativně analyzovat, je nutné definovat okrajové podmínky, popsat vlastnosti, události a procesy, které do nich vstupují apod. Tyto předpoklady tvoří tzv. koncepční model, který představuje zjednodušený popis reálného systému, jenž v hlavních rysech odráží jeho strukturu, chování, funkci, projevy apod. Následně je každý koncepční model matematicky vyjádřen soustavou algebraických a diferenciálních rovnic. Tyto rovnice spolu s požadovanými vstupními parametry tvoří matematický model. Každý matematický model je následně řešen vhodnými modelovými nástroji - počítačovými programy, které využívají analytické nebo numerické metody řešení rovnic.

Koncepční model pole blízkých interakcí představuje soustavu předpokladů, které redukuje reálný systém do zjednodušené podoby (geometrie systému, parametry, počáteční a okrajové podmínky) tak, aby bylo možno odhadnout, že reálný systém bude spolehlivě plnit očekávané funkce.

Hlubinné úložiště je extrémně složitý systém velkého počtu fyzikálních a chemických jevů, které je nutno zahrnout do bezpečnostních analýz a které ovlivňují jak pevné izolující prostředí (přírodní a inženýrské bariéry), tak i kapalnou fázi a zároveň jsou vzájemně interaktivní. Jevy, obsažené v systému, je obtížné kvantifikovat pro nedostatek laboratorních dat i dat z uvažovaného prostředí. Vzhledem k jejich velkému počtu je možno vytvořit značné množství koncepčních modelů pole blízkých a i

vzdálených interakcí, jejichž společným cílem je kvantifikovat transport radioaktivních látek.

Pro potřeby Referenčního projektu budeme vycházet ze značně konzervativního předpokladu, že systém inženýrských bariér by měl zajistit splnění legislativních kritérií i bez účasti pod systému hostitelského prostředí; přesněji pro tento účel se předpokládá, že nikdy nebude možno dokázat přijatelnou úroveň nejistoty při popisu jak prostorově tak i časově heterogenního přírodního prostředí, a proto za hlavní funkci hostitelské prostředí považujeme zajištění příznivého prostředí pro systém inženýrských bariér (toto platí pouze pro uvažované puklinové granitoidní prostředí).

Systém inženýrských bariér musí plnit následující dvě základní funkce :

- zabránit nekontrolovanému rozvoji štěpné reakce (zajistit podkritičnost) a
- zabránit nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření (izolovat odpady).

Funkčnost každého zařízení a tedy i systému inženýrských bariér ovlivňují dvě skupiny vlivů, které můžeme obecně rozdělit na vnitřní a vnější. Mezi vnitřní vlivy zahrnujeme všechny faktory, které souvisí s jeho vznikem se vznikem zařízení, tj. např. jeho projekce, konstrukce, materiálová skladba a použitá technologie. Volba vhodných materiálů nebo prvků, dodržování technologických postupů a pečlivá mezioperační a výstupní kontrola je nezbytným předpokladem dlouhodobé funkčnosti jakéhokoliv technického díla. Například i nedodržování předpisů při instalaci jednotlivých bariér se může výrazně projevit při plnění primární funkce celého systému. Vnější prostředí úložného systému je tvořeno hostitelským prostředím a biosférou, která zahrnuje i budoucí lidské činnosti.

Koncepční model pole vzdálených interakcí popisuje procesy probíhající při transportu kontaminantu v hostitelské horninové struktuře. Tato přírodní bariéra dlouhodobě izoluje VJP a RAO od biosféry a jsou pro ní charakteristické následující transportní procesy :

- advekce; Advekce je přenos kontaminantů vlivem celkové rychlosti proudění nosiče (podzemní vody). Proudění je pohyb v makroměřítku (po vyloučení chaotického tepelného pohybu molekul), je to střední statistický pohyb částic vody:

$$u = v/\theta \quad (2.1)$$

kde  $u$  - advektivní (pórová) rychlost podzemní vody [m/s]

$v$  - hustota toku, tj. objemový průtok vztažený na plochu - Darcyho rychlost [m/s]

$\theta$  - efektivní (kinematická) porozita [-]

- molekulární difúze; Difúze je samovolný děj, v jehož průběhu na základě tepelného (Brownova) pohybu částic dochází k přenosu látky ve směru poklesu její koncentrace - tj. k postupnému vyrovnání koncentračních rozdílů v soustavě. Difúze v roztoku je zřídka nejdůležitějším mechanismem disperze látek v daném

prostředí. Hydraulický tok, konvekce a mechanické mísení jsou obvykle významnější. Přesto je možno uvést procesy, při kterých hraje klíčovou roli: difúze do stagnující pórové vody, difúze na rozhraní plyn/pevná fáze, která limituje míru kondenzace/evaporace, difúze na rozhraní kapalina/pevná fáze, která limituje přenos živin ke kořenům rostlin či míru rozpouštění minerálů. V každém z těchto případů je buď omezeno proudění vody nebo na rozhraní existuje nepohyblivá vrstva silná několik molekul. Základními veličinami, které ovlivňují míru difúze v systému, jsou hydraulická konduktivita, kinematická porozita a efektivní difúzní koeficient.

- disperze; Pohyb kontaminantu se může uskutečňovat kromě advekce také disperzí. Pod pojmem disperze jsou označeny procesy, které způsobují nestejnou rychlost kontaminantu vzhledem k advektivnímu pohybu podzemní vody. Podle jiné definice lze disperzi charakterizovat jako distribuci dob zdržení (prodlení) částic tekutiny v daném systému. Je vysvětlována jako výsledek mechanické disperze, působící na makroskopické úrovni, a molekulární difúze, projevující se v mikroskopickém měřítku. Kvantitativní určení, zda v systému převažuje mechanická disperze či difúze, je založeno na bezrozměrném Pecletově čísle ( $P_e$ ), definovaném jako :

$$P_e = Z \cdot u / D \quad (2.2)$$

kde  $Z$  - délka transportu [m]

$u$  - průtoková rychlost (tzv. pórová rychlost) kapalné fáze [m/s]

$D$  - disperzní koeficient [ $m^2/s$ ]

Význam transportního mechanismu pak závisí na velikosti Pecletova čísla  $P_e$ :

- hodnota  $P_e$  je menší než  $10^{-1}$  → převažuje molekulární difúze, neboť průtoková rychlost konverguje k nule,
- hodnota  $P_e$  je 0.4 - 5 → mechanická disperze a molekulární difúze jsou přibližně stejného řádu,
- poměr disperzního a difúzního koeficientu  $D/D_{mol} = \alpha \cdot (P_e)^m$   $\alpha \approx 0.025-0.5$   $1 < m < 1.2$  → disperze je z větší části dána mechanickou disperzí,
- poměr  $D/D_{mol} = \beta \cdot P_e$   $\beta \approx 1.8$  → vliv mechanické disperze je zcela dominantní a vliv molekulární difúze je zanedbatelný,
- převažuje čistě mechanická disperze.
- interakce kontaminantů; jedná se o kvantitativní změnu koncentrace v důsledku následujících chemických a fyzikálních procesů :
  - chemické reakce v roztoku - může se jednat např. o komplexaci, hydrolyzu, acidobazickou reakci. Tyto reakce umožňují modelovat speciální modely (např.

PHREEQE, EQ3/6, WATEQ, MINEQL, MINTEQA2), které je možno kombinovat s modely transportními.

- radioaktivní přeměna - časově závislá transformace mateřského radionuklidu na dceřiný radionuklid závislá na přeměnové konstantě  $\lambda$ .
- mezifázové interakce (sorpce) - adsorpce je jedním z nejdůležitějších dějů z tzv. procesů vázaných na fázová rozhraní. V hydrogeochemii jsou nejdůležitějšími jevy na fázovém rozhraní voda-hornina(-půda). Adsorpci můžeme podle povahy převažujícího typu interakce mezi adsorbátem a adsorbentem rozdělit na několik základních typů:
  - chemická adsorpce
  - specifická adsorpce
  - elektrostatická adsorpce
  - (nespecifická) fyzikální adsorpce

Výše uvedené čtyři základní druhy adsorpcí jsou v určitém slova smyslu mezní typy a celkem běžná je jejich kombinace i pro jednu látku, což zvláště platí pro komplexní přírodní podmínky.

- difúze do matrice horniny - jedná se o retardační mechanismus, kdy migrant proniká z pukliny do horniny díky existenci mikropórů. V těchto mikropórech tak může docházet k sorpci migrantu. Difúze do matrice horniny se obvykle popisuje dvojicí parciálních diferenciálních rovnic. První rovnice se vytvoří inkorporací transferového členu do advekčně-disperzní rovnice a druhá rovnice popisuje jednodimenzionální difúzi v matici horniny.

Koncepční model biosféry popisuje základní cesty prostupu kontaminace z pole vzdálených interakcí do ekosystému a následně způsobuje expozici jedinců z kritické skupiny obyvatelstva a složek ŽP. Obecně lze rozčlenit prostupové cesty do 3 základních skupin podle cesty příjmu kontaminace: inhalační cesta, ingestační cesta a cesta externího ozáření. Pro všechny uvedené skupiny expozičních cest je nutné stanovit primární zdroj kontaminace na základě koncepčního modelu vzdálených interakcí; např. podzemní voda z průlinového nebo puklinového horninového prostředí, voda z povrchové vodoteče a pod.

Většina expozičních procesů popsatelná jednoduchými algebraickými rovnicemi, které na základě empirických a semiempirických faktorů (dávkové konverzní faktory, prostupové faktory z půdy do obilí, zeleniny apod.) umožňují kvantifikovat příkon efektivní dávky sledovanou expoziční cestou. Například pro příjem kontaminace ingestační pitné vody, která je v mnoha případech kritickou expoziční cestou, platí jednoduchý vztah:

$$D_{VODA} = [(1 - f_{POVRCH}) \cdot SP_{VODA} \cdot C_{PV} + f_{POVRCH} \cdot SP_{VODA} \cdot C_{POVRCH}] \cdot H_{ING} \quad (2.3)$$

kde  $D_{\text{VODA}}$  - příkon dávkového ekvivalentu ingescí pitné vody kontaminované radioaktivními kontaminanty [Sv/rok]

$f_{\text{POVRCH}}$  - frakce pitné vody z povrchového zdroje [-]

$SP_{\text{VODA}}$  - spotřeba pitné vody [ $\text{m}^3/\text{rok}$ ]

$C_{\text{PV}}$  - koncentrace kontaminantu v podzemní vodě [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ]

$C_{\text{POVRCH}}$  - koncentrace kontaminantu v povrchové vodoteči [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ]

$H_{\text{ING}}$  - dávkový konverzní faktor [Sv/Bq].

Současně se v koncepčním modelu biosféry uplatňují i některé z procesů typických pro pole blízkých a vzdálených interakcí, a to zejména :

- molekulární difúze
- disperze
- interakce kontaminantů (radioaktivní přeměna, mezifázové interakce).

### **Vyhodnocení a vývoj modelových nástrojů**

Další bodem v struktuře bezpečnostní analýzy HÚ je výběr a vývoj modelových nástrojů - počítačových programů, které umožní kvantifikovat vliv HÚ na obyvatelstvo a ŽP na základě navržených matematických modelů pole blízkých interakcí, pole vzdálených interakcí a biosféry.

Prvním krokem ve vyhodnocovacím mechanismu je vypracování seznamu dostupných programových nástrojů a balíků, které byly použity v zahraničních projektech vývoje HÚ anebo na základě jejich obecných charakteristik lze předpokládat možnost jejich využití v Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR. V této části je nutné popsat každý ze sledovaných programů jeho jménem, organizací, která ho vyvinula a klíčovými referencemi. Současně lze pro jednotlivé kategorie programů uvést jejich základní charakteristiky, např. pro programy pole vzdálených interakcí dimenzi řešení řídicích rovnic, řešení tepelného transportu a transportu v puklinách, popis geochemických modelů obsažených v jednotlivých programech apod.

V druhé části vyhodnocovacího mechanismu je nutno detailně identifikovat základní charakteristiky studovaných programů. Základním cílem této etapy je identifikace řídicích rovnic a interních algoritmů jejich řešení; tj. těch vlastností programů, které výrazně ovlivňují výsledky bezpečnostních analýz. Toho lze dosáhnout detailní analýzou dostupných údajů (uživatelské příručky, teoretické manuály), informacemi od autorů programů event. analýzou zdrojových kódů programů.

Třetí krok vyhodnocování modelových nástrojů lze rozčlenit do dvou podskupin :

- sumarizace základních charakteristik programů a popis jejich hlavních rozdílů

- vzájemné srovnání programů pro účely identifikace programů vhodných pro další vývoj v rámci Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR.

Ve čtvrtém kroku jsou na základě navržených testovacích příkladů pro každou kategorii programů provedeny srovnávací výpočty včetně interpretace rozdílů ve výsledcích. Testovací příklady jsou definovány podle požadavků specifických pro národní program vývoje HÚ. Z tohoto důvodu lze přejímat výsledky zahraničních srovnávacích projektů pouze po důkladné analýze použitých testovacích příkladů a po jejich vyhodnocení z hlediska potřeb Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR.

Posledním bodem výběrového procesu je identifikace těch programových nástrojů, které jsou přímo, bez dalších úprav, použitelné pro účely vývoje HÚ, event. je lze pro tyto účely použít po jejich modifikaci. Současně je navržen rozsah a harmonogram prací na těchto úpravách, které vycházejí z uvažovaných matematických modelů. Výsledkem celého výběrového řízení může být i závěr, že dostupné programy pro jednotlivé kategorie problémů nevyhovují požadavkům kladeným na ně a je nutno zahájit nezávislý vývoj vlastních modelových nástrojů. V tomto případě je nutné navrhnout plán výzkumných a vývojových prací včetně verifikačního a validačního programu.

Vybrané programy je následně nutné posoudit na základě mezinárodních norem pro kvalitu softwarových produktů. Jednou z možností je využití norem ČSN ISO/IEC 9126 „Hodnocení softwarového produktu - charakteristiky jakosti a návod pro jejich používání“ a ISO/IEC 12119 „Information technology - Software Packages Quality Requirement and Testing“. Tyto normy jsou základem Směrnice VDS 030 [2], která byla vydána SÚJB

### **Verifikace a validace modelů**

Verifikace modelů identifikuje proces ověřování správnosti výpočtu na základě definovaného matematického modelu. Klade si tak za cíl kontrolu numerické správnosti výsledků. Verifikaci lze uskutečnit metodou

- přímou; analýzou zdrojového kódu programu a přímým srovnáním modelových výsledků s hodnotami stanovenými výpočtem pomocí programu,
- nepřímou; Nepřímý způsob verifikace modelů spočívá ve srovnání výsledků verifikovaného modelu s výsledky srovnávacího programu, který již byl nezávisle verifikován a je založen na identickém matematickém modelu jako verifikovaný program. Formálně je tento postup téměř identický se čtvrtou etapou vyhodnocení modelových nástrojů (viz. kap. 5.2.2.7). Pro účely nepřímé verifikace lze použít testovacích příkladů definovaných pro vyhodnocovací proces, ale na rozdíl od tohoto procesu mohou rozdílnosti ve výsledcích indikovat problémy při řešení matematického modelu. Následná analýza těchto rozdílů může potvrdit nebo vyvrátit tento předpoklad.

Validace modelů slouží k ověření správnosti reprezentace skutečnosti pomocí modelového nástroje. Obecně je validace podstatně náročnější než verifikace. Úplná validace programů není prakticky možná z důvodu dlouhých časových horizontů, které jsou pro bezpečnostní analýzy HÚ typické. Částečně je tento problém řešitelný využitím

přírodních analogů. Pro ověření krátkodobé správnosti modelu lze využít výsledky laboratorních a in-situ testů.

### **Analýza neurčitostí a citlivostní analýza**

V kontextu bezpečnostních analýz hlubinných úložných děl se vyskytují dva základní druhy neurčitostí :

- neurčitosti vstupních parametrů a dat; tyto neurčitosti jsou definovány jako rozptyl vypočtených, naměřených a odhadnutých dat od skutečných hodnot sledovaných veličin. Obecně lze tyto neurčitosti kvantifikovat v bezpečnostních analýzách,
- neurčitosti modelů chování celého úložného systému; podstatou těchto neurčitostí je nedostatečná nebo neúplná znalost současného a budoucího chování úložného systému. Kvantifikace těchto neurčitostí je obtížnější než v prvním případě. Tato kategorie neurčitostí se dělí na 2 podkategorie [3] :
  - neurčitosti modelů úložného systému
  - neurčitosti budoucí evoluce HÚ v časových horizontech typických pro bezpečnostní analýzy HÚ.

### **Zdroje neurčitostí vstupních dat jsou podle dělení IAEA [4]:**

- neurčitosti typu A způsobené stochastickou variabilitou sledovaných dat a parametrů. Existence tohoto typu neurčitosti vyžaduje pravděpodobnostní řešení sledovaného problému. Příkladem je výpočet maximální roční efektivní dávky jedince z kritické skupiny obyvatel. Každý jedinec z kritické skupiny se vyznačuje typickými vlastnostmi (stravovací návyky, fyziognomie, ...), které způsobují, že v praxi se nestanovují cílové parametry pro každého jedince individuálně. Současně výsledek ovlivňují i
- neurčitosti typu B způsobené nedostatečnou znalostí vstupních dat. V bezpečnostních analýzách HÚ se prakticky vždy vyskytují neurčitosti tohoto typu a způsobují nepřesnosti deterministických odhadů vlivů úložných systémů na obyvatelstvo a složky ŽP. Z tohoto důvodu lze v současnosti sledovat obecný trend přechodu z deterministických na stochastické programy, které umožňují kvantifikovat tento druh neurčitostí.

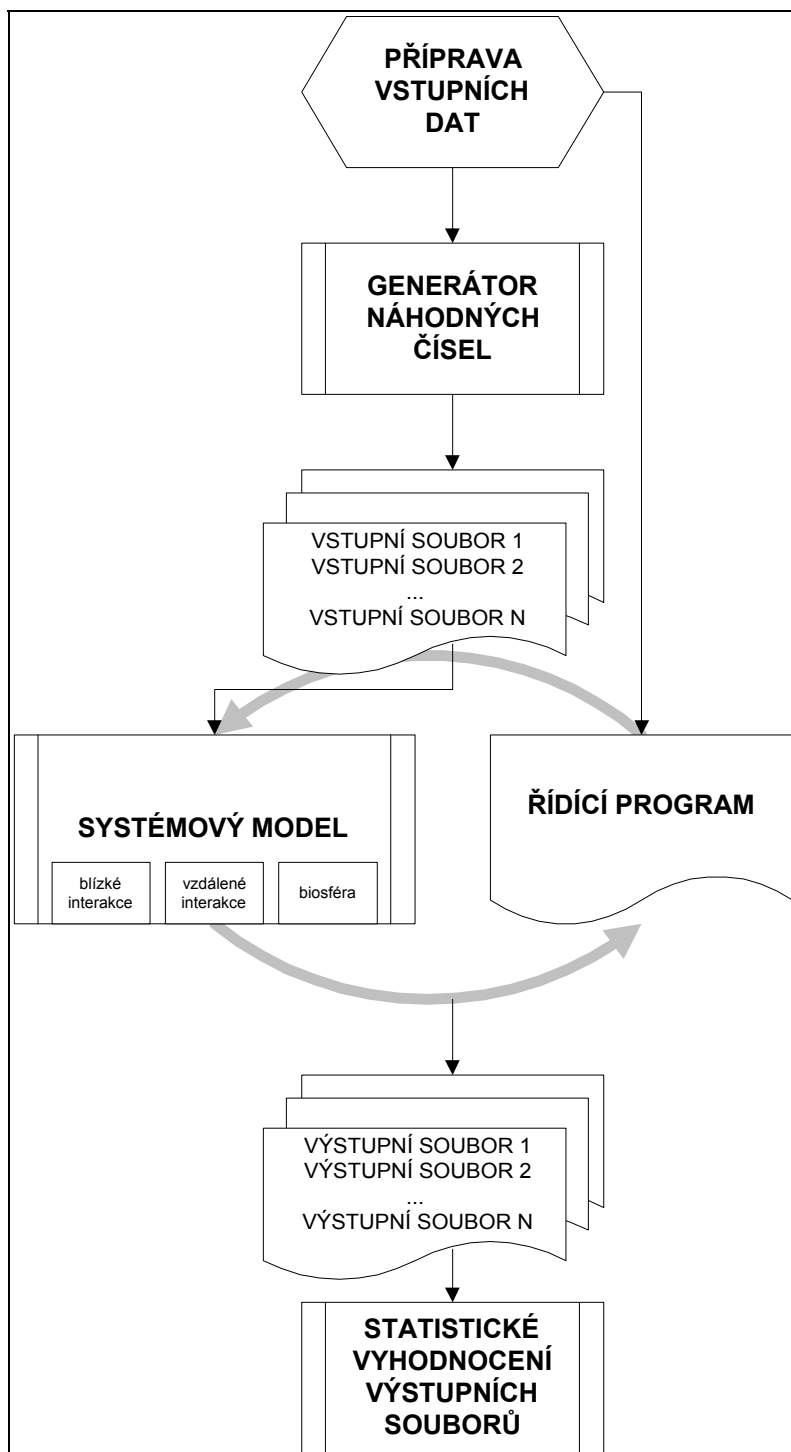
Neurčitosti vstupních dat a parametrů modelových nástrojů jsou typicky charakterizovány rozsahem a distribuční funkcí hodnot, případně střední hodnotou a odchylkou. Analýza neurčitostí sleduje šíření neurčitostí vstupních dat v použitých modelech a v jejím důsledku jsou výsledné hodnoty prezentovány v podobě pravděpodobnostních funkcí (viz obr. 2.4). Existují 4 základní techniky analýz neurčitostí :

- metoda Monte Carlo je založena na náhodném generování souboru vstupních dat podle předepsaných distribučních funkcí. Pro každý z vygenerovaných souborů vstupních dat je vyhodnocen vybraný matematický model pomocí vhodného

simulačního programu. Tento proces se cyklicky opakuje tolikrát, kolik je nutné pro dosažení požadované přesnosti výsledků. Závěrem jsou statisticky vyhodnoceny výsledky celé simulace pomocí distribučních funkcí, středních hodnot a odchylek sledovaných parametrů.

Technika Monte Carlo je schematicky znázorněna na obr.2.4. Prvním krokem je tvorba vstupních souborů a řídicího programu na základě generování události podle požadované hustoty pravděpodobnosti. Tato funkce (PDF) může být stanovena postupem nezávislým na výpočetním programu, nebo je někdy součástí komplexnějších modelových nástrojů. Dalším krokem je aplikování takto získaných parametrů na celkový systémový model včetně uvažovaných podprogramů. Tento cyklus se opakuje tak dlouho, až je vyplněno kritérium maximálního počtu událostí, event. kritérium přesnosti statistického výběru, které je průběžně kontrolováno řídicím programem. Posledním krokem pravděpodobnostní analýzy je statistické vyhodnocení výsledků. Vzhledem k poměrně rozsáhlým možnostem vyhodnocení je výhodnější použít několika nezávislých programů, jejichž vstupy jsou odvozeny z výstupních souborů pravděpodobnostní analýzy popřípadě jsou s nimi zcela identické.

- metoda regresních modelů využívá náhradu komplexních matematických modelů tzv. regresním modelem, který je založen na analýze výstupu původního modelu (lineární vs. nelineární závislost)
- diferenciální analýza vychází z Taylorova rozkladu matematických modelů. Základním bodem této metody je stanovení derivací sledovaných proměnných v závislosti na vstupních parametrech. Po vypracování náhradního modelu lze pro účely analýzy neurčitosti použít Monte Carlo simulaci.
- geostatistické metody jsou standardní metody, které se používají zejména v hydrogeologii a báňském průmyslu a zabývají se prostorovou korelací vstupních proměnných. Z tohoto důvodu jsou využívány zejména v oblasti pole vzdálených interakcí. Příkladem geostatistické metody je kriging, který stanovuje hodnoty sledovaných veličin (např. hladin podzemní vody) v bodech, pro které neexistují experimentální data a současně vyhodnocuje i neurčitosti těchto předpovědí.



Obr.2.4 Všeobecné schéma analýzy neurčitosti s použitím metody Monte Carlo

Neurčitosti vstupních dat lze zredukovat pouze 2 základními způsoby: získáním dodatečných experimentálních vstupních dat a získáním dodatečných informací o stávajících parametrech a koeficientech, které byly odvozeny z dostupných vstupních dat. V procesu získávání dodatečných vstupů hraje důležitou úlohu citlivostní analýza, která identifikuje ta vstupní data, která nejvýrazněji měrou ovlivňují kvalitu výstupních

hodnot. Dodatečné informace, které redukují neurčitosti parametrů a koeficientů, lze rozdělit do 3 skupin [4] :

- informace založené na nepřímém stanovení sledovaných proměnných. Příkladem je určení pórovitosti hostitelské horninové struktury, která z definice pórovitosti leží v rozmezí 0 až 1 a pro granitové masivy ji lze dále upřesnit,
- korelace proměnných, která může omezit neurčitosti výstupů tím, že neuvažuje situace, které odporují korelačním předpokladům; např. pokud jsou vysoké hodnoty hydraulické vodivosti svázány s vysokými hodnotami pórovitosti, tak tato korelace aplikovaná do použitého hydrogeologického a transportního modelu redukuje neurčitosti výstupů tím, že neuvažuje kombinaci vysoké hydraulické vodivosti s nízkou pórovitostí,
- autokorelace je časová nebo prostorová vazba hodnot sledované proměnné. S prostorovou autokorelací hodnot se pracuje zejména v geologii a hydrogeologii. Tento typ autokorelační analýzy se obecně nazývá geostatistika.

Podstatou neurčitostí modelů je ta skutečnost, že každý model je zjednodušením skutečné situace. Zjednodušující předpoklady použité při konstrukci scénářů vstupují touto cestou do celého procesu bezpečnostní analýzy. Při interpretaci scénářů je nutno zohlednit několik faktorů ovlivňujících neurčitost výsledků :

- účel analýzy; např. předpoklady použité při konstrukci konzervativních scénářů pro účely screeningových výpočtů mohou v následujících etapách bezpečnostní analýzy vnášet do celkového řešení značný stupeň neurčitosti, který výrazně snižuje realističnost řešených scénářů,
- základní charakteristika scénářů (předprovozní, provozní, poprovozní a havarijní scénáře),
- prostorové rozlišení; požadavky na obecné, regionální nebo lokální hodnoty parametrů jsou součástí vybraných scénářů,
- časové rozlišení výsledků, které souvisí s celkovým časovým horizontem bezpečnostní analýzy HÚ.

Faktory, přispívající k neurčitosti koncepčních modelů, jsou jednak ve zjednodušujících předpokladech, na nichž jsou založeny, a jednak v nedostatečném rozsahu dostupných vstupních údajů skutečného úložného systému včetně změn těchto údajů ve vzdálených časových horizontech. Následně k těmto faktorům přistupují faktory neurčitosti matematických modelů :

- nedostatečná teoretická znalost modelovaných procesů a z ní vyplývající neadekvátní matematický popis těchto procesů,
- omezení detailnosti matematických modelů v důsledku praktické nedostupnosti relevantních vstupních dat,

- neurčitosti analytických, semianalytických a numerických metod řešení, řídicích rovnic matematických modelů; např. analytická řešení rovnic jsou často vyjádřena ve formě konečného počtu členů nekonečných řad, které je popisují (Besselova funkce,...). Tato omezení ve svém důsledku přispívají k celkové neurčitosti matematických modelů,
- využití empirických modelů může vést ke značným chybám, pokud jsou použity pro podmínky, které nejsou v souladu s podmínkami, za kterých byly vyvinuty.

Neurčitosti matematických modelů obecně nebývají kvantifikovány v bezpečnostních analýzách z důvodů jejich minimalizace v procesu vývoje modelů. Poslední skupinou zdrojů neurčitostí jsou neurčitosti související s počítačovými programy, jako chyby při programování, výpočetní omezení a chyby uživatelů programů. Tento typ neurčitostí je minimalizován v procesu QA.

V praxi se neurčitostí modelů obvykle redukuje až po vývoji návazného počítačového programu. Jak bylo uvedeno, samotný vývoj programů je řízen procesy QA. Na tyto procesy navazují verifikační a validační testy. Zejména validaci modelů lze chápat jako celkový test neurčitosti modelů, který pokrývá všechny etapy až po vývoj počítačového programu. Ideální situace, kdy by na základě srovnání modelových výpočtů a skutečných dat získaných v požadovaném časovém a prostorovém rozsahu bylo možno validovat každý model použitý pro účely bezpečnostní analýzy HÚ, není reálná. Vzhledem k časovému rozsahu analýz lze pouze doložit, že sledovaný model vhodně nepopisuje zkoumané události a procesy. Pro pozitivní validaci modelů lze využít jiných validačních postupů založených na obecných event. lokálních laboratorních testech, in-situ experimentech a na využití přírodních analogů.

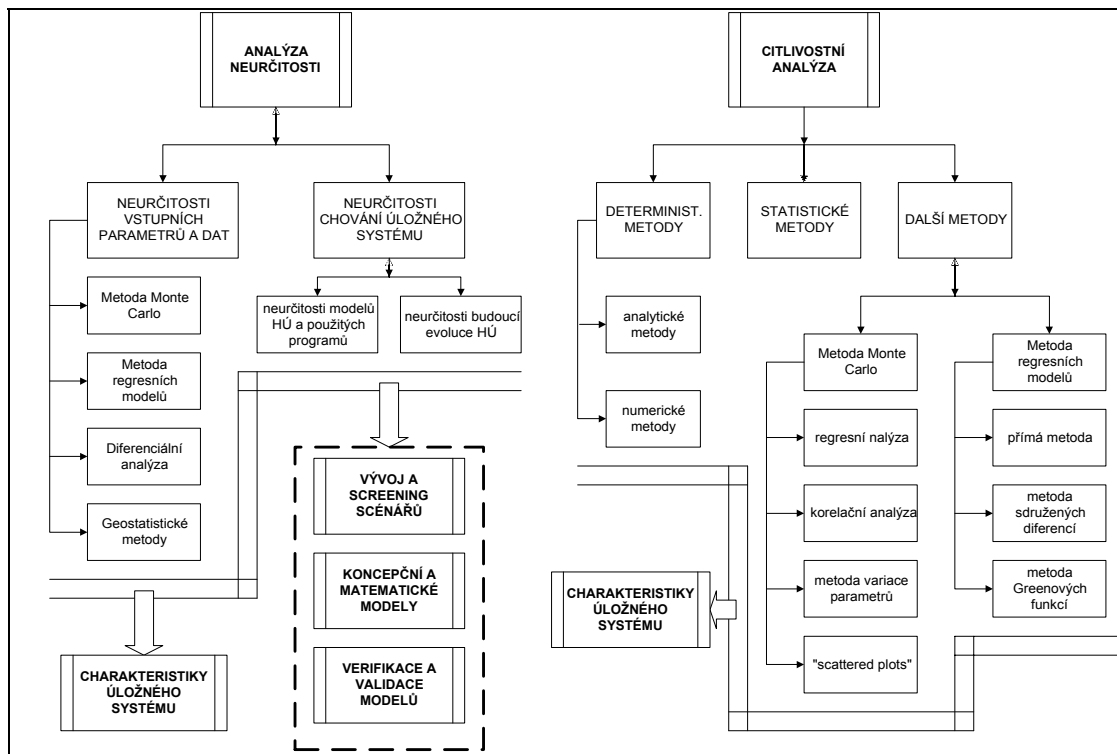
Citlivostní analýza kvantifikuje vliv změn hodnot vstupních parametrů modelů na jejich výsledky a katalogizuje tyto parametry podle jejich významnosti. Tento výběr je důležitý z několika důvodů :

- definice priorit při získávání dodatečných vstupů do použitých modelů,
- redukce počtu parametrů sledovaných v analýze neurčitosti,
- odůvodnění použití jednodušších modelů jako náhrady složitějších modelů bez ztráty požadované přesnosti výsledku.

Existují dvě základní metody citlivostních analýz - deterministická a statistická. Deterministická metoda je založena na odhadu parciálních derivací odezvové funkce podle jednotlivých vstupních parametrů. Pro jednodušší modely lze stanovit parciální derivace analyticky, pro složitější numerickými aproximacemi. Statistická metoda spočívá ve srovnání regresních koeficientů odezvoových funkcí s původním modelem.

V procesu citlivostní analýzy lze využít i některé z metod analýzy neurčitostí, zejména metodu Monte Carlo a metodu regresních modelů. Na těchto metodách jsou založeny některé techniky, kterými lze nahradit klasické postupy citlivostní analýzy; např. regresní a korelační analýza, metoda variace parametrů a metoda rozptýlených grafů (scattered plots).

Závěrem této kapitoly lze konstatovat, že metody analýzy neurčitosti a citlivostní analýzy se v současnosti dostávají do popředí nejen při přípravě modelových nástrojů pro potřeby Programu, ale ovlivňují i jiné etapy bezpečnostní analýzy HÚ (viz obr. 2.5). Posuv od deterministických k stochastickým modelům je význačným trendem ve většině zahraničních projektů vývoje hlubinných úložných systémů, protože zejména zjednodušují kvantifikaci evoluce systému ve vzdálených časových horizontech typických pro bezpečnostní rozbor HÚ.



Obr. 2.5 Propojení analýzy neurčitosti a citlivostní analýzy se dalšími etapami bezpečnostní analýzy

### Kvantifikace zdrojového členu, pole vzdálených interakcí a biosféry

Součástí dokumentace EIA a ZBZ je i modelový výpočet pro všechny složky úložného systému, které jako celek tvoří základní podklady pro bezpečnostní analýzu HÚ. **Cílem modelového výpočtu je, v této etapě Programu vývoje HÚ RAO v podmínkách ČR, demonstrovat aplikaci principů, uvedených v předešlých kapitolách, na názorném vzorovém příkladě založeném na dostupných informacích o HÚ a hypotetické lokalitě. Kvantitativní výsledky těchto modelových výpočtů nelze považovat za směrodatné v dalších etapách Programu z důvodu značně omezených znalostí o vlastnostech a chování úložného systému ve vzdálených časových horizontech.** Z tohoto důvodu nemusí být použité koncepční a matematické modely a jejich vstupní parametry relevantní pro specifické podmínky úložného systému, které budou s dostatečnou přesností dostupné po dokončení dalších etap Programu. Následně závěry, plynoucí z analýzy neurčitosti a citlivostní analýzy jednotlivých složek úložného systému, jak jsou uvedeny v ZBZ, bude nutno průběžně aktualizovat v návaznosti na výsledky dílčích projektů řešených v rámci Programu vývoje HÚ RAO v podmínkách ČR.

Modelový výpočet zdrojového členu pro vybraný kontaminant s dlouhým poločasem přeměny a dostatečně velkým počátečním inventářem (U-238,  $T_{1/2}=4,15 \cdot 10^9$  let,  $1,4 \cdot 10^9$  Bq) je založen na následujících předpokladech :

- v HÚ je uloženo 16167 palivových článků z provozu reaktorů VVER-440,
- rychlost degradace ÚOS odpovídá normálnímu rozdělení se střední hodnotou životnosti ÚOS 1000 let a standardní odchylkou 400 let,
- tok kontaminantu z degradovaného ÚOS lze charakterizovat jako difúzně - advektivní proces, při kterém dochází k prostupu kontaminantu tlumícím materiálem na bázi bentonitu procesem molekulární difúze a následně k advekci v okolním horninovém prostředí. Model je použitelný pro stacionární únik kontaminantu z ÚOS v důsledku konstantní hodnoty rozpustnosti kontaminantu. Analytické řešení koncepčního modelu má tvar [5]:

$$I=4 \cdot p \cdot s \cdot e \cdot D_f \cdot R_0 \cdot C_s \cdot Sh \cdot R_1 \cdot K^{0,5} / [(Sh-1) \cdot \sinh(d) + R_1 \cdot K^{0,5} \cdot \cosh(d)] \quad (2.4)$$

kde I - tok kontaminantu [Bq/s]

s - tortuozita tlumícího materiálu [-]

e - pórovitost tlumícího materiálu [-]

$D_f$  - difúzní koeficient U-238 [ $m^2/s$ ]

$R_0$  - ekvivalentní poloměr matrice [m]

$R_1$  - ekvivalentní poloměr úložné šachty [m]

$C_s$  - koncentrace kontaminantu na povrchu matrice [ $Bq/m^3$ ]

$Sh = 1 + 0,5 \cdot Pe / (1 + 0,63 \cdot Pe)$

$Pe = R_1 \cdot u / D_f$

u - rychlost podzemní vody [m/s]

$K = l \cdot R_d / (s \cdot D_f)$

l - přeměnová konstanta [1/s]

$R_d$  - retardace U-238 v tlumícím materiálu [-]

$d = (R_1 - R_0) \cdot K^{0,5}$

- použité vstupní parametry jsou uvedeny v tabulce 2.2

Výsledný tok kontaminantu z HÚ je stanoven jako součin toku kontaminantu z 1 ÚOS podle rovnice (2.4) a počtu degradovaných ÚOS řízených Gaussovým rozdělením. Časový krok výpočtu odpovídá době úniku kontaminantu z ÚOS, která je při celkové

aktivitě U-238 v 1 ÚOS ( $1,4 \cdot 10^9$  Bq) a konstantním toku aktivity 0,54 Bq/s přibližně 80 let. Průběh únikové křivky podle obr. 2.6 je ovlivněn rychlostí degradace ÚOS.

Parametr	Hodnota	Rozměr
poloměr matrice	0,325	m
tloušťka tlumícího materiálu	0,26	m
rychlost podzemní vody	$5 \cdot 10^{-5}$	m/s
pórovitost tlumícího materiálu	0,4	-
tortuozita tlumícího materiálu	50	-
měrná hmotnost tlumícího materiálu	1850	kg/m <sup>3</sup>
koefficient molekulové difúze (U-238)	$5 \cdot 10^{-13}$	m <sup>2</sup> /s
retardace (U-238)	883	-
počáteční objemová aktivita U-238	$3,35 \cdot 10^9$	Bq/m <sup>3</sup>

Tab. 2.2 Vstupní parametry modelu zdrojového členu

Obdobně jako model zdrojového členu je i modelový výpočet pole vzdálených interakcí založen na několika zjednodušujících předpokladech :

- proudění kontaminantu probíhá v puklinovém prostředí, v 1000 mikroskopických puklinách o mocnosti  $10^{-4}$  m. Délka každé z puklin je 700 m.
- tok kontaminantu v každé z puklin je řízen transportní rovnicí:

$$R_f \cdot dc/dt - D \cdot d^2c/dz^2 + u \cdot dc/dz + R_f \cdot l \cdot c + I(z,t)/b = 0 \quad (2.5)$$

kde  $c(t,z)$  - koncentrace kontaminantu v puklině [Bq/m<sup>3</sup>]

$R_f$  - retardace kontaminantu v puklině [-]

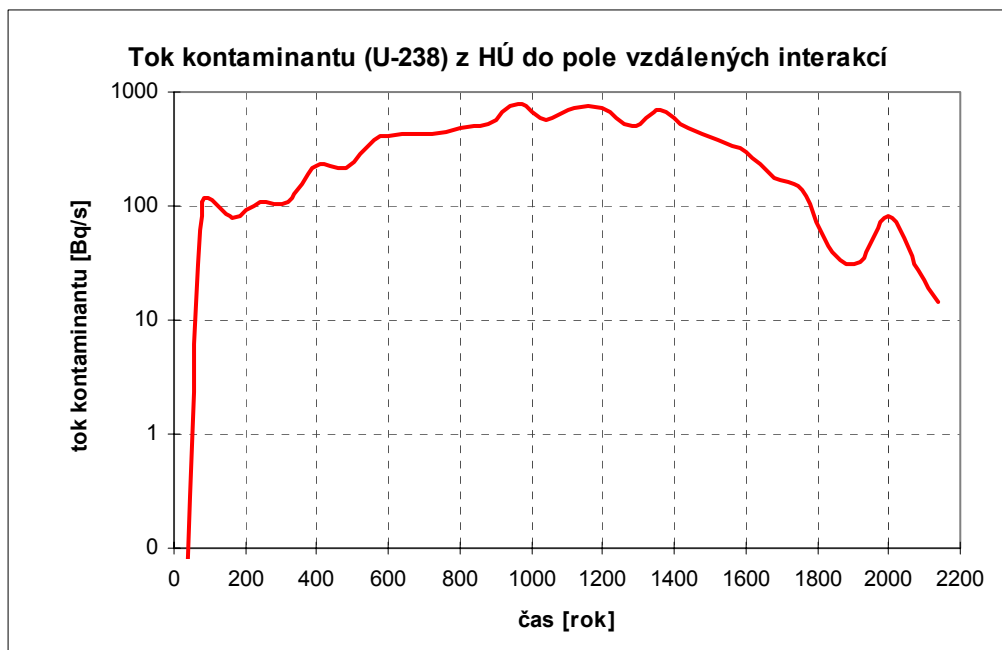
$u$  - rychlost podzemní vody v puklině [m/s]

$D$  - koefficient podélné disperze [m<sup>2</sup>/s]

$b$  - pološířka pukliny [m]

$l$  - přeměnová konstanta [1/s]

$I(z,t)$  - difúzní tok z pukliny do hostitelské horniny [Bq/m<sup>2</sup>.s].



Obr. 2.6 Deterministické výsledky modelu pole blízkých interakcí

Řešení rovnice (2.5) pro nulovou koncentraci kontaminantů v puklině v čase  $t=0$  s (počáteční podmínka) a okrajové podmínky:

$$D \cdot \frac{dc}{dz} + u \cdot c(0,t) = u \cdot c_0 \cdot \exp(-l \cdot t) \quad (2.6)$$

$$C(\infty, t) = 0 \quad (2.7)$$

je podle [6]:

$$c = c_0 \cdot \exp(-l \cdot t) \cdot \operatorname{erfc} \left[ \frac{R_f \cdot z}{A \cdot u} \cdot (t - R_f \cdot z / u)^{0.5} \right] \quad (2.8)$$

kde  $c_0$  - počáteční koncentrace kontaminantu [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ]

$$A = b \cdot R_f / [n \cdot (D_f \cdot R_p)^{0.5}]$$

$n$  - pórovitost hostitelské hornině [-]

$D_f$  - difúzní koeficient v hostitelské hornině [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

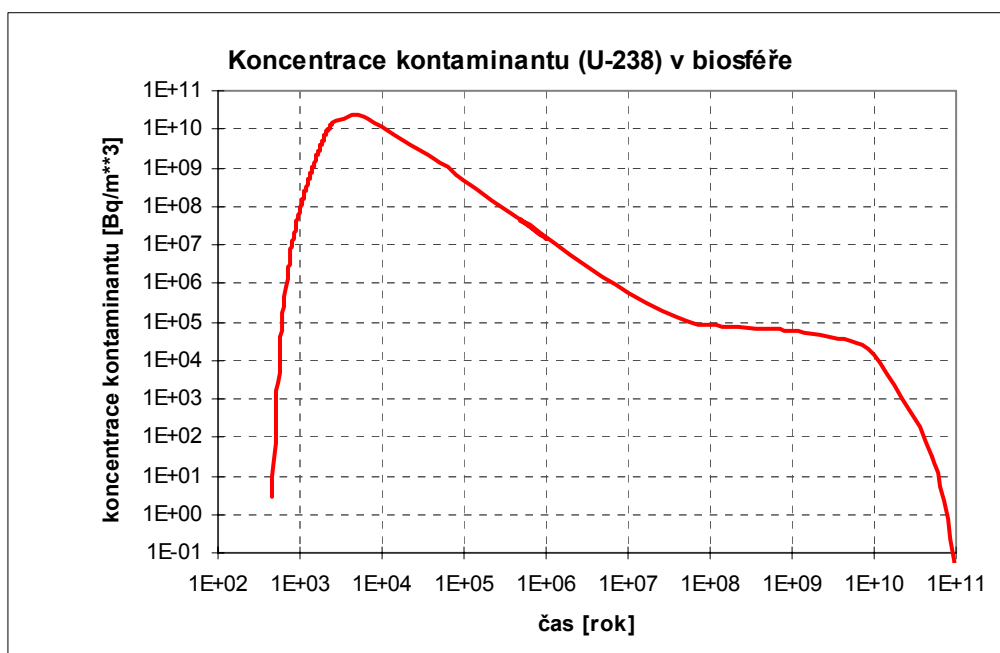
$R_p$  - retardace v hostitelské hornině [-]

- vstupní hodnoty parametrů modelu vzdálených interakcí jsou uvedeny v tab. 2.3.

Výsledný časový průběh koncentrace U-238 je uveden na obr.2.7 a odpovídá koncentraci kontaminantu v složkách biosféry, přímo zasažených únikem kontaminantu z úložného díla. Obecně se jedná zejména o porézní saturované event. nesaturované prostředí, které dosahuje hloubek řádově jednotek až desítek metrů pod povrchem. Tato oblast je primárním zdrojem kontaminace pro další složky biosféry a expoziční cesty.

Parametr	Hodnota	Rozměr
mocnost pukliny	1,00E-04	m
rychlost puklinové podzemní vody	5,06E-05	m/s
koeficient difúze v hostitelské hornině	1,00E-11	m <sup>2</sup> /s
pórovitost granitového prostředí	0,01	-
měrná hmotnost hostitelské horniny	2700	kg/m <sup>3</sup>
měrná hmotnost puklinového prostředí	2400	kg/m <sup>3</sup>
transportní vzdálenost	700	m
Kd (U) hostitelské horniny	0,09	m <sup>3</sup> /kg
Kd (U) puklinového prostředí	0,002	m <sup>3</sup> /kg

Tab. 2.3 Vstupní parametry modelu vzdálených interakcí



Obr. 2.7 Deterministické výsledky modelu pole vzdálených interakcí

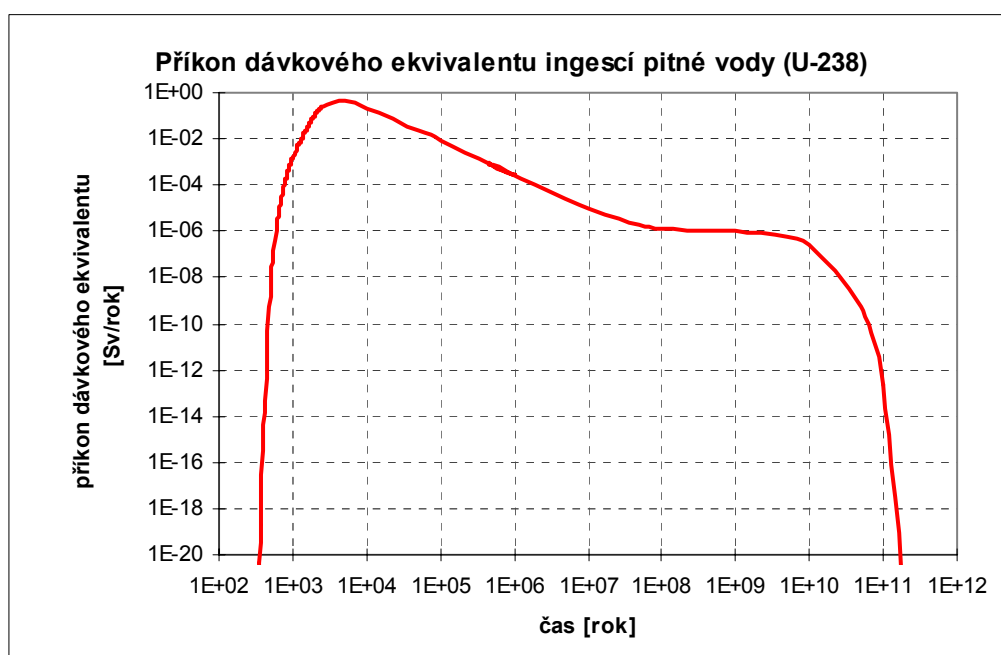
Poslední skupina výsledků se týká vyhodnocení expozičních cest v biosféře. Vzhledem k tomu, že z většiny bezpečnostních a rizikových analýz vychází jako nejkritičtější přímá ingesce pitné vody z podzemního zdroje, byla tato cesta vyhodnocena i pro účely Referenčního projektu. Pro reálné HÚ bude ale nutno tuto tezi potvrdit a identifikovat i další z kritických expozičních cest, kterých pořadí je výrazně ovlivněno konečným výběrem lokality úložného systému.

Vyhodnocení příkonu dávkového ekvivalentu přímou ingescí pitné vody je založeno na vztahu (2.3), který zohledňuje možnost využití povrchových vod jako zdrojů pitné vody a přítomnost suspenzí. Pro účely demonstračního výpočtu se vycházelo z předpokladu, že všechna pitná voda je získávána z podpovrchových zdrojů a není filtrována. Přehled použitých parametrů je uveden v tab. 2.4.

Výsledný průběh příkonu dávkového ekvivalentu je uveden na obr. 2.8. Výsledný časový průběh dávky kopíruje únikovou křivku podle obr. 2.7, protože obecně je retardace kontaminantu ve složkách biosféry o několik řádů nižší než časový horizont bezpečnostní analýzy HÚ.

Parametr	Hodnota	Rozměr
spotřeba pitné vody	0.73	m <sup>3</sup> /rok
dávkový konverzní faktor pro U	4.50E-08	Sv/Bq
frakce pitné vody ze studny	1	-
koeficient filtrace suspenzí	0	-
koncentrace suspenzí ve vodě	0.1	kg/m <sup>3</sup>
pórovitost zvodnělé vrstvy	0.2	-
saturace zvodnělé vrstvy	0.2	-
Kd (U) ve zvodnělé vrstvě	0.997	m <sup>3</sup> /kg
měrná hmotnost zvodnělé vrstvy	2650	kg/m <sup>3</sup>

Tab. 2.4 Vstupní parametry modelu biosféry



Obr. 2.8 Deterministické výsledky biosférického modelu

Výsledky citlivostní analýzy, které jsou detailněji popsány v ZBZ, lze zesumarizovat do následujících bodů :

- pole blízkých interakcí - na +/- 50% změnu hodnot jsou nejvíce citlivé geometrické rozměry ÚOS a tlumícího materiálu a ve stejné míře pórovitost, koeficient molekulární difúze, tortuozita a počáteční aktivita. Změna rychlosti podzemní vody ovlivňuje výslední tok kontaminantu pouze minimálně. Pro řádové změny

vybraných parametrů je vzhledem ke zvolenému modelu blízkých interakcí nejdůležitější hodnota koeficientu molekulové difúze,

- pole vzdálených interakcí - nejvíce výslednou koncentraci sledovaného kontaminantu ovlivní změna transportní vzdálenosti v poli vzdálených interakcí a rychlost puklinové podzemní vody. Vliv dalších parametrů (koeficientu molekulové difúze, distribučního koeficientu, pórovitosti... ) je srovnatelný. Řádové změny koeficientu molekulové difúze a distribučního koeficientu  $U$  vedou k výraznému posuvu maxima únikové křivky směrem ke kratším časům a vyšším hodnotám maximální koncentrace. Ještě výrazněji se obdobný efekt projeví při poklesu rychlosti puklinové podzemní vody,
- biosféra - výsledná hodnota příkonu je nejvíce závislá na velikosti měrné hmotnosti zvodnělé vrstvy, distribučního koeficientu  $U$  ve zvodnělé vrstvě a dávkového konverzního faktoru  $U$  pro ingesční expoziční cestu.

### 2.1.1.3 Neradiační vlivy provozu HÚ a poprovozního období na obyvatele

Značná část kontaminantů obsažených v inventáři hypotetického HÚ může působit nepříznivě na zdraví vybrané kritické skupiny obyvatel nejenom v důsledku jejich radiační proměny, ale taky v důsledku jejich toxického působení na živé organizmy. Při vyhodnocení vztahu dávka - odpověď se rozlišují kontaminanty na kontaminanty karcinogenní a nekarcinogenní. Důvodem této kategorizace jsou dvě koncepce průběhu závislosti účinku od dávky.

Pro prahový průběh (nekarcinogenní látky) lze nalézt horní hranici úrovně expozice, která zůstane bez negativního účinku. Kvantifikovat lze tuto prahovou úroveň pomocí referenční dávky (RfD), která je definována jako denní expozice, která při celoživotní expozici pravděpodobně nezpůsobí poškození zdraví [7].

Koncepce hodnocení účinků karcinogenních látek je založena na předpokladu, že škodlivý účinek kontaminantu se může projevit již při nejmenších dávkách; se stoupající dávkou stoupá jeho pravděpodobnost [7]. Parametrem charakterizujícím tuto závislost je směrnice závislosti dávka - odpověď v oblasti nízkých dávek, který se obvykle stanovuje samostatně pro orální a inhalační cestu (OSF, IUR).

### Analýza rizika

Jednou ze základních metod hodnocení vlivu stavby a provozu HÚ je analýza rizika, která umožňuje kvantitativně vyhodnotit pravděpodobnost nepříznivých ekologických vlivů na obyvatelstvo a složky ŽP. Riziko je podle [7] pravděpodobnost, se kterou dojde za definovaných podmínek expozice k projevu nepříznivého účinku. Riziko může být definováno jako funkce nebezpečnosti dané látky a expozice příslušného exponovaného subjektu. Cílem analýzy rizika je charakterizovat existující a budoucí rizika plynoucí z výstavby, provozu a dlouhodobé existence úložného systému po ukončení jeho provozu.

Koncepce analýzy rizika je prakticky identická se strukturou bezpečnostní analýzy podle obr. 2.2. Základním rozdílem je zejména legislativní rámec analýzy rizika a následně i finální výstup z analýzy rizika, kterým je nárůst rizika karcinogenních a nekarcinogenních onemocnění v důsledku výstavby, provozu a dlouhodobé existence HÚ. Vzhledem ke srovnatelné osnově bezpečnostní analýzy a analýzy rizika jsou omezení, vycházející ze současného stavu Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR, aplikovatelná i na analýzu rizika v rozsahu uvedeném v kap. 1.

### Legislativní prostředí

Posouzení potenciálních dopadů HÚ na obyvatelstvo se realizuje podle principů mezinárodně užívaných metod hodnocení rizika, např. pomocí metodického pokynu U.S. EPA - „Proposed Guidelines for Ecological Risk Assessment“ [8] a „The Risk Assessment Guidelines [9]. Poslední ze zmiňovaných dokumentů je podkladem nejenom pro Metodické pokyny MŽP ČR k hodnocení rizik [10], ale i pro dokumenty EU pro hodnocení rizik, zejména Směrnice pro hodnocení a řízení rizik pro člověka a ŽP EEC No. 1488/94.

Základní rámec rizikové analýzy podle US EPA je znázorněn na obr. 2.9. Obdélníky v každé etapě schématu znázorňují vstupy, šestiúhelníky pracovní postupy a kruhy výstupy jednotlivých etap.

Kvantifikace rizika karcinogenních a nekarcinogenních účinků kontaminantů se podle [10] stanovuje na základě vztahů :

$$\text{CVRK} = 1 - \exp(\text{OSF nebo IUR/LADD}) \quad (2.9)$$

$$\text{CVRP} = \text{CVRK} \times \text{velikost populace} \quad (2.10)$$

$$\text{HI} = \text{I/RfD} \quad (2.11)$$

kde CVRK - vzestup pravděpodobnosti karcinogenních onemocnění pro jednotlivce [-]

CVRP - vzestup pravděpodobnosti karcinogenních onemocnění pro populaci [-]

OSF - faktor sklonu pro orální (ingesční) cesty příjmu (Oral Slope Factor) [(kg.den)/mg]

IUR - riziko pro jednotkový inhalační příjem (Inhalation Unit Risk) [m<sup>3</sup>/mg]

LADD - průměrná celoživotní denní expozice [-]

RfD - referenční dávka pro orální (ingesční) cesty příjmu (Reference Dose for Chronic Oral Exposure) [mg/(kg.den)]

I - příjem kontaminantu [mg/(kg.den) event. Bq/(kg.den)],

Vzhledem k odlišnému působení kontaminantů v organismu v závislosti na základní cestě příjmu kontaminantu, se obecně kvantifikují karcinogenní a nekarcinogenní účinky kontaminantů na organismus odděleně pro ingesční (orální) a inhalační expoziční cesty. Vzhledem k prahovému charakteru nekarcinogenních účinků chemických kontaminantů je kritickou hodnotou indexu nebezpečnosti HI hodnota 1; tj. pro tuto hodnotu HI dosahuje příjem kontaminantu velikosti, od které se projevují nekarcinogenní účinky kontaminantu na lidský organismus. Pro karcinogenní účinky těchto chemických kontaminantů, které mají bezprahový charakter, je jejich kvantifikace založena na stanovení přijatelnosti rizika; tj. zvýšení pravděpodobnosti karcinogenních onemocnění. Z hlediska posouzení přijatelnosti rizika platí ve světě dohoda, že pro jednotlivce se za „ještě zdravotně bezpečnou“ považuje pravděpodobnost vzniku nádorového onemocnění  $10^{-4}$  [7].

### Výsledky analýzy rizika pro referenční HÚ v hypotetické lokalitě

V návaznosti na výsledky bezpečnostní analýzy uvedené v kap. 2.1.1 byl stanoven průběh rizika neradiálních účinků U-238 na lidský organismus. Na základě údajů z databáze IRIS jsou pro U soli dokumentovány pouze nekarcinogenní účinky pro orální příjem. Referenční dávka pro ingesci je podle této databáze 0,03 mg/(kg.d). Na základě vztahu (2.11) a koncentrace U-238 v biosféře byl stanoven průběh indexu HI.

Pokud by graf na obr. 2.10 odpovídal výsledkům analýzy rizika pro HÚ v konkrétní lokalitě, byla by kritická hodnota indexu nebezpečnosti překročena o několik řádů v téměř celém sledovaném časovém horizontu. Z tohoto důvodu je nutné na tomto místě zopakovat konstatování z kap. 2.1.1.1, že všechny uvedené kvantitativní výsledky **nelze považovat za směrodatné v dalších etapách Programu z důvodu značně omezených znalostí o vlastnostech a chování úložného systému ve vzdálených časových horizontech, které jsou dostupné v současné etapě Programu vývoje HÚ VJP a RAO v podmínkách ČR. Uvedené výsledky nelze proto interpretovat jako vědecký doklad o principiální nebezpečnosti a nerealizovatelnosti projektu, ale pouze jako ukázkou požadovaných výstupů z této části dokumentace EIA, která bude muset být vypracována pro konkrétní lokalitu HÚ.**

#### 2.1.2 Sociální a ekonomické důsledky

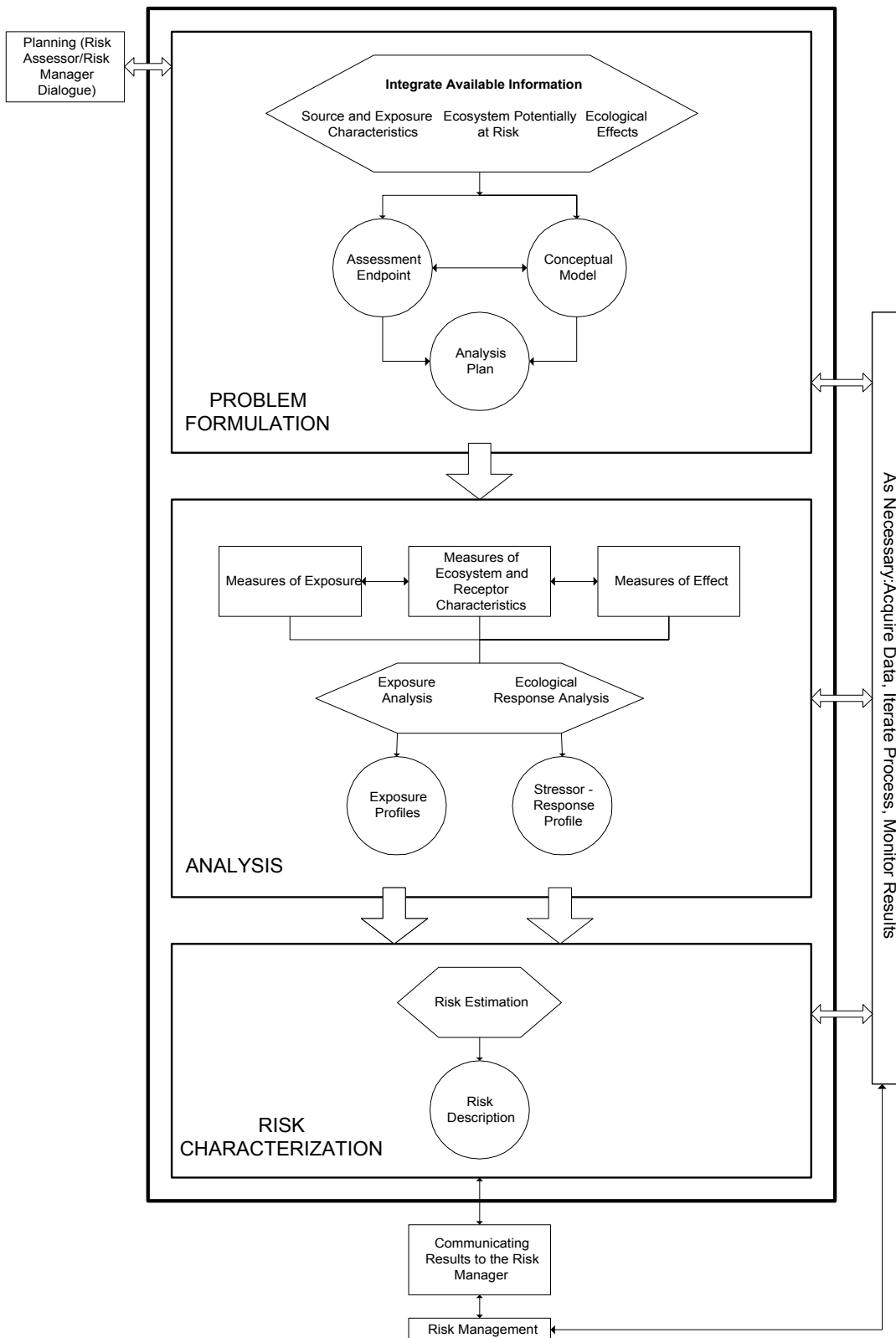
Posouzení sociálních a ekonomických důsledků je velice úzce vázáno na detailní znalost lokality budoucího HÚ. Vzhledem k tomu, že v rámci Referenčního projektu se pracuje pouze s hypotetickou lokalitou, lze pouze identifikovat požadavky na podklady, které umožní posoudit tyto důsledky. Jedná se zejména o :

- popis lokality z hlediska :
  - demografických charakteristik (počet obyvatel, index růstu, index stáří, nezaměstnanost,...),
  - zaměstnanosti a rozvoje podnikání (přehled podnikatelských subjektů v regionu a jejich zapojení do výstavby a provozu HÚ, vytvoření nových pracovních míst, ...),

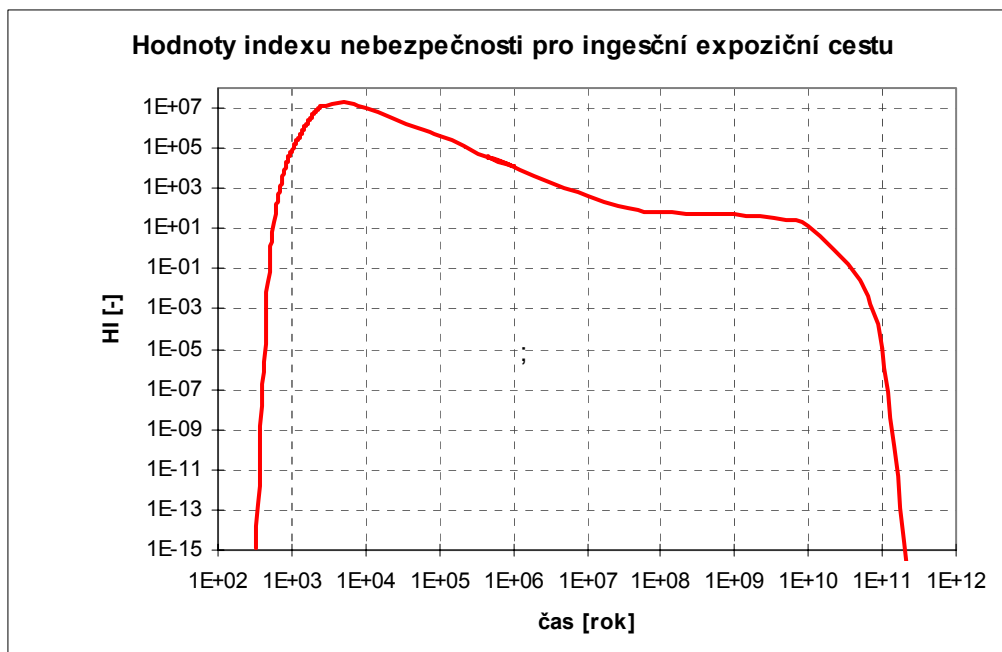
- dopravní obslužnosti území (železniční a autobusové spojení, silniční a železniční síť,...),
- rozvoje obcí v lokalitě HÚ,
- identifikaci subjektů, působících v lokalitě úložného díla,
- průzkum veřejného mínění v blízkém a vzdáleném okolí HÚ s důrazem na vnímání rizika v důsledku výstavby, provozu a i dlouhodobé existence HÚ v konkrétní lokalitě.

## **2.2 Počet obyvatel ovlivněných výstavbou a provozem HÚ**

Počet obyvatel ovlivněných výstavbou, provozem a i dlouhodobou existencí HÚ nelze v současné etapě rozpracovanosti Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR dostatečně přesně kvantifikovat. Z hlediska radiační ochrany budou ale přijata opatření, vycházející z bezpečnostních rozborů vlivu HÚ na obyvatelstvo a ŽP, které na základě principu ALARA budou minimalizovat vliv úložného systému na jedince z kritické skupiny obyvatel. Předběžně lze očekávat, že radiační důsledky pro obyvatelstvo okolních obcí budou řádově nižší, než je ozáření z přirozeného pozadí. Nejvýznamnější radiační efekt může být způsobem odvětráváním radonu z výdušné jámy úložiště v závislosti na výskytu v těžené hornině. Protože výskyt těžitelného množství nerostných surovin patří k vylučujícím kritériím pro umístění úložiště, nebude se však jednat o hygienicky významný faktor.



Obr. 2.9 Koncepcie rizikové analýzy podle U.S. EPA [8]



Obr. 2.10 Průběh HI pro ingesční expoziční cestu (U-238)

## 2.3 Narušení faktorů ovlivněných výstavbou a provozem HÚ

Narušení dalších faktorů ovlivněných výstavbou a provozem HÚ bude možno vyhodnotit až po rozhodnutí o lokalizaci HÚ. Vzhledem k charakteru stavby však lze označit za nejvýznamnější rušivý faktor dlouhodobý zábor území neumožňující jeho jiné využití.

## 2.4 Narušení faktorů pohody

Ve většině případů hodnocení vlivu jaderných zařízení na ŽP je měřitelný vliv ionizujícího záření podstatně méně význačný než vlivy psychogenní, spjaté s přehnanými obavami obyvatelstva z neznámého nebezpečí. Znepokojení může narůstat v důsledku neseriózních a jednostranných informací, které by rizika z výstavby, provozu a i dlouhodobé existence HÚ jednostranně zveličovaly. U citlivých osob můžou neurotické obtíže a v extrémních případech i psychosomatické tělesné choroby být důsledkem negativního náhledu na úložný systém a ne důsledkem samé výstavby a provozu HÚ. K pocitům, které mohou vyvolávat tyto zdravotní stavy, dále patří i obava z neznámého, pocit přezírání názorů dotčených občanů a šíření extrémních a vesměs nepodložených názorů některých odpůrců jaderné energetiky.

Jedním z nejúčinnějších preventivních opatření proti vzniku psychické zátěže v lokalitě výstavby nejenom HÚ, ale všech velkých, zejména jaderných, děl je objektivní a dostatečná informovanost formou srozumitelnou laické veřejnosti. Tu lze dosáhnout :

- pravidelnými informacemi místních zastupitelů o výstavbě a provozu HÚ včetně návštěv obdobných zařízení v zahraničí,

- veřejnými schůzemi občanů a odborníků k problematice konce palivového cyklu,
- vybudováním stálého informačního centra,
- vydáváním periodických a jednorázových publikací, informačních letáků a pod.,
- uspořádáním „dnů otevřených dveří“ ve vybraných částech úložného systému.

Dalším z nástrojů vytvoření zájmu občanů o výstavbu HÚ a eliminace psychické zátěže je sponzoring. Sponzorskými programy lze přispívat na rozvoj obcí, zdravotnictví, školství a ekologických projektů v lokalitě HÚ.

## 2.5 Literatura

1. Nabídka projektu „Referenční projekt HÚ RAO v hypotetické lokalitě“, EGP Invest s.r.o., srpen 1998
2. Zběhlík J., Miasnikov A., Řeháček R.: Směrnice k hodnocení výpočtových programů pro posuzování jaderné bezpečnosti, VDS-030, SÚJB Praha, 1996
3. Davis P.A. et al: Uncertainties Associated with Performance Assessment of High-Level Radioactive Waste Repositories, NUREG/CR-5211, Sandia National Lab., 1990
4. Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models, IAEA Safety Series 100, IAEA Vienna, 1989
5. Engel D.W., McGrail B.P., Worgan K., Apted M.J.: AREST-PNC Model Description, Battelle PNL, Contract No. 14838, March 1992
6. Chiou S., Li H.: Migration of Radionuclides in Fractured Porous Rock: Analytical Solution for a Flux-type Boundary Condition, Nuclear Technology, Vol. 101, January 1993
7. Postup zpracování analýzy rizika, Příloha zpravodaje MŽP ČR č.8/1996
8. Proposed Guidelines for Ecological Risk Assessment, U.S. EPA, EPA/630/R-95/002B, 1996
9. The Risk Assessment Guidelines, U.S. EPA, EPA/600/8-84/045, 1984
10. Metodický pokyn oboru ekologických rizik a monitoringu MŽP ČR k hodnocení rizik, Věstník MŽP ČR č.2/1996
11. Mlynář P.: Dokumentace o hodnocení vlivu stavby na životní prostředí - mezisklad vyhořelého paliva v areálu jaderné elektrárny Dukovany, InvestProjekt Brno, leden 1998
12. Blažek J. a kol.: Dokumentace o hodnocení vlivu na životní prostředí - centrální mezisklad vyhořelého jaderného paliva lokalita Skalka, EPP Praha, leden 1998

## 3 Vlivy HÚ na ekosystémy, jejich složky a funkce

### 3.1 Vlivy na ovzduší a klima

Vlivy na ovzduší vznikající v důsledku emisí znečišťujících látek do ovzduší v průběhu výstavby, provozu i ukončení provozu HÚ lze s dostatečnou přesností vyhodnotit až po konečném výběru lokality HÚ. V současnosti ale lze předpokládat, že kvalita ovzduší v lokalitě může být význačně ovlivněna pouze v období výstavby úložného systému v důsledku :

- navýšení prašnosti a emisí při výstavbě HÚ a
- zatížení emisemi z liniových zdrojů.

Pro odhad úrovně prašnosti po dobu výstavby HÚ je nutné shromáždit informace o :

- pozad'ové hodnotě prašného spadu v lokalitě HÚ podle platných metodických pokynů,
- časovém a prostorovém rozsahu zemních a těžebních prací, dopravě osob a materiálu na staveniště,
- intenzitě a ekologických dopadech silniční a železniční dopravy v lokalitě HÚ před a v průběhu výstavby úložného díla.

Předběžně lze očekávat negativní vlivy srovnatelné se známými vlivy z provozu dolů a kamenolomů s produkcí odpovídající objemu těžené horniny při výstavbě úložiště. Právním podkladem pro ohodnocení vlivu výstavby HÚ je Zákon č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami a Opatření FVŽP ze dne 1.10.1991 a 23. 6.1992 Sb. zákon č. 309/1991 Sb. kategorizuje zdroje znečištění podle velikosti a stanovuje povinnosti jejich provozovatelů z hlediska ochrany ovzduší. Detailní kategorizace zdrojů znečištění, včetně emisních limitů, je uvedena v opatřeních FVŽP. Podle této kategorizace patří kamenolomy do kategorie středních zdrojů znečišťování a platí pro ně emisní limity všeobecně platné. Povinnosti provozovatelů středních zdrojů znečišťování jsou uvedeny v §7 Zákona č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami. Dalšími právními předpisy, které se týkají středních zdrojů znečištění ovzduší jsou :

- vyhláška MŽP č. 205/1993 Sb., kterou se stanoví požadavky na vedení provozní evidence velkých a středních zdrojů znečišťování a rozsah dalších údajů poskytovaných jejich provozovateli orgánům ochrany ovzduší,
- vyhláška MŽP č. 270/1993 Sb. o způsobu zjišťování množství emisí a o technických prostředcích pro jejich měření u velkých a středních zdrojů znečišťování.

Podrobné hodnocení význačného zápachu nebude nutné, protože v období výstavby a provozu HÚ nebudou produkovány žádné zapáchající látky.

Souhrnně lze konstatovat, že na základě postulovaných vstupních dat a posouzení technologie výstavby a provozu dle referenčního projektu nepřipadají v úvahu faktory, které by mohly být svým významem na ovzduší a klima rozhodující pro umístění stavby.

### 3.2 Vlivy na vodu

Dalším ze skupiny vlivů HÚ na ekosystémy, který bude možné vyhodnotit až po výběru lokality HÚ, je vliv na množství a kvalitu vod v regionu. Základním podkladem pro tuto analýzu bude detailní hydrogeologická charakteristika území. Tato charakteristika bude paralelně využita i pro účely bezpečnostní analýzy - pole vzdálených interakcí. Následně bude možné posoudit i :

- vliv HÚ na změnu vodního režimu v území,
- vliv na množství vody a
- vliv na kvalitu vody.

Metodický postup při ohodnocení dlouhodobých vlivů na kvalitu vod je uveden v kap.2 a v ZBZ. Legislativním rámcem pro ochranu podzemních a povrchových vod je vyhláška MLVH ČSR č.6/1977 Sb. o ochraně jakosti povrchových a podzemních vod. Tato vyhláška identifikuje „radioaktivní zářiče a radioaktivní odpady“ jako závadné látky, které můžou znehodnotit povrchové a podzemní vody. vyhláška definuje opatření, která musí uživatel závadných látek činit pro to, aby nedošlo ke snížení jakosti nebo zdravotní nezávadnosti povrchových a podzemních vod :

- vhodně umístit zařízení, v nichž se závadné látky používají, zachycují, skladují, zpracovávají nebo dopravují tak, aby nedošlo nežádoucímu úniku látek do půdy nebo jejich nežádoucímu smísení s odpadními nebo srážkovými vodami,
- zabezpečovat ochranu jakosti vod při přípravě a realizaci investic,
- používat taková zařízení popřípadě způsobu při zacházení se závadnými látkami, které jsou vhodné i z hlediska ochrany jakosti vod,
- pravidelně kontrolovat sklady a skládky a zabezpečit jejich nepropustnou úpravu proti úniku závadných látek do podzemních vod,
- vybudovat odpovídající kontrolní systém pro zjišťování úniku závadných látek,
- obeznámit se s podmínkami stanovenými zvláštními předpisy pro zacházení se závadnými látkami z hlediska ochrany jakosti vod, popřípadě i s bezpečnostními předpisy.

Uživatel, který zachází se závadnými látkami ve větším rozsahu nebo kdy je zacházení s nimi spojeno se zvýšeným nebezpečím, má uživatel povinnost učinit ještě následující opatření :

- vypracovat plán havarijního opatření,
- připravit speciální přístroje a prostředky k zneškodnění havarijního zhoršení a k odstranění jeho škodlivých následků a pro tento účel odborně vyškolit příslušné pracovníky,
- vést záznamy o provedených opatřeních.

Ukazatele přípustného stupně znečištění vod jsou definovány v Nařízení vlády ČR č. 171/92 Sb., které závazně stanovuje podmínky pro vypouštění odpadních, zvláštních a důlních vod do vod povrchových. Nejvyšší přípustná míra znečištění odpadních vod je stanovena ukazateli I.

V případě, že by v období výstavby, provozu a ukončení provozu HÚ mohlo dojít k ovlivnění kvality podzemních vod určených k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, bude nutné vyhodnotit jejich kvalitu i z hlediska platných norem - např. ČSN 75 7111 a ČSN 75 7214. Norma ČSN 75 7111 obsahuje soubor obecných ukazatelů jakosti pitné vody včetně mezních hodnot. Norma ČSN 75 7214 posuzuje jakost surové vody z vodních zdrojů z hlediska její upravitelnosti na vodu pitnou ve vztahu k použité technologii úpravy vody.

### **3.3 Vlivy na půdu, území a geologické podmínky**

Referenční projekt předpokládá výstavbu nadzemní části HÚ o ploše cca 272 000 m<sup>2</sup>. Současné využití pozemku není vzhledem ke stupni rozpracování celého Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR známo a proto nelze určit trvalý zábor jednotlivých složek půdního fondu. Lze odhadnout, že se bude jednat o půdu nižších stupňů bonity využívanou doposud částečně jako zemědělskou půdu a částečně zalesněnou.

V průběhu výstavby a vlastního provozu HÚ se nepředpokládá, že by měla nastat významná kontaminace půdy. Případné úkapy pohonných hmot a maziv budou průběžně sanovány podle zpracovaného provozního řádu. Z dlouhodobého hlediska (10 000 - 1 000 000 let) ale nelze vyloučit ovlivnění kvality půdy v důsledku prostupu kontaminantů preferenčními cestami v poli vzdálených interakcí tak, jak je popsán v předešlé kapitole a ZBZ. Detailní vyhodnocení těchto vlivů bude součástí dalších etap Projektu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR.

Výstavbou HÚ může taky dojít ke změně charakteru lokality. Zejména v důsledku výšky plánovaných nadzemních objektů (cca 55 m) se tyto mohou stát dominantou území. Přesnější odhad vlivů na utváření krajiny a topografii bude ale možné až po výběru lokality HÚ.

Bez detailní znalosti geologické charakteristiky konkrétní lokality lze jen spekulovat o tom, jaké změny v hostitelské struktuře vyvolá budování a provoz hlubinného úložiště. Může se jednat zejména o :

- změny v oběhu podzemních vod,

- změny (zvýšení) teploty,
- změny geotechnických poměrů v masivu.

S ohledem na předpokládanou hloubku úložiště lze vyslovit předpoklad, že efekt uvedených, případně některých dalších, změn bude z regionálního pohledu nevýznamný. Kvantifikování možných změn z lokálního hlediska není možné před ukončením obou plánovaných etap geologických prací a před zpracováním bezpečnostních modelů.

Základní právní předpisy, vztahující se na vlivy HÚ na půdu, území a geologické podmínky, lze rozdělit do 3 kategorií :

- ochrana zemědělského půdního fondu - Zákon ČNR č. 334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu. Z hlediska legislativních podkladů pro výstavbu povrchové části HÚ tento zákon obsahuje přehled dokladů, které je nutno předložit orgánu ochrany zemědělského půdního fondu pro účely odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu v případě, že by výstavba HÚ vyžadovala zábor zemědělské půdy :
  - údaje evidence nemovitostí o pozemcích navrhovaných k odnětí ze zemědělského půdního fondu včetně jejich výměry a zákresu ve snímku pozemkové mapy,
  - výpis z evidence nemovitostí s vyznačením vlastnických, popřípadě užívatelských vztahů k dotčeným pozemkům,
  - vyjádření vlastníků popřípadě nájemců dotčených pozemků k navrhovanému odnětí,
  - výpočet odvodů za odnětí půdy ze zemědělského půdního fondu,
  - plán rekultivace, má-li být půda po ukončení účelu odnětí navrácena do zemědělského půdního fondu nebo rekultivována
  - předběžnou bilanci skrývky kulturních vrstev půdy a návrhu jejich hospodárného využití.
- ochrana lesního půdního fondu - vyhláška MLVH ČSR č.99/1977 Sb. o postupu při ochraně lesního půdního fondu definuje podmínky a postup při vynětí lesních pozemků z lesního půdního fondu. V případě, že by v průběhu výstavby HÚ bylo nutno vyjmout lesní pozemky z lesního půdního fondu, je na základě této vyhlášky nutno předložit žádost, která obsahuje :
  - podrobné zdůvodnění požadavku s uvedením údajů o uvažovaném použití lesních pozemků
  - údaje o celkovém rozsahu lesních pozemků, jejichž vynětí se předpokládá
  - údaje o lesních pozemcích podle evidence nemovitostí

- údaje lesního hospodářského plánu o lesních porostech, včetně jejich začlenění podle lesních typů
- grafické znázornění požadovaného rozsahu vynětí lesních porostů
- komplexní výpočet náhrad škod na lesních porostech a předpoklad zvýšených provozních nákladů
- propočet ekonomické efektivnosti investic při vynětí lesního pozemku
- návrh plánu rekultivace
- stanoviska dotčených orgánů státní správy
- vyjádření státní organizace lesního hospodářství, která dotčené lesy užívá popřípadě vykonává odbornou správu
- podrobné odůvodnění řešení z hlediska ochrany lesního půdního fondu a ostatních společenských zájmů, popřípadě v alternativách
- kdy a na jakou dobu se o vynětí z lesního půdního fondu žádá.

Uvedená vyhláška současně obsahuje strukturu plánu rekultivace a další požadavky na podklady, které musí být předloženy při zpracování návrhu na stanovení dobývacích prostorů a při zpracování dokumentace staveb.

- ochrana nerostného bohatství - Základní legislativní rámec geologických aktivit vedoucích k výběru a potvrzení lokality pro vybudování hlubinného úložiště je dán Zákonem č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon) ve znění Zákona č. 541/1991 Sb. :
  - zvláštními zásahy do zemské kůry se podle tohoto zákona rozumí zřizování, provoz, zajištění a likvidace zařízení pro:
    - uskladňování plynů nebo kapalin v přírodních horninových strukturách a v podzemních prostorech (podzemní zásobníky plynů a kapalin),
    - ukládání radioaktivních a jiných odpadů v podzemních prostorech,
    - průmyslové využívání tepelné energie zemské kůry s výjimkou tepelné energie vody vyvedené na povrch.
  - při vyhledávání a průzkumu výhradních ložisek jsou organizace povinny z hlediska ochrany a racionálního využití nerostného bohatství:
    - ověřovat výhradní ložisko tak, aby se zjistily a vyhodnotily všechny využitelné nerosty ložiska a jejich užitkové složky
    - ověřovat vývoj a úložní poměry výhradního ložiska tak, aby se výstavba dolů a lomů, otvírka, příprava a dobývání výhradního ložiska mohly

projektovat a uskutečňovat podle zásad báňské technologie a aby se zabezpečilo racionální využití zásob výhradního ložiska

- používat takové metody a postupy, aby nedošlo k znemožnění nebo ztížení využití výhradního ložiska nebo jeho části a k neodůvodněným ztrátám zásob výhradního ložiska
- zjistit skutečnosti potřebné k posouzení možných vlivů využívání výhradního ložiska na jiná ložiska, vody a jiné přírodní zdroje, na životní prostředí a na další zákonem chráněné obecné zájmy
- při přerušení vyhledávání nebo průzkumu provést opatření, aby se nezmařila důlní díla a neztížilo provádění dalšího průzkumu a využití výhradního ložiska.
- Na projektování, výstavbu, popřípadě rekonstrukci dolů a lomů včetně výsypek, odvalů a odkališť se vztahují obecné předpisy o investiční výstavbě, pokud tento zákon nestanoví jinak. Dokumentace staveb musí kromě náležitostí stanovených obecnými předpisy zajišťovat:
  - hospodárné využívání výhradních ložisek
  - optimální rozmístění povrchových a podzemních zařízení, staveb a důlních děl a použití nejvhodnějších dobývacích metod
  - ukládání a uchovávání vydobytých a dočasně nevyužívaných nerostů a ukládání odpadů (výsypky, odvaly a odkaliště)
  - ochranu před zničením nebo znehodnocením zásob sousedních výhradních ložisek
  - bezpečnost provozu a bezpečnost a ochranu zdraví při práci, zajištění důlních děl, větrání, čerpání a odvádění důlních vod, ochranu proti výbuchům, průvalům, požárům a otřesům, jakož i proti průtržím hornin, uhlí a plynů
  - omezení nepříznivých vlivů na životní prostředí
  - komplexní řešení území ovlivněného hornickou činností, zvláště pak řešení vztahů k jiným národohospodářským odvětvím, vlastníkům nemovitostí a zákonem chráněným obecným zájmům, a to nejen z hlediska přímých následků připravované investiční výstavby, nýbrž i z hlediska následků spojených s využitím výhradního ložiska, s uvedením objektů a zařízení, za které bude nutno plánovat náhradu
  - upřesňování zásob výhradního ložiska potřebným průzkumem.

Důlní díla a důlní stavby pod povrchem povoluje orgán státní báňské správy republiky.

- Organizace, jíž vzniklo oprávnění k dobývání výhradních ložisek je povinna vypracovat plány otvírky, přípravy a dobývání těchto ložisek. Plány otvírky, přípravy a dobývání musí zajišťovat dostatečný předstih otvírky a přípravy výhradního ložiska před dobýváním a jeho hospodárné a plynulé dobývání při použití vhodných dobývacích metod a zajištění bezpečnosti provozu. Součástí plánů otvírky, přípravy a dobývání je vyčíslení předpokládaných nákladů na vypořádání důlních škod vzniklých v souvislosti s plánovanou činností a na sanaci a rekultivaci dotčených pozemků včetně návrhu na výši a způsob vytvoření potřebné finanční rezervy.

Za významnou skutečnost je třeba považovat i to, že na zvláštní zásah do zemské kůry se nevztahují § 25 - 28 Zákona č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění pozdějších předpisů, které hovoří o dobývacím prostoru, jeho hranicích, stanovení a změnách. V § 27 (stanovení, změny a zrušení dobývacího prostoru) je v odstavci 6 konstatováno: *Stanovení a změna dobývacího prostoru je i rozhodnutím o využití území v rozsahu jeho vymezení na povrchu.* Územní řízení bude v tomto případě probíhat podle Zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Dalšími právními předpisy, které se vztahují nejenom k výběru lokality HÚ, ale i k dalším fázím geologických činností vedoucích k vyhledání lokality a k prokázání její vhodnosti pro účely výstavby HÚ jsou :

- Zákon ČNR č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon ČNR č. 62/1988 Sb., o geologických pracích ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška Českého geologického úřadu č. 121/1989 Sb., ve znění vyhlášky 543/1991 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, o udělování povolení a odborné způsobilosti k jejich výkonu.
- Vyhláška Českého geologického úřadu č. 8/1989 Sb., ve znění vyhlášky č. 363/1992 Sb., o registraci geologických prací, o odevzdávání a zpřístupňování jejich výsledků.
- Vyhláška Českého báňského úřadu 4. 435/1992 Sb., o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem.
- Vyhláška Českého báňského úřadu č. 72/1988 Sb., o používání výbušnin.
- Výnos Českého báňského úřadu 17/1981 Ú.v. ČSR č.j. 4600/81 o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a o bezpečnosti provozu pro vrtné a geofyzikální práce a pro těžbu, úpravu a podzemní skladování kapalných nerostů a plynů v přírodních horninových strukturách.

### 3.4 Vlivy na flóru a faunu

Vyhodnocení možných důsledků výstavby, provozu a existence HÚ na flóru a faunu je možné až po získání podkladů o současném stavu bioty v lokalitě HÚ. Na základě paralely s požadavky na ochranu ŽP člověka lze ale předpokládat, že dodržением kritérií stanovených pro ochranu zdraví lidí před účinky ionizujícího záření a toxicitou chemických polutantů budou přiměřeně chráněny i jiné rostlinné a živočišné druhy. Při posuzování HÚ hraje důležitou úlohu i ten fakt, že v období výstavby a normálního provozu HÚ nedojde k uvolňování kontaminantů do ŽP a následně potravních řetězců. Tato výhodná situace se ale může změnit ve vzdálených časových horizontech, v kterých může dojít ke kontaminaci složek ŽP. Jak již bylo uvedeno v předešlých kapitolách, tyto vlivy bude možné detailněji kvantifikovat až v dalších etapách vývoje HÚ. Zmíněné negativní estetické vlivy lze částečně eliminovat citlivým architektonickým ztvárněním jednotlivých nadzemních objektů.

Základním právním dokumentem ochrany flóry a fauny je Zákon ČNR č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny a vyhláška MŽP č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona ČNR č. 114/1992 Sb. Uvedené dokumenty definují povinnosti investorů, kteří zamýšlejí uskutečnit závažné zásahy ovlivňující chráněná území. Jedná se zejména o investorem hrazený přírodovědný průzkum a písemné zhodnocení vlivu zamýšleného zásahu na rostliny a živočichy. Výsledky přírodovědného průzkumu a biologického hodnocení slouží jako podklad pro rozhodování orgánu ochrany přírody.

### 3.5 Vliv na ekosystémy

Vliv HÚ na okolní ekosystémy bude nejvíce patrný v době výstavby díla. Neočekává se, že by tyto vlivy překročily únosnou mez a způsobily nevratné změny v přílehlých a vzdálenějších ekosystémech. Vlastní provoz zasáhne okolní společenstva jen minimálně.

Pro potřeby této části dokumentace EIA bude nutno po výběru lokality HÚ vypracovat podklady pro celkové vyhodnocení vlivů na ekosystémy obsahující :

- rozčlenění ekosystémů na homogenní celky,
- analýzu výchozího stavu abiotických faktorů,
- analýzu výchozího stavu biotické složky,
- přehled chráněných území a dalších přírodovědně cenných lokalit,
- vyhodnocení vlivů výstavby, provozu a období po ukončení provozu HÚ na strukturu a funkce ekosystému,
- návrh opatření na minimalizaci negativních vlivů.

Na úrovni rozhodování o umístění stavby lze současný stav informací pokládat za dostatečný ke konstataci, ekosystémy nebudou ovlivněny v neúnosné míře. Pro

povolání výstavby se však bude požadovat prohloubení těchto informací a předložení podrobnějších analýz.

## **4 Vlivy HÚ na antropogenní systémy, jejich složky a funkce**

### **4.1 Vliv na budovy, architektonické a archeologické památky a jiné lidské výtvořy**

Vzhledem ke skutečnosti, že HÚ bude situováno mimo sídelní útvary, je prakticky vyloučen jeho vliv na budovy a architektonické památky. Z tohoto důvodu se v současnosti nepředpokládá další podrobné hodnocení vlivu HÚ na uvedené antropogenní systémy.

Při provádění stavby HÚ může ale dojít k narušení archeologických památek při zásahu do nepoškozeného terénu. Tuto možnost nelze v současné době ani vyloučit ani potvrdit. V případě narušení archeologického naleziště by došlo k jeho zničení, vliv na architektonické památky by tedy byl přímý a nevratný. V tomto případě bude proto nutno uskutečnit záchranný archeologický výzkum, který sice památku rovněž zničí, ale zachová technickou dokumentaci a hmotné prameny. Alternativně lze uvažovat v případě velmi významné archeologické památky změnu generelu stavby, konzervaci naleziště a umožnění prohlídek této památky pro veřejnost.

### **4.2 Vliv na kulturní hodnoty nehmotné povahy**

Vliv na kulturní hodnoty nehmotné povahy možno vyhodnotit až po rozhodnutí o lokalizaci HÚ. Není pravděpodobné, že by při umístění stavby mimo sídelní útvary, kulturní a historické památky došlo k vlivům nehmotné povahy typu narušení místních tradic a pod.

### **4.3 Poškození a ztráty geologických a paleontologických památek**

Lokalita HÚ se bude vyhýbat známým oblastem, geologických a paleontologických památek. V případě nálezů v průběhu výstavby bude postupováno obdobně jako při nálezů archeologických památek.

## **5 Vlivy HÚ na strukturu a funkční využití území**

### **5.1 Vliv na dopravu**

Výstavba HÚ ovlivní silniční a železniční dopravu v celém regionu. Konkrétně se bude jednat o zvýšenou intenzitu dopravy po komunikacích, zejména v době výstavby a po

železnici v době výstavby a provozu HÚ z důvodu dopravy osob, zařízení, materiálů, VP a RAO do areálů HÚ.

## **5.2 Vliv navazujících souvisejících staveb, činností a infrastruktury**

Oblast, kde bude HÚ realizován, bude ovlivněn výstavbou souvisejících staveb (příjezdní komunikace, vlečka, přípojky sítě). Rovněž nelze vyloučit, vzhledem k počtu pracovníků a délce provozu HÚ, i bytovou výstavbu. Tato případná bytová výstavba a provoz HÚ si pravděpodobně vyžádá rozvoj navazující infrastruktury v regionu.

## **5.3 Vliv na estetické kvality a rekreační využití území**

Realizace HÚ významně ovlivní estetické kvality a rekreační využití krajiny. Stupeň tohoto ovlivnění je ale závislý na původních estetických kvalitách území a jeho rekreačním využití před zahájením výstavby HÚ a z tohoto důvodu může být detailněji specifikován až po výběru vhodné lokality HÚ. Estetické aspekty lze částečně eliminovat architektonickým řešením vycházejícím z charakteru krajiny, omezením dominantních prvků a omezením prvků typických pro průmyslové stavby. Vliv na případné rekreační využívání blízkého okolí bude záviset významně i na dopadu psychologických aspektů.

# **6 Ostatní vlivy**

## **6.1 Biologické vlivy**

Vzhledem k tomu, že příkony dávkového ekvivalentu z provozu a dlouhodobé přítomnosti HÚ v hostitelském prostředí budou muset vyhovovat platným legislativním předpisům, nelze předpokládat mutagenní jevy u flóry a fauny lokality úložného díla. S ohledem na povahu provozu je nepravděpodobný výskyt nebo přemnožení hlodavců, bodavého hmyzu a pod.

## **6.2 Vliv hluku a záření**

Zatížení okolního prostředí hlukem je možné předpokládat zejména při výstavbě HÚ, kdy bude zvýšen provoz stavebních mechanismů a silničních event. železničních dopravních prostředků. Dominantní vliv lze očekávat v důsledku případného provozu drtičky těžené horniny. Hlukovou studii bude možné vypracovat až po výběru lokality a konkrétní technologie těžby a zpracování rubaniny a výsledky zpětně promítnout do opatření snižujících hladinu hluku na přijatelné hodnoty. Dokumentace musí stanovit, zda hluk a vibrace spojené s navrhovanou technologií nebo stavbou převýší nebo nepřevýší limitované hodnoty dané vyhláškou MZD ČR č. 13/77 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Sledování hluku a vibrací během provozu je

předmětem dozoru odpovědné instituce danou příslušnou legislativou. Vlastní ukládání VJP a RAO je činnost výrazně klidová, která neprodukuje významné hladiny hluku.

Zdrojem ionizujícího záření je VJP a RAO, které jsou uzavřeny v ÚOS. Příspěvek ionizujícího záření k přirozenému pozadí v lokalitě bude možné stanovit až po konečném výběru lokality. Podle v současné době platné legislativy bude vyhodnocení radiační zátěže vycházet z vyhlášky č. 184/97 Sb., která stanovuje základní limit dávkového ekvivalentu pro pracovníky se zdroji záření 100 mSv za dobu pěti po sobě jdoucích kalendářních roků. Vzhledem k uvažované technologii není důvodu předpokládat, že personál bude zatížen ozářením blížícím se tomuto limitu a je reálné dosáhnout ozářením na úrovni směrných optimalizačních hodnot. Pro obyvatelstvo je základní limit stanoven na 1 mSv/rok (viz kap. 2.1.1.1) a je reálné technickým řešením dosáhnout hodnot pod 50  $\mu$ Sv/rok. Posouzení radiační zátěže bude provedeno pro transport kontejnerů s VJP a RAO do nadzemního areálu HÚ a pro manipulaci s kontejnery v procesu jejich zavážení do podzemí. V obou případech se jedná o stanovení radiační zátěže pracovníků HÚ a v prvním případě i o kvantifikaci potencionální radiační zátěže obyvatelstva, které se nachází podél transportní cesty kontejnerů do areálu HÚ, tuto zátěž však nelze považovat za kritérium pro výběr a hodnocení lokality, protože vychází z přijatých legislativních požadavků na stínění transportních kontejnerů, nikoliv z vlastností lokality.

Pro potřeby výpočtu radiační zátěže obyvatelstva a zaměstnanců je nutné shromáždit následující klíčové informace a údaje :

- detailní popis transportních tras ze skladovacích prostor VJP a RAO do areálu HÚ včetně odhadované doby transportu, počtu osob podílejících se na transportu a jejich pracovního zařazení,
- prostorové rozložení obyvatelstva podél transportních cest,
- harmonogram manipulačních postupů s ÚOS v nadzemní a podzemní části úložného systému,
- stínící vlastnosti materiálů ÚOS.

Dlouhodobé radiační vlivy HÚ jsou řešeny v jiných částech dokumentace EIA a v ZBZ.

### **6.3 Jiné ekologické vlivy**

Neočekává se vliv dalších, významných ekologických vlivů, které by nebyly popsány v jiných kapitolách této dokumentace.

## **7 Velkoplošné vlivy v krajině**

### **7.1 Vhodnost lokalizace variant HÚ z hlediska ekologické únosnosti území**

Vhodnost umístění HÚ dle jednotlivých variant z hlediska ekologické únosnosti území a ekologickou zátěž území budou zkoumat průzkumy konkrétních lokalit. Vzhledem k provozované technologii není nutno bezpodmínečně očekávat potřebu ochranného pásma - území o poloměru cca do 3 km bez stálého osídlení, jako u stávajících jaderných zařízení s energetickými reaktory. Možnost včasné realizace nápravných opatření k ochraně obyvatelstva v případě havárie je jedním z neopomenutelných kritérií pro výběr lokality a proto se nepředpokládá redukce stávajícího osídlení okolí. Nelze pouze vyloučit nutnost výkupu jednotlivých nemovitostí zasahujících do potřebného záboru půdy pro vlastní stavby a zařízení stavenišť. Legislativní požadavek na vymezení zóny havarijního plánování bude mít dopady pouze organizačního charakteru. Přesto je celkově možno předpokládat velkoplošný vliv HÚ na krajinu jako významný.

### **7.2 Současný a potenciální výsledný stav ekologické zátěže území**

Vzhledem k tomu, že v současné fázi Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR se pracuje pouze z hypotetickou lokalitou HÚ, není prakticky možné popsat současný stav ekologické zátěže území před zahájením výstavby HÚ. Výsledný stav ekologické zátěže území je řešen v kapitole 2 a 3 dokumentace EIA a ve vybraných kapitolách ZBZ podle zákona č. 18/1997 Sb.

## **8 Popis opatření navržených k eliminaci, minimalizaci případně kompenzaci účinků na prostředí**

### **8.1 Územně plánovací opatření**

Základním zákonným opatřením vytvářejícím legislativní rámec pro bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření je atomový zákon a jeho prováděcí předpisy. Nejzávažnější možné vlivy jaderných zařízení, ke kterým patří i HÚ, jsou eliminovány již v procesu výběru lokality úložného díla. vyhláška č. 215/97 identifikuje vylučující a podmiňující kritéria pro výběr lokalit na umístění jaderných zařízení. Tato kritéria jsou detailně analyzována v kap. 3 ZBZ. V procesu sitingu lze využít i mezinárodní doporučení publikovaná v dokumentech IAEA, např. [1], [2] a [3].

Výsledky analýz dle výše zmíněných kritérií tvoří nezbytné podklady pro zpracování zadání pro orgány územního plánování. Územně plánovací opatření musí být zajištěna

v souladu se zákonem č.83/1998 tak, aby bylo dosaženo zákonem stanovených cílů a úkolů územního plánování, to jest zejména :

- stanovení limitů využití území,
- regulaci funkčního a prostorového uspořádání území,
- zabezpečení ochrany všech chráněných území, objektů, oblastí klidu a ochranných pásem,
- určení zásad a podmínek pro věcnou a časovou koordinaci místně soustředěné výstavby jednoho nebo více stavebníků,
- řešení umístění staveb, stanovení územně technických, urbanistických a architektonických zásad,
- návrh pořadí výstavby a využití území,
- návrh opatření pro optimální uspořádání a využití území.

Ve vazbě na zákonná opatření a systém hodnocení jakosti prací (viz. ZBZ, kap. 7) bude možné na základě znalosti lokality HÚ navrhnout územně plánovací opatření, která by přispěla k eliminaci a minimalizaci negativních účinků HÚ na ŽP.

## **8.2 Technická a kompenzační opatření**

Obdobně jako v předešlých kapitolách lze technické a kompenzační opatření detailně popsat a navrhnout až po konečném výběru lokality budoucího HÚ a kvantifikaci vlivů úložného systému na ŽP, pracovníky a obyvatelstvo.

### **8.2.1 Návrh opatření k odstranění nebo minimalizaci negativních účinků ve smyslu zákona 244/1992**

Záměrem stavby je minimalizovat rizika vyplývající z existence RAO a VJP vznikajících v důsledku využívání jaderné energie a radioaktivních látek v různých oborech lidské činnosti. Koncepce stavby je tudíž zaměřena na vybudování odpovídajících inženýrských bariér a využití přirozených geologických bariér k dlouhodobé izolaci radionuklidů a zamezení jejich únikům do životního prostředí. Rizika vyplývající z prováděných manipulací jsou minimalizována na úroveň zcela zanedbatelnou vzhledem k přínosům představovaným zajištěním ochrany životního prostředí i pro další generace.

Negativní účinky stavby na obyvatelstvo, životní prostředí a na kulturní hodnoty krajiny spočívají v dlouhodobém záboru zemědělské a částečně i lesní půdy, zatížení obyvatelstva dopravním ruchem v období výstavby, a estetickém zásahu do krajiny. Neopomenutelné jsou rovněž sociální a psychologické důsledky výstavby v některých místně a zájmově vyhraněných.

Radiační rizika provozu jsou eliminována dodržáním zásad radiační ochrany jak ve fázi přípravy, tak i následném provozu i jeho ukončení. K minimalizaci psychologických vlivů stavby budou vyčleněny prostředky na :

- osvětovou činnost,
- propagaci.

Způsobené újmy na životním prostředí v dotčené lokalitě jsou kompenzovány investicemi do činností podporujících rozvoj území a na ochranu dalších přírodních a kulturních hodnot regionu. Plánovány jsou následující akce :

- výsadba nových porostů,
- likvidace nepovolených skládek,
- výstavba ČOV v nejbližší obci,
- oprava místních komunikací,
- spoluúčast na obnově kulturních památek v nejbližším městě,
- podpora kulturní a sportovní činnosti v regionu.

### **8.3 Jiná opatření**

V současné etapě Programu vývoje hlubinného úložiště v podmínkách ČR nejsou navrhována žádná další opatření.

### **8.4 Literatura**

1. Siting of Geological Disposal Facilities, Safety Series No.111, IAEA Vienna, 1994
2. Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Wastes, Safety Series No.99, IAEA Vienna, 1989
3. Siting, Design and Construction of a Deep Geological Repository for the Disposal of High Level and Alpha Bearing Wastes, IAEA-TECDOC-563, IAEA Vienna, 1990
4. Mlynář P.: Dokumentace o hodnocení vlivu stavby na životní prostředí - mezisklad vyhořelého paliva v areálu jaderné elektrárny Dukovany, InvestProjekt Brno, leden 1998
5. Blažek J. a kol.: Dokumentace o hodnocení vlivu na životní prostředí - centrální mezisklad vyhořelého jaderného paliva lokalita Skalka, EPP Praha, leden 1998



Správa úložišť radioaktivních odpadů  
Dlážděná 6, 110 00 Praha 1  
Tel. 221 421 511  
E-mail: [info@rawra.cz](mailto:info@rawra.cz)  
[www.surao.cz](http://www.surao.cz)