

Pravděpodobnostní přístup k predikci důsledků úniku radioaktivity do životního prostředí

Závěrečná zpráva projektu 6/2003 k etapám E 02 b), c), d)

**Vypracovali: Ing. Petr Pecha, CSc.
Ing. Emilie Pechová**

**prosinec 2004
revize: únor 2006**

Obsah

1. ANOTACE.....	6
2. POUŽITÉ ZKRATKY.....	7
3. PŘEDCHOZÍ ZPRACOVANÁ PROBLEMATIKA	8
4. NĚKTERÁ DŮLEŽITÁ FAKTA A ZKUŠENOSTI PUBLIKOVANÉ V OBLASTI ANALÝZY NEURČITOSTÍ	9
5. VÝBĚR GRUP NEURČITOSTÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ V ZÁVISLOSTI NA SCÉNÁŘI ÚNIKU	10
6. MATEMATICKÝ APARÁT PRO CITLIVOSTNÍ STUDIE	11
7. VÝBĚR IMPLICITNÍCH GRUP NEURČITOSTÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ NA ZÁKLADĚ STUDIÍ CITLIVOSTI A DALŠÍCH DOPORUČENÍ	18
7.1 Submodel atmosférické disperze a depozice ADM	18
7.1.1 Podklady pro výběr relevantních vstupních parametrů	18
7.1.2 Závěry studií citlivosti pro redukci grupy neurčitostí modelu ADM.....	21
7.1.3 Implicitní grupa náhodných vstupních parametrů pro ADM model kódu HAVAR-RP	28
7.2 Submodel šíření aktivity potravními řetězci FCM.....	31
7.2.1 Podklady pro výběr relevantních vstupních parametrů modelu FCM	32
7.2.2 Závěry citlivostních studií (CS) pro redukci grupy neurčitostí modelu potravních řetězců FCM.....	33
7.2.3 Implicitní grupa náhodných vstupních parametrů pro model potravních řetězců FCM kódu HAVAR-RP	39
7.3 Dávkový submodel DOS	45
7.3.1 Vnější ozáření z mraku.....	45
7.3.2 Vnější ozáření z depozice.....	46
7.3.3 Vnitřní ozáření v důsledku inhalace kontaminovaného vzduchu.....	49
7.3.4 Vnitřní ozáření v důsledku inhalace vzduchu kontaminovaného resuspenzí radionuklidů dříve deponovaných na zemském povrchu	50
7.3.5 Vnitřní ozáření v důsledku konzumace kontaminovaných potravin.....	51
7.3.6 Dodatečné neurčitosti příslušné dávkovému submodelu DOSE - implicitní grupa	52
7.4 Uživatelský návod pro interaktivní zadávání náhodných charakteristik vstupů s následujícím LHS generováním	53
8. VÝSTUPY Z ANALÝZY ŠÍŘENÍ NEURČITOSTÍ MODELEM	55

8.1	Organizace výstupů z kódu HAVAR-RP	56
8.2	Programová podpora pro generování výběrových charakteristik cílových veličin 57	
8.3	Dílčí výsledky pro pravděpodobnostní model atmosférické disperze a depozice.	58
8.4	Standardní výstupy pravděpodobnostního modelu pro implicitní grupy náhodných parametrů.....	61
9.	LITERATURA	69
10.	PŘÍLOHY.....	73
	Příloha 1: Výběr neurčitostí vstupních parametrů atmosférického a depozičního modelu	74
	Příloha 2: Výběr neurčitostí vstupních parametrů modelu potravních řetězců a výpočtu dávek.....	86
	Příloha 3: Zdrojové členy použité v analýzách.....	107
	Příloha č.4: Výpočet parametrů náhodných rozdělení ze zadaných kvantilů	110
	Příloha č.5: Vstupní panely pro zadávání implicitní grupy vstupních neurčitostí pro generování náhodných realizací pomocí LHS algoritmu	125
	Příloha 6: Srovnání modelu FARMLAND a ECOSYS	130

1. Anotace

Předkládaná práce je závěrečnou zprávou úkolu 6/2003 pro dílčí podetapy:

1. Etapa E02, podetapa b): Klasifikace vlivu jednotlivých parametrů a jejich seřazení podle velikosti ovlivnění výsledné předpovědi. Bude se jednat o parametry charakterizující zdroje úniku, fyzikální a biologické transportní mechanismy v jednotlivých komponentách životního prostředí a parametry expozice.
2. Etapa E02, podetapa c): Definice konkrétní výpočetní procedury pro predikci modelu na pravděpodobnostním základě.
3. Etapa E02, podetapa d): Přepřepočování a rozšíření vstupů a výstupů na obrazovku s rozšířením programu o zapracování pravděpodobnostních přístupů. Ilustrativní předvedení takové predikce v nově vyvinutém prostředí.

Jedná se o tématické oblasti týkající se detailnějšího popisu pravděpodobnostní verze nově vyvíjeného kódu HAVAR-RP (Realistic Prediction) :

- Shrnutí výsledků studií citlivosti pro klasifikaci míry vlivu nejdůležitějších vstupních parametrů na cílové veličiny – podetapa b)
- Definice konkrétní výpočetní procedury - podetapa c) , kdy je popsán použitý matematický aparát pro citlivostní studie, uvedeno schéma stochastického modelování a popsány výstupy analýzy neurčitostí
- Interaktivní prostředky pro zadávání neurčitostí a způsoby prezentace dílčích výstupních veličin - podetapa d)

Práce úzce navazují na předchozí zprávy [L1, L2, L3] a tvoří s nimi nedílný celek. V některých bodech jsou tyto předchozí zprávy rozšířeny a upřesněny, nicméně základní přístup k definování náhodných charakteristik grupy vstupních neurčitostí a jejich šíření matematickým modelem zůstává v platnosti.

Zpracovávaná problematika pravděpodobnostního přístupu je mimořádně rozsáhlá a praktickým výsledkem mezinárodního výzkumu je několik málo světových kódů přímo specializovaných na pravděpodobnostní hodnocení (GENII, OSCAAR, LISA, GESMAC), ve kterých je však obvykle deterministické modelování zjednodušováno nebo přejímáno z jiných kódů. Obdobnou aktivitou je provádění analýzy neurčitostí a studií citlivosti pro konkrétní deterministický model (například pro kódy UFOMOD, COSYMA, MARC 2A). Konečně významným zdrojem informací jsou analýzy neurčitostí prováděné jen pro dílčí submodely řetězu šíření aktivity životním prostředím, jako je například analýza neurčitostí submodelu atmosférické disperze a depozice ADM resp. transportu aktivity v potravních řetězcích FCM (zvláště pro FCM model ECOSYS a FARMLAND).

Všechny jmenované produkty a aktivity jsou zde rešeršně zpracovány a jejich výsledky slouží jako vodítko pro konstrukci vlastní základní limitované pravděpodobnostní verze HAVAR-RP. Je nutné blíže vysvětlit termín limitované verze. Vzhledem ke zmíněnému rozsahu problematiky a plánované vývojové kapacitě nemají autoři tohoto kódu za cíl konkurovat světovým kódům nebo početným mezinárodním týmům provádějícím analýzu neurčitostí a studie citlivosti významných deterministických mezinárodních kódů. Hlavním cílem je vytvořit efektivní nástroj pro základní hodnocení na pravděpodobnostním základě vycházející z lokalizované rozšířené deterministické verze kódu HAVAR s možnostmi:

- Nabídnout uživateli základní redukované implicitní grupy vstupních parametrů (lokálně relevantní) pro jednotlivé submodely spolu s jejich náhodnými charakteristikami. Výběr grupy vstupů je prováděn s ohledem na citlivostní studie z literatury pro prezentované scénáře a dosahy modelování se záměrem neopomenout žádný z důležitých významných vstupů, přičemž kvantitativní míra významnosti se tam vyjadřuje například indexem citlivosti, parciálním koeficientem pořadové korelace nebo pomocí koeficientů determinace.
- Nabídnout efektivní numerickou metodu pro generování mnohonásobných náhodných realizací vstupních parametrů – zde LHS metoda.
- Zabudovat implicitní grupy parametrů do nového pravděpodobnostního kódu tak, aby bylo možné na základě stochastického modelování generovat základní výběrové charakteristiky zvolených cílových veličin.
- Po pečlivém odladění s případným dodefinováním (rozšířením) grupy neurčitostí dát k dispozici vlastní nástroj lokalizovaný pro specifické podmínky a předpoklady vztahené k lokalitám JE v ČR (a také ke konkrétním důležitým vytypovaným scénářům úniku) pro provádění komplexnější analýzy neurčitostí a citlivostních studií. Současně ponechat uživateli možnost měnit náhodné charakteristiky vstupních parametrů podle nových expertních zjištění a generovat nové zpřesněné výsledky.
- Současně druhým neméně důležitým hlediskem je snaha vytvořit programový prostředek umožňující alespoň v základní úrovni provádět asimilaci hodnot měřených v terénu s predikcí matematického modelování. Pravděpodobnostní kód je mnohonásobně volán minimalizačním algoritmem přímého vyhledávání pro dosažení co nejlepší shody výsledků modelování s odpovídajícími měřeními. Je nezbytným nástrojem pro hlubší analýzu kovarianční struktury chyb modelu pomocí pokročilých asimilačních technik.

2. Použité zkratky

AN	Analýza neurčitostí
CS	Citlivostní studie
ADM	Modul atmosférické disperze a depozice (Atm. disp. and Deposition Module)
FCM	Model potravních řetězců (Food Chain Module)
DOS	Dávkový model (Dose Model)
LHS	Latin Hypercube Sampling
SRC	Standardizované regresní koeficienty
SI	Index sensitivity (Sensitivity Index)

3. Předchozí zpracovaná problematika

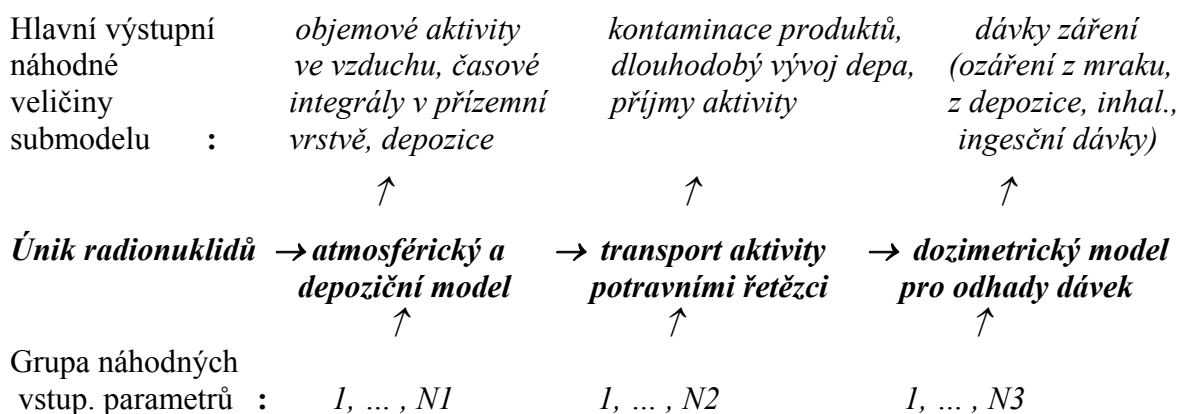
Aplikačním aktivitám v oblasti konstrukce pravděpodobnostního kódu HAVAR-RP, kterými se zabývá tato práce, předcházely přípravné analýzy metodologického aparátu. Otázkám sestavování a definice grupy vstupních neurčitostí a generování náhodných realizací vstupních vektorů se v předchozí etapě E 01 f) zabývala práce [L2]. Metody statistického zpracování realizací cílových veličin jsou potom shrnuty v [L1].

Práce [L2] popisuje náhodné charakteristiky grupy vstupních parametrů modelu s přihlédnutím k příčinám jejich existence a variabilitě. Jsou shrnuty základní metody generování náhodných realizací vstupního vektoru (SRS – Simple Random Sampling, LHS – Latin Hypercube Sampling) a popsán interaktivní generátor LHS vyvinutý speciálně pro účely použití v systému HAVAR-RP. V závěru je aplikována analýza neurčitostí na šíření radioaktivity v atmosféře na konkrétní model atmosférické disperze s omezeným počtem vstupních náhodných parametrů. Je zmíněna též problematika šíření neurčitostí v modelu potravních řetězců.

Přechod od deterministických odhadů k posuzování rizika na pravděpodobnostním základě je komentován v úvodu práce [L1]. Jsou shrnuty analytické a numerické metody k vyhodnocení odezvy neurčitosti predikce modelu v důsledku fluktuací vstupů. Je prezentována základní metodologie statistického zpracování výsledků spolu s ukázkou zjednodušené aplikace v systému HAVAR-RP.

Těžiště této práce se přesouvá do konkrétní aplikační oblasti, kdy na základě zkušeností z obdobných kódů je proveden nezbytný kompromis mezi rozsahem úlohy a požadavky uživatele. Podle typu analyzovaného scénáře se volí pokud možno jen ty vstupní parametry, jejichž fluktuace přispívají nezanedbatelným způsobem k neurčitostem výsledné predikce (to znamená, že je nutno využít doporučení vyplývající z konkrétních studií citlivosti). Stejný argument platí i pro volbu počtu uvažovaných nuklidů.

Je nutné mít na paměti, že matematická simulace musí respektovat složitost transportu aktivity životním prostředím reprezentovanou řetězcem jednotlivých vzájemně provázaných submodelů podle schématu:



Je zřejmé, že k celému procesu je možno přistupovat jako k celku, kdy se hovoří o celkové (globální) analýze neurčitostí. Při této volbě je zvlášť nutné pečlivě volit rozsah grupy vstupních neurčitostí daný součtem $N1 + N2 + N3$. V jiných případech (například implikovaných specifickým scénářem úniku radioaktivity) může být předmětem zkoumání jen vliv určité podgrupy náhodných vstupních charakteristik, což v krajním případě může vést na

provádění testování parciálního vlivu jediného vstupu na zvolenou cílovou veličinu (studie citlivosti, hledání koeficientů regresního modelu).

4. Některá důležitá fakta a zkušenosti publikované v oblasti analýzy neurčitostí

Analýza neurčitostí kódů určených pro odhady radiologického zatížení při mimořádných únicích aktivity do životního prostředí byla předmětem rozsáhlého studia několika světových výzkumných týmů. Výsledkem bylo shromáždění velkého množství relevantních informací použitých při studiích šíření vstupních neurčitostí matematickým modelem významných kódů UFOMOD [3, 4, 15], MARC-2A [2], COSYMA [30, 31, 32, 33], GENII [12, A7], OSCAAR [5, 26], LISA [13] a GESMAC [24].

Jedná se o studie šíření neurčitostí s platností omezenou na konkrétně zvolené scénáře úniků a za subjektivních předpokladů jednotlivých autorských týmů použité při definování grupy neurčitostí vstupních parametrů. V některých případech je zpracování dovedeno až do oblastí citlivostních studií s návrhem seřazení nejdůležitějších náhodných vstupů podle jejich velikosti vlivu na výstupy. V některých těchto pracích je zřejmá snaha o systematické členění podle jednotlivých submodelů.

Spolu s těmito základními pracemi byla uveřejněna a zde zpracována řada dalších publikací, zpracovávajících dané téma a poskytujících důležité know-how z oboru. Byly zpracovány významné publikace týkající se analýzy neurčitostí a citlivostních studií v oblastech:

- **atmosférických a depozičních modelů** – dánský disperzní model NPK-PUFF [19], charakteristiky vztažené k disperznímu modelu vlečky [20], obecné závěry k šíření neurčitostí atmosférickým disperzním modelem [21], užší analýza vlivu neurčitostí meteorologických vstupů na atmosférickou disperzi a depozici aktivity [17], popis metodického přístupu k analýze neurčitostí v systému RODOS [14,11], použití závěrů expertních odhadů a elicitačních procedur pro pravděpodobnostní přístup [8, 9, 32]
- **modelů šíření aktivity v potravních řetězcích** – šíření neurčitostí dynamickým modelem ECOSYS-87 [27], studie citlivosti v modelu ECOSYS-87 [22] zaměřená na cestu ingesčního příjmu, poznámky k britskému přístupu k analýze neurčitostí uvažovaném v modelu potravních řetězců FARMLAND [29], celá řada dílčích výsledků pro několik světově užívaných ingesčních modelů byla prezentována při testech v [34].

Všechny tyto shora jmenované prameny byly rešeršně zpracovány a fakta použitelná pro úvahy v programu HAVAR-RP jsou uvedena ve formě tabulek v přílohách 1 a 2. Část těchto údajů byla uvedena již v práci [L2], zde však jde o komplexnější výběr týkající se definování skupin neurčitostí a jejich náhodných charakteristik pro jednotlivé submodely atmosférické disperze a depozice, šíření aktivity v potravních řetězcích a výpočtu dávek záření. Jsou zahrnuty i výsledky expertních elicitačních procedur. Je sice pravda, že se jedná o různě zvolené scénáře úniku, ale přesto již při prvním pohledu lze odtud postřehnout významný subjektivní faktor, který vnášejí ty které autorské týmy. Nicméně při vývoji kódu HAVAR-RP slouží tyto práce jako hlavní vodítko při přejímání podložených vstupních údajů.

Údaje uvedené v přílohách 1 a 2 nebyly v jednotlivých tabulkách dále upravovány. Náhodné charakteristiky jsou tam vyjadřovány buď přímo parametry přiřazených náhodných rozdělání nebo intervaly kvantilů (obvykle 5% a 95% nebo 1% a 99%) případně jen intervalem <min ; max> pro rozsah fluktuací uvažovaného vstupu. Pro účely programu HAVAR-RP se vychází z těchto údajů a na základě studií sensitivity provedené ve shora citovaných pracích je provedena redukce počtu těchto vstupních charakteristik, které jsou považovány za náhodné. Tímto způsobem jsou pak definovány implicitní grupy neurčitostí pro submodely ATM, FCM a DOS. Jejich počet a názvy spolu s jejich přiřazenými náhodnými parametry jsou připraveny ve formě interaktivních vstupních panelů pro každý ze submodelů pro vlastní analýzu neurčitostí a citlivostní analýzy prováděné produktem HAVAR-RP.

Celá složitost problematiky AN a CS je patrná z prací týkajících se kódu COSYMA. V reportech [30, 32, 33] jsou popsány dílčí AN týkající se jednotlivých modulů ADM, FCM a DOS. Celková AN je pak uvedena v práci [31] uvažující naráz všechny tři moduly. Z následující tabulky je vidět rozsahy příslušných grup vstupních náhodných parametrů:

<i>MODUL</i>	<i>počet uvažovaných parametrů</i>	<i>vybráno pro celkovou analýzu</i>
ADM	28	24
FCM	162	35
DOS (včetně interní a externí dosimetrie)	159	100

Je zřejmé, že pro celkovou analýzu muselo dojít k podstatné redukci. Přesto i v tomto případě jde o maximální podrobnost a jen stěží je možno říct (viz výsledky z [22, 27]), že všechny parametry jsou důležité. Například v případě FCM (potravní řetězce) je zvoleno 162 náhodných parametrů, ale autoři provádějí podrobnou AN jen pro model potravních řetězců podle FARMLAND s komentářem, že lze očekávat podobné výsledky. Podrobnost takového vyšetřování je pak poněkud neadekvátní závěrům.

5. Výběr grup neurčitostí vstupních parametrů v závislosti na scénáři úniku

Jak již bylo řečeno veškeré úvahy a závěry jsou v první řadě silně vázány na typ analyzovaného scénáře. Vzhledem k důležitosti této závislosti zmíníme scénáře úniku použité při AN a CS pro některé význačné kódy.

V kódu COSYMA [31] byly pro PWR reaktory uvažovány 3 zdrojové členy, které byly převzaty z analýz PWR pro Hinkley Point v UK:

- UK1 – velký únik. Byl identifikován jako dominantní zdrojový člen znamenající velké riziko pro časně zdravotní účinky a rovněž jako největší příspěvek k celkovému riziku pro pozdní zdravotní účinky
- CB2 je menší, ale pravděpodobnější sekvence, která rovněž dává největší příspěvek k celkovému riziku pozdních zdravotních účinků.
- DBA je maximální projektová nehoda (design basis accident).

Množství radioaktivních látek uvolňovaných při UK1 a CB2 bylo počítáno z inventáře aktivní zóny a unikajících frakcí skupin prvků, množství jednotlivých radionuklidů unikajících při DBA bylo stanoveno přímo. Bližší specifikace zdrojových členů je uvedena v příloze 3.

Při AN v kódu UFOMOD [3, 15] se začíná se submodelem atmosférické disperze a depozice a jako vhodný scénář byla vybrána kategorie úniku FK2 z DRS-A (German Risk Study). Jedná se o tavení aktivní zóny se vznikem velké trhliny v kontejneru (\varnothing 300 mm) (podrobněji na konci přílohy 3).

Při AN v kódu GENII [A7, 12] jsou uvažovány scénáře:

Sample Problem 1 : Model gaussovské vlečky, transport atmosférou na střední vzdálenosti, chronický únik

Sample Problem 2 : Modelování pro větší vzdálenosti, akutní atmosférický únik

Sample Problem 3 : Modelování v blízkých oblastech, řešení kontaminace půdy až do hlubších vrstev, chronický únik, uvažovány korelace vstupů

Sample Problem 4 : fitování vstupů na lognormální rozdělení, odhady doby výpočtů

Sample Problem 5 : Odhady pro větší vzdálenosti, chronický únik, empirické distribuce

Sample Problem 6 : Modelování v blízkých oblastech, akutní únik

Každý scénář má svůj specifický obor zkoumaných cílových veličin, které byly předem definovány a pak pro ně jsou počítány výsledné distribuce. Stejně tak v první pravděpodobnostní verzi kódu HAVAR-RP jsou první výsledky publikované v [L1] vztaženy ke konkrétnímu scénáři LOCA-LB definovanému pro reaktor VVER-1000.

6. Matematický aparát pro citlivostní studie

Citlivostní studie (CS) se zabývají odhadem důležitosti parciálního vlivu jednotlivých vstupních parametrů (složek vstupního vektoru) na sledované výstupy. Důležitost efektů je v první fázi CS posuzována na základě třídění a rozptylových diagramů, v dalších fázích jsou používány přesnější techniky regresní a korelační analýzy včetně výpočtů parciálních pořadových korelací.

Musí být identifikovány ty vstupní parametry modelu, které mají nejdůležitější příspěvek ke změnám v důsledcích. Existuje několik metod pro kvantifikování relativní důležitosti neurčitých parametrů modelu na výstupy modelu následků nehody. Obvykle je každý neurčitý parametr modelu řazen podle vlivu na následky. Některé metody poskytují takovéto celkové třídění, zatímco jiné (např. postupná regrese („stepwise“)) jsou konstruovány pro podmnožinu, sestávající pouze z parametrů, které ovlivňují následky nejvíce. V mnoha případech se ukáže, že jen malý počet z celkového množství neurčitých parametrů je významný a další seřazení za prvními několika nejdůležitějšími parametry má obvykle malý nebo žádný význam.

Nejobecnější matematický model je vyjádřen vektorovou funkcí:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{f}(\mathbf{X}) \quad (6.1)$$

Zde \mathbf{X} představuje vektor vstupů do modelu a \mathbf{Y} označuje hledaný vektor výstupů. Funkce \mathbf{f} reprezentuje model, jehož složitost je v případě odhadů radiologického rizika při mimořádných únicích radionuklidů do životního prostředí mimořádně velká. Jedná se o řetězec navazujících resp. simultánních submodelů (atmosférický a depoziční submodel, submodel potravních řetězců, dávkový model), které jsou silně nelineární, a nemožnost získat analytické řešení si vynucuje aplikaci numerického řešení.

Vektor výsledných řešení \mathbf{Y} lze interpretovat dvojím způsobem. V prvním případě vektorem je myšleno 2-D pole hodnot jedné výsledné proměnné (například prostorové rozložení depozice nuklidu na terénu v bodech výpočtové polární sítě). V takovém případě se musí najít určitá integrální nebo sumární kritéria, reprezentativní hodnotící deklarace nebo hodnotící cílové funkce. Z hlediska krizového rozhodování taková kritéria musí být jasná a jednoznačná (například při takových stresových vypjatých situacích je akceptovatelné mít pro rozhodování k dispozici údaj o oblasti (bodu) maximálního rizika na mapě). Ve druhém případě se v prostoru omezíme na určitý bod (jeden z výpočtových nódů) a v tomto bodě uvažujeme vektor všech zájmových cílových veličin (koncentraci aktivity, časové integrály koncentrace aktivity, deponovanou aktivitu, nejružnější typy dávek z různých cest ozáření, koncentraci aktivity v krmivech a potravinách, příjmy aktivity do lidského organismu za různé doby apod.). Nicméně při dalším postupu se omezíme na parciální analýzu jedné postupně volené skalární výsledné veličiny, tedy $\mathbf{Y} \rightarrow Y$.

Vektor vstupů lze obecně zapsat jako:

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_{\text{tot}}}] \quad (6.2)$$

resp. z hlediska bližšího rozlišení typů vstupů jako:

$$\mathbf{X} = [p_1, p_2, \dots, p_{N_P}; s_1, s_2, \dots, s_{N_S}] ; N_{\text{tot}} = N_P + N_S \quad (6.3)$$

kde s představují vstupní data a p jsou parametry modelu (resp. všech jeho submodelů).

Při dalším postupu se omezíme na výstupy jediné skalární proměnné Y popsané obecným schématem:

$$Y = f(\mathbf{X}) \quad (6.4)$$

přičemž budeme složky vektoru \mathbf{X} rozlišovat na náhodné a deterministické určené „best estimate“ hodnotou dále označovanou jako nominální:

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_X}, \text{nom1}, \text{nom2}, \dots] \quad (6.5)$$

V další analýze jsou implicitně zahrnuty nejlepší odhady deterministických hodnot a nebudou dále explicitně zmiňovány. Poznamenejme pouze, že s postupující úrovní znalostí budou některé deterministické údaje přehodnoceny a přefazeny do skupiny náhodných parametrů. Tento trend se projevuje již nyní, přičemž z hlediska nárůstu objemu výpočtů se zvyšujícím se N_X je rozumné přefazovat pouze ty parametry, u kterých studie citlivosti Y na fluktuace inkriminovaného výstupu prokáží nezanedbatelný vliv.

Pravděpodobnostní model je tedy formulován schématem:

$$Y = f(\mathbf{X}) \quad (6.6)$$

$$\mathbf{X} = [x_1(D_1), x_2(D_2), \dots, x_{NX}(D_{NX})]$$

Zde složky vstupního vektoru představují náhodné veličiny s distribucemi D_1, D_2, \dots, D_{NX} .

Neurčitosti vstupních parametrů se šíří modelem a mají za následek vliv na výslednou sledovanou veličinu Y , což vyvolává těsně související otázky:

- Jaká bude výsledná neurčitost v Y způsobená neurčitostmi vstupního vektoru \mathbf{X} ? Metodologie pokoušející se odpovědět na tuto otázku je označována jako **analýza neurčitostí (AN)**.
- Jak významný je vliv neurčitosti individuální složky na jí odpovídající fluktuace výsledné hodnoty Y ? Touto oblastí se zabývají citlivostní studie (CS) neboli **studie senzitivity**.

Základní statistický aparát analýzy neurčitostí cílových veličin zmiňuje práce [L1]. Pokud se týká citlivostních analýz, existují dvě základní metody:

1. Deterministická metoda založená na odhadu parciálních derivací odezvové funkce podle jednotlivých vstupních parametrů, přičemž je nutná znalost analytického vyjádření modelu
2. Statistická metoda spočívá ve srovnání regresních koeficientů pro cílovou funkci s navrženým modelem

Ve fundamentální práci [39] jsou klasifikovány tři základní strategie CS podle zkoumaného rozsahu jako:

- a) Počáteční třídění faktorů, kdy je třeba rychle a efektivně rozhodnout o důležitosti vlivu toho kterého náhodného parametru tak, aby další detailní analýzy probíhaly již s relevantní podmnožinou NX vstupů podle (6.5). Příkladem může být metoda OAT (One-At-a-Time), při které jsou pro každý faktor stanoveny dvě extrémní hodnoty, pro které proběhne výpočet. Na základě srovnání výsledků se základním výpočtem s nominální hodnotou faktoru se usuzuje na míru jeho vlivu. V literatuře jsou citovány další modifikace OAT metody.
- b) Lokální CS, kdy je kladen důraz na lokální analýzu v blízkém okolí bodu. Tato metoda založená na určení parciálních derivací je analytická a zřejmě ekvivalentní deterministické metodě zmíněné výše. Přímý výpočet derivací se nahrazuje numerickým určováním v okolí blízkém nominální hodnotě, například aproximací konečnými diferencemi.
- c) Globální CS zkoumající rozčlenění neurčitosti výstupů podle jednotlivých vstupních faktorů. Je založena na Monte Carlo vzorkování (náhodných výběrech), což je obvykle nutné též z důvodu složitosti modelu a jeho nelinearity, kdy není možné získat přijatelné analytické vyjádření. CS experiment je obvykle považován za globální, pokud je možnost všechny vstupující parametry měnit (generovat) simultánně a jsou zaváděny míry citlivosti zahrnující celý rozsah každého parametru.

Jako míra citlivosti S_i parametru X_i se zavádí základní vztah:

$$S_i = \delta Y / \delta x_i \approx \Delta Y / \Delta x_i \quad (6.7)$$

nebo některé jeho modifikace s normalizací (podle středních hodnot resp. standardních odchylek vstupu a výstupu).

Globálními vlastnostmi globální CS jsou:

1. Při studiích senzitivity lze u individuálních faktorů respektovat jejich rozsah a tvar rozdělení hustoty pravděpodobnosti.
2. Citlivost faktoru je odhadována při současných variacích všech dalších faktorů (vícerozměrné středování, možnost zahrnutí korelací). Při lokální CS se testuje vliv variace jediného parametru přičemž ostatní parametry mají jejich nominální hodnotu.

Vzhledem ke složitosti analyzovaných environmentálních modelů při šíření radioaktivity životním prostředím se v dalším zaměříme na globální metodiky založené na Monte Carlo metodice simulace šíření neurčitostí [39, 38, 37]. Na základě vhodné metodiky vzorkování (podrobná diskuse se zohledněním stratifikované metodiky vzorkování LHS již byla provedena v [L2]) je generována z náhodných rozdělení jednotlivých složek X_i s distribucemi D_i (vztah (6.6)) náhodná realizace \underline{k} vstupního vektoru :

$$\mathbf{x}^k = [x^k_1, x^k_2, \dots, x^k_{NX}] \quad (6.8)$$

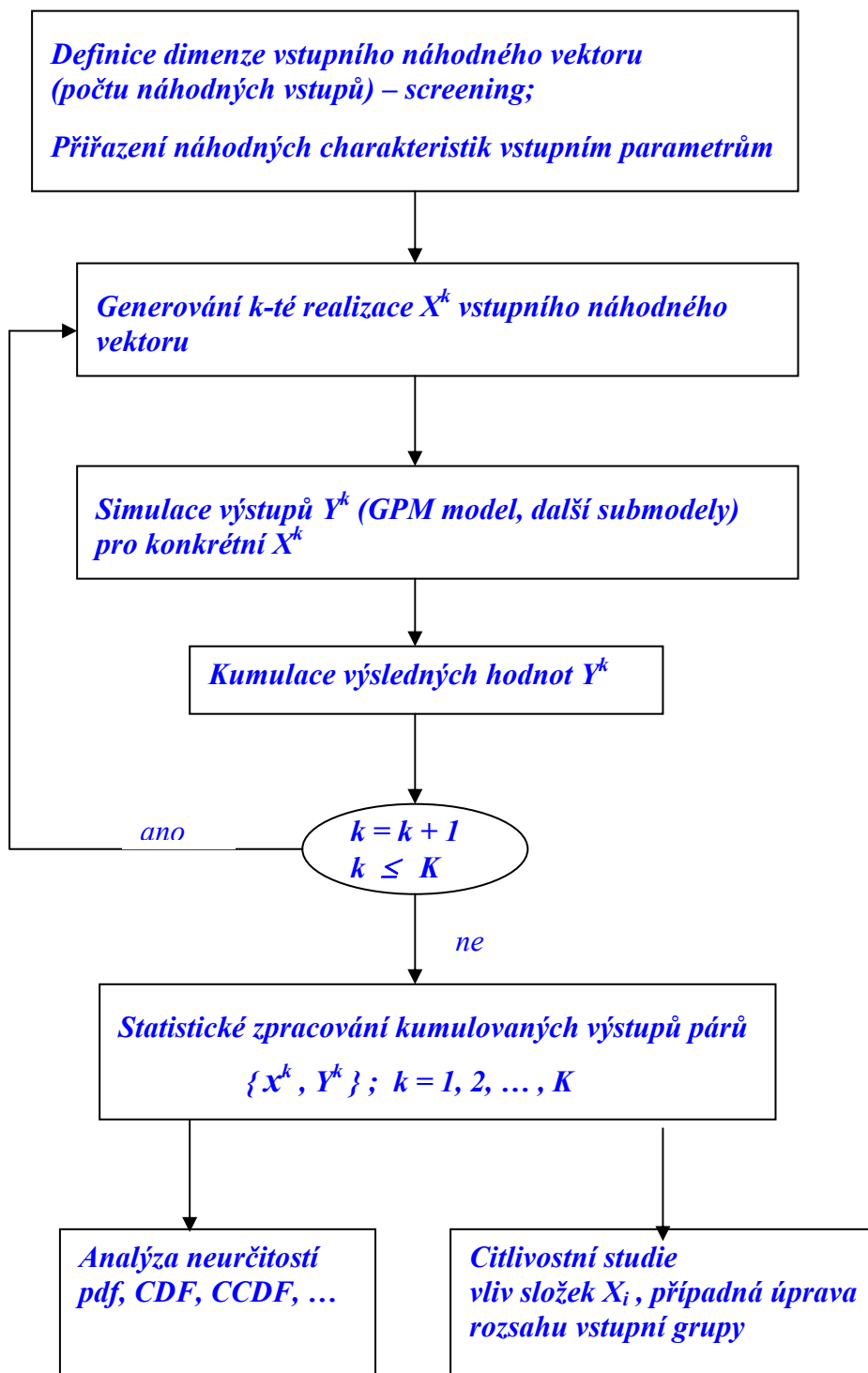
S touto realizací proběhne celá simulace modelu a vypočtou se hodnoty zkoumaných výstupů. V dalším se omezíme na jedinou skalární výstupní hodnotu Y , jejíž vypočtenou hodnotu s realizací \mathbf{x}^k označíme Y^k . Celý proces se mnohonásobně opakuje (K -krát, $K \approx 1000$) a výsledkem modelování je množina párů :

$$\{ \mathbf{x}^k, Y^k \} ; k = 1, 2, \dots, K \quad (6.9)$$

Poznamenejme, že v návaznosti na analýzu v [L2] jsou v přílohách č.1 a 2 shromážděny rozsáhlé údaje o náhodných charakteristikách vstupů u jednotlivých submodelů ADM, FCM a DOS, které jsou závislé jak na typu analyzovaného scénáře tak na druhu zkoumaných cílových proměnných. Nicméně je zřejmý i velký rozptyl v subjektivních názorech expertů. Z tohoto důvodu nebylo provedeno další setřídění a omezíme se na konstatování, že v této oblasti zbývá udělat ještě mnoho práce.

Tok mnohonásobně opakovaných Monte Carlo výpočtů podle environmentálního modelu založený na metodách vzorkování vstupního vektoru, který generuje výstupy pro následující analýzu neurčitostí a citlivostní studie, je zobrazen v tabulce 6.1.

Tab. 6.1: Simulace mnohonásobných MC výpočtů generujících data pro globální AN a CS.



Obrátíme pozornost k výsledkům Monte Carlo modelování podle (6.9), které jsou nyní výchozími daty pro metody analýzy neurčitostí (základní metody popsány v [L1]) a studií senzitivity. V posledně jmenované oblasti se používá řada technik z oblasti statistického zpracování, jako:

- korelační analýza
- lineární regrese
- zavádění kritérií významnosti, indexů citlivosti
- užití technik analýzy rozptylu typu ANOVA
- užití speciálních technik, z nichž významnou je metoda FAST, poskytující citlivější kritéria než základní klasické metodiky [41]

Pro jedinou vstupní proměnnou x se **korelační koeficient** r_{xy} pro K realizací párů $\{x^k, Y^k\}$; $k = 1, 2, \dots, K$ definuje obvyklým způsobem:

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{S_x \cdot S_y} = \frac{\sum_{k=1}^K (x^k - \bar{x}) \cdot (y^k - \bar{y})}{\left[\sum_{k=1}^K (x^k - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \cdot \left[\sum_{k=1}^K (y^k - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (6.10)$$

r_{xy} poskytuje míru lineárního vztahu mezi x a y . V případě více vstupních proměnných se definuje parciální korelační koeficient $p_{xi y}$ mezi náhodnou složkou x_i vstupního vektoru a závisle proměnnou y (vyjadřuje míru lineární závislosti mezi x_i a y , přičemž lineární efekt ostatních vstupních parametrů je odstraněn).

$$p_{xi y} = \frac{\sum_{k=1}^K (x_i^k - \bar{x}_i) \cdot (y_{(i)}^k - \bar{y}_{(i)})}{\left[\sum_{k=1}^K (x_i^k - \bar{x}_i)^2 \right]^{1/2} \cdot \left[\sum_{k=1}^K (y_{(i)}^k - \bar{y}_{(i)})^2 \right]^{1/2}} \quad (6.10a)$$

kde

$$\bar{y}_{(i)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y_{(i)}^k \quad \bar{x}_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_i^k$$

Hodnoty $p_{xi y}$ nabývají hodnot mezi -1 a $+1$. $y_{(i)}$ označuje parciální vliv složky i na výstup. Výpočtový tvar pro $p_{xi y}$ je uveden dále.

Regresní analýza umožňuje odhadovat kombinovaný efekt více vstupních hodnot na y . S užitím metody nejmenších čtverců pro určení koeficientů b_i se konstruuje lineární regresní model podle :

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{NX} b_i \cdot x_i \quad (6.11)$$

Regresní koeficienty b_i však závisí na jednotkách, v jakých se vyjadřuje x a y . Pro vyloučení tohoto vlivu jsou zaváděny pomocí jednoduchých transformací tzv. standardizované regresní

koeficienty SRC. Regresní model souvisí s R^2 kritériem zvaným též **koeficient determinace**, který je roven frakci neurčitosti v y , kterou vysvětluje regresní model:

$$R^2 = 1 - \frac{S_e}{S_t} \quad (6.12)$$

Kde S_e je reziduální a S_t je celkový součet čtverců. V modelu lineární regrese s absolutním členem leží hodnota R^2 v intervalu $< 0, 1 >$ a udává, jaký podíl rozptylu v pozorování závisle proměnné se podařilo regresí vysvětlit (větší hodnoty znamenají větší úspěšnost regrese). Poznamenejme, že se zavádí též opravený koeficient determinace zohledňující počet parametrů ve vyhodnocovacím modelu a celkový počet realizací K .

Pokud jsou x_i nezávislé, platí:

$$R^2 = R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_{NX}^2$$

Korelační koeficienty, standardizované korelační koeficienty a parciální korelační koeficienty jsou zaváděny jako míry vztahu mezi neurčitým vstupním parametrem a výsledky modelu. S využitím regresní analýzy je možné zavedení parciálního korelačního koeficientu na základě sekvence regresních modelů. V prvním kroku [39, 40] jsou konstruovány dva regresní modely:

$$\hat{x}_j = c_0 + \sum_{i=1, i \neq j}^{NX} c_i \cdot x_i \quad \hat{y} = b_0 + \sum_{i=1, i \neq j}^{NX} b_i \cdot x_i \quad (6.13)$$

Na tomto základě se definují dvě nové proměnné:

$$v_j = x_j - \hat{x}_j \quad a \quad w = y - \hat{y} \quad (6.14)$$

Parciální korelační koeficient PCC označený $p_{x_j y}$ mezi náhodnou složkou X_j a výstupem y je vyjádřen korelačním koeficientem podle vztahu (6.10) mezi novými proměnnými v_j a w . PCC poskytuje možnost vyjádřit lineární vztah mezi X_j a y , když lineární efekt ostatních vstupů (složek vstupního náhodného vektoru) je odstraněn. Procesem odhadování významnosti vlivu **všech** vstupních parametrů na fluktuace výstupní veličiny se zabývá procedura postupné regrese, kdy jsou postupně prováděny jednotlivé kroky odhadů pro jednotlivé dílčí složky až do stavu, kdy další proměnné mají nevýznamný příspěvek k hodnotám y a tudíž není žádný důvod je dále uvažovat při AN a CS. V prvním kroku se uvažuje pouze jediný parametr, který má největší korelaci s výstupní hodnotou. V dalších krocích se vždy k předchozím parametrům přidává vždy jeden další. Koeficienty determinace R_y^2 počítané v jednotlivých následných krocích poskytují míru důležitosti, se kterou je vysvětlován vliv vstupních parametrů na závisle proměnnou y . Stejně tak vhodnými mírami jsou zmíněné SRC.

Popisované korelační koeficienty vycházejí z určení lineárních vztahů a ztrácejí svoji relevantnost v případě, že skutečné vazby jsou nelineární. Pokud v případě nelineární závislosti je zachována podmínka monotónnosti, lze použít pořadové transformace (transformace podle pořadí – „rank transformations“) pro linearizaci vztahu mezi vzorkovaným vstupním parametrem a počítanou proměnnou. Při pořadových transformacích jsou data nahrazena jejich odpovídajícími pořadími a na tato pořadí lze pak aplikovat metody korelační analýzy. Realizace párů $\{x^k, Y^k\}$; $k = 1, 2, \dots, K$ podle (6.9) slouží k definici párů s novým významem, a sice s významem pořadí přiřazenému původní hodnotě. Tak se dostanou vektory pořadí :

$$\{ \text{rank}(x^k) \}, \{ \text{rank}(Y^k) \}; k = 1, 2, \dots, K \quad (6.15)$$

kde pořadí 1 má nejnižší hodnota, tedy $\text{MIN}(x^k)$ a $\text{MIN}(Y^k)$, nejvyšší pořadí K pak mají nejvyšší hodnoty (střední hodnota se přiřadí v případě vícenásobném výskytu hodnoty). Potom se provádí korelační analýza aplikovaná na vektory pořadí. Jsou určovány a jako míry vzájemných vztahů jsou zaváděny **pořadové korelační koeficienty, standardizované pořadové korelační koeficienty a parciální pořadové korelační koeficienty**.

Pokud CS založená na zmíněném regresním přiblížení neposkytuje uspokojivé výsledky, významné vstupní parametry lze hledat jinými technikami nevyžadující lineární a monotónní závislosti. V úvahu připadají:

- i. F-statistika pro identifikaci změn středních hodnot y v rozsazích jednotlivých vstupních složek x_i
- ii. χ^2 statistika pro identifikaci změn hodnoty mediánu y v intervalech rozsahu x_i
- iii. Kruskal-Wallisův test pro identifikaci změn distribuce y
- iv. χ^2 statistika pro analýzu sdružených distribucí

Další technika poskytující různé druhy indexů sensitivity SI je založená na **analýze rozptylu** typu ANOVA, přičemž SI prvního řádu se definuje jako poměr variance očekávané střední hodnoty y za podmínky fixní hodnoty uvažované složky x_i k celkové varianci (podrobněji například [37]). Metodiky CS založené na analýze rozptylu představují obecný přístup, jehož speciálním případem jsou regresní metody. V [39] jsou uvedeny podrobnosti společně se zavedením alternativních kritérií citlivosti podle I. M. Sobola. Jsou zde přímé souvislosti s dekompoziční procedurou pro ANOVA orientovanou na strategie návrhu experimentů.

Všechny dosud zmíněné metodiky CS jsou dobře použitelné pro zjišťování pořadí významnosti vstupů pro případ jejich vzájemné nezávislosti. Existence **korelací** mezi složkami vstupního vektoru může způsobovat významné komplikace při interpretaci výsledků citlivostních studií. V tomto případě hodnoty a dokonce znaménka příslušných regresních koeficientů nemusejí správně indikovat efekt vlivu na výstupy. Proto při rozhodování o redukci počtu vstupních parametrů majících nezanedbatelný vliv na výstup je třeba prošetřovat i korelace (pro daný matematický model s fyzikálními submodely je obvykle stanovují experti na oblast popisovanou modelem), aby do analýzy zbytečně nepřistupovaly další parametry silně korelované s předchozími.

7. Výběr implicitních grup neurčitostí vstupních parametrů na základě studií citlivosti a dalších doporučení

7.1 Submodel atmosférické disperze a depozice ADM

7.1.1 Podklady pro výběr relevantních vstupních parametrů

Modelování disperze radioaktivních příměsí v atmosféře a jejich depozice na zemském povrchu dává odhad základních cílových výstupních veličin, kterými jsou prostorové rozložení koncentrace aktivity ve vzduchu, časových integrálů přízemní objemové aktivity a aktivity usazené na zemském povrchu. Matematické modely transportu a disperze exhalací v atmosféře zavádějí určité zjednodušující předpoklady a dílčí konstrukce. Zatím neexistuje

univerzální model a volba toho kterého modelu závisí (vedle odborné zdatnosti vývojového týmu, jeho pracovní kapacitě, finančním krytí a možnostem přístupu k lokálním datům nezbytným pro implementaci metod pokročilého modelování) též na konkrétním analyzovaném scénáři úniku a vytčených cílech modelování.

Nejčastěji používaným modelem je Gaussův model disperze látek v atmosféře. Důvody pro jeho volbu jsou nejen to, že je tradičně používán a všestranně ověřen, přičemž jsou dobře známy předpoklady pro jeho odvození, kritéria pro jeho použití a jeho omezení. Gaussův model je předně použitelný pro ocenění tak zvaných potenciálních dávek v oblasti konzervativních odhadů. Dále je možno modifikací vyjádření pro jednotlivé transportní mechanismy (dílní submodely) poměrně dobře simulovat kumulaci efektů v nepříznivém konzervativním směru. Konečně Gaussův model v segmentové verzi (použit jako volba i v nově vyvíjeném systému HAVAR-RP) může v přiblížení skokových změn s následnou superpozicí respektovat časové změny meteorologických charakteristik a dynamiku úniku.

Shora uvedená fakta vedla k základnímu předpokladu, že Gaussův model je rozumným přiblížením při volbě základního výpočtového disperzního modelu, který:

1. Ve své verzi přímočarého šíření vlečky nad terénem představuje dostatečně rychlý nástroj pro generování mnohonásobných realizací výsledných konzervativních hodnot náhodných polí
2. Při speciálních požadavcích uživatele je možno provádět Monte Carlo výpočty i se segmentovanou verzí (doby trvání výpočtů však více než řádově vzrostou)

V kapitole o výstupu výsledků z analýzy neurčitostí je konstatováno omezení, kdy je možno provádět konstrukci výběrových charakteristik nikoliv v náhodných polích jako celku (i když jsou při jednotlivých náhodných realizacích vstupního vektoru generována celá), nýbrž jen v určitých zvolených diskrétních bodech výpočtové sítě. Z tohoto hlediska je zřejmé, že třeba fluktuační konzervativních hodnot pod osou mraku vypovídají daleko více než nějaké „vyhlazené“ fluktuační v marginálních polohách (tato otázka je podrobně prezentována v následujících kapitolách o výsledném zpracování z pohledu zavedení náhodné fluktuační směru větru).

V oblasti prezentace výsledků šíření neurčitostí vstupních parametrů (vztažených k modelu atmosférické disperze a depozice) gaussovským modelem je publikována celá řada výsledků, které budou dále použity pro podporu argumentů při sestavování omezené implicitní grupy vstupních náhodných parametrů modelu ADM, který je potom použit v pravděpodobnostní verzi systému HAVAR-RP. Při hledání parametrů majících nezanedbatelný vliv na výstupní veličiny je nutné se zaměřit na dílní metodiky pro stanovení:

- horizontálních a vertikálních disperzních koeficientů
- vnosu vlečky a efektivní výšky úniku
- kategorií stability atmosféry
- rychlosti větru
- profilu rychlosti větru v závislosti na výšce
- směšovací výšky
- vlivu fluktuační směru větru (doby průměrování přízemní objemové aktivity – zda uvažujeme minutové, 10-ti minutové, 30-ti minutové nebo jednohodinové průměry)
- závislosti disperzních koeficientů na drsnosti terénu

Z řady publikovaných výsledků uvedme nejdříve rekapitulaci závěrů z práce [21], které byly přeloženy a v podrobném znění jsou uvedeny v [L3]. Odtud vyplývá, že základní Gaussův model je nejkonzervativnější především na malých vzdálenostech, přičemž :

- Zvýšení tepelného vznosu mraku snižuje přízemní objemové koncentrace především na menších vzdálenostech
- Objemové koncentrace ve směru šíření mraku je třeba chápat u Gaussova modelu jako statistické hodnoty, které by bylo možné získat vyhodnocením velkého množství sledovaných vzorků.
- Okamžité hodnoty objemových koncentrací jsou ovlivňovány krátkodobými změnami směru větru a meandrováním postupujícího mraku způsobeného různými terénními a teplotními vlivy krajiny.
- S klesající průměrnou rychlostí větru se vliv meandrování zvyšuje a snižují se průměrné přízemní objemové koncentrace ve stopě mraku

Rozptyl hodnot daný disperzním modelem je jen jednou částí z mnoha dalších vlivů na rozptyl výsledných hodnot při výpočtu radiologických následků. Dalšími vlivy jsou:

- Nepřesnosti ve stanovení zdrojového členu, tj.:
 - Inventáře radionuklidů
 - Radionuklidové složení
 - Velikost uniklých frakcí inventáře pro jednotlivé radionuklidy
 - Čas mezi odstavením reaktoru a okamžikem úniku
 - Časový průběh úniku
 - Výška úniku
 - Tepelná vydatnost úniku
- Nepřesnosti ve stanovení suché a mokré depozice
 - Závislost na velikosti aerosolů
 - Závislost na drsnosti povrchu
 - Závislost na intenzitě a typu atmosférických srážek
- Výpočet externí expozice z oblaku – korekce na konečné rozměry mraku
- Výpočet externí expozice z povrchu – stínění vzrostlou vegetací a nerovnostmi povrchu
- Výpočet interní expozice z inhalace – rozptyl v hodnotách objemu inhalovaného vzduchu
- Rozptyl hodnot interní expozice obdržené přes potravní řetězec

Konkrétnější, rozsáhlejší a méně obecnou analýzu neurčitostí (AN) zaměřenou převážně na Gaussův model spojenou se základními výsledky citlivostních studií (CS) podávají práce [3, 4, 15], týkající se produktu UFOMOD (předchůdce kódu COSYMA). Jak již bylo uvedeno, při AN v kódu se začíná se submodelem atmosférické disperze a depozice a jako vhodný scénář byla vybrána kategorie úniku FK2 z DRS-A (German Risk Study). Jedná se o tavení aktivní zóny se vznikem velké trhliny v kontejnmentu, viz. podrobněji na konci přílohy 3.

Jsou vyšetřovány:

- Pole koncentrace ve vlečce, přízemní koncentrace (1 m nad zemským povrchem) a na zemském povrchu, přičemž je uvažována variabilita průměrných hodnot koncentrace (zprůměrovaných přes 115 sekvencí počasí, které reprezentují počasí v 1 roce) ve 4 intervalech vzdáleností:
 - D1 = 0,2 km – 0,5 km
 - D2 = 0,8 km – 1,2 km
 - D3 = 8 km – 12 km
 - D4 = 80 km – 120 km
- Krátkodobá dávka na červenou kostní dřev a 50-letá efektivní dávka pro výše uvedené 4 vzdálenosti.
- Zdravotní důsledky a protipatření.

Výběr neurčitostí vstupních parametrů atmosférického a depozičního modelu a jejich charakteristiky jsou pro kód UFOMOD uvedeny v příloze 2. Jde o základní zvolenou podmnožinu, na kterou se nyní aplikují postupy citlivostních studií s cílem identifikovat ty vstupní parametry modelu, které mají nejdůležitější příspěvek ke změnám v důsledcích. Existuje několik metod pro kvantifikování relativní důležitosti neurčitých parametrů modelu na výstupy modelu následků nehody, které vycházejí ze shora uvedeného aparátu CS (určení pořadí na základě parciálního koeficientu pořadové korelace, odhad koeficientu determinace).

7.1.2 Závěry studií citlivosti pro redukcí grupy neurčitostí modelu ADM

Obvykle je každý neurčitý parametr modelu řazen podle vlivu na následky. Některé metody poskytují takovéto celkové setřídění, zatímco jiné (např. postupná regrese) jsou konstruovány pro podmnožinu, sestávající pouze z parametrů, které ovlivňují následky nejvíce. Seřazení za prvními několika nejdůležitějšími neurčitými parametry má obvykle malý nebo žádný význam v absolutním pořadí, protože se v mnoha případech ukáže, že jen malý počet z celkového množství neurčitých parametrů je významný.

Provést analýzu citlivosti ve spojení s nějakou formou vzorkování je nejjednodušší v případě, že je nalezen regresní model (definován vztah) mezi následky Y a hodnotami parametrů modelu X. Takový regresní model je založen na výpočtu korelačních koeficientů. Regresní techniky jsou ale ovlivněny extrémními (odlehými) pozorováními a nelinearitami.

Pro UFOMOD/B3 je analýza neurčitostí a citlivosti rozdělena do 3 částí:

- Koncentrace pod osou mraku (simultánně vyšetřovány koncentrace aktivity ve vzduchu a v přízemní vrstvě a dále koncentrace aktivity usazené na zemském povrchu)
- Dávky (akutní ekvivalentní dávka na červenou kostní dřev a 50-ti letá efektivní dávka ve 4 vzdálenostech)
- Zdravotní účinky a protipatření

Pro koncentrace pod osou mraku jsou počítány parciální korelační koeficienty a příslušný lineární regresní model. Úspěšnost lineární regrese je ověřována koeficientem determinace R^2

(čím blíže je R^2 k 1, tím úspěšnější je regresní model ve výpočtu variací v Y).

Uvedeme některá zjištění vyplývající pro zvolené vstupní parametry pro AN kódu UFOMOD. Je třeba znovu zdůraznit, že úvahy se vztahují k uvedenému scénáři úniku a jsou závislé na konkrétní analyzované cílové veličině s dalším rozlišením podle vzdálenosti od zdroje znečištění a případně podle jednotlivých nuklidů. Dalším důležitým rysem je zavedení předpokladu nezávislosti mezi jednotlivými vstupními parametry nebo naopak uvažování skutečných vzájemných korelací mezi (některými) vstupními parametry. Jakkoliv další výpočty jsou prováděny za předpokladu vzájemné nezávislosti, tyto vždy alespoň v určité míře existují (a jsou v literatuře subjektivně uváděny) a při dalším rozvoji kódu HAVAR-RP by měly být zohledněny (společně s problematikou zahrnutí těchto korelací při generování realizací náhodného vektoru vstupních hodnot s užitím metodiky LHS – viz [L2]).

Při AN kódu UFOMOD se hledaly závislosti pro cílovou veličinu, kterou byly zmíněné koncentrace aktivity Cs137 ve vzduchu a na zemském povrchu (depozice) ve vzdálenosti 80 – 120 km. Za předpokladu, že *nejsou korelace* mezi parametry modelu jsou nezávislé parametry seřazeny do následujícího pořadí:

Tab. 7-1 Hodnoty koeficientu determinace R^2 pro cílovou proměnnou koncentrace Cs137

Číslo	Nezávislá proměnná	Pořadí (rank)	R-sq. (%)
1	Rychlost suchého spadu vd pro aerosoly	1	78
2	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	2	9
3	σ_v pro kateg. D	3	5
4	r - chyba ve stanovení rychlosti větru	4	3
5	Výška směšovací vrstvy v kateg. D	5	2
6	Výška směšovací vrstvy v kateg. C	6	1
7	σ_v pro kateg. E	7	0
8	σ_v pro kateg. C	8	0
9	Koeficient vymývání Λ aerosolů (1 - 3 mm/h)	9	0
10	Tepelná vydatnost zdroje Q	10	0
11	Faktor vzhosu vlečky FPR, kateg. A - D	11	0
12	Koeficient vymývání Λ aerosolů (> 3 mm/h)	12	0
13	vd pro aerosoly, Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	1 2	87
14	σ_v pro kateg. A - F	26 17 8 3 7 16	2
15	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h), koeficient vymývání Λ aerosolů (1 - 3 mm/h), Koeficient vymývání Λ aerosolů (> 3 mm/h)	2 9 12	9
16	Nezávislé proměnné s pořadím <13	1 - 12	99
17	Nezávislé proměnné s pořadím >12	13 - 39	2

Pozn.:

$$R\text{-sq.}(\%) = R_s^2/R_t^2 \cdot 100$$

R_t^2 je hodnota R^2 při zahrnutí všech parametrů modelu. Pro tento případ je $R_t^2 = 0,95$.

Klesající důležitost pořadí pro parametry modelu při *neuvažování korelací* mezi vstupními parametry dává klesající hodnoty koeficientu determinace R^2 (viz např. prvních 12 důležitých parametrů v předchozí tabulce 7-1).

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

V případě, že *jsou* předpokládány *korelace* (viz následující tabulka 7-2), neklesá R^2 monotónně. Parametr s pořadím 12 má hodnotu R^2 mnohem větší než např. parametr s pořadím 3. Jeden z parametrů mokré depozice nepatří mezi statisticky významné parametry (pro srážky > 3 mm/h). Na druhé straně však jsou v korelaci všechny parametry depozice. Vezme-li se v úvahu skupina všech nevýznamných parametrů (včetně parametrů, které jsou v korelaci s významnými proměnnými), bude tato hodnota R^2 rovna 43%. Zkoumání a interpretace R^2 vedla k odhalení poněkud zvláštních předpokladů expertů o korelacích mezi parametry suché a mokré depozice. Tyto korelace byly odstraněny v pozdějších etapách analýz neurčitosti a citlivosti modelu UFOMOD/3B. Nicméně tyto podivné korelace neovlivnily významně sekvenci statisticky důležitých parametrů modelu.

Tab.7-2 Hodnoty koeficientu determinace R^2 pro cílovou proměnnou koncentrace Cs137

Číslo	Nezávislá proměnná	Pořadí (rank)	R-sq. (%)
1	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly	1	83
2	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	2	42
3	r - chyba ve stanovení rychlosti větru	3	2
4	σ_v pro kateg. D	4	5
5	Výška směšovací vrstvy v kateg. D	5	2
6	σ_v pro kateg. C	6	3
7	Výška směšovací vrstvy v kateg. C	7	1
8	σ_v pro kateg. E	8	3
9	Výška směšovací vrstvy v kateg. B	9	2
10	σ_v pro kateg. F	10	3
11	σ_v pro kateg. B	11	3
12	Koeficient vymývání Λ aerosolů (1 - 3 mm/h)	12	36
13	σ_z pro kateg. C	13	0
14	Tepelná vydatnost zdroje Q	14	0
15	v_d pro aerosoly, koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	1 2	88
16	Koeficient vymývání Λ aerosolů (> 3 mm/h)	31	39
17	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h), Koeficient vymývání Λ aerosolů (1 - 3 mm/h) Koeficient vymývání Λ aerosolů ($> 3 \mu\text{m}$)	2 12 31	55
18	v_d pro aerosoly, Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h), Λ aerosolů(1 - 3 mm/h), Λ aerosolů(>3 mm/h)	1 2 12 31	88

Pozn.:

$$R\text{-sq.}(\%) = R_s^2/R_t^2 \cdot 100$$

R_t^2 je hodnota R^2 při zahrnutí všech parametrů modelu. Pro tento případ je $R_t^2 = 0,98$.

Dále byly analyzovány koncentrace aktivity jódů a aerosolů na povrchu země, v přízemní vrstvě (1 m nad zemským povrchem) a ve vlečce (v ose) pro 4 intervaly vzdáleností a dále akutní ekvivalentní dávka na červenou kostní dřev a 50-ti letá efektivní dávka ve 4 vzdálenostech.

Pro koncentrace pod osou mraku lze učinit následující zobecnění:

- **V blízkosti zdroje** je neurčitost výstupního modelu dosti velká (koeficient neurčitosti je mezi 2,5 a 10). V této oblasti je velmi důležitá volba **tepelné vydatnosti zdroje** (thermal energy), **parametrů vertikální disperze, suché a mokré depozice a vznosu vlečky**.
- **Ve větších vzdálenostech od zdroje** je vlečka ve vertikální vrstvě uniformně smíchaná. V tomto případě je důležitá **suchá depozice, horizontální disperze a výška směšovací vrstvy**. Koeficient neurčitosti se pohybuje mezi 3 až 5.

Hodnota R^2 např. pro střední koncentraci Cs-137 na zemském povrchu ve vzdálenosti 0,8 – 1,2 km ukazuje, že 97 % (93% s uvažováním korelací) pozorovaných variací je způsobeno parametry submodelů. Suché depozici aerosolů se přičítá 80% (71%) variací, suché depozici a tepelné vydatnosti zdroje dohromady 87% (82%). Parametry modelu s pořadím důležitosti větším než 15 jsou zodpovědné za 3% (1%) variací. Pouze 15 parametrů má PRCC větší než je tzv. *kritická úroveň*, kde PRCC je *parciální koeficient pořadové korelace* (partial rank correlation coefficient).

Podobná situace je ve vzdálenosti 80 – 120 km. Rychlost suché depozice aerosolů odpovídá za 83% (78%) celkové variability, suchá depozice a koeficient vymývání za 88% (87%). Parametry modelu s pořadím důležitosti > 15 přispívají 43% (2%) k variacím. Hodnota 43 % je způsobena korelacemi proměnných.

Pro akutní dávku na červenou kostní dřev **ve vzdálenosti 80 – 120 km** je situace následující. Předpokládá se *neexistence korelací* mezi parametry. Klesající důležitost pořadí modelových parametrů dává klesající hodnotu koeficientu determinace R^2 (viz např. 7 nejdůležitějších parametrů v následující tabulce 7-3).

V případě, že jsou předpokládány korelace mezi parametry, nechovají se hodnoty R^2 monotónně. Parametr s pořadím 4 má větší hodnotu R^2 než parametr s pořadím 2. Je zde stejná argumentace jako v případě koncentrací – ne všechny parametry depozice jsou významné, ale všechny jsou korelované. Toto vede ke skupinové hodnotě R^2 cca 50% pro skupinu separátně braných nevýznamných proměnných (s pořadím > 7).

Tab.7-3 Hodnoty R^2 pro cílovou proměnnou dávek (*nejsou uvažovány korelace mezi proměnnými*)

Číslo	Nezávislá proměnná	Pořadí (rank)	R-sq. (%)
1	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly	1	63
2	Rychlost suchého spadu v_d pro jódy	2	12
3	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	3	11
4	Výška směšovací vrstvy v kateg. C	4	2
5	Výška směšovací vrstvy v kateg. D	5	4
6	r - chyba ve stanovení rychlosti větru	6	3
7	Výška směšovací vrstvy v kateg. F	7	1
8	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly, v_d pro jódy	1 2	76
9	Výška směšovací vrstvy v kateg. A - F	21 15 4 5 24 7	7
10	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h),	3	

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

	(1 - 3 mm/h), (> 3 mm/h)	29 10	11
11	Koeficient vymývání Λ jódů (0 - 1 mm/h), (1 - 3 mm/h), (> 3 mm/h)	12 29 19	1
12	Nezávislé proměnné s pořadím < 8	1 - 7	95
13	Nezávislé proměnné s pořadím > 7	8 - 39	11

Pozn.:

$$R\text{-sq.}(\%) = R_s^2/R_t^2 * 100$$

R_t^2 je hodnota R^2 při zahrnutí všech parametrů modelu. Pro tento případ je $R_t^2 = 0,95$.

Tab. 7-4 Hodnoty R^2 pro cílovou proměnnou dávek (jsou uvažovány korelace mezi proměnnými)

Číslo	Nezávislá proměnná	Pořadí (rank)	R-sq. (%)
1	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly	1	70
2	Rychlost suchého spadu v_d pro jódů	2	11
3	r - chyba ve stanovení rychlosti větru	3	3
4	Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h)	4	32
5	Výška směšovací vrstvy v kateg. C	5	7
6	Výška směšovací vrstvy v kateg. D	6	9
7	Výška směšovací vrstvy v kateg. B	7	9
8	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly, v_d pro jódů	1 2	76
9	Výška směšovací vrstvy v kateg. A - F	32 7 5 6 30 20	12
10	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly, v_d pro jódů	1 2	84
11	r - chyba ve stanovení rychlosti větru	3	
12	λ aerosolů (0 - 1 mm/h), (1 - 3 mm/h) λ aerosolů (> 3 mm/h)	10 19	44
13	Rychlost suchého spadu v_d pro aerosoly, v_d pro jódů r - chyba ve stanovení rychlosti větru, Koeficient vymývání Λ aerosolů (0 - 1 mm/h), (1 - 3 mm/h), (>3mm/h)	2 3 4 10 19	87
14	Nezávislé proměnné s pořadím < 8	1 - 7	99
15	Nezávislé proměnné s pořadím > 7	8 - 39	50

Pozn.:

$$R\text{-sq.}(\%) = R_s^2/R_t^2 * 100$$

R_t^2 je hodnota R^2 při zahrnutí všech parametrů modelu. Pro tento případ je $R_t^2 = 0,98$.

V souladu s výsledky zmiňovanými při výpočtu koncentrací, pocházejí variace v dávkách na červenou kostní dřev z **tepelné vydatnosti** zdroje, **vznosu vlečky** (klesající vliv z malých do velkých vzdáleností, je zde velká důležitost **suché depozice** (jódů) a vzrůstající vliv suché a **mokrý depozice** (aerosolů) z blízkých do vzdálených oblastí. Šířka oblasti neurčitosti je od 1 do 5 z malých do velkých vzdáleností.

Parciální korelační koeficienty pořadí pro efektivní dávku jsou podobné jako ty pro dávku na červenou kostní dřev v blízkých oblastech. Ve větších vzdálenostech jsou nejdůležitějšími parametry modelu **suchá depozice** (jódů a aerosolů), chyba v **rychlosti větru** a **výška směšovací vrstvy**.

Tab. 7.5 Hlavní výsledky studie senzitivity výsledné dávky na červenou kostní dřev na nejdůležitější náhodné vstupy do ADM:

Vzdálenost	Parametr	Parciální korelační koeficient pořadí	Pořadí
0,2 – 0,5 km	Tepelná vydatnost zdroje	0,86	1
	Faktor vznosu vlečky	0,86	2
	Suchá depozice jódů	0,78	3
0,8 – 1,2 km	Tepelná vydatnost zdroje	0,92	1
	Suchá depozice jódů	0,85	2
	Faktor vznosu vlečky	0,66	3
8 – 12 km	Chyba v popisu rychlosti větru	0,56	1
	Suchá depozice jódů	0,45	2
	Horizontální disperzní parametr	0,44	3
80 – 120 km	Suchá depozice aerosolů	0,91	1
	Suchá depozice jódů	0,69	2
	Chyba v popisu rychlosti větru	0,55	3

Tepelná vydatnost zdroje přispívá 40% (40% s uvažováním korelací). Suchá depozice jódů a tepelná vydatnost zdroje dohromady přispívají 76% (74%) k celkové variabilitě. Parametry modelu s pořadím větším než 9 přispívají 25% (7%) k variacím. Podobná situace je ve vzdálenosti 80 – 120 km. Suchá depozice aerosolů přispívá 70% (63%). Suchá depozice aerosolů a jódů dohromady tvoří 81% (76%) variability. Parametry modelu s pořadím důležitosti > 7 zodpovídají za 50% (11%) variací.

Neurčitosti v uvažované v **programu COSYMA** vycházejí z předchozích analýz prováděných pro kód UFOMOD. V programu je uvažováno množství neurčitých parametrů, konkrétně, jak bylo uvedeno v tabulce v úvodu práce bylo vybráno 28 vstupních parametrů pro dílčí AN pro modul ADM a z nich pak 24 pro celkovou AN. Kritéria pro výběr důležitých parametrů byla založena na významnosti příspěvku k fluktuaci výstupu a na pořadí důležitosti vlivu sestrojeném s použitím parciálních pořadových korelačních koeficientů. V [31] je zkoumána též otázka vzájemných korelací vstupů na základě redukované grupy náhodných vstupů, protože není možné provést tolik výpočtů k získání korelačních koeficientů, jsou-li zahrnuty všechny neurčité parametry. Proto jsou zde prováděny série analýz ke stanovení důležitých neurčitých parametrů pro jednotlivé sekce programu COSYMA - ADM model, FCM model, model výpočtu dávek, modelování časných a pozdních zdravotních účinků. Nejdůležitější parametry identifikované v každé z těchto analýz jsou zahrnuty do finální analýzy celého programu.

Analýzy byly prováděny pro 3 různé zdrojové členy, které jsou uvedeny v příloze 3.

Tab. 7-6 Dílčí výsledky z [31] korelační analýzy vyjádřené pomocí korelačních faktorů mezi vstupními parametry:

Korelační parametry	Korelační koeficient
---------------------	----------------------

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Rychlost depozice aerosolů	Rychlost depozice element. jódu	0,3
Rychlost depozice aerosolů	Disperzní faktor q_v pro kategorii A	0,25
Rychlost depozice aerosolů	Disperzní faktor q_v pro kategorii C	0,33
Rychlost depozice aerosolů	Disperzní faktor q_v pro kategorii D	0,59
Rychlost depozice aerosolů	Disperzní faktor q_v pro kategorii E	0,9
Rychlost depozice aerosolů	Disperzní faktor q_z pro kategorii E	-0,4
Rychlost depozice jódů	Disperzní faktor q_v pro kategorii E	0,26
Disperzní faktor p_v pro kategorii A	Disperzní faktor q_v pro kategorii A	0,25
Disperzní faktor q_v pro kategorii A	Disperzní faktor q_v pro kategorii C	0,75
Disperzní faktor q_v pro kategorii A	Disperzní faktor q_v pro kategorii D	0,43
Disperzní faktor q_v pro kategorii A	Disperzní faktor q_v pro kategorii E	0,28
Disperzní faktor q_v pro kategorii C	Disperzní faktor q_v pro kategorii D	0,56
Disperzní faktor q_v pro kategorii A	Disperzní faktor q_v pro kategorii E	0,37
Disperzní faktor q_v pro kategorii D	Disperzní faktor q_v pro kategorii E	0,65
Disperzní faktor q_v pro kategorii D	Disperzní faktor q_z pro kategorii D	-0,25
Disperzní faktor q_v pro kategorii E	Disperzní faktor q_z pro kategorii E	0,2
Disperzní faktor q_v pro kategorii E	Disperzní faktor q_z pro kategorii E	-0,29
Disperzní faktor p_z pro kategorii A	Disperzní faktor q_z pro kategorii A	-0,26
Disperzní faktor p_z pro kategorii D	Disperzní faktor q_z pro kategorii D	-0,26
Disperzní faktor p_z pro kategorii E	Disperzní faktor q_z pro kategorii E	-0,46
Faktor A koeficientu vymývání pro aerosoly	Faktor B koeficientu vymývání pro aerosoly	-0,87
Faktor A koeficientu vymývání pro elementární jód	Faktor B koeficientu vymývání pro elementární jód	-0,60
Faktor A koeficientu vymývání pro elementární jód	Faktor A koeficientu vymývání pro organický jód	0,32

Poznámka:

V této tabulce jsou uvedeny všechny dvojice parametrů, pro které je absolutní hodnota korelačního koeficientu větší než 0,2.

Koeficient vymývání je dán obvyklým vztahem $A * v^B$, kde v je v mm/h.

V předchozím textu jsou citovány závěry šetření AN pro kódy UFOMOD a COSYMA. Tyto údaje jsou dále rozšířeny o základní fakta uvedená v [L2] a dále o výběr informací týkajících se AN v modelu ADM, který je zde uveden v tabulkách v příloze 2 a který zahrnuje:

- *Výběr podstatných parametrů z MARC-2A [2]*
- *Parametry neurčitosti atmosférického modelu podle autorů Kok, Eleveld [19]*
- *Parametry neurčitosti atmosférického modelu podle kódu OSCAAR [5]*
- *Rozdělení odvozená pro vstupní parametry UFOMOD [3] - parametry atmosférické disperze*
- *Vstupní parametry ADM modelu : Tabulka z [9] : Jones J.A., Goossens L., Kraan B, Hasemann I., Fischer F., Ehrhardt J.: Uncertainty analysis on COSYMA results of the dispersion and deposition module analysis (krátký výtah)*
- *Vstupní parametry ADM : Tabulka z liter. [7] : Goossens L., Harper F.T.: Joint EC/USNRC expert judgement driven radiological protection - uncertainty analysis of ADM*

7.1.3 Implicitní grupa náhodných vstupních parametrů pro ADM model kódu HAVAR-RP

Na základě předchozí diskuse jsou pro omezenou implicitní grupu neurčitostí atmosférického a depozičního modelu ADM zvoleny nejdůležitější parametry náhodných vstupů. Jedná se o kompromis mezi na jedné straně skutečným velkým počtem reálně existujících náhodných faktorů a požadavkem omezit jejich počet z důvodů snížení výpočetní náročnosti. Jak bylo ukázáno, při takovém výběru je nutné dbát na zkušenosti z jiných kódů a akceptovat závěry studií senzitivity o velikosti parciálního vlivu neurčitostí jednotlivých parametrů na velikost fluktuací cílových veličin. Protože složení grupy je závislé na dalších faktorech (konkrétní scénář úniku, typ analyzované cílové veličiny, a to navíc s odlišným vyhodnocením v blízké resp. větší vzdálenosti od zdroje znečištění), lze očekávat změny pořadových korelací i počtu uvažovaných důležitých parametrů. Proto je třeba následující tabulku považovat za první kompromis s tím, že ji lze rozšiřovat resp. měnit na základě vlastních citlivostních studií prováděných při běžích kódu HAVAR-RP.

Tab. 7-7 Původní implicitní grupa vstupních neurčitostí pro atmosférický a depoziční model ADM systému HAVAR-RP (zpřesněná grupa – viz konec Přílohy 4)

proměnná	minimum	střední hodnota	maximum	rozdělení	σ	rozměr
<i>ADM1: škálový faktor intenzity úniku</i>		1.0		normální	0.20 3 σ omez.	-
<i>ADM2: škálový faktor horizontální disperze</i>		1.0		normální	0.13 3 σ omez.	-
<i>ADM3: horizontální fluktuace směru větru</i>	-5	0	+5	diskrétní rovnoměrné		-
<i>ADM4: škálový faktor rychl. suché depozice - elem</i>	0.41	1.0	1.6	rovnoměrné		-
<i>ADM5: škálový faktor rychl. suché depozice – aer.</i>	0.41	1.0	1.6	rovnoměrné		-
<i>ADM6: faktor vymývání – elementární jód</i>	1/5	1.0	5.0	log-rovnoměrné		-
<i>ADM7: faktor vymývání - aerosoly</i>	1/5	1.0	5.0	log-rovnoměrné		m ⁻¹
<i>ADM8: korekční faktor advekční rychl. vlečky</i>	-1.0	0.0	+1.0	rovnoměrné		-
<i>ADM9: korekční faktor exponentu profilu větru</i>	0.50	1.0	1.5	rovnoměrné		-
<i>ADM10: škálový faktor vertikální disperze</i>		1.0		normální	0.13 3 σ omez.	-
<i>ADM11: korekce na výšku směšovací vrstvy</i>	0.6	1.175	1.75	rovnoměrné		-
<i>ADM12: korekce na tepelnou vydatnost vzdušin</i>	0.0	0.5	1.0	rovnoměrné		-

Výběr je prováděn pro přímočarý Gaussův model šíření vlečky. Jednotlivé náhodné parametry jsou vyjadřovány buď absolutně přímo hodnotou reprezentovanou identifikátorem ADM nebo ve standardizovaném tvaru pomocí bezrozměrných škálovacích faktorů. Druhá alternativa vyjadřuje náhodný parametr R pomocí separace do dvou částí podle schématu:

$$R = ADM * R_{ref} \quad (7.1)$$

kde ADM je „standardizovaná“ bezrozměrná náhodná veličina s vhodným rozdělením hustoty pravděpodobnosti a R_{ref} je deterministická hodnota tak zvaného nejlepšího odhadu R, někdy označovaná také jako referenční či nominální hodnota R_{nom} . Separace podle (7.1) je zřejmě výhodná i z hlediska vytváření zdrojového kódu pro pravděpodobnostní model. Pokud se jedná o standardizované vyjádření, potom bezrozměrné náhodné proměnné ADM jsou ve zde prezentovaných tabulkách obvykle označovány jako škálové faktory. Fyzikální význam parametrů ADM z tabulky je následující:

1. **Intenzita úniku aktivity** [Bq/s] ze zdroje znečištění $A = ADM1 * A_{nom}$
Podklady k odhadu: V [1] pro kód GENII-S je u Problem 1 uveden rozsah pro „air release term“ pro Cs137 <1E-4 ; 5 E-4> Ci/rok. Předpokládejme $ADM1 \in N(\mu=1, \sigma=0.2)$ z normálního rozdělení (3 sigma omezeného), necht' je stejné u všech unikajících nuklidů (totální korelace).
2. **Horizontální disperze** vlečky [m] $\sigma_y(x) = ADM2 * \sigma_y(x)_{nom}$
Podle modelu KFK-Jülich : $\sigma_y(x) = ADM2 * p_y \cdot x^{qy}$
ADM2 = škálový faktor: normální 3- σ omezené: $N(1 ; 0.13)$
3. Neurčitost zadaného **směru větru** $\Delta\phi = \phi - \phi_{nom}$
Neurčitost zadaného směru větru $\Delta\phi = ADM3 * 2\pi/80$ [rad] ;
Výpočtová polární růžice je rozdělena celkem na 80 směrů, fluktuace směru větru jsou proto uvažovány skokově po hodnotách $2\pi/80$; rozsah fluktuací: ADM3 je z diskrétního uniformního rozdělení $U_{discr} (-5 ; +5)$ - může tedy se stejnou pravděpodobností nabývat hodnot $-5, -4, \dots, 0, +1, \dots, +5$.
Pozn.: neurčitost v horizontální disperzi $\sigma_y =$ neurčitosti fluktuace směru větru vztažená k periodě desítky minut σ_{yw} (což je vlastně σ_θ). Neurčitost turbulentní fluktuační složky v měřítku několika málo minut σ_{yt} je plně korelovaná se σ_z (toto je rozlišováno pro každou kategorii zvlášť)
4. **Rychlost suché depozice** pro elementární jód [$m.s^{-1}$] : Zavedme dvě alternativní cesty zadávání náhodného charakteru:
 - a) $vd = ADM4 * vd_{nom}$ – standardizovaný tvar, kde relativní náhodný škálový faktor ADM4 má určité rozdělení převzaté z literatury. Pokud zvolíme lognormální rozdělení odpovídající $N(1, \sigma_N)$, σ_N budeme odhadovat například z kvantilů nebo min a max hodnot.
 - b) Náhodná vd se zadává absolutně s rozdělením podle tabulky P4-1 (tam je uvažován lognormální průběh).
5. **Rychlost suché depozice** pro aerosoly [$m.s^{-1}$] : opět možno postupovat dvěma alternativními cestami, zvolíme:
 $vd = ADM5 * vd_{nom}$
nebo se vd opět zadává absolutně s lognormálním rozdělením podle tabulky P4-1.

6. **Faktor vymývání** Λ^{elem} – elementární jód: Při vymývání srážkami zůstává ve vlečce složka aktivity:

$$f_w = \exp(-\Lambda \cdot \Delta t)$$

Jedna z možností modelování : $\Lambda = \Lambda_{\text{nom}} * \text{ADM6}$

Pro relativní neurčitost ADM6 bylo při testech použito log-rovnorné rozdělení na interval $< 1/5 ; 5 >$

7. **Faktor vymývání** Λ^{aer} – aerosoly:

Jedna z možností modelování : $\Lambda = \Lambda_{\text{nom}} * \text{ADM7}$

Pro relativní neurčitost ADM7 bylo při testech použito log-rovnorné rozdělení na interval $< 1/5 ; 5 >$

8. Korekční faktor **advekční rychlosti** vlečky:

Podle UFOMOD: $u = (1 + 0,1 * \text{ADM8}) * u_{10} + 0,5 * \text{ADM8}$

kde ADM8 je neurčitý parametr rovnoměrně rozdělený mezi -1 a +1

9. Exponent **profilu větru**:

Pro stanovení střední rychlosti větru po výšce je profil větru $u(z) = u_0(z/h_0)^p$ zprůměrován přes efektivní výšku emise h_{ef} podle:

$$u = h_{\text{ef}} \cdot \int_0^{h_{\text{ef}}} u(z) \cdot dz = \frac{u(h_{\text{ef}})}{1+p}$$

kde:

$u(h_{\text{ef}})$ je rychlost větru v efektivní výšce úniku

u_0 je rychlost větru ve výšce měření anemometrem

p je exponent profilu větru, který závisí na kategorii stability

Podle údajů z UFOMOD uvedených zde v tabulce P1-4 jsou hodnoty exponentu p závislé na kategorii stability počasí pro třídy A až F. Neurčitostem je přiřazeno rovnoměrné rozdělení a v prvním přiblížení použijeme ve všech kategoriích stability j stejný vztah:

$$p^j = p_{\text{nom}}^j * \text{ADM9}$$

kde ADM9 je náhodný faktor z rovnoměrného rozdělení $U(0.5 ; 1.5)$

10. Škálový faktor **vertikální disperze** σ_z :

Významný vliv hlavně pro bližší vzdálenosti

Podle modelu KFK-Jülich : $\sigma_z(x) = \text{ADM10} * p_z \cdot x^{\text{qz}}$

ADM10 = škálový faktor: normální 3- σ omezené: $N(1 ; 0.13)$ (OSCAAR);

V implicitní grupě zaveden předpoklad totální závislosti s ADM2

11. Korekce na **výšce směšovací vrstvy** H_{mix}

Pro jednotlivé kategorie stability atmosféry j předpokládá kód UFOMOD [4] uniformní rozložení kolem středních hodnot. Číselné hodnoty tam uvedené opravňují použít opět standardizovaný tvar:

$$H_{\text{mix}}^j = H_{\text{mix,nom}}^j * \text{ADM11}^j$$

Přičemž relativní škálovací faktor bude brán stejný pro všechny kategorie j kromě F, tedy

$$\text{ADM11}^j = \text{ADM11} \in U(0.5, 2.0) \quad J=A,B,C,D,E$$

Pro kategorii F : $ADM11 \in U(0.6, 1.75)$

12. Korekce na *tepelnou vydatnost* vzdušín

Některé kódy odhadují přímo fluktuace efektivní výšky, do které vystoupá vlečka v důsledku tří příčin:

- vlastní reálné výšky úniku, která je považována za neurčitou
- možného nezanedbatelného vertikálního momentu hybnosti unikajících vzdušín
- tepelné vydatnosti unikajících vzdušín QH vedoucí k počátečnímu tepelnému vznosu.

V implicitní grupě se zde zatím uvažuje pouze poslední příčina, přičemž do vztahů pro výpočet tepelného vznosu (popis v základním manuálu systému HAVAR) se dosazují náhodné realizace podle standardizovaného vztahu

$$QH = QH_{nom} * ADM12$$

Rozdělení parametru ADM12 zvolíme jako rovnoměrné, $ADM12 \in U(0, 1.0)$. Lze uvažovat i metodu z UFOMOD [4], která uvažuje lognormální závislost.

Pozn.: Druhý způsob přístupu je vidět v tab. P1-2, kdy se přiřazuje neurčitost až pro hodnotu vypočtené efektivní výšky s odhadem zvlášť pro nízký a vysoký zdroj.

7.2 Submodel šíření aktivity potravními řetězci FCM

Oblast šíření neurčitostí v potravních řetězcích je mimořádně rozsáhlá a některé oblasti týkající se modelování dlouhodobého hromadění v biosféře a transportu biosférou nejsou dosud realisticky popsány. Jsou shromážděna doporučení týkající se modelů hromadění radionuklidů v půdě, intercepce a zadržení radionuklidů na rostlinách, transportu radionuklidů z půdy a povrchu rostlin do jedlých částí rostlin a transportu kontaminantů z živočišného krmení do živočišných produktů určených k potravě pro lidi. Je nutné získat dostatečně vyhovující popis fázi zpracování, skladování, distribuce a spotřeby potravin. Dynamické modelování v potravních řetězcích si vynucuje definování časových charakteristik, jako jsou vegetační periody rostlin, doba sklizně a všechny doby zdržení v zemědělské a potravinářské oblasti. Míru konzervatismu lze ovlivnit volbou předpokladů o lokálním resp. globálním modelu spotřeby.

Jak bylo uvedeno výše, existují stovky vstupních parametrů potravních řetězců, které mají zřejmý náhodný charakter. Například v případě FCM (potravní řetězce) u AN kódu COSYMA je zvoleno 162 náhodných parametrů, ale autoři provádějí podrobnou CS, na základě které pro celkovou AN bylo vybráno jen 35 náhodných vstupů. Dále je třeba mít na paměti, že analýzy se dějí vždy pro jeden zcela konkrétní scénář úniku a že mnohonásobné Monte Carlo modelování začíná až po volbě příslušného scénáře. Ten je vyjádřen specificky deterministicky definovanými veličinami, jako jsou:

- juliánský den spadu v roce
- dynamika úniku radionuklidů
- grupa radionuklidů
- konkrétní meteorologická situace a případný výskyt srážek.

Variabilita scénářů by pak objem výpočtů mimořádně zvýšila a i z praktického hlediska není takový postup přínosný, vede ke zkomplikování celé situace a potížím při interpretaci výsledků.

7.2.1 Podklady pro výběr relevantních vstupních parametrů modelu FCM

Hlavním úkolem tohoto paragrafu je nalézt věrohodné zdroje, které by bylo možno použít pro konstrukci omezené implicitní grupy neurčitostí vstupních parametrů ingesčního modelu platného pro podmínky ČR v inovovaném produktu HAVAR-RP. Při shromažďování podkladů pro grupy neurčitostí jednotlivých částí ingesčního modelu musí být zaměřena pozornost především na dva nejvýznamnější dynamické modely používané v Evropě:

1. Model ECOSYS [27] - dynamický model vyvinutý v GSF (Německo) a laděný původně na podmínky jižního Německa, které pokládáme za blízké podmínkám středoevropským. Výsledky analýzy neurčitostí AN a citlivostních studií CS jsou publikovány v [10, 22].
2. Model FARMLAND [28, 29] - dynamický model vyvinutý v NRPB (Anglie) lokalizovaný původně pro podmínky Velké Británie, později byl rozšířen pro obecnější použití. Studie AN a CS kódu COSYMA [32, 31] byly provedeny právě s alternativní volbou modelu FARMLAD.

Vzhledem k důležitosti obou modelů pro tuto práci zmíníme v příloze 6 alespoň zásadní zjištění, která vyplynula ze srovnání obou modelů. Oba modely jsou dnes integrovány do významných programových systémů COSYMA, RODOS nebo MACCS pro odhady radiologických dopadů radioaktivních úniků, kde představují dvě základní volby pro cestu ingesce. Významným faktem je, že oba modely vstoupily do procesu analýzy neurčitostí, kdy spolu s příslušnou předřazenou částí pro atmosférický a depoziční submodel vytvořily nástroj pro kvantitativní odhady šíření neurčitostí vstupních parametrů modelem směrem ke sledovaným cílovým veličinám (kontaminace krmiv a potravin, příjmy aktivity lidským organismem za různé časové intervaly, dávky z vnitřního ozáření). Významným zdrojem informací o novém pravděpodobnostním přístupu se tak staly provedené procedury analýzy neurčitostí s užitím významných kódů:

- COSYMA (viz [32, 31]) ← FARMLAND
- UFOMOD (viz [3, 4]) ← ECOSYS
- MARC-2A (viz [2]) ← FARMLAND

Použití alternativních modelů ECOSYS nebo FARMLAND je poskytováno u systémů COSYMA a RODOS. Významným zdrojem informací o modelování procesů v ingesční oblasti a očekávaných fluktuacích vstupů podává práce [34], kde je popsána celá řada dílčích modelů transportu radionuklidů v biosféře a potravních řetězcích (modely TAMDYN, OSCAAR, SENES).

Úvodem k problematice redukce počtu neurčitých vstupních parametrů pro účely nově vyvíjeného systému HAVAR se zabývá práce [1] a na základě rešerše příslušné literatury jsou zde shromažďovány konkrétní údaje ke grupě neurčitostí vstupních parametrů ingesčního modelu. Proces sběru informací pokračoval i v této práci, kdy došlo k podstatnému rozšíření pramenů. Přehled názorů na hodnoty vstupních neurčitostí různých autorů je uveden v příloze 2. Konkrétně jde o tabulky:

- Tab. P2-1: Nejdůležitější parametry pro ingesční model ECOSYS provedený na základě CS v [10]
- Tab.P2-2: Výběr parametrů v analýze neurčitostí provedené v [5] s užitím kódu OSCAAR
- Tab.P2-3: Výběr parametrů v analýze neurčitostí provedené v [2] s užitím kódu MARC-2A
- Tab.P2-4: Nejdůležitější parametry vybrané na základě studií citlivosti v [31] pro ingesční model FARMLAND
- Tab.P2-5: Model potravního řetězce podle expertů pro MACCS a COSYMA v liter. [7]
- Tab.P2-6: Globální parametry terestriálního ekosystému podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)
- Tab.P2-7: Parametry závislé na vegetaci podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)
- Tab.P2-8: Transportní koeficienty pro zvířata a pro člověka podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)
- Tab.P2-9: Model výpočtu dávek podle expertů pro MACCS a COSYMA podle [7]
- Tab.P2-10: Nejdůležitější parametry vybrané na základě studií citlivosti v [27] pro ingesční model ECOSYS-87

Z pohledu procedury výběru implicitní omezené grupy neurčitostí pro HAVAR-RP jsou hlavním zdrojem práce:

- [10]: Analýza neurčitostí v důsledku variability parametrů v modelu potravních řetězců a ve výpočtech dávek z ingesce pro radioekologický model ECOSYS, který je základem podobných kalkulací i v systému RODOS – model lokalizovaný na kontinentální podmínky střední Evropy,
- [2] : Analýza neurčitostí predikce následků jaderných nehod s užitím NRPB kódu MARC-2A – pro model FARMLAND adaptovaný na britské podmínky,
- [22]: Studie citlivosti modelu ECOSYS-87 v důsledku variability parametrů v modelu potravních řetězců,
- [14]: Návrh strategie pro AN modelu potravních řetězců systému RODOS.

7.2.2 Závěry citlivostních studií (CS) pro redukci grupy neurčitostí modelu potravních řetězců FCM

Analýza citlivosti neurčitostí cílových veličin na fluktuace náhodných vstupních parametrů spojených s ingesční cestou pro model ECOSYS-87 prováděná v [10, 22] měla za cíl zjišťovat parametry, jejichž neurčitosti mají významný dopad na výsledky modelu. Podle velikosti vlivu měřené určitými statistickými postupy jsou potom tyto parametry seřazeny a do další AN vstupují pouze ty náhodné vstupy, které mají nezanedbatelný vliv na konkrétní cílovou veličinu. Toto je procedura realistické redukce rozsahu grupy neurčitostí. Hned v úvodu je

třeba ukázat na některá úskalí související s fakty, že výsledky CS se mohou více či méně výrazně lišit v závislosti na:

- konkrétním analyzovaném scénáři (den spadu v roce v poměru k vegetačním obdobím, dynamice úniku, uvažované skupě nuklidů, konkrétní meteorologické situaci),
- typu cílové veličiny (koncentrace aktivit, jejich časové integrály, depozice na zemském povrchu, různé druhy dávek pro různé doby expozice),
- velikosti zájmové oblasti (cílové veličiny generované v blízkém nebo větším okolí zdroje.

Z tohoto hlediska je užitečné nahromadit co největší objem zkušeností získaných ve světě i za cenu určité nesystematičnosti (která ostatně vyplývá z rozsahu problematiky). Při AN a CS modelu ECOSYS-87 prováděných v [10, 22] byly získány zkušenosti, které uvádíme dále.

Předně se ukázalo, že relativní pořadí nejvýznamnějších vstupních parametrů bylo závislé na radionuklidech (Cs-137, Sr-90, I-131 nebo Pu-239), na tom, zda byla počítána roční nebo 50-letá dávka a zda byla zvažována suchá depozice nebo smíšená (během úniku se vyskytly atmosférické srážky). Parametrem, který nejvíce ovlivnil výsledky pro Pu-239, byla resuspenze materiálu původně usazeného na zemském povrchu. Byly zjištěny následující parametry, na kterých byla nejvíce citlivá dávka po expozici radionuklidu Cs-137, Sr-90 a I-131:

- výnos plodin
- přenos radionuklidů z rostlin do zvířat
- depoziční rychlost
- změny koncentrací radionuklidů způsobené zpracováním potravy
- krmné dávky zvířat
- odstraňování radionuklidů z povrchu rostlin v důsledku povětrnostních vlivů (weathering)

Pořadí parametrů pro I-131 bylo řízeno jeho fyzikálním poločasem rozpadu 8,05 dne. Velmi důležité byly parametry, které:

- ovlivňovaly počáteční depozici
- mohly rychle ovlivnit přenos I-131 z bioty do lidí
- umožnily I-131 rozpadnout se ještě před konzumací.

Dalšími důležitými parametry specifickými pro Sr-90 a Cs-137 byly:

- transport radionuklidů z půdy do rostliny
- louhování z kořenové zóny
- resuspenze

Parametry spojené s pohybem radionuklidů v půdě byly důležitější pro Sr-90 než pro Cs-137. Jestliže se prokázalo, že je některý parametr citlivý na suchou depozici, pak byl právě tak citlivý na smíšenou depozici nebo ještě citlivější. Zvětšení doby počítané dávky z 1 roku na 50 let rovněž způsobilo posun relativního pořadí citlivých parametrů pro Cs-137 a Sr-90.

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

U následujících parametrů nebyl shledán pro žádný z nuklidů významnější vliv na cílové veličiny:

- časy a délka sklizně obilí
- přenos radionuklidů z povrchu listů do jedlých částí rostlin
- rychlost, s níž klesá koncentrace radionuklidu v rostlinách v důsledku ředění při růstu
- doba, za niž zvířata dosáhnou jateční váhy

V následující tabulce je seznam parametrů, které byly vybrány pro citlivostní analýzy modelu ECOSYS-87, jejich označení a rozměry.

Tabulka 7-8: Výběr vstupních parametrů podle CS modelu ECOSYS-87

Veličina	Jednotka	Popis
λ_w	den ⁻¹	podíl aktivity odstraněné z povrchu vegetace povětrnostními vlivy (weathering)
Y	kg.m ² (čerstvá hm.)	Výnos (biomasy) při sklizni
LAI	M ² povrchu rostliny na m ² povrchu půdy	index plochy listů rostlin; je funkcí času
H _t	kalendářní data	datum začátku a konce sklizně plodiny, <i>načasování</i> intervalu sklizně bylo měněno
H _l	kalendářní data	podobně jako H _t , ale byla měněna <i>délka</i> intervalu sklizně
S _{mass}	kg.m ⁻²	hmotnost půdy v kořenové zóně rostlin
λ_b	den ⁻¹	pokles koncentrace radioaktivity v rostlině v důsledku naředění při růstu; je funkcí času
V _d	mm.s ⁻¹	rychlost depozice, specifická pro nuklid a rostlinu
CR _{s-p}	Bq.kg ⁻¹ čerstvé rostliny na Bq.kg ⁻¹ suché půdy	Koncentrační poměr půda (soil)-rostlina (plant), specifický pro nuklid a rostlinu
R _{fod}	Bq.kg ⁻¹ čerstvé rostliny na Bq.kg ⁻¹ suché půdy ^{a)}	parametr resuspenze, změny byly provedeny pouze pro krmné plodiny; specifický pro nuklid, ale nikoli pro rostlinu
R _{all}	Bq.kg ⁻¹ čerstvé rostliny na Bq.kg ⁻¹ suché půdy	podobný předchozímu, změny však byly provedeny pro všechny rostliny
T _{time}	-	faktor popisující translokaci radionuklidů s povrchu listů do jedlých částí rostlin; závisí na nuklidu, počtu dnů do sklizně a na jednotlivé plodině, bylo měněno <i>časování</i> translokace
T _{quant}	-	podobný předchozímu, byla však měněna <i>hodnota</i> translokačního faktoru
λ_s	rok ⁻¹	rychlost vyluhování radionuklidů z kořenové zóny rostlin
λ_t	den ⁻¹	rychlost poklesu aktivity v pící trávě v důsledku translokace do kořenové zóny
MKT	den	doba, za kterou dosáhnou zvířata jatečnou váhu
TF _{p-a}	den.kg ⁻¹	faktor odhadující přenos radionuklidů z krmiva do živočišných produktů (výpočty pro citlivostní analýzu byly prováděny jen pro mléko a hovězí produkty a pro Sr, Cs a I)

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Veličina	Jednotka	Popis
I	kg.den ⁻¹ (čerstvá hm.)	denní krmné dávky pro hospodářská zvířata
STO _a	den	doba skladování krmiva
STO _h	den	doba skladování potravin
PRO	-	frakční změna koncentrace radionuklidu v potravine během zpracování

^{a)} Parametr resuspenze je v programu ECOSYS-87 přidán přímo ke koncentračnímu poměru půda-rostlina CR_{s-p}, čili mají stejný rozměr.

V následující tabulce je uvedeno relativní pořadí parametrů s citlivostním indexem SI (Sensitivity Index) větším než 0,25. SI mají hodnotu mezi 0.0 a 1.0. Čím blíže je hodnota SI k 1.0, tím citlivější jsou výstupy modelu na změny tohoto vstupního parametru. Hodnoty SI jsou uvedeny pro jednotlivé radionuklidy a pro výstupy z modelů výpočtu roční a 50-leté dávky po nehodě a jsou uvedeny pro smíšenou i suchou depozici.

Tab. 7-9 Relativní pořadí parametrů a jejich citlivostní index

Nuklid	Suchá a mokrá depozice				Suchá depozice			
	1 rok		50 let		1 rok		50 let	
	Parametr	SI	Parametr	SI	Parametr	SI	Parametr	SI
¹³⁷ Cs	Y	0,86	Y	0,72	V _d	0,96	V _d	0,96
	TF _{p-a}	0,79	TF _{p-a}	0,56	Y	0,86	Y	0,78
	PRO	0,58	R _{all}	0,44	TF _{p-a}	0,74	TF _{p-a}	0,58
	I	0,39	CR _{s-p}	0,40	λ _w	0,36	R _{all}	0,35
	λ _w	0,36	R _{fod}	0,35	I	0,36	CR _{s-p}	0,32
	V _d	0,32	PRO	0,35	λ _t	0,28	R _{fod}	0,27
	λ _t	0,31	V _d	0,26	LAI	0,28	I	0,27
	STO _a	0,28			PRO	0,28		
⁹⁰ Sr	Y	0,81	CR _{s-p}	0,89	V _d	0,80	V _d	0,91
	PRO	0,70	PRO	0,70	Y	0,53	CR _{s-p}	0,72
	TF _{p-a}	0,64	S _{mass}	0,67	PRO	0,32	S _{mass}	0,53
	λ _w	0,39	λ _s	0,63	TF _{p-a}	0,25	PRO	0,53
	FR	0,27	R _{all}	0,60			R _{all}	0,47
	CR _{s-p}	0,27	TF _{p-a}	0,48			λ _s	0,39
	V _d	0,26	Y	0,46			Y	0,39
			R _{fod}	0,30			TF _{p-a}	0,33
²³⁹ Pu			R _{all}	0,55				
¹³¹ I	Y	0,83			Y	0,79		
	TF _{p-a}	0,79			TF _{p-a}	0,77		
	STO _h	0,61			V _d	0,77		
	PRO	0,49			STO _h	0,51		
	λ _w	0,30			PRO	0,41		
	I	0,26						

Komentář k výsledkům CS modelu ECOSYS-87:

- Z výsledných hodnot uvedených v tabulce je vidět, že se nepotvrdilo očekávání parametru LAI (index plochy listů jako funkce času) jako parametru s nejvyšším citlivostním indexem. Tento parametr se projevuje významněji jen v případech suché depozice, jen u Cs, a to jen pro roční dávky.
- Nejvýznamnější z hlediska provedené citlivostní analýzy jsou parametry výnosu plodin (Y) a rychlosti suché depozice (V_d – ten je ale analyzován u ADM).
- Nejmenší počet parametrů a tím i nejmenší rozptyl výsledných hodnot se projevuje u plutonia. Je to způsobeno malými hodnotami koeficientů přestupu půda - rostliny (CR_{s-p}) a rostliny - živočichové (TF_{p-a}) pro tento prvek. Jak je vidět z přehledové tabulky 50-ti letých dávkových úvazků Tab.7-10, je v případě plutonia (jako alfa zářiče) nejvýznamnější interní ozáření z inhalace radionuklidů. Inhalace však v citlivostní analýze nebyla uvažována.
- Pro izotop I-131 se vzhledem k jeho krátkému poločasu rozpadu (8 dní) projevují v citlivostní analýze jen ty parametry, které nemají vliv na dlouhodobé procesy. Jsou to parametry výnosu plodin (Y), rychlosti suché depozice (V_d) a přestupu rostliny - živočichové (TF_{p-a}).
- Stroncium a cesium jsou prvky, které mají velkou migraci v životním prostředí. U stroncia se projevují významněji vyšší hodnoty koeficientů přestupu půda - rostliny (CR_{s-p}), zvláště u dávky za 50 let. Vzhledem k tomu, že Sr-90 je čistý beta zářič, projevuje se u něj nejvýznamněji dávka obdržená přes inhalaci - viz Tab. 7-10.
- Pro cesium vyplynuly z citlivostní analýzy jako nejvýznamnější parametry výnosu plodin (Y), rychlosti suché depozice (V_d), přestupu rostliny - živočichové (TF_{p-a}) a frakční změny koncentrace radionuklidu v potravině během zpracování (PRO).
- Z porovnání suché a mokré depozice vyplývá jako nejvýznamnější vliv koeficientu rychlosti suchého spadu (V_d) jako parametru s nejvyšším indexem citlivosti.

Z porovnání dávkových úvazků za 1 rok a 50 let vyplývá:

- Pro 1-roční dávky se projevuje významněji proces přepracování potravin (PRO) a velikosti krmných dávek (I)
- Pro 50-ti leté dávky jsou významnější vlivy resuspenze (R_{all}) a koeficienty přestupu půda – rostliny (CR_{s-p})

Tab. 7-10 Výsledné 50-ti leté úvazky dávky (mSv) počítané programem ECOSYS-87 pro jednotlivé radionuklidy a cesty ozáření . Jsou uvedeny i dávky od inhalace, která do citlivostní analýzy nebyla zahrnuta.

Cesta expozice	^{137}Cs	^{90}Sr	^{239}Pu	^{131}I
Ingesce	0.023	0.018	3.9×10^{-4}	0.038
Inhalace	0.001	0.025	0.168	0.005
Mrak	3.4×10^{-6}	0.00	5.1×10^{-12}	1.1×10^{-5}
Terén	0.001	0.00	2.5×10^{-9}	3.8×10^{-4}
Celkem	0.025	0.043	0.168	0.043
Procento z celkové dávky z ingesce	92	41	0.2	87

Hlavním závěrem CS pro model ECOSYS-87 je doporučení, že výsledky citlivostních analýz je užitečné brát v úvahu při návrhu a naplňování databáze vstupních dat do výpočtů radiologických následků, především dat týkajících se potravinového řetězce. Tyto výsledky by měly pomoci směřovat úsilí v přípravě modelů a vstupní databáze tak, aby se zbytečně nevěnovalo příliš velké úsilí parametrům, které se v citlivostní analýze neprojeví a naopak, aby se nezanedbalo respektování parametrů s nejvyšším indexem citlivosti.

Pokud se týká informací o AN a CS modelu FARMLAND, údaje v literatuře jsou poněkud kusé. Systematičtější pokus byl proveden při AN kódu COSYMA, jehož výsledky jsou ocitované v [32, 31]. V práci [32] je prováděna AN pro model potravních řetězců s užitím FARMLAND, kde pro účely AN a CS byly submodely pro metabolismus skotu a ovcí poněkud zjednodušeny. Výsledky AN jsou děleny podle vlivu na cílové veličiny, konkrétně:

- Neurčitosti vstupů ovlivňující rozsah a trvání zákazu konzumace potravin
- Ovlivnění dlouhodobých individuálních dávek
- Neurčitosti v dlouhodobých zdravotních následcích

Výběr parametrů FCM pro následující celkovou AN s uvážením řetězu ADM, FCM a DOS se dělal podle parciálního koeficientu pořadové korelace a dále pro ty vstupní náhodné parametry, pro něž příspěvek k normalizovanému koeficientu determinace je větší než 15% pro každou cílovou veličinu. Tento výběr je uveden v Tab. P2-4. Pokud se týká vlivu na dlouhodobé individuální dávky, CS ukazují na následující nejdůležitější vstupní náhodné parametry pro scénář CB2 (viz tab. P2-10 b) v příloze 2) a očekávanou dávku pro normální životní rytmus:

- faktor intercepce pro trávu
- přenosový faktor cézia do mléka
- přenosový faktor jódu do mléka
- retenční čas (seno, siláž)

Obdobné faktory byly zjištěny pro scénář DBA, tentokrát v pořadí:

- přenosový faktor Cs do mléka
- přenosový faktor jódu do mléka
- faktor intercepce pro trávu
- retenční čas (seno, siláž)

K použití modelu FARMLAND ve studiích neurčitosti se v [28] podotýká, že je třeba uvažovat 3 hlavní zdroje neurčitostí:

- neurčitosti modelu
- neurčitosti vstupních dat
- nekompletní popis scénáře

Neurčitosti modelu byly redukovány a kvantitativně oceněny provedením verifikace a validace modelu FARMLAND. Nebylo však možné validovat všechny části FARMLAND pro nedostatek dat. V těchto případech byly modely podrobeny důkladnému dílčímu přezkoušení, aby se zajistilo, že nebyl vynechán žádný důležitý proces.

Neurčitosti koncentrací aktivity v produktech vypočtených modelem FARMLAND ještě nebyly systematicky kvantifikovány. FARMLAND byl vyvinut k provádění nejlepších odhadů (best estimates) koncentrací aktivit v potravě s tendencí ke konzervatismu tam, kde je nedostatek dat a znalost hodnot parametru je slabá. Očekává se, že FARMLAND bude počítat koncentraci aktivity v potravě konzervativně s faktorem 5.

FARMLAND byl použit v dalších studiích v pravděpodobnostním kódu MARC-2A ke stanovení neurčitostí ve výsledcích výpočtů dávek z ingesce a následných opatření týkajících se potravy.

7.2.3 Implicitní grupa náhodných vstupních parametrů pro model potravních řetězců FCM kódu HAVAR-RP

V tomto odstavci je na základě předchozí diskuse navržena omezená implicitní grupa neurčitostí modelu potravních řetězců FCM a jsou zvoleny parametry náhodných rozdělení nejdůležitějších vstupů. Opět se jedná o kompromis mezi rozsahem výběru a výpočetní náročností. Při takovém výběru je nutné dbát na zkušenosti z jiných kódů a akceptovat závěry studií senzitivity o velikosti parciálního vlivu neurčitostí jednotlivých parametrů na velikost fluktuací cílových veličin. Protože složení grupy je závislé na dalších faktorech (konkrétní scénář úniku, typ analyzované cílové veličiny, a to navíc s odlišným vyhodnocením v blízké resp. větší vzdálenosti od zdroje znečištění), lze očekávat změny pořadových korelací i počtu uvažovaných důležitých parametrů. Následující tabulka představuje první kompromis, s tím, že ji lze rozšiřovat resp. měnit na základě vlastních citlivostních studií prováděných při běžích kódu HAVAR-RP.

Tab. 7-11 Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro model potravních řetězců systému HAVAR-RP – základ k odhadu [10] : ECOSYS-87 – Tab. P2-1

proměnná	minimum	střední hodnota	maximum	rozdělení	σ	rozměr
<i>FCM1: intercepční frakce</i>	0.25	1.0	2.0	normální	0.50 2 σ omez.	-
<i>FCM2: škálový faktor pro CR_{s-p} půda-rostlina Cs i Sr</i>	0.4	1.0	2.5	log-uniformní	.	-
<i>FCM3: Vyluhování – relativní frakce</i>	0.4	1.0	2.5	log-uniformní		-
<i>FCM4: poločas odstranění - weatherig</i>	15.0	25.0	35.0	trojúhelník.		den ⁻¹
<i>FCM5: Plošná hust. kg/m² kořenové zóny(škálově)</i>	0.86	1.0	1.14	rovnoměrné		-
<i>FCM6: Transf. Cs do mléka (d.t¹) – škála fluktuací (*)</i>	0.66	1.83	3.00	rovnoměrné		-
<i>FCM7: Transf. Sr do mléka (d.t¹) – škála fluktuací (*)</i>	0.5	0.875	1.25	rovnoměrné		-
<i>FCM8: Transf. I do mléka (d.t¹) – škála fluktuací (*)</i>	0.66	1.83	3.0	rovnoměrné		-

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>FCM9: Transf. Cs do masa (d.kg⁻¹) – škála fluktuací^(*)</i>	0.50	1.0	1.5	rovnoměrné		-
<i>FCM10: plošný výnos plodin - korekce</i>	0.8	1.0	1.2	rovnoměrné		-
<i>FCM11: Časový posun vegetačních perid (posun doby sklizně)</i>	-15	0	+15	rovnoměrné		Dny
<i>FCM12: Faktor zpracování pro mouku</i>	0.4	0.5	0.6	rovnoměrné		-
<i>FCM13: Faktor zpracování pro zeleninu</i>	0.6	0.8	1.0	rovnoměrné		-
<i>FCM14: Faktory spotřeby potravin</i>	0.7	1.0	1.3	trojúhelník.		-
<i>FCM15: Krmné dávky skotu – stájový výkrm</i>	0.85	1.0	1.15	rovnoměrné		-
<i>FCM16: Doba zdržení ke konzumaci mléka^(**)</i>		2.0		normální	0.86 2σ omez.	dny

^(*) ... náhodným faktorem z tohoto rozsahu se přenásobuje nominální hodnota příslušné veličiny

^(**) ... podle OSCAAR[21]

Poznámka:

1. Praktické důvody si vynutily co nejvíce používat standardizovaný tvar náhodných proměnných R podle analogického vztahu k (7.1) :

$$R = FCM * R_{ref} \quad (7.2)$$

kde FCM je standardizovaná bezrozměrná náhodná veličina s vhodným rozdělením hustoty pravděpodobnost a R_{ref} je deterministická hodnota tak zvaného nejlepšího odhadu R , někdy označovaná také jako referenční či nominální hodnota R_{nom} . Tohoto postupu se používá pro snížení počtu parametrů implicitní grupy neurčitostí a navíc použijeme předpoklad, že z příslušné literatury odvodíme pouze náhodné charakteristiky korekčního (škálového) bezrozměrného faktoru, kterou aplikujeme na nominální hodnotu zjištěnou dříve pro deterministické výpočty v HAVAR.

2. Další otázky vyvstávají pro vstupní náhodné parametry z určité logické podoblasti. Například značné zjednodušení přinese aplikace jediného faktoru FCM na spotřeby všech potravin (koncepte velký jedlík / malý jedlík), což současně znamená úplné korelace mezi spotřebami jednotlivých potravin. Generovat jednotlivé fluktuace pro každou spotřebu potravin (vzájemně nezávislé) by vedlo k velkému nárůstu objemu výpočtů a je otázkou, co by to vlastně přineslo. Korektní postup by měl uvážit reálné korelace mezi spotřebami (zatím není jasné, kde je vzít), kdy by šlo zřejmě o analýzu kritických skupin (farmáři, vegetariáni, myslivci, lidé na dietě apod.). Nicméně takové zjednodušení se nedělá u těch skupin parametrů, u nichž citlivostní studie prokázaly rozhodující vliv na cílové veličiny (například pro skupinu přenosových faktorů do mléka či jiných produktů jsou separátně uvažovány nejdůležitější nuklidy Sr, I, Cs).

K tabulce 7-11 uvedeme podrobnější doplňující údaje při implementaci FCM neurčitostí, uváděné jako softwarová dokumentace určitého vývojového stadia produktu.

FCM01: intercepce: bráno ve smyslu FARMLAND – suchá i mokrá depozice, která se přerozděluje mezi depozicí na listové části a na zemi podle faktoru R^l :

$$R^l = 1 - \exp(-\mu \cdot V_{such}^l)$$

R^l poměr depozice listy/celková – blíže vztah (5.6) v [43]

V_{such}^l je suchá hmotnost rostliny na jednotku plochy v době spadu [kg/m^2]

μ míra depozice aerosolů i elementárního jódu na porostu [m^2/kg] (absorpční koeficient – Chabertain (manuál ingesce), uptake factor)

Zatím zjednodušeně: náhodný $R^l = R_{nom}^l * \text{FCM01}$

$\text{FCM01} = \text{Uniform}(0.90, 1.10)$

If $R^l \geq 1.0$ THEN $R^l = R_{nom}^l + (1.0 - R_{nom}^l) / 2$

FCM02: škálový faktor pro CR_{s-p} půda-rostlina Cs i Sr: !!! rozšíříme na všechny nuklidy

V metodice HAVAR je koncentrační faktor BV_1^n (Bq/kg rostliny l / Bq/kg půdy) tabelován – viz tabulka č. 5.3 základní metodiky HAVAR [43].

Náhodné hodnoty $BV_1^n = BV_{1,nom}^n * \text{FCM02}$; $\text{FCM02} = \text{Loguniformní na } < 0.4, 2.5 >$

BRV(132,10) KONCENTRACNI FAKTORY DO ROSTLIN KORENOVOU CESTOU

FCM03: Vyluhování – necht' obecně zahrnuje vliv větrné eroze, splachy do vodotečí , migraci do hlubších vrstev půdy : !!! zahrnu i fixaci- resp. všechny mech. zabraňující zpět do rostliny

v programu se jedná o proměnné TCSMIG a TSRMIG = poločasy migrace (roky) pro Cs a Sr a dále o proměnné TCSFIX a TSRFIX = poločasy fixace (roky) pro Cs a Sr

Náhodné hodnoty : $T1/2 = T1/2_{nom} * \text{FCM03}$; $\text{FCM03} = \text{Loguniformní na } < 0.4, 2.5 >$

Neuvažovat=>MIGRCS=MIGRSR=MFIX=0

Uvažovat jen zadané poločasy => MIGRCS=MIGRSR=MFIX=1

FCM04: : poločas odstranění – weathering: v panelu to jsou : TSM_ELEM, TSM_AERO - v novém programu jsou to proměnné TSMELE, TSMAER ve dnech

Náhodné hodnoty: $\text{TSM}_{xx} = \text{TSM}_{xx, nom} * \text{FCM04}$;

$\text{FCM04} = \text{Trojúhelníkové na } < 0.5, 1.5 >$

FCM05: plošná hust. kg/m^2 kořenové zóny (škálově) : PHKZ1,2,3 ; PHKZPic2 , 3 :

V programu jako PHKZ1,PHKZ2,PHKZ3,PHKZP2,PHKZP3

Náhodné hodnoty: $\text{PHK}_{xx} = \text{PHK}_{xx, nom} * \text{FCM05}$;

$\text{FCM05} = \text{uniformní na } < 0.86, 1.14 >$

FCM06: Transf. Cs do mléka ($d.l^l$) – škála fluktuací:

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Měrná normalizovaná aktivita radionuklidu \underline{n} v 1 kg či litru produktu \underline{b} produkovaného zvířetem ve dni t' se vyjadřuje podle vztahu (5.16) ze [43]:

$$\mathcal{E}_b^n(t') = \text{SUM } A^n(t') \cdot F_b^n$$

F_b^n frakce denního příjmu radionuklidu \underline{n} zvířetem, která se objeví v každém litru resp. kg živočišného produktu \underline{b} [d/l ; d/kg] - viz tab.č.5.4 [43].

V novém programu:

```
FRX(132,10)-PRENOSOVE KOEFICIENTY PRO TRANSP. NUKL.DO ZIVOCIS.PRODUKTU
!!! DO 404 N=1,132
  READ(15,430) (FRX(N,IPROD),IPROD=1,5)
  404 CONTINUE
```

neboli se zatím načítá jen 5 živočišných produktů – králíci !!!, mléko je IPROD=1

Náhodné hodnoty: $F_b^{\text{Cs}} = F_b^{\text{Cs}}_{,\text{nom}} * \text{FCM06}$;

$\text{FCM06} = \text{uniformní na } < 0.66, 3.00 >$

FCM07: *Transf. Sr do mléka ($d.t^1$) – škála fluktuací:*

```
FRX(132,10)-PRENOSOVE KOEFICIENTY PRO TRANSP. NUKL.DO ZIVOCIS.PRODUKTU
```

Mléko: IPROD=1

Náhodné hodnoty: $F_b^{\text{Sr}} = F_b^{\text{Sr}}_{,\text{nom}} * \text{FCM07}$;

$\text{FCM07} = \text{uniformní na } < 0.5, 1.25 >$

FCM08: *Transf. I do mléka ($d.t^1$) – škála fluktuací:*

```
FRX(132,10)-PRENOSOVE KOEFICIENTY PRO TRANSP. NUKL.DO ZIVOCIS.PRODUKTU
```

Mléko: IPROD=1

Náhodné hodnoty: $F_b^{\text{I}} = F_b^{\text{I}}_{,\text{nom}} * \text{FCM08}$;

$\text{FCM08} = \text{uniformní na } < 0.66, 3.00 >$

FCM09: *Transf. Cs do masa(vepřového i hovězího) ($d.t^1$) – škála fluktuací:*

```
FRX(132,10)-PRENOSOVE KOEFICIENTY PRO TRANSP. NUKL.DO ZIVOCIS.PRODUKTU
```

```
!!! DO 404 N=1,132
```

```
  READ(15,430) (FRX(N,IPROD),IPROD=1,5)
```

```
  404 CONTINUE
```

IPROD=2 =>hovězí ; IPROD=3 =>vepřové

Náhodné hodnoty: $F_b^{\text{Cs}} = F_b^{\text{Cs}}_{,\text{nom}} * \text{FCM09}$;

$\text{FCM09} = \text{uniformní na } < 0.50, 1.5 >$

FCM10: *Plošný výnos plodin – bezrozměrná korekce*

```
  READ(35,438) ROSTL,(TFCM(IPROD,K),K=1,8)
```

```
  WRITE(31,438) ROSTL,(TFCM(IPROD,K),K=1,8)
```

C podle původního musí být výnos na 9, 8 pro RLTS (LISTY):

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

C VYNOS tedy posunut na 9
TFCM(IPROD,9)=TFCM(IPROD,8):

A dále pro výnos listové nadzemní části v době sklizně:

YM=TFCM(L,6)
SUS=TFCM(L,7)

TV=TSKL-TVEG1
Y=1./(1.0+EXP(-0.5-(TSPD-TVEG1)/TV)*TV/(TV-2.0)*(-9.19)))
YMOKR=YM*Y
YSU=YMOKR*SUS
RLTS=1.0-EXP(-XMI*YSU)

----- atd ---

Závěr: Budou se tedy stejně modifikovat TFCM(L,6) a TFCM(L,9)

Náhodné hodnoty: $TFCM = TFCM_{nom} * FCM10$;

$FCM10 = \text{uniformní na } < 0.80, 1.20 >$

Na začátek RADDUS dáno uchování nominálu TFCNOM pro obě

Za skončením pro nuklidy : restaurování

FCM11: Časový posun vegetačních period (posun doby sklizně);

Neurčitost budu používat aditivně !!!

TSKL=TFCM(L,2)
TSKL1=TFCM(L,3)
TZD=TFCM(L,4)
TKONZ2=TFCM(L,5)
YM=TFCM(L,6)
SUS=TFCM(L,7)
TSKL2=TSKL+(TSKL-TSKL1)

Náhodné hodnoty: $TSKLX = TSKLX_{nom} + FCM11$;

$FCM11 = \text{uniformní na } < -15; +15 > \text{ dnů}$

Platí i pro pícniny

ZÁVĚR: zatím nebude uvažováno

FCM12: Faktor zpracování pro mouku:

Přímá konzumace obilnin (v mouce):

C L=5...obilniny (pšenice); L=6...brambory

C nasleduje algoritmus pro pšenici
CASE (5)
IF ((TSPD.GE.TVEG1) .AND. (TSPD.LE.TSKL2)) THEN
YMOKR=YM/(1.0+EXP((41.3-(TSPD-TVEG1))/12.5))
YSU=YMOKR*SUS
RLTS=1.0-EXP(-XMI*YSU)
TFCM(L,8)=RLTS

IF(L.EQ.5) KL=2

CASE (1, 2, 3, 4, 5, 6)

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

```
C -----  
IF ((TSPD.LT.TSKL2) .AND. (TSPD.GT.TVEG1)) THEN  
C listova cesta  
IF ((L.EQ.3).OR.(L.EQ.5).OR.(L.EQ.6)) FMOD=Z  
C toto byla modifikace pro kor. zel, obili a brambory (zavislost na  
C pokrocilosti veg. obdobi v dobe spadu  
C WRITE(1,12) L,TSPD,TVEG1,TSKL,TING,RLTS,FMOD,VYNOS  
DO 5 IA=1,6  
C denni spotreba PDA : zatim ne TKONZ2 - podelim 365  
PDA=SPOTR(L,IA)/365.0  
TIE(R,IA)=TIE(R,IA)+POML1*PDA*POML2*FMOD  
5 CONTINUE  
END IF
```

Musíme zavést faktor zpracování pro mouku i další (pro mléko již je) – podle ECOSYS [27]:

Vložit: $PDA_{nom}=PDA * ZPROB$ ZPROB musíme zavést, je to nominální koef zpracování pro obilí

A dále náhodné: $PDA=PDA_{nom}*FCM12$

$FCM12 = \text{uniformní na } < 0.80, 1.20 >$

FCM13: Faktor zpracování pro zeleninu: ty samé úpravy podle ECOSYS [27]

Vložit: $PDA_{nom}=PDA * ZPRZE$ ZPRZE musíme zavést, je to nominální koef zpracování pro zeleninu – v ECOSYS pro vš. zeleniny a nuklidy = 0.8

A dále náhodné: $PDA=PDA_{nom}*FCM13$, kde

$FCM13 = \text{uniformní na } < 0.75, 1.25 >$

V obou předchozích případech musí být faktory shora omezeny 1.00

FCM14: Faktory spotřeby potravin: ve smyslu poznámky ve zprávě na str. 40 je to koncepce velký jedlík / malý jedlík – jediný faktor přenásobuje všechny spotřeby:

SPOTR(L,IA), L=1-30 (potraviny) ; IA=1 až 7 !!! 7. sloupec je zdržení ke konzumaci

Přenásobím buď SPOTR nebo až PDA parametrem FCM14 :

$FCM14 = \text{trojúhelníkové na } < 0.70, 1.30 >$

FCM15: Krmné dávky skotu – stájový výkrm

READ(35,438) ROSTL,(HOVAD(IPROD,I),I=1,6)

A dále náhodné: $HOVAD=HOVAD_{nom}*FCM15$, kde

$FCM15 = \text{uniformní na } < 0.85, 1.15 >$

FCM16: Doba zdržení ke konzumaci mléka (čerstvého) :

SPOTR(mleko,IA=7), My máme nom=4 dny

A dále náhodné: $SPOTR=SPOTR_{nom}*FCM16$, kde

$FCM16 = \text{Normální } N(1,0.3) \dots 2\text{sigma omezené}$

Nebo (?): $FCM16 = \text{LogUniformní: na } < 0.3, 1.5 >$

Byly provedeny pravděpodobnostní výpočty simultánně s dvanácti ADM neurčitostmi a šestnácti FCM neurčitostmi (vždy 1000 realizací).

7.3 Dávkový submodel DOS

Dávky od jednotlivých cest ozáření jsou vyjadřovány ze základních řídicích veličin, kterými jsou koncentrace aktivit ve vzduchu, časové integrály přízemních objemových aktivit a depozice aktivity jednotlivých radionuklidů na zemském povrchu. Fluktuace těchto řídicích veličin jsou výsledkem analýzy neurčitostí předchozích submodelů ADM a FCM. Při konkrétním vyjádření formulí pro výpočet dávek jsou v tomto posledním kroku zaváděny dodatečné faktory, které zjevně mohou mít náhodný charakter. Jsou to lokační faktory a faktory setrvání, stínící faktory při pobytu osob uvnitř budov, neurčitosti při vyjadřování dlouhodobé migrace nuklidů v půdě a při dlouhodobé resuspenzi apod.

7.3.1 Vnější ozáření z mraku

Dávkový příkon v určitém okamžiku t od vnějšího ozáření z mraku v $[Sv.s^{-1}]$ ve vzdálenosti (x,y) se určuje podle schématu:

$$\dot{H}_{oblak}^{a,n,o}(x,y;t) = \dot{A}^n \cdot \chi^n(x,y,z_{ref};t) \cdot FCOR_\gamma(\dots) \cdot R_{oblak}^{n,o} \quad (7.3)$$

$\dot{H}_{oblak}^{a,n,o}(x,y)$ dávkový příkon $[Sv.s^{-1}]$

\dot{A}^n intenzita úniku radionuklidu \underline{n} z kontinuálního zdroje $[Bq/s]$ (konstantní pro danou fázi přímočarého šíření)

$\chi^n(x,y,z_{ref})$... krátkodobý faktor zředění objemové aktivity nuklidu \underline{n} v místě (x,y) $[s.m^{-3}]$;

Pozn.: Ve větších vzdálenostech (pro $\sigma \gg \mu$) je použito přiblížení polonekonečného modelu mraku s homogenní koncentrací aktivity počítanou pomocí krátkodobého koeficientu zředění v přízemní vrstvě vzduchu (tedy $z_{ref} = 0$).

$R_{oblak}^{n,o}$ tabelovaný dávkový faktor pro ozáření z oblaku od nuklidu \underline{n} na orgán \underline{o} (stanoven na základě polonekonečného modelu mraku) $[Sv.m^3.Bq^{-1}.s^{-1}]$.
Detailnější rozlišení pro jednotlivé věkové kategorie je zavedeno například v kódu RIMPUFF, kdy faktory vypočtené pro dospělé se přenásobují korekčními faktory pro jednotlivé věkové kategorie

$FCOR_\gamma$ korekce na konečný rozměr radioaktivního mraku

Integrací po t od nuly do konce přechodu mraku nad terénem T_{kon} a pomocí předpokladu o polonekonečném modelu mraku lze dojít k celkové dávce v $[Sv]$ za dobu T_{kon} na tkáň \underline{o} jedince z věkové kategorie \underline{a} , který pobývá celou dobu T_{kon} v místě (x,y) vyjádřené podle

$$H_{oblak}^{a,n,o}(x,y;T_{kon}) = TIC(x,y;T_{kon}) \cdot FCOR_{\gamma}(\dots) \cdot R_{oblak}^{n,o} \quad (7.4)$$

Předchozí vztah vyjadřuje potenciální dávku od γ -záření z mraku pro pobyt na idealizovaném otevřeném prostranství. Pro normální životní rytmus jedince je třeba uvažovat lokační a stínící faktory. Vyjadřují jednak frakci času F_{lok} , kterou osoba setrvává v uvažovaném místě, a dále při pobytu v místě (x,y) je třeba respektovat frakci pobytu uvnitř budov F_{bud} s příslušným zahrnutím stínícího vlivu staveb SF. Celková dávka daná předchozím vztahem se pak přenásobuje výrazem:

$$F_{lok} * [(1 - F_{bud}) + F_{bud} * SF]$$

Přesnější vyjádření závislosti faktorů F_{lok} a F_{bud} na věkové kategorii se neuvažuje, stínící faktor SF se vztahuje k cihlovému domu. Pro ocenění dávek v časné fázi úniku faktor F_{lok} nemá shora definovaný význam a konzervativně se musí brát roven 1. Lze však podle něho přibližně simulovat případné protipatření na potlačení následků úniku. Faktor setrvání F_{lok} by měl mít obecně odlišné hodnoty pro zimní či letní období a bude se též lišit u dětí a dospělých. Implicitní nominální hodnota 0.8 je převzata ze systému RODOS a je zatím uvažována ve všech případech.

7.3.2 Vnější ozáření z depozice

Dávkový příkon vyvolaný zářením usazeného nuklidu \underline{n} v $[Sv.s^{-1}]$ v určitém časovém okamžiku \underline{t} na orgán \underline{o} jedince z kategorie \underline{a} nacházejícího se v místě (x,y) se určuje podle vztahu:

$$\dot{H}_{povrch}^{a,n,o}(t;x,y) = \Omega^n(t;x,y) \cdot R_{povrch}^{n,o} \quad (7.5)$$

$\Omega^n(t;x,y)$ usazená aktivita ($Bq.m^{-2}$) nuklidu \underline{n} v místě (x,y) a v čase t

$R_{povrch}^{n,o}$ tabelovaný dávkový faktor ozáření od kontaminovaného povrchu pro nuklid \underline{n} a orgán \underline{o} [$Sv.m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$]

Konverzní koeficienty R představují dávkový příkon od jednotkové měrné aktivity usazené na nekonečné ploše kolem bodu receptoru, který je 1 metr nad povrchem roviny. Počítají se pro každý nuklid zvlášť (tzn. pro jeho energie emise na jeden rozpad) za předpokladu ideálně rovinného povrchu (nedochází k odstínění), přičemž aktivita je popsána jako čistě plošný zdroj.

Podrobnějším odvozením integrální dávky z depozice se zabývá základní metodický manuál systému HAVAR. Poznamenejme jen, že integrací uvedeného dávkového příkonu je nejdříve počítána dávka za dobu $T \in < 0, T_{hav} >$; T_{hav} je doba trvání havárie.

$$H_{povrch}^{a,n,o}(T;x,y) = S^n(x,y) \cdot R_{povrch}^{n,o} \cdot \frac{1}{\lambda_{ef}^n} \cdot \left[T + \frac{1}{\lambda_{ef}^n} \cdot (\exp(-\lambda_{ef}^n \cdot T) - 1) \right] \quad (7.6)$$

$H_{povrch}^{a,n,o}(T; x, y)$ je celková dávka v [Sv] za dobu T od začátku depozice nuklidu n v místě (x,y) pro křáň a jedince z věkové kategorie a , který pobývá celou dobu T v místě (x,y).

$S^n(x,y)$ je depoziční příkon od suchého a mokrého spadu.

Efektivní konstanta λ_{ef} zahrnuje radioaktivní rozpad a přibližně též působení dalších mechanismů vedoucích k odstraňování radionuklidů ze zemského povrchu (vliv větrné erose, splachy do vodotečí, transport do hlubších vrstev půdy).

Pro čas T_k po skončení průchodu mraku nad místem (x,y) je třeba celkovou dávku počítat jako součet předchozí maximální hodnoty pro $T = T_{hav}$ a příspěvku dávky ΔH_{povrch} obdržené od okamžiku T_{hav} (kdy právě mrak přešel nad uvažovaným místem) do okamžiku $T_{hav} + T_k$, který je dán výrazem:

$$\Delta H_{povrch} = \Omega^n(T_{hav}, x, y) \cdot R_{povrch}^{n,o} \cdot (1 - \exp(-\lambda_{ef}^n \cdot T_k)) / \lambda_{ef}^n \quad (7.7)$$

Tato druhá složka se označuje jako dlouhodobá dávka záření od depozice. U některých produktů je prováděna hlubší analýza ozáření od depozice a na příklad v systému RODOS je zaváděna korekce na odstínění záření v důsledku časové migrace usazovaného radionuklidu do půdy. Při vývoji pravděpodobnostní verze HAVAR-RP je pozornost soustředěna právě na dlouhodobé účinky. Aby bylo možno realisticky analyzovat neurčitost dávky z depozice a využít výsledků elicitálních procedur pro definici grupy vstupních neurčitostí, je výhodné ve vztahu (7.7) provést separaci λ_{ef} na původní dvě složky radioaktivního rozpadu a environmentálního odstraňování podle $\lambda_{ef} = \lambda_r + \lambda_{env}$. Bude použito vyjádření přes ekvivalentní poločasy:

$$\lambda_r = \ln 2 / T_{1/2r} ; \quad \lambda_{env} = \ln 2 / T_{1/2env}$$

Pro analýzu neurčitostí bude pro dlouhodobou dávku z depozice použit rozšířený vztah (7.7) pro dávkový depoziční příkon podle:

$$H_{povrch}^{a,n,o}(t; x, y) = \Omega^n(T_{hav}; x, y) \cdot R(t) \cdot ENV(t) \cdot F_{lok} \cdot R_{povrch}^{n,o} \cdot \left[(1 - F_{bud}) + F_{bud} \cdot SF_{depo} \right] \quad (7.8)$$

kde R(t) a ENV(t) jsou vyjádřeny pro nejdůležitější dlouhodobý nuklid Cs137 exponenciálními funkcemi [34]:

$$R(t) = \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2r}}\right) \quad (7.9)$$

$$ENV(t) = d_{fast} \cdot \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2env}^{fast}}\right) + d_{slow} \cdot \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2env}^{slow}}\right) ; \quad d_{fast} + d_{slow} = 1$$

d_{fast} , $T_{1/2}^{fast}$, d_{slow} , $T_{1/2}^{slow}$ - koeficienty a poločasy odstraňování rychlé a pomalé složky

Zde byly pro environmentální transport λ_{env} využity zkušenosti s dlouhodobým odstraňováním Cs137 v oblastech zasažených černobylskou havárií, který podle nových zkušeností je vyjádřen dvousložkově s rychlejším poklesem v první fázi (zhruba do 3 roků) a s pozdějším experimentálně podloženým mírnějším poklesem. Také parametr F_{lok} má svůj původně zavedený význam vztahený k běžnému životnímu rytmu osob.

7.3.3 Vnitřní ozáření v důsledku inhalace kontaminovaného vzduchu

Dávkový příkon v $[Sv \cdot s^{-1}]$ na orgán \underline{o} pro jedince z věkové kategorie \underline{a} vyvolaný radionuklidem \underline{n} ovlivňující orgán skrze mechanismus dýchání tohoto jedince pobývajícího v místě (x,y) se určuje podle:

$$\dot{H}_{inh}^{a,n,o}(t; x, y) = \dot{B}_{inh}^{a,n}(t; x, y) \cdot R_{inh}^{a,n,o} \quad (7.10)$$

$R_{inh}^{a,n,o}$ je tabelovaný dávkový faktor z ozáření při inhalaci nuklidu \underline{n} na orgán \underline{o} jedince z \underline{a} $[Sv \cdot Bq^{-1}]$, který z hlediska účinku uvnitř organismu představuje úvazek ekvivalentní resp. efektivní dávky z jednotkového příjmu radionuklidu \underline{n} cestou inhalace (účinek se vztahuje od o příjmu do očekávaného konce života pro danou věkovou kategorii \underline{a} - 50 let pro dospělé, 70 let pro děti)

$\dot{B}_{inh}^{a,n}$ je vteřinový příjem radionuklidu \underline{n} při inhalaci jedince z kat. \underline{a} žijícího v místě (x,y) a během fáze úniku je považován za konstantní. Je dán vztahem:

$$\dot{B}_{inh}^{a,n}(x, y) = \dot{A}^n \cdot \chi^n(x, y, z = 0) \cdot u_{inh}^a \quad (7.11)$$

K dříve definovaným významům zopakujeme:

- \dot{A}^n intenzita výpustí zdroje radionuklidu \underline{n} $[Bq/s]$ (konstantní v rámci jednoho segmentu (fáze) při vícefázovém modelu úniku)
- $\chi^n(x, y, z = 0)$ krátkodobý faktor zředění přízemní objemové aktivity ovzduší v místě (x,y) od zdroje výpustí (pro nuklid \underline{n})
- u_{inh}^a tabelovaná rychlost dýchání jedince věkové kategorie \underline{a} $[m^3 \cdot s^{-1}]$

Pro rozbor vlivu dodatečných vstupních parametrů na neurčitosti dávky z inhalace provedeme formální úpravy ve výpočtovém schématu. Výraz pro hodnotu příslušného úvazku v $[Sv]$ od příjmu radionuklidu \underline{n} za dobu trvání přechodu radioaktivního mraku nad uvažovaným místem opět vyjádříme pomocí časového integrálu koncentrace aktivity TIC v přízemní vrstvě vzduchu:

$$H_{inh}^{a,n,o}(x, y) = TIC^n(x, y, z = 0) \cdot u_{inh}^a \cdot R_{inh}^{a,n,o} \cdot F_{lok} \cdot \left[(1 - F_{bud}) + F_{bud} \cdot FF_{filtr} \right] \quad (7.12)$$

Je zřejmé, že se jedná o konzervativní odhad, který předpokládá, že jedinec žije v místě (x,y) po celou uvažovanou dobu T . O parametru setrvání F_{lok} platí pro časovou fázi stejný závěr jako pro případ ozáření z mraku.

Očekávané dávky se tedy získávají přenásobením potenciální dávky pro otevřené prostranství faktory F_{bud} a FF_{filtr} , které vyjadřují vliv zmírnění radiačního zatížení v důsledku reálného modelu pobytu člověka v dané lokalitě. Týkají se pobytu uvnitř budov a dále zahrnují možnou interní filtraci vzduchu a případně i ochuzování škodlivin uvnitř uzavřeného prostoru

usazováním. Jsou rozlišovány jednak podle fyzikálně chemické formy a dále podle typu budov (privátní domy, velké budovy).

7.3.4 Vnitřní ozáření v důsledku inhalace vzduchu kontaminovaného resuspenzí radionuklidů dříve deponovaných na zemském povrchu

K zpětnému přenosu radionuklidů usazených na zemském povrchu do přízemní vrstvy vzduchu dochází v důsledku atmosférických vlivů nebo činností člověka (zvířování vzduchu v důsledku dopravní činnosti, výkopových a stavebních prací či zemědělské činnosti). Dále bude uveden všeobecně přijímaný způsob zahrnutí dlouhodobého vlivu resuspenze v důsledku atmosférického působení.

V kódu HAVAR-RP se vychází z metodiky použité u mezinárodního kódu COSYMA [18] a dále ve shodě s postupem zavedeným v systémech OSCAAR [5] nebo RODOS [11]. Pro určitý radionuklid n se dodatečná přízemní objemová aktivita vyvolaná resuspenzí vyjadřuje v závislosti na usazené aktivitě pomocí faktoru resuspenze k_{RES} [m^{-1}] jako:

$$k_{RES}(t;x,y) = \frac{\text{Koncentrace ve vzduchu v důsl. resuspenze v místě } x,y \text{ a čase } t [Bq \cdot m^{-3}]}{\text{Okamžitá depozice v daném místě a čase [Bq \cdot m^{-2}]}}$$

Za pomoci dříve zavedených veličin lze tuto dodatečnou aktivitu v přízemní vrstvě vzduchu vyjádřit jako:

$$C_{RES}^n(t;x,y) = \Omega^n(t;x,y) \cdot k_{RES}(t;x,y) \quad (7.13)$$

Pro koeficient resuspenze použijeme výraz vhodný pro lidskou činností nenarušovaný zemský povrch přírodního prostředí severní části Evropy. Tento empirický model je značným zjednodušením složitého jevu resuspenze, nicméně jeho validaci (experimenty po testech nukleárních zbraní, experimentální fitování s hodnotami měřenými po černobylské havárii, testování v aerodynamických tunelech) byl získán dostatečně robustní model pro věrohodné limitní odhady dávek.

Snižování koeficientu resuspenze s časem je určeno faktem, že během času se radioaktivní materiál pevněji váže v půdních strukturách jako výsledek chemických a fyzikálních procesů a jeho schopnost dostat se opět do přízemní vrstvy vzduchu se snižuje. Použijeme dvousložkové vyjádření koeficientu resuspenze podle (např. kód OSCAAR [26] nebo [34]):

$$k_{RES}(t) = k_{fast} \cdot \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2RES}^{fast}}\right) + k_{slow} \cdot \exp\left(-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_{1/2RES}^{slow}}\right) \quad (7.14)$$

Pro poločas snižování pomalé dlouhodobé složky $T_{1/2}^{slow} \rightarrow \infty$ přejde vztah do analogického jednoduššího tvaru:

$$k_{RES}(t) = R_1 \cdot \exp(-R_2 \cdot t) + R_3 \quad (7.15)$$

t čas ve dnech po depozici
 R_1 ... faktor resuspenze v okamžiku depozice [m^{-1}]
 R_2 ... faktor exponenciálního snižování [d^{-1}]
 R_3 ... dlouhodobý faktor resuspenze [m^{-1}]

Tento vztah je použit v základní verzi kódu HAVAR. Označme dále $\dot{B}_{inh,RES}^{a,n,k}$ jako vteřinový příjem radionuklidu \underline{n} vztažený k okamžiku t při inhalaci resuspendované aktivity jedincem z kategorie \underline{a} žijícího v místě (x,y) sektoru \underline{k} . Pro jeho vyjádření použijeme vztah:

$$\dot{B}_{inh,RES}^{a,n,k}(t; x, y) = C_{RES}^n(t; x, y) \cdot u_{inh}^a \quad (7.16)$$

Integrální hodnota příslušného úvazku (50-ti či 70-ti letého) v [Sv] od příjmu radionuklidu \underline{n} za dobu TD dní se s dostatečnou přesností nahradí sumací:

$$H_{inh,RES}^{a,n,o}(TD; x, y) = 86400 \cdot R_{inh}^{a,n,o} \cdot u_{inh}^a \cdot F_{lok} \cdot \left[(1 - F_{bud}) + F_{bud} \cdot FF_{filtr} \right] \quad (7.17)$$

$$* \sum_{d=1}^{d=TD} \bar{\Omega}^n(t = 86400 \cdot d; x, y) \cdot k_{RES}(d; x, y)$$

7.3.5 Vnitřní ozáření v důsledku konzumace kontaminovaných potravin

Algoritmus výpočtu ingesční dávky spočívá ve vyjádření 50-ti resp. 70-ti letého úvazku ekvivalentní resp. efektivní dávky v [Sv] na orgán \underline{o} jedince z věkové kat. \underline{a} vyvolaného ročním (případně víceletým) příjmem nuklidu \underline{n} při ingesci potravinových produktů a určuje se podle:

$$H_{ing}^{a,n,o}(x, y) = A_{ing}^{a,n}(x, y) \cdot R_{ing}^{a,n,o} \quad (7.18)$$

$R_{ing}^{a,n,o}$ je tabelovaný dávkový faktor ozáření při ingesci radionuklidu \underline{n} na orgán \underline{o} jedince z věkové kategorie \underline{a} [$Sv \cdot Bq^{-1}$]; z hlediska účinku uvnitř organismu představuje úvazek ekvivalentní resp. efektivní dávky z jednotkového příjmu ingescí (účinek se vztahuje od okamžiku příjmu do očekávaného konce života pro danou věkovou kategorii \underline{a})

$A_{ing}^{a,n,k}(x, y)$ je roční (resp. víceletý) příjem radionuklidu \underline{n} v [Bq] od ingescce kontaminovaných potravinových produktů vypěstovaných v místě (x,y) . O způsobu konzumace kontaminovaných produktů je možno dále spekulovat. Konzervativní model (ve smyslu individuálních dávek) **lokální produkce - lokální spotřeby** předpokládá, že jedinec z věkové skupiny \underline{a} trvale žijící ve vzdálenosti (x,y) od zdroje vypustí ve směru sektoru \underline{k} konzumuje pouze produkty vypěstované v tomto místě, tedy :

$$A_{ing}^{a,n}(x, y) = \sum_l E_l^n(x, y) \cdot P_l^a \quad (7.19)$$

kde P_l^a je roční spotřeba produktu l jedincem z a a $E_l^{n,k}(x,y)$ je měrná aktivita radionuklidu n v produktu l vypěstovaném v místě (x,y) [$Bq.kg^{-1}$]. Jiným modelem spotřeby (realističtějším pro některé lokality) je vyjádřen předpokladem **lokální produkce - globální distribuce** potravin. Jednou z jeho variant je předpoklad, že jedinec z věkové skupiny a trvale žijící v místě (x,y) konzumuje část Z_l^k produktu l ze svojí zóny k a zbytek pochází z čistých nekontaminovaných zdrojů. Roční příjem radionuklidu je pak dán vztahem:

$$A_{ing}^{a,n,k}(x,y) = \sum_l E_l^{n,k}(x,y) \cdot Z_l^k \cdot P_l^a \quad (7.20)$$

Model globální spotřeby může mít řadu dalších modifikací, například že jedinec z věkové skupiny a trvale žijící ve vzdálenosti (x,y) od zdroje výpustí konzumuje část produktu l ze svojí zóny k , další část tohoto produktu z jiných kontaminovaných zón a případně ještě zbytek produktu z nekontaminovaných oblastí. Potom je potřeba provést důkladnou analýzu způsobu realizace distribuce a spotřeby potravin v konkrétních zónách.

Model transportu aktivity v potravních řetězcích je značně rozsáhlý. Obecně lze říct, že existují stovky neurčitostí vstupních parametrů modelu vnitřního ozáření z ingesce, které mají náhodný charakter s různým stupněm vzájemné korelace. Jsou to nejružnější časové charakteristiky (doby sklizně, vegetační periody), neurčitosti listového a kořenového transportu do jedlých (zkrmovatelných) částí rostlinných produktů, charakteristiky procesů zpracování, skladování a distribuce potravin, hodnoty spotřeby potravin pro jednotlivé věkové kategorie a celá řada dalších. Výběr nejdůležitějších vstupních parametrů, jejichž neurčitosti mají nezanedbatelný vliv na fluktuace dávek z ingesce, jsou provedeny na základě doporučení z literatury v předchozích odstavcích.

V modelu výpočtu dávek z ingesce nejsou tedy v kódu HAVAR-RP separátně uvažovány žádné dodatečné neurčitosti, protože všechny obdobné úvahy byly přesunuty do kapitol o analýze neurčitostí a o doporučeních studiích citlivosti týkajících se pravděpodobnostního modelování transportu aktivity v potravních řetězcích. Celá řada problémů však zůstává otevřená a na některé parametry se i experti z oboru dívají poněkud odlišně. Tak například pro aplikaci některého z modelů globální spotřeby se uvažuje provést studie sensitivity na variace parametrů Z_l^k a tak odhadovat míru konzervatismu zavlečenou do výpočtů. Jiný náhled považuje stanovování míry variace Z_l^k za úlohu spojenou s aplikací protipatření a stanovování odvrácených dávek.

7.3.6 Dodatečné neurčitosti příslušné dávkovému submodelu DOSE - implicitní grupa

Na základě předchozí diskuse jsou pro omezenou implicitní grupu neurčitostí dávkového modulu DOSE zvoleny následující dodatečné vstupní náhodné proměnné:

Tab. 7-12 Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro dávkový model systému HAVAR-RP

proměnná	minimum	střední hodnota	maximum	rozdělení	rozměr
$F_{lok}^{(1)}$	0.75	0.875	1.00	rovnoměrné	-
SF	0.10	0.20	0.30	rovnoměrné	-
d_{fast}	0.40	0.52	0.71	rovnoměrné	-

$T1/2^{\text{fast}}$	0.41	1.1	1.4	rovnoměrné	roky
$T1/2^{\text{slow}}$	24.3	28.0	29.4	rovnoměrné	roky
FF_{filtr}	0.43	0.64	0.84	rovnoměrné	-
k_{fast}	3.6 E-9	2.63E-8	4.9 E-8	rovnoměrné	m^{-1}
$T1/2_{\text{RES}}^{\text{fast}}$	0.50	1.35	2.2	rovnoměrné	roky
$Fu_{\text{inh}}^{\text{a} (2)}$	0.5	1.0	1.5	rovnoměrné	-

(1) ... faktor setrvání(odhadnuto z COSYMA, RODOS)

(2) ... multiplikační faktor pro intenzitu dýchání (odhadnuto z MARC-2A)

7.4 Uživatelský návod pro interaktivní zadávání náhodných charakteristik vstupů s následujícím LHS generováním

Při interaktivním zadávání náhodných charakteristik vstupních dat se předpokládá vytvoření struktury podadresářů ADM, FCM, DOS, do nichž se ukládají příslušné panely jako soubory *.pan.

V uvedených podadresářích jsou již uloženy implicitní soubory ADMdef.pan, FCMdef.pan a DOSdef.pan. Tyto panely lze znovu načíst a editovat.

V panelech se zadává počet parametrů NX a celkový počet realizací K.

Dále se zadávají vlastnosti náhodných parametrů – nejdříve se zadá, pro který model je proměnná určena a její pořadí, např. pro atmosférický a depoziční model ADM1, ADM2, ..., ADMNX, pak název parametru. V dalším sloupci se zadává střední hodnota parametru a zvolí se rozdělení. Pro rozdělení jsou v panelech následující volby:

- normální
- lognormální
- ořezané normální
- uniformní (rovnoměrné)
- diskrétní uniformní
- loguniformní
- trojúhelníkové

Pro normální a lognormální rozdělení je nutné zadat μ a σ , pro uniformní levou a pravou mez příslušného parametru (příp. minimum a maximum) a nominální hodnotu.

Tab.7-14 Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro ADM (atmosférický a depoziční model)
 NX = 12, K = 1000 - ukázka prvních 5 zadávaných parametrů

Následuje generování celkových K realizací, kdy každá realizace je NX-tice konkrétních hodnot jednotlivých vstupů (tyto hodnoty jsou generovány LHS metodikou).

Po vygenerování jsou výsledky ukládány, přičemž uživatel může zadat jméno výstupního souboru.

Ukázka začátku vygenerovaného souboru je v následující tabulce 7-15 a podrobně v příloze č. 5.

V hlavičce tohoto souboru jsou opsány hodnoty NX, K a názvy všech zvolených vstupních parametrů, které napsal původně uživatel do panelu.

Tab.7-15 Ukázka začátku vygenerovaného souboru *.gen

Implicitní grupa pro ADM - atmosférický a depoziční modul, 7.1.2005
 12 1000

ADM1: škálový faktor intenzity úniku
 ADM2: škálový faktor horizontální disperze
 ADM3: horizontální fluktuace směru větru
 ADM4: škálový faktor rychlosti suché depozice - element.
 ADM5: škálový faktor rychlosti suché depozice - aerosol
 ADM6: faktor vymývání - elementární jód
 ADM7: faktor vymývání - aerosoly
 ADM8: korekční faktor advekční rychlosti vlečky
 ADM9: korekční faktor exponentu profilu větru
 ADM10: škálový faktor vertikální disperze

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

ADM11: korekce na výšku směšovací vrstvy

ADM12: korekce na tepelnou vydatnost vzdušín

1.140	1.186	0.000	1.501	822.252	0.443	0.000	0.000	0.596	0.869	0.884	0.190
0.886	0.849	0.000	1.042	716.072	0.496	0.000	0.000	1.136	1.073	1.063	0.476
0.963	0.915	0.000	0.792	819.933	0.339	0.000	0.000	1.249	1.123	1.676	0.065
1.061	1.137	0.000	0.590	684.989	0.500	0.000	0.000	1.356	1.133	1.367	0.257
1.048	1.207	0.000	1.494	811.649	0.415	0.000	0.000	1.088	0.874	1.538	0.340
1.217	0.961	0.000	0.724	735.086	0.526	0.000	0.000	1.451	0.947	1.284	0.468
1.110	0.989	0.000	0.586	748.963	0.378	0.000	0.000	1.338	1.021	1.280	0.168
1.112	1.072	0.000	1.176	684.511	0.396	0.000	0.000	1.398	0.832	1.475	0.357
1.002	0.948	0.000	0.786	684.783	0.362	0.000	0.000	0.826	0.987	1.832	0.311
1.008	1.151	0.000	0.675	729.187	0.508	0.000	0.000	0.583	1.099	1.283	0.009
0.906	0.830	0.000	0.591	740.741	0.369	0.000	0.000	0.732	0.926	1.086	0.437
0.923	0.867	0.000	0.862	689.786	0.347	0.000	0.000	1.033	1.066	1.895	0.111
1.071	0.828	0.000	0.818	821.676	0.413	0.000	0.000	1.053	1.007	0.802	0.469
1.181	1.128	0.000	0.667	811.379	0.356	0.000	0.000	0.815	0.980	1.252	0.160
1.121	1.124	0.000	1.384	822.458	0.395	0.000	0.000	1.347	1.089	2.044	0.169
1.222	0.765	0.000	0.615	713.631	0.426	0.000	0.000	1.091	1.094	1.552	0.236
1.283	0.908	0.000	0.536	813.507	0.285	0.000	0.000	1.349	1.147	1.683	0.035
1.381	1.214	0.000	1.352	790.890	0.437	0.000	0.000	0.889	1.213	1.402	0.227
0.794	1.074	0.000	1.364	704.701	0.520	0.000	0.000	0.628	0.851	1.905	0.431
0.984	0.939	0.000	0.487	729.391	0.310	0.000	0.000	1.444	0.994	1.455	0.185
1.482	1.006	0.000	0.962	800.776	0.476	0.000	0.000	1.336	1.009	0.866	0.198
0.884	1.008	0.000	0.506	768.554	0.464	0.000	0.000	0.768	0.877	0.943	0.388
0.819	0.897	0.000	0.885	799.389	0.423	0.000	0.000	0.773	0.941	0.902	0.363
1.197	0.987	0.000	1.395	684.621	0.521	0.000	0.000	1.493	1.141	2.025	0.355
1.157	1.006	0.000	1.046	734.184	0.510	0.000	0.000	0.942	1.010	1.154	0.034
0.813	0.867	0.000	0.839	744.107	0.451	0.000	0.000	1.336	1.128	2.035	0.396
0.930	1.214	0.000	0.749	785.618	0.516	0.000	0.000	1.351	0.912	0.837	0.090
0.888	1.032	0.000	1.044	687.071	0.363	0.000	0.000	0.711	1.071	1.824	0.115
0.909	0.750	0.000	1.419	680.441	0.314	0.000	0.000	1.171	1.192	1.899	0.022
1.032	1.170	0.000	1.430	707.509	0.478	0.000	0.000	0.995	1.005	1.290	0.165
0.800	0.851	0.000	0.718	720.501	0.473	0.000	0.000	1.023	0.826	1.580	0.147
0.833	0.845	0.000	0.637	797.661	0.415	0.000	0.000	1.373	1.002	2.051	0.269
1.080	1.040	0.000	0.659	681.429	0.296	0.000	0.000	0.589	0.996	0.964	0.217
1.119	1.187	0.000	1.465	733.175	0.336	0.000	0.000	0.561	1.036	1.578	0.470
0.865	0.957	0.000	1.181	775.983	0.358	0.000	0.000	0.519	1.129	0.938	0.211
0.902	0.793	0.000	1.538	801.454	0.352	0.000	0.000	0.993	0.768	1.407	0.069
0.828	1.106	0.000	0.705	750.814	0.495	0.000	0.000	1.387	1.149	0.888	0.311
1.132	1.086	0.000	1.338	770.683	0.495	0.000	0.000	1.361	1.029	1.851	0.261
atd.											

8. Výstupy z analýzy šíření neurčitostí modelem

Obecně lze říct, že každý scénář úniku je popsán specifickými charakteristikami a příslušnými současně se vyskytujícími podmínkami. Proto i v případě pravděpodobnostního přístupu je třeba získané výsledky vztahovat k tomuto scénáři a neprovádět neopodstatněné generalizace. Výstupy z analýzy neurčitostí mohou být prováděny několika způsoby:

- Vyhodnocování základních výběrových statistik
- Modelování frekvenčních a distribučních funkcí cílových veličin, vykreslování histogramů a rozptylových diagramů
- Provádění kvantifikace vlivu neurčitostí pomocí percentilů (5%, 95% apod.)
- Analýza korelací mezi výsledky a zvolenými vstupními parametry

Základními výběrovými statistikami jsou například střední hodnota, medián, minimum a maximum a standardní odchylka. Při korelačních testech jsou pro zvolenou závisle proměnnou zkoumány korelace mezi dvěma nebo více vstupními parametry. Závisle

proměnná se volí nejdříve, potom následuje volba vstupních parametrů, které je vhodné uvažovat v sestupném pořadí podle velikosti parciálních koeficientů. Základní korelace se vyhodnocují na základě nagenovaných hodnot, pořadové korelace vycházejí z uspořádaných hodnot a jejich pořadí.

V [2,3] se rozsah neurčitosti výstupů vyjadřuje v termínech *faktoru neurčitosti* definovaného poměrem:

$$\frac{95\% \text{ percentil distribuce výstupní veličiny}}{5\% \text{ percentil distribuce výstupní veličiny}} \quad (8.1)$$

Další míra je nazývána referenčním koeficientem neurčitosti, která je zavedena poměrem:

$$\frac{95\% \text{ percentil distribuce výstupní veličiny}}{\text{nominální hodnota výstupní veličiny}} \quad (8.2)$$

Při analýze radiologické situace kolem zdroje radioaktivního znečištění představují cílové veličiny z matematického hlediska rozsáhlé matice hodnot na příslušné polární nebo kartézské síti. Je zřejmé, že ukládání jednotlivých realizací náhodného pole v plném rozsahu není možné, a proto se volí jen několik referenčních vzdáleností, pro které se ukládají výsledky a následně se generují výběrové statistiky.

Pravděpodobnostní modely jsou založeny na mnohonásobném opakování výpočtů a vzhledem k obrovskému objemu výstupů nemohou generovat výsledky pro kompletní sadu cílových veličin. Proto ještě před zahájením výpočtů je třeba specifikovat typ výstupů, jehož mnohonásobné realizace budou během výpočtu postupně ukládány pro závěrečné statistické zpracování. Toto je obecně platný závěr pro pravděpodobnostní kódy používané pro analýzu šíření neurčitostí modelem.

Takový vynucený přístup je použit například i v jednom z nejkompexnějších světových kódů pro statistické simulace radiologické zátěže GENII popsany v [1, 12]. Pokud chce uživatel kumulovat výsledky pro některou z nabízených cílových veličin, musí svůj požadavek ještě před výpočtem specifikovat. Samotná nabídka výstupů je vzhledem k zmíněnému velkému objemu omezená, konkrétně lze zvolit jednu z položek:

- Dávkové sumární úvazky
- Příspěvky některých radionuklidů k dávkám
- Základní rozdělení dávek podle jednotlivých cest
- Úvazek ekvivalentních dávek na některé orgány
- Dávky z externího ozáření

Uživatel tedy musí být poměrně dobře obeznámen s logikou zadávání jak vstupů tak požadavků na selektivní výstupy a takovým způsobem si vlastně sám řídí tok výpočtů. Dá se říct, že renomované statistické kódy může provozovat uživatel až po důkladném porozumění a zaškolení.

8.1 Organizace výstupů z kódu HAVAR-RP

Jak již bylo řečeno, nelze při stochastickém modelování produkovat výsledky v celém objemu a šíři všech cílových veličin. Dalším faktem je závislost postupu na analyzovaném scénáři, kdy může dojít k nutnosti modifikovat grupu neurčitostí v důsledku změn v pořadí významnosti jednotlivých vstupních parametrů na zvolené cílové veličiny pro ten který

scénář. Při vývoji kódu HAVAR-RP se začínalo s modelem atmosférické disperze a depozice na zemském povrchu, kdy byla prováděna celá řada dílčích testů pro vyjasnění a interpretaci výsledných distribucí.

Tyto testy byly prováděny s omezenou grupou nuklidů, což umožnilo generovat realizace cílových veličin pro jednotlivé nuklidy (koncentrace aktivity ve vzduchu, časové integrály koncentrace aktivity v přízemní vrstvě vzduchu, depozice na zemském povrchu). Pro rutinní výpočty je do kódu zatím zabudována základní možnost zkoumat šíření neurčitostí pro omezený rozsah výstupů z oblasti efektivních a ekvivalentních dávek pro věkové kategorie dospělých a kojenců, kdy z celé množiny hodnot příslušného náhodného pole je vybrán jen reprezentativní vzorek v několika bodech výpočtové sítě. Příslušné výběrové statistiky jsou pak postupně generovány vždy v jednotlivých referenčních bodech.

8.2 Programová podpora pro generování výběrových charakteristik cílových veličin

Během výpočtu jsou pro jednotlivé realizace vstupů produkovány kompletní výstupy, které z pochopitelných důvodů nelze všechny ukládat pro pozdější statistické zpracování. Podle daného scénáře a oblasti zájmu dané rozsahem modelování se zvolí referenční body na terénu odpovídající výpočtové síti. Zatím je možno při výpočtech v blízkém okolí zdroje uvažovat 3 radiální vzdálenosti:

4.5 km ; 10.5 km ; 21 km

Pro střední vzdálenosti od zdroje lze zatím uvažovat pásma:

25 km ; 52.5 km ; 92.5 km

Referenční body jsou dány průsečíkem zmíněných pásem se základním směrem větru zadávaným do modelu šíření gaussovské vlečky.

Pro referenční body jsou postupně ukládány bloky výsledků cílových veličin, kterými je tento základní implicitní výběr:

- Roční efektivní dávky pro věkové kategorie dospělých a kojenců včetně dlouhodobých úvazků dávek od vnitřního ozáření způsobených ročními příjmy aktivity
- Roční ekvivalentní dávky na štítnou žlázu pro věkové kategorie dospělých a kojenců včetně dlouhodobých úvazků dávek od vnitřního ozáření způsobených ročními příjmy aktivity

Kód HAVAR-RP je natolik flexibilní, že drobnou úpravou do zdrojového kódu bylo možno ukládat realizace datových bloků i pro jiné důležité výstupní veličiny jako:

- Koncentrace aktivity určitého nuklidu v určitém referenčním bodě
- Časové integrály koncentrace aktivity určitého nuklidu v přízemní vrstvě vzduchu v určitém referenčním bodě
- Depozice určitého nuklidu v referenčních bodech v určitých časových okamžicích po spadu
- Hodnoty určité cílové veličiny pro jednu zvolenou cestu ozáření (testován výpočet ozáření z depozice a z resuspenze)

Výstupní datové bloky se při mnohonásobně opakovaném Monte Carlo výpočtu postupně ukládají na externí paměťové medium, odkud jsou potom k dispozici pro další krok, kterým je

statistické zpracování a generování výběrových statistik. Pro účely statistického zpracování realizací datových bloků je vypracován samostatný projekt CCDF, který umožňuje vypočítávat:

- výběrové střední hodnoty
- výběrové rozptyly
- výběrové frekvenční a distribuční funkce
- výběrové komplementární distribuční funkce
- faktory neurčitosti
- referenční koeficienty neurčitosti.

Tyto hodnoty jsou k dispozici ve výsledkových textových souborech ve formě tabulek. V budoucnu by bylo vhodné dopracovat interaktivní online podporu pro zadávání referenčních bodů, pro výběr cílových veličin a statistické zpracování datových bloků s možností jejich zobrazování na obrazovce. Jednalo by se však o velký objem prací vedoucích k nutnosti vybudovat další interaktivní subsystém, což je zatím nad rámec plánovaných zdrojů a prostředků projektu 6/2003. Možnosti sledovat fluktuace v rozdělení dávek podle jednotlivých cest ozáření a podle jednotlivých nuklidů zatím nebyly blíže analyzovány.

8.3 Dílčí výsledky pro pravděpodobnostní model atmosférické disperze a depozice

Při mnohonásobném modelování výsledků cílových veličin na základě jednotlivých realizací náhodného vektoru vstupů uvažujeme grupu neurčitostí podle tabulky 7-7, odkud vyberme parametry vstupních náhodných rozdělení podle obecných doporučení o významnosti jejich vlivu na výstup. Výsledky analýzy šíření neurčitostí modelem je možno označit za očekávané (bližší údaje jsou uvedeny v následujícím paragrafu), protože frekvenční či distribuční funkce cílových veličin pro konkrétní bod mají obvyklý průběh. Je třeba ale upozornit i na případy, kdy je nutné interpretovat i na první pohled trochu překvapivou množinu realizací. Tak tomu bylo v případě zavedení fluktuace směru větru kolem zadané (nominální) hodnoty, kterou označujeme jako chybu měření. Tento případ byl již částečně zmíněn v pracích [L1,L2].

Bylo modelováno náhodné pole depozice I131 kolem zdroje znečištění. Při realizacích byly z výstupů extrahovány hodnoty v jediném bodě na 5. kilometru od zdroje a ve směru šíření vlečky zadaném nominální hodnotou φ_{nom} . Za použití přímočarého Gaussova modelu šíření vlečky byl mnohonásobně opakován výpočet celého scénáře pro jednotlivé náhodné realizace zvolených 4 vstupních parametrů C1, C2, C3, C4. Na začátku výpočtu se načítají nominální pole VGUSEN, AIN (rychlosti suché depozice, uniklé aktivity), která jsou potom modifikována standardizovanými neurčitostmi c1, c2, c3, c4 (zde c značí konkrétní realizaci náhodného parametru C):

1. $SIGYY = SIGYY_{nom} * c2$ pro model = 7 (SCKCEN mocninové vztahy pro hladký terén); fyzikální význam SIGYY je disperze v horizontálním směru
2. $AI(IPRVKU) = AIN(\dots)_{nom} * c1$; fyzikální význam AI (NUK): uvolněná aktivita nuklidů

3. $VGUSE=VGUSEN(I,J) * c4$; fyzikální význam VGUSE: rychlost suché depozice nuklidů
4. $c3 = m$; $C3 \in U$ (uniformní diskretní rozdělení; $C3$ se stejnou pravděpodobností může nabývat hodnot $m = -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5$). Otočení (fluktuace směru větru) kolem nominálního směru se tedy realizují diskretními skoky o $m*4.5$ DEG.

Zvoleným čtyřem náhodným proměnným $C1, C2, C3, C4$ byly přiřazeny následující náhodné charakteristiky:

$C1 =$ uniformní spojité rozdělení $U(\min=0.5, \max=2)$

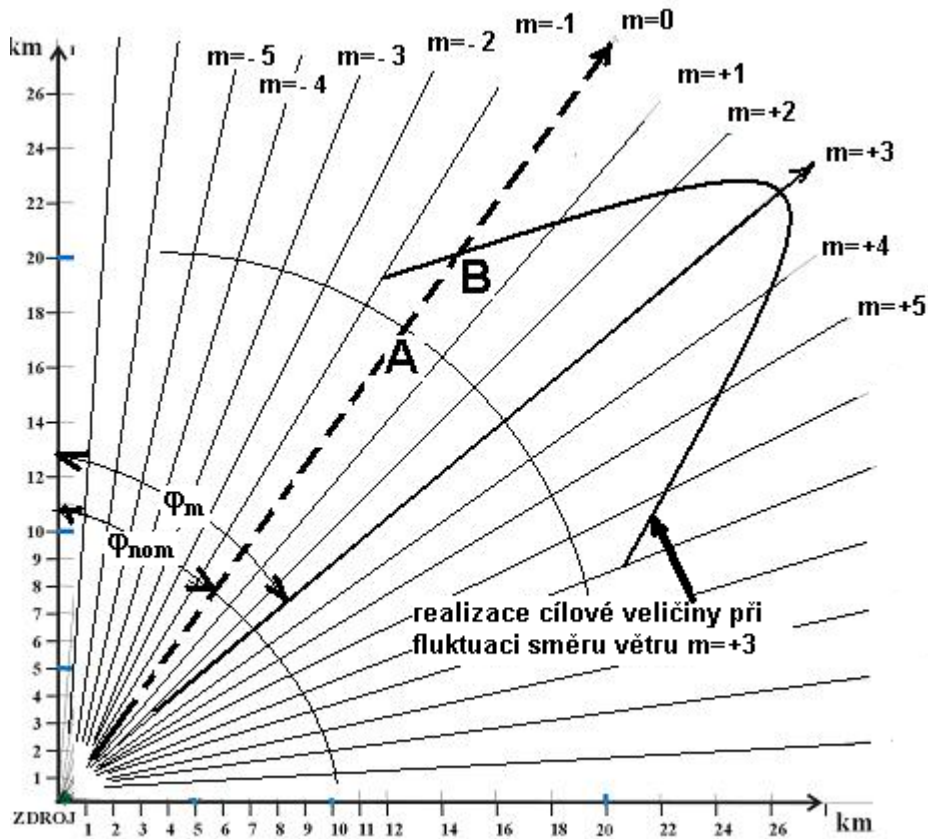
$C2 =$ normální rozdělení $N(1, 0.25)$; $3*\sigma$ omezené

$C3 =$ uniformní diskretní rozdělení $U_{\text{discret}}(-5,+5)$ (11 hodnot $m: -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5$)

$C4 =$ normální rozdělení $N(1, 0.3)$ - $3*\sigma$ omezené

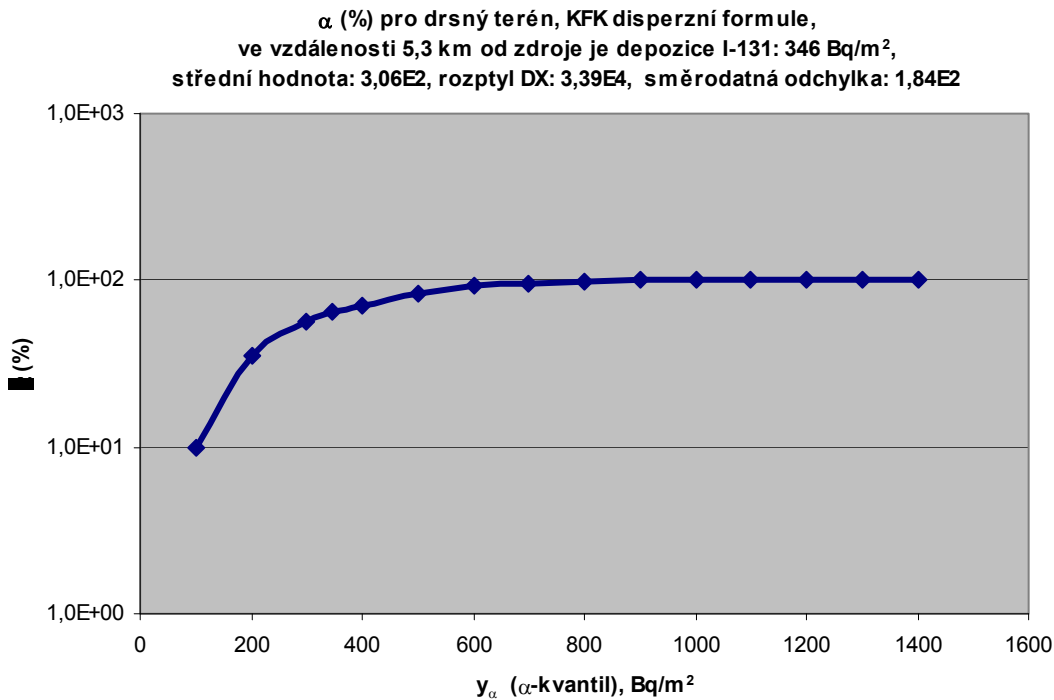
$C2$ a $C3$ se berou zjednodušeně stejné pro všechny kategorie stability atmosféry, $C1$ je obdobně stejné u všech unikajících nuklidů, $C4$ je jednotné pro všechny typy zemského povrchu a fyzikálně-chemické formy radionuklidů. Diskretní náhodná proměnná $C3$ musí korespondovat s výpočtovou polární sítí, která respektuje 16 základních směrů větrné růžice svírajících $360/16= 22.5$ DEG. Toto rozdělení je pro výpočty příliš hrubé, a proto každý úhel svíraný dvěma základními směry je dále rozdělen na dalších 5 dílů. To znamená, že polární výpočtová síť má celkem 80 úhlových paprsků, přičemž dva vedlejší spolu svírají vždy 4.5 DEG. Odtud zdůvodnění diskretizace standardní náhodné proměnné $C3$.

Konkrétní vygenerovaná realizace fluktuace směru větru m znamená posunutí o m úhlových diferencí (každá o velikosti 4.5 DEG) a způsobí výchylku od nominálního směru φ_{nom} do nového směru šíření φ_m (kladné m představuje otočení ve směru hodin, záporné pak proti směru hodin). S hodnotou φ_m proběhne znovu celý výpočet a určí se jeho příspěvek do zvoleného referenčního bodu ve směru φ_{nom} . Celý proces je znázorněn na obrázku 8-1.

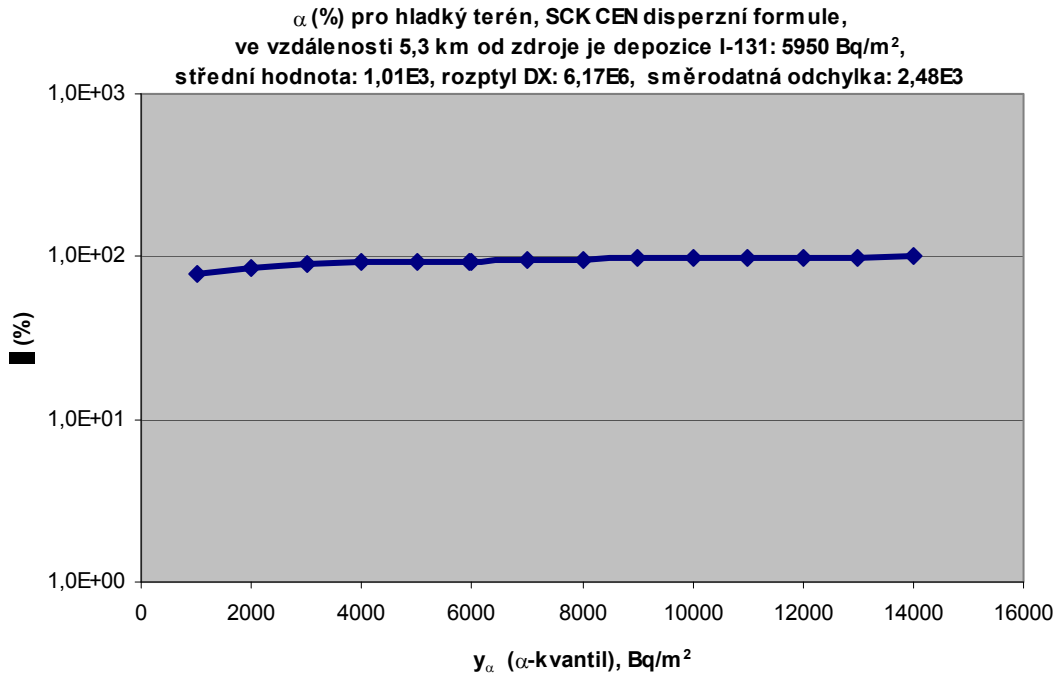


Obr. 8-1: Schéma vysvětlující horizontální fluktuace směru větru

V konečné fázi byla odhadována distribuční funkce pro $N=1000$ realizací.



Obr. 8-2: Část distribuční funkce pro depozici I131 na 5.3 km- model KFK pro drsný terén



Obr. 8-3: Část distribuční funkce pro depozici I131 na 5.3 km – model disperze pro hladký terén – SCK/CEN

8.4 Standardní výstupy pravděpodobnostního modelu pro implicitní grupy náhodných parametrů

Testování probíhalo většinou v jednom segmentu úniku při přímočarém šíření gaussovské vlečky. Výpočty se segmentovaným Gaussovým modelem jsou sice realizovatelné, ale mnohem delší. Tento přístup je korektní v obecném případě, kdy je třeba testovat míru vlivu vstupních neurčitostí nekorigovanou případnými deterministickými efekty změn povětrnostní situace a dynamiky úniku v dalších segmentech. Pro standardní práci s kódem jsou v současné době modelovány neurčitosti pro tři hlavní cílové veličiny:

- Depozice vybraných nuklidů ve zvolených vzdálenostech od zdroje
- Roční efektivní dávka pro dospělé a kojence od všech cest ozáření včetně 50ti (70ti) letého úvazku ingesční dávky od ročního příjmu aktivity
- Roční ekvivalentní dávka na štítnou žlázu pro dospělé a kojence

S menší úpravou zdrojového kódu je možno generovat i další důležité výstupy jako na příklad časové integrály měrné aktivity nuklidů v přízemní vrstvě vzduchu nebo některé dávky z dlouhodobé expozice.

Pro demonstraci výsledků jsou dále provedeny výpočty s implicitní grupou 12 vstupních neurčitostí atmosférického a deponičního modelu podle tabulky 7-7. To znamená, že LHS algoritmus generuje realizace, představované dvanácticemi náhodných čísel s respektováním jejich jednotlivých typů rozdělení. Celkový počet těchto realizací je několik tisíc. Výpočty proběhly s následujícími ostatními nominálními hodnotami zvoleného scénáře:

Hav s novou ing: SCKCEN, pravdepodobnostni behy

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

19.1.2005: var pro srovnání s Havar04

```

7          MODEL=7 => rozpty SCK/CEN
3          KPS - směr úniku
35 35
0          IBET
0 0        KRK,NVYP
D 0        KV,ICALM
          45.0 8
31536000  180.0  365.0  TB
          1.0          OPR
          3600.0        THAV - doba trvání úniku
1 0 0 0 0 0        KPSSQ(1:5)
D F F F F        KVSQ(1:5) - kat. počasí: v 1. seg = D
          1.0000  1.0000  1.0000  1.0000  1.0000  DOBASQ(1:5)
4200.0000 0000.0000 0000.0000  0.0000  0.0000  TEPVYD(1:5)
          00.0000  00.0000  00.0000  0.0000  0.0000  CVER(1:5)
          1.0000  1.0000  1.0000  1.0000  1.0000  CVITR(1:5)- rychl. větru
100.          H - výška zdroje
507.          HNV - nadm.v. paty
          200.0        HS
F          KI
T 1          ING,ING1
4200.0        QH - tepelná vydat.
1.6          D
00.0        VS
          1.0 2.0 2.0 5.0 2.0 2.0          UK, ale zadani v CVITR

```

Blízkostojící objekty:

```

50. 75. 25. 75. 10. 35. 175. 190. 60. 20. 75. 65. 60. 35. 35. 15.
44. 23. 23. 41. 66. 66. 154. 154. 45. 45. 13. 45. 45. 66. 66. 46.
6

```

SEGMENT 1 : srazky a uniky:

```

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

```

Zdrojový člen: únik [Bq] za dobu THAV

```

SR90      1.11E+15
I131      2.22E+16
CS137     3.33E+17

```

KONEC

Předchozí řádky jsou opisem vstupního souboru HIN00.DAT (podrobněji v metodickém manuálu systému HAVAR). Stochastickému modelování předcházela nominální výpočet, kdy všechny vstupní parametry mají svoji jedinou deterministickou hodnotu určenou na základě

nejlepšího odhadu („best-estimate“). Odtud uvedeme nominální hodnoty depozice I-131 v uvažovaných vzdálenostech:

$$\text{TPR}_{\text{I-131}}^{\text{nom}}(r = 4.5 \text{ km}) = 4.74\text{E}+08 \text{ Bq.m}^{-2}$$

$$\text{TPR}_{\text{I-131}}^{\text{nom}}(r = 52.5 \text{ km}) = 1.09\text{E}+07 \text{ Bq.m}^{-2}$$

Při mnohonásobném Monte Carlo opakování celého výpočtu vždy s konkrétní realizací vstupního náhodného vektoru jsou ukládány hodnoty sledovaných výstupních veličin v konkrétních bodech pod osou mraku. Podle vztahu (6.9) tak dostáváme páry:

$$\{ \mathbf{x}^k, \text{TPR}_{\text{I-131}}^k(r = R1) \}; k = 1, 2, \dots, K \quad (8.3)$$

kde TPR jsou hodnoty měrné aktivity I-131 deponované na zemském povrchu pod osou mraku ve vzdálenosti R1 od zdroje. K je celkový počet opakování výpočtů (zde K=1000). Na obrázku 8.4 jsou vyneseny četnosti výskytu modelované hodnoty v jednotlivých intervalech hodnot (podrobněji v EXCEL tabulkách) pro R1= 4.5 km. Příslušná distribuční funkce náhodné veličiny $\text{TPR}_{\text{I-131}}^k(r = R1)$ je znázorněna na obrázku 8.5. Výběrová střední hodnota a výběrová standardní odchylka na km 4.5 jsou:

$$\text{střední hodnota: } 3.71\text{E}+08 \text{ Bq.m}^{-2}$$

$$\text{rozptyl } DX = 4.28\text{E}+16$$

$$\text{směrodat. odchylka} = 2.07\text{E}+08 \text{ Bq.m}^{-2}$$

Obdobnou situaci R1= 52.5 km znázorňují obrázky 8.6 a 8.7 pro náhodnou výstupní veličinu $\text{TPR}_{\text{I-131}}^k(r = 52.5)$. V tomto případě výběrová střední hodnota a výběrová standardní odchylka nabývají hodnot:

$$\text{střední hodnota: } 4.44\text{E}+06 \text{ Bq.m}^{-2}$$

$$\text{rozptyl } DX = 2.12\text{E}+13$$

$$\text{směrodat. odchylka} = 4.06\text{E}+06 \text{ Bq.m}^{-2}$$

Dále byly provedeny pravděpodobnostní výpočty simultánně s dvanácti ADM neurčitostmi a šestnácti FCM neurčitostmi (vždy 1000 realizací). S předchozím modelováním ADM byla provedena 1 změna, kdy fluktuace směru větru byla zúžena na uniformní diskrétní rozdělení $\langle -1; 0; +1 \rangle$, tedy na úhly $\langle -4.5 \text{ deg}; 0 \text{ deg}; +4.5 \text{ deg} \rangle$. Některé výsledky modelování jsou v souboru Kvantil1novy.xls jako listy Distrib_eff_1 (Distribuční funkce úvazku roční efektivní dávky pro děti do 1 roku ve vzdálenosti 4,5 km - viz obrázek 8-8) a Distrib_ef_2 (Distribuční funkce úvazku roční efektivní dávky pro děti do 1 roku ve vzdálenosti 42,5 km - viz obrázek 8-9). Na obrázcích 8-10 a 8-11 jsou též k dispozici histogramy. Výběrové střední hodnoty a výběrové standardní odchylky nabývají hodnot:

FCM – úvazek dávky od ročního příjmu aktivity (tzn. v roce spadu) pro kojence:

Na km 4.5:

$$\text{Dose}_{\text{nom}} = 4.93 \text{ E}+01 \text{ mSv}$$

$$\text{Výběrový průměr} = 5.69 \text{ E}+01 \text{ mSv}$$

$$\text{Variance} = 3.02 \text{ E}+01 \text{ mSv}$$

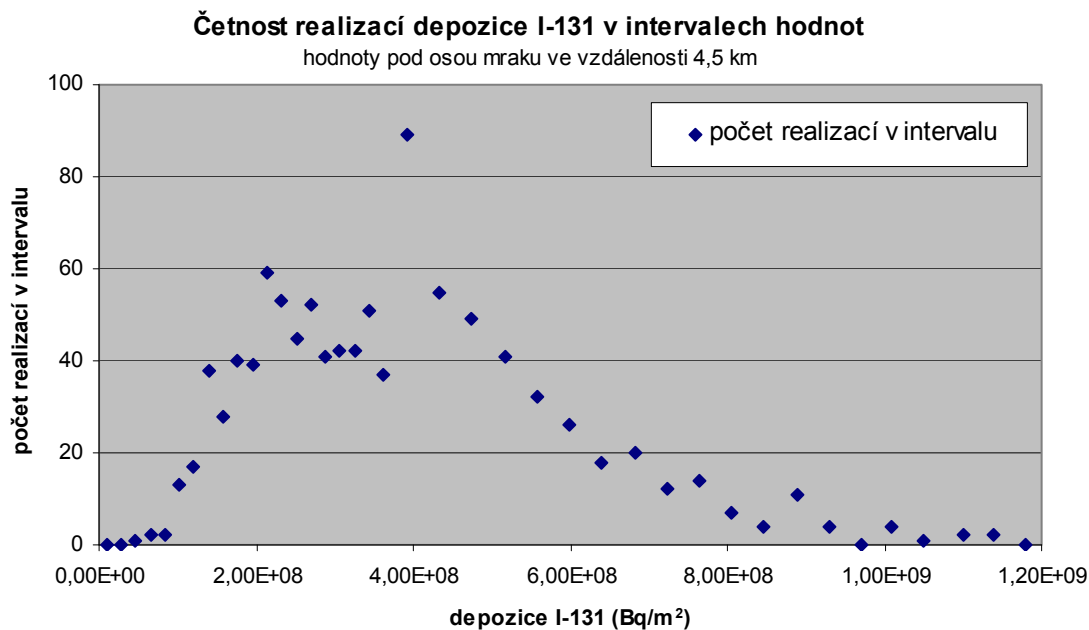
Na km 52.5:

$$\text{Dose}_{\text{nom}} = 5.84 \text{ E}+00 \text{ mSv}$$

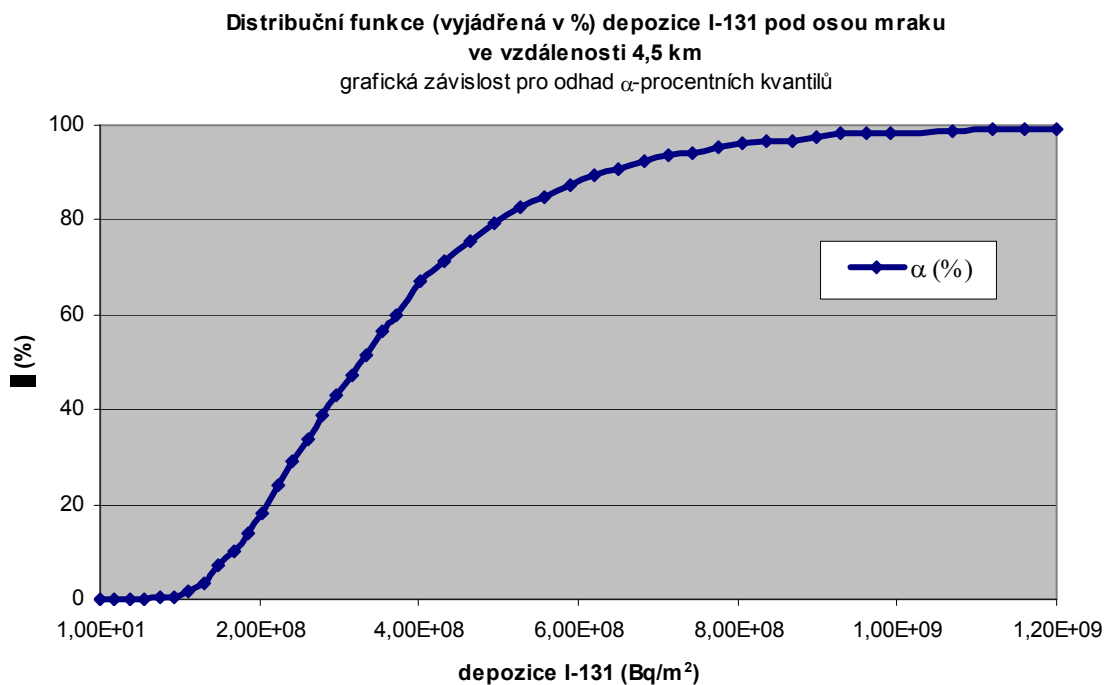
$$\text{Výběrový průměr} = 5.60 \text{ E}+00 \text{ mSv}$$

$$\text{Variance} = 2.94 \text{ E}+00 \text{ mSv}$$

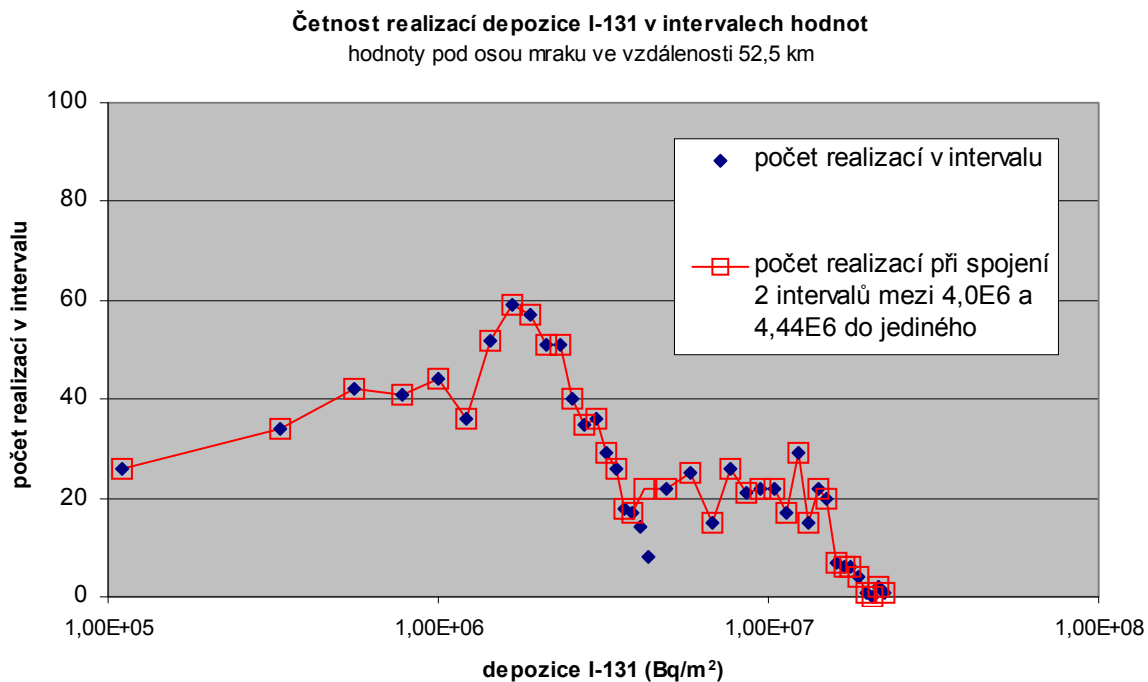
Obr.8.4: Intervalové četnosti výskytu pro km 4,5



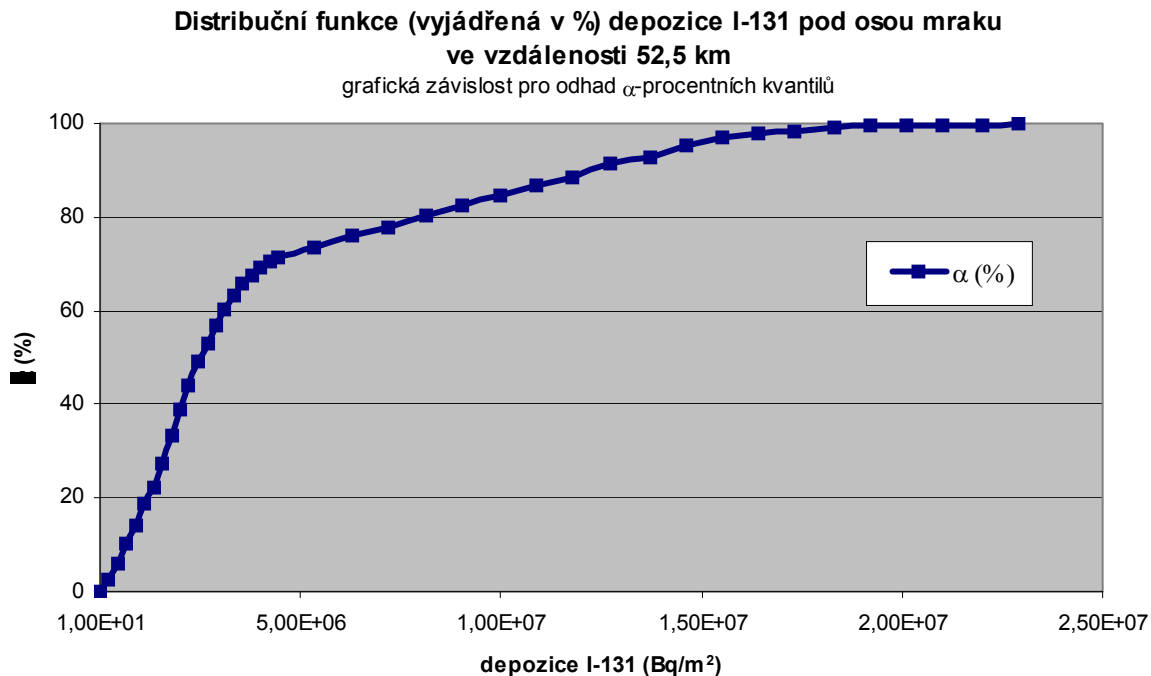
Obr.8.5: Distribuční funkce na km 4,5



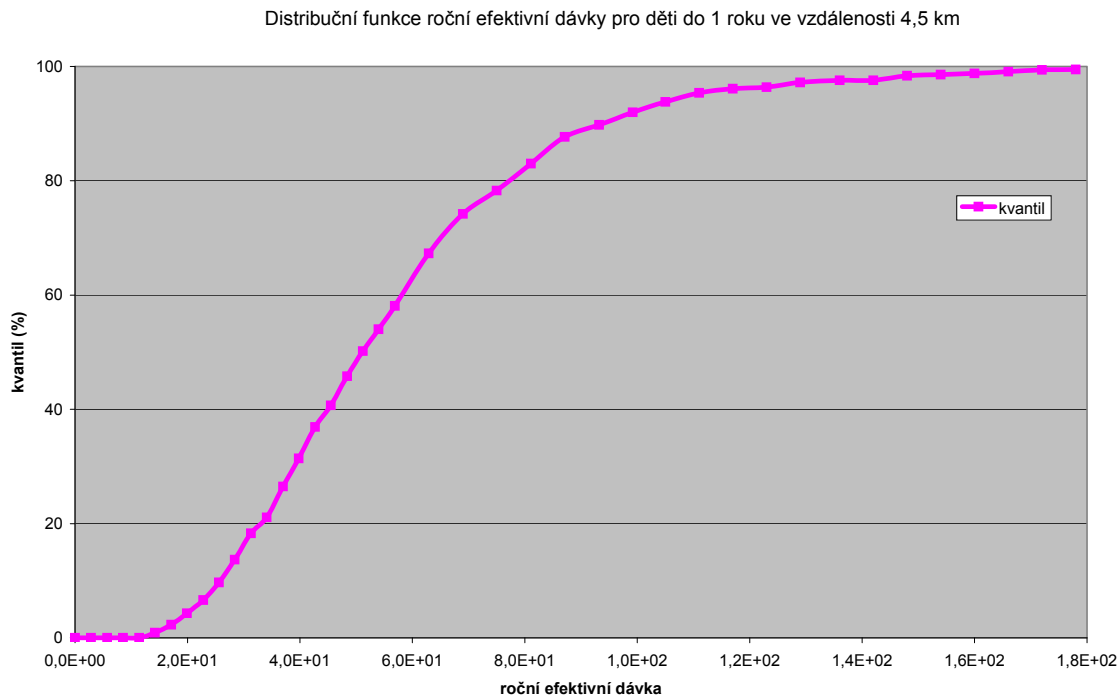
Obr.8.6: Intervalové četnosti výskytu pro km 52,5



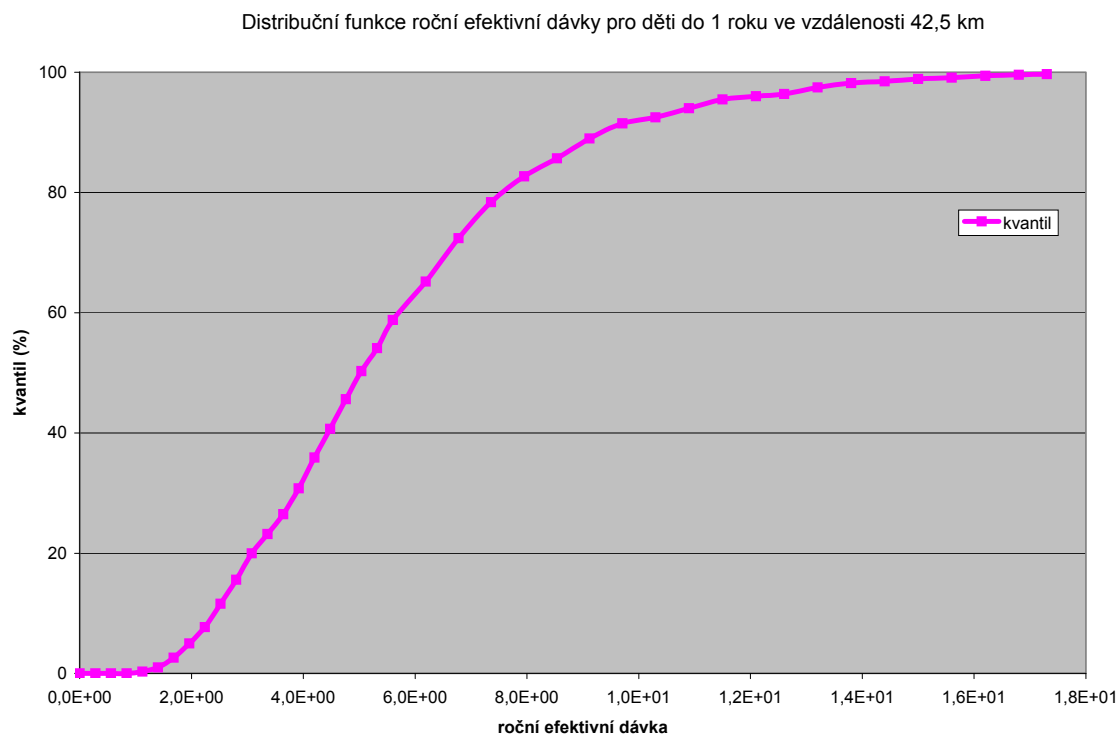
Obr.8.7: Distribuční funkce na km 52,5



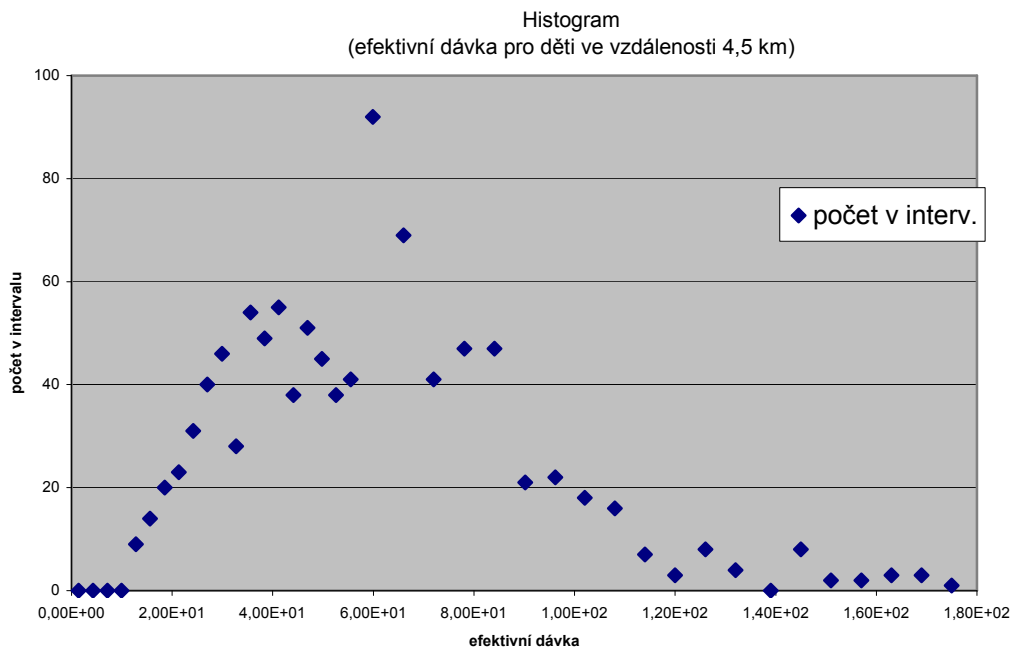
Obr. 8.8: Distribuce úvazku efektivní dávky pro kojence (mSv) od ročního příjmu aktivity (4,5 km od zdroje)



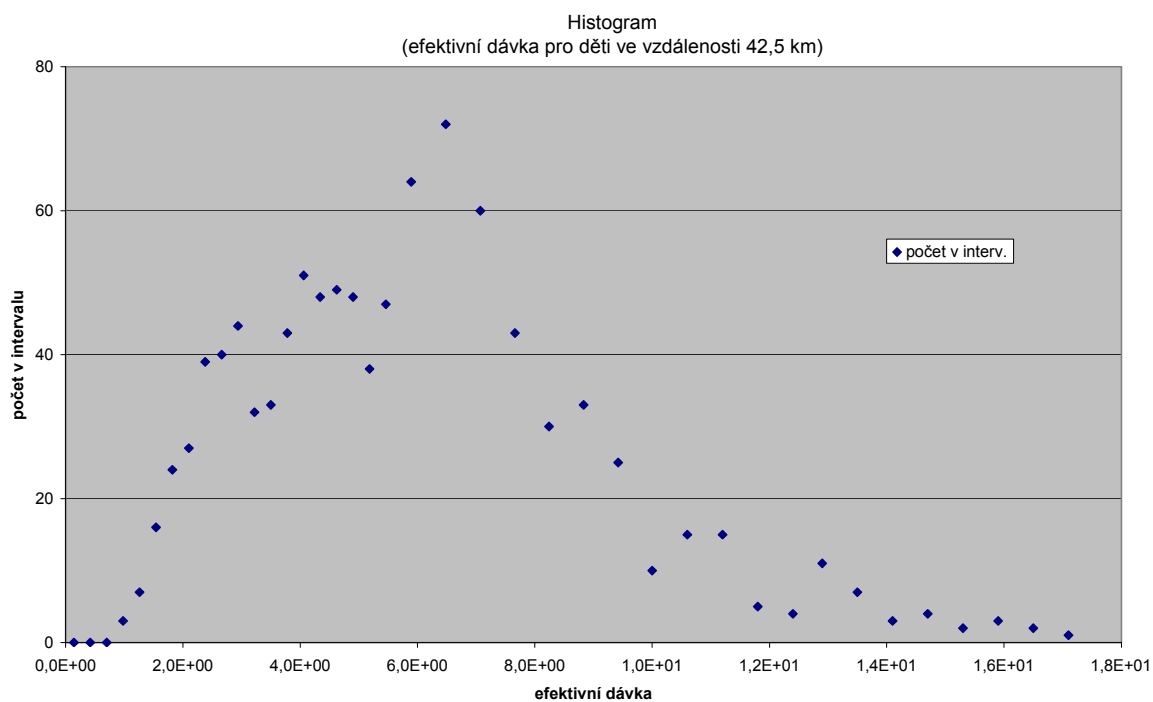
Obr. 8.9: Distribuce úvazku efektivní dávky pro kojence (mSv) od ročního příjmu aktivity (42,5 km od zdroje)



Obr.8.10: Intervalové četnosti výskytu hodnot úvazku eff. dávky (mSv) pro km 4,5



Obr.8.11: Intervalové četnosti výskytu hodnot úvazku eff. dávky (mSv) pro km 42,5



V této fázi, kdy byly získány první výsledky hodnocení na pravděpodobnostním základě získané s implicitní grupou vstupních neurčitostí, lze provádět rozbory výsledků z nejrůznějších hledisek a hledat vysvětlení některých zdánlivých či skutečných anomálií. Je zřejmé, že klíčem k těmto analýzám budou subjektivní volby pro rozsahy a typy fluktuací vstupních parametrů z implicitních grup neurčitostí (tabulky 7-7, 7-11 a 7-12) a jejich případné rozšiřování a modifikace při dalších variantních ověřovacích výpočtech. Pro takové postupy představuje předkládaná verze kódu HAVAR-RP vhodný a efektivní nástroj. Vzhledem k časovým nárokům na důkladné provedení takových variantních analýz lze tuto problematiku klasifikovat jako téma pro samostatný výzkumný projekt.

Tak například z histogramů (četností výskytu) uvedených na předchozích obrázcích lze postřehnout určité „rozmazání“ hodnot kolem výběrové střední hodnoty, k čemuž určité velkou mírou přispívá způsob zahrnutí fluktuace směru větru ADM03 podle obr. 8-1 (při výpočtech bylo v tabulce 7-7 upraveno diskrétní rovnoměrné rozdělení na $U \in \langle -1, 0, +1 \rangle$ - viz popis parametru ADM3 v kap. 7.1.3). Je třeba upozornit na to, že oba grafy pro vyjádření četností výskytu jsou pouze orientační, protože intervaly hodnot nejsou vždy konstantní. Přesné údaje jsou v příslušných tabulkách přiložených v elektronické formě.

Pokud si všimneme náhodných charakteristik výstupů z hlediska faktorů neurčitosti definovaných vztahy (8.1) resp. (8.2), jejich velké hodnoty jsou opět způsobeny subjektivním přiřazením náhodných charakteristik složkám vstupního vektoru. Je zřejmé, že například hodnoty ve větších vzdálenostech pro elementární formu I-131 jsou podstatně ovlivněny fluktuací rychlosti suché depozice v_d , jejíž škálový faktor ADM04 byl uvažován z rovnoměrného rozdělení podle tabulky 7-7. Nicméně vhodnějším způsobem by byl postup podrobně diskutovaný v příloze 4, kdy by bylo uvažováno logaritnicko-normální rozdělení pro tuto veličinu (fyzikální nezáporná veličina).

9. Literatura

- [1] Leigh C.D., Thompson B.M., Campbell D.E., Longsine D.E., Kennedy R.A., Napier B.A.: User's Guide for GENII-S : A code for Statistical and Deterministic Simulations of Radiation Doses to Humans from Radionuclides in the Environment. SANDIA REPORT, SAND91-0561, UC-721, 1993
- [2] Jones J.A., Mansfield P. A., Crick M. J.: Uncertainty Analysis of the Predicted Consequences of Nuclear Accidents Using the NRPB Code MARC-2A. NRPB-R274, 1995.
- [3] Fischer F., Ehrhardt J., Hasemann I.: Uncertainty and Sensitivity Analysis of the Complete Program System UFOMOD and Selected Submodels. KfK 4627, 1990.
- [4] Fischer F., Ehrhardt J., Raicevic J.: Analysis of uncertainties Caused by the Atmospheric Dispersion Model in Accident Consequence Assessments with UFOMOD. KfK 4262, 1988.
- [5] Homma T., Inoue Y., Tomita K.: OSCAAR Calculations for the Hanford Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2. JAERI – Research 2000-049, 2000.
- [6] Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models. Safety series, No. 100, IAEA, 1989.
- [7] Goossens L., Harper F.T.: Joint EC/USNRC Expert Judgement Driven Radiological Protection Uncertainty Analysis. J. Radiolog. Prot., Vol 18, 1998
- [8] Young M.: Joint EC/USNRC Uncertainty Study: Dispersion and Deposition Panel. SANDIA NL, (1994).
- [9] Jones J.A.(NRPB), Goossens L.(TUD), Hasemann I., Fischer F., Ehrhardt J.(FZK) : Uncertainty Analysis on COSYMA – Results of the Dispersion and Deposition Module Analysis. Study under Contract No.: FI4P-CT95-0006, 1995
- [10] Müller H., Friedland W., Pröhl G., Gardner R.H. : Uncertainty in the Ingestion Dose Calculations. Rad. Prot. Dos., Vol. 50(1993)
- [11] Caminada G., French S., Politis K., Smith J.Q. : Uncertainty in RODOS . RODOS(B) RP(94)-05, Jan. 2000
- [12] Napier B.A., Strenge D.L. at al. : GENII Version 2 - Software Design Document. Under USEPA Contract DE-AC06-76RLO 1830, Nov. 2002
- [13] Homma T., Satelli A. : LISA – Package User Guide, Preparation of Input Sample for Monte Carlo Simulations. EUR 13922 EN (1992)
- [14] Bleher M., Gering F., Hübner S., Müller H. : Data Assimilation and Uncertainty in RODOS FCM Assessment. RODOS (WG3)-TN(97), 1997
- [15] Fischer F. : Procedures for Uncertainty Analysis of UFOMOD – A User Guide. KfK 4626 (1990)

- [16] Housa L. (školitel Pecha P.) : Pravděpodobnostní přístup posuzování závažnosti radioaktivních úniků do atmosféry (květen 2004)
- [17] Chang J. C : Uncertainty and Sensitivity of Dispersion Model Results to Meteorological inputs: Two Case Studies. In Qualitative Methods for Current nvironmental Issues (Springer, 2002), ISBN 1-85233-294-8
- [18] Jones J.A., Brown J.,(NRPB), Goossens L.(TUD), Hasemann I., Fischer F., Ehrhardt J.(FZK) : Uncertainty Analysis on COSYMA, 3rd COSYMA-MACCS Meeting, Portorož, 1996
- [19] Kok Y. S., Eleveld H. : Sensitivity and Uncertainty Analysis of the Atmospheric Dispersion Model NPK-PUFF. HARMON9 - Int. Conf. On Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Vol.1, Garmisch-Partenkirchen, 1-4 June, 2004.
- [20] Irwin J.S., Hanna S.R. : Characterizing Uncertainty in Plume Dispersion Models. HARMON9 - Int. Conf. On Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Vol.1, Garmisch-Partenkirchen, 1-4 June, 2004.
- [21] Beychok M.R. : Error Propagation in Air Dispersion Modeling, Newport Beach, California, USA, zdroj informací na serveru GOOGLE.
- [22] Hinton T.G. : Sensitivity Analysis of ECOSYS-87 : An Emphasis on the Ingestion Pathway as a Function of Radionuclide and a Type of Deposition. Health Physics, Vol. 66, No.5, 1994.
- [23] Jones J.A., Brown J.,(NRPB), Goossens L., Kraan B., Cooke R., (TUD), Ehrhardt J., Hasemann I., Fischer F., (FZK) : Uncertainty Analysis on the Probabilistic Accident Consequence Code COSYMA. Radiological Prot. Bulletin No. 232, Dec. 2001.
- [24] Prado P., Draper D., Saltelli S.A. ,: GESMAC: Conceptual and computational tools to tackle the long-term risk from nuclear waste disposal in the atmosphere. EUR 19113 EN (1999)
- [25] Mueck K., Suda M., Gerzabek M., Kunsch B.: Ingestion Dose Response to the Deposition Date in the First Year after Radionuclide Deposition. Rad. Prot. Dosimetry, vol. 42, No. 2-4(1992).
- [26] Homma T., Matsunaga T. : OSCAAR Calculations for the Input Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2. JAERI – Research 2000-059, 2001.
- [27] Müller H., Pröhl G. : ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents. Health Physics, Vol. 64, No. 3, March 1993
- [28] Brown J., Simmonds J. R. : FARMLAND: A Dynamic Model for the Transfer of Radionuclides through Terrestrial Foodchains. NRPB, NRPB-R273, 1995.
- [29] Brown J. : FARMLAND: Validation and Verification Studies on the NRPB Dynamic Terrestrial Foodchain Model, NRPB, NRPB-M523, 1995.

- [30] Goossens L.H.J., Kraan B.C.P., Cooke R.M. (TUD), Jones J.A.(NRPB), Ehrhardt J., Fischer F., Hasemann I., (FZK): Uncertainty from the Atmospheric Dispersion and Deposition Module, EUR 18822 EN, 2001
- [31] Goossens L.H.J., Kraan B.C.P., Cooke R.M. (TUD), Jones J.A.(NRPB), Ehrhardt J., Fischer F., Hasemann I., (FZK): Overall Uncertainty Analysis, EUR 18826 EN, 2001
- [32] Goossens L.H.J., Kraan B.C.P., Cooke R.M. (TUD), Jones J.A.(NRPB), Ehrhardt J., Fischer F., Hasemann I., (FZK): Uncertainty from the food chain module, EUR 18823 EN, 2001
- [33] Goossens L.H.J., Kraan B.C.P., Cooke R.M. (TUD), Jones J.A.(NRPB), Ehrhardt J., Fischer F., Hasemann I., (FZK): Uncertainty from the dose module , EUR 18825 EN, 2001
- [34] Testing of Environmental Transfer Models Using Chernobyl Fallout Data from the Input River Catchment Area, Bryansk Region, Russian Federation, Report of the Dose Reconstruction Working Group of BIOMASS Theme 2, IAEA Vienna, April 2003
- [35] Cooke R.M., Kraan B (TUD): Processing Expert Judgements in Accident Consequence Modelling, Radiation Protection Dosimetry, Vol.90 No.3 2000 p.311-315
- [36] Skuterud L., Strand P. (Norwegian RPA), Travnikova I.G., Balonov M.I. (Russian Institute of Radiation Hygiene), Howard B.J. (Institute of Terrestrial Ecology, UK): Importance of Wild Mushrooms for Intake of Radiocesium by Rural Populations in Russia.
- [37] Crosetto M., Tarantola S. : Uncertainty and sensitivity analysis: tools for GIS-based model implementation. Int. J. Geogr. Information Science, 2001, Vol.15, No. 5 415-437.
- [38] Helton J. C., Davis F. J. : Illustration of Sampling-based Methods for Uncertainty and Sensitivity Analysis. SANDIA NL Doc.0001, 2001.
- [39] Saltelli A., Chan K., Scott E. M. : Sensitivity Analysis. J. Wiley & Sons, LTD, ISBN 0-471-99892-3, 2000.
- [40] Ratto M., Tarantola S., Saltelli A. : Model reduction techniques for qualification of uncertainty. EC Fifth Framework Program, SCA Project, IST-1999-11313, 2000.
- [41] Hamby D. M., Tarantola S. : Exploring Sensitivity Analysis Techniques for the Assessment of an Environmental Transport Model. EUROSTAT , No.: 13592-1998-02, SUP COM 97.
- [42] P. Pecha, E. Pechova: Modeling of random activity concentration fields in air for purposes of probabilistic estimation of radiological burden of population. HARMO10 – 10th Internal Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Sissi (Crete)Greece, 17-20 October 2005, paper No. H11-069.
- [43] HAVAR: Interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderného zařízení do atmosféry.
ČÁST I : Metodika, arch.č.EGP 4104-6-990057, Praha, 2000.

Předchozí zprávy projektu 6/2003, vztahující se k pravděpodobnostnímu přístupu:

[L1] Pecha P.: Návrh metodiky generování pravděpodobnostních charakteristik cílových veličin v modelech šíření radionuklidů životním prostředím. *Dokumentace k etapě E 01 g) projektu 6/2003*, červen 2004

[L2] Pecha P.: Analýza neurčitostí charakteristik vstupních parametrů do modelů šíření radionuklidů při únicích do životního prostředí. Část II : Volba grupy neurčitostí a metodika generování náhodných realizací vstupních vektorů modelů systému HAVAR .
Dokumentace k etapě E 01 f) projektu 6/2003, 2004

[L3] Švanda J.: Analýza neurčitosti vstupních parametrů a použitých fyzikálních modelů s cílem zvýšení spolehlivosti předpovědí. Závěrečná zpráva k etapě E 01 f) projektu 6/2003, červen 2004

10. Přílohy

Příloha 1: Výběr neurčitostí vstupních parametrů atmosférického a depozičního modelu

Tab.P1-1: Výběr podstatných parametrů z MARC-2A [2]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
σ_z kat.A pro 1. km	m	1.4E+2	1.7E+2	1.8E+2		2.8E+2	3.4E+2	trojúhelníkové
σ_z kat.B pro 1. km	m	8.2E+1	9.1E+1	9.6E+1		1.2E+2	1.4E+2	trojúhelníkové
σ_z kat.C pro 1. km	m	5.5E+1	6.1E+1	6.8E+1		7.4E+1	8.2E+1	trojúhelníkové
σ_z kat.D pro 1. km	m	3.5E+1	3.9E+1	4.3E+1		5.1E+1	5.5E+1	trojúhelníkové
σ_z kat.E pro 1. km	m	2.1E+1	2.5E+1	2.8E+1		3.4E+1	3.5E+1	trojúhelníkové
σ_z kat.F pro 1. km	m	1.1E+1	1.3E+1	1.5E+1		1.9E+1	2.1E+1	trojúhelníkové
σ_y – horizontální flukt. větru	-	1.8E-3	5.0E-3	1.0E-2		2.1E-2	5.8E-2	lognormální
poč. vliv budov na σ_y	-	5.0E-1	7.2E-1	1.0E+0		1.3E+0	1.5E+0	trojúhelníkové
poč. vliv budov na σ_z	-	5.0E-1	7.2E-1	1.0E+0		1.3E+0	1.5E+0	trojúhelníkové
v_d pro aerosoly	$m.s^{-1}$	9.0E-6	1.0E-4	5.5E-4		3.0E-3	3.4E-2	lognormální
v_d pro elem. jód	$m.s^{-1}$	6.2E-4	3.2E-3	1.0E-2		3.2E-2	1.6E-1	lognormální
exponent pro vymývání	-	5.0E-1	5.5E-1	7.5E-1		9.5E-1	1.0E+0	rovnoměrné
korekce na	-	5.0E-1	7.2E-1	1.0E-0		1.35E-0	1.5E+0	trojúhelníkové

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
směš. výšku								

Tab.P1-2: Parametry neurčitostí atmosférického modelu podle autorů Kok, Eleveld [19]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
drsnot zem. povrchu z_0	m	0.001		0.25			3	trojúhelníkové
eff. výška (nízký zdroj) ~15m	m	10		15			20	rovnoměrné
eff. výška (vysoký zdroj) ~400m	m	200		400			600	rovnoměrné
korekce na profil větru (exp.)	-			1.0E-0	0.15			normální N(1, 0.15)
frakce pro σ_z	-	0.5		1.25			2	rovnoměrné
Koeficient vymývání Λ pro elem. I	s ⁻¹	1E-5		5.8E-5			1E-4	trojúhelníkové

Tab.P1-3: Parametry neurčitostí atmosférického modelu podle kódu OSCAAR [5]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>střední odchylka μ</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>typ rozdělení</i>
škálový faktor pro exponent profilu rychlosti větru	-	1.0	1.0	0.15	normální
škálový faktor pro směšovací výšku	-	1.0	1.0	0.21	normální
škálový faktor pro σ_y	-	1.0	0.0	0.13	lognormální
škálový faktor pro σ_z	-	1.0	0.0	0.13	lognormální
rychlost suché depozice v_d elementární aerosol organický	m/s	1E-2 1E-3 1E-4	-2.0 -3.0 -4.0	0.61 0.43 0.43	lognormální

Tab.P1-4: Rozdělení odvozené pro vstupní parametry UFOMOD [4, 15]

a) Parametry atmosférické disperze

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
Tepelná vydatnost	MW		1,05	4,2	16,8	1,44	0,2	lognormální
Faktor neurčitosti rychlosti větru	-		-1	0,0	1,0			rovnoměrné
Výška zdroje úniku	m		3,33	10,0	30,0	2,3	0,13	lognormální
Faktor převýšení vlečky (kat. = A, B, C, D)	-		1,10	1,6	2,10			rovnoměrné
Faktor převýšení vlečky (kat. = E, F)	-		1,65	2,9	4,15			rovnoměrné
Korekce vznosu vlečky	-		7,5	20,0	32,5			rovnoměrné
Parametr atmosférického zředění	m		0,25	1,50	2,75			rovnoměrné
Směšovací výška pro kategorii A	m		1000	2000	3000			rovnoměrné
Směšovací výška pro kategorii B	m		750	1500	2250			rovnoměrné
Směšovací výška pro kategorii C	m		500	1000	1500			rovnoměrné
Směšovací výška pro kategorii D	m		350	700	1050			rovnoměrné
Směšovací výška pro kategorii E	m		200	400	600			rovnoměrné

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
Směšovací výška pro kategorii F	m		125	250	375			rovnoměrné
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii A	m		3,25E-01	0,65	1,30E+00	-0,43	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii B	m		3,25E-01	0,65	1,30E+00	-0,43	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii C	m		2,15E-01	0,43	8,60E-01	-0,84	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii D	m		1,70E-01	0,34	6,80E-01	-1,08	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii E	m		1,70E-01	0,34	6,80E-01	-1,08	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_y pro kategorii F	m		1,70E-01	0,34	6,80E-01	-1,08	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii A	m		1,95E-02	0,039	7,80E-02	-3,24	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii B	m		1,00E-02	0,02	4,00E-02	-3,91	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii C	m		2,60E-02	0,052	1,04E-01	-2,96	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii D	m		5,00E-02	0,152	2,00E-01	-2,3	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii E	m		3,30E-01	0,662	1,32E+00	-0,416	5,03E-02	lognormální
Disperzní koeficient σ_z pro kategorii F	m		6,50E-01	1,362	2,60E+00	0,262	5,03E-02	lognormální
Parametr profilu větru p pro kategorii A	-		3,50E-02	0,07	0,105			uniformní

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
Parametr profilu větru p pro kategorii B	-		6,50E-02	0,13	0,195			uniformní
Parametr profilu větru p pro kategorii C	-		0,105	0,21	0,315			uniformní
Parametr profilu větru p pro kategorii D	-		0,17	0,34	0,51			uniformní
Parametr profilu větru p pro kategorii E	-		0,22	0,44	0,66			uniformní
Parametr profilu větru p pro kategorii F	-		0,22	0,44	0,66			uniformní

b) Parametry suché depozice

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
rychlost suchého usazování v_d pro jód	m/s		2,00E-04	0,01	5,18E-02			loguniformní
rychlost suchého usazování v_d pro aerosoly	m/s		4,00E-05	0,002	1,04E-02			loguniformní

c) Parametry mokré depozice

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
vymývací koeficient λ pro jód při 0 - 1 mm/h	h^{-1}		8,40E-07	4,20E-05	2,17E-04			loguniformní
vymývací koeficient λ pro aerosoly při 0 - 1 mm/h	h^{-1}		6,80E-07	3,40E-05	1,76E-04			loguniformní

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>minimum</i>	<i>50% kvantil</i>	<i>maximum</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
vymývací koeficient λ pro jódý při 1 - 3 mm/h	h ⁻¹		2,10E-06	1,06E-04	5,49E-04			loguniformní
vymývací koeficient λ pro aerosoly při 1 - 3 mm/h	h ⁻¹		2,30E-06	1,17E-04	6,06E-04			loguniformní
vymývací koeficient λ pro jódý při > 3 mm/h	h ⁻¹		4,60E-06	2,31E-04	1,20E-03			loguniformní
vymývací koeficient λ pro aerosoly při > 3 mm/h	h ⁻¹		6,60E-06	3,29E-04	1,71E-03			loguniformní

Tab.P1-5: Parametry atmosférické disperze podle [9]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>5%</i>	<i>percentily 50%</i>	<i>95%</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
rychlost suchého usazování v_d pro aerosoly	m/s		2,2E-05	7,2E-04	1,3E-02			
rychlost suchého usazování v_d pro jódý	m/s		6,0E-05	8,2E-03	9,5E-02			
vymývací koeficient λ pro aerosoly	s ⁻¹		1,4E-06	2,0E-05	1,3E-03			
vymývací koeficient λ pro jódý	s ⁻¹		1,9E-06	5,8E-05	5,8E-04			
disperzní koeficient p_y pro kategorii E	m		8,7E-02	2,5E-01	4,4E-01			
disperzní koeficient p_z pro kategorii E	m		2,1E-01	1,33E+00	4,8E+01			
disperzní koeficient q_y pro kategorii E	-		7,6E-01	8,8E-01	9,6E-01			

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>5%</i>	<i>percentily 50%</i>	<i>95%</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
disperzní koeficient q_z pro kategorii E	-		1,2E-01	3,6E-01	5,3E-01			

Tab.P1-6: Rozdělení odvozené pro vstupní parametry COSYMA ^(a) z liter. [31]

a) Parametry atmosférické disperze

<i>neurčitý parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
disperzní koeficient p_y pro kategorie A/B	(b)	1,503 ^(c) 0,876	2,62E-01	2,90E-01	4,27E-01	6,75E-01	8,36E-01	1,01	1,36	1,77	1,93
disperzní koeficient p_y pro kategorii C	(b)	0,659	1,82E-01	2,10E-01	3,53E-01	4,06E-01	4,28E-01	4,56E-01	4,96E-01	5,45E-01	5,60E-01
disperzní koeficient p_y pro kategorii D	(b)	0,64	1,59E-01	1,66E-01	1,90E-01	2,05E-01	2,10E-01	2,56E-01	3,10E-01	3,57E-01	3,72E-01
disperzní koeficient p_y pro kategorie E/F	(b)	0,801 ^(d) 1,294	7,27E-02	8,75E-02	1,31E-01	1,96E-01	2,52E-01	3,06E-01	3,60E-01	4,42E-01	4,55E-01
disperzní koeficient q_y pro kategorie A/B	(b)	0,833 0,823	7,61E-01	7,68E-01	7,93E-01	8,28E-01	8,77E-01	9,40E-01	9,74E-01	1,02	1,04
disperzní koeficient q_y pro kategorii C	(b)	0,807	7,91E-01	7,97E-01	8,17E-01	8,37E-01	8,67E-01	9,00E-01	9,32E-01	9,79E-01	1,00
disperzní koeficient q_y pro kategorii D	(b)	0,784	6,72E-01	7,67E-01	8,44E-01	8,81E-01	9,17E-01	9,49E-01	9,84E-01	1,03	1,11
disperzní koeficient q_y pro kategorie E/F	(b)	0,754 0,718	7,45E-01	7,57E-01	7,92E-01	8,43E-01	8,78E-01	9,10E-01	9,35E-01	9,55E-01	9,61E-01
disperzní koeficient p_z pro kategorie A/B	(b)	0,151 0,127	7,38E-03	1,45E-01	6,65E-01	1,27	1,77	2,63	3,83	8,13	9,19

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>neurčitý parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
disperzní koeficient p_z pro kategorii C	(b)	0,165	1,45E-02	7,72E-02	1,10E-01	1,96E-01	2,31E-01	2,92E-01	3,56E-01	4,35E-01	4,87E-01
disperzní koeficient p_z pro kategorii D	(b)	0,215	1,13E-02	2,29E-01	4,42E-01	6,13E-01	9,01E-01	1,05	1,69	3,06	3,4
disperzní koeficient p_z pro kategorie E/F	(b)	0,264 0,241	6,35E-02	2,06E-01	4,53E-01	6,11E-01	1,26	7,52	1,78E+01	4,76E+01	5,98E+01
disperzní koeficient q_z pro kategorie A/B	(b)	1,219 1,108	2,79E-02	3,96E-01	5,88E-01	6,63E-01	7,40E-01	8,25E-01	9,18E-01	1,08	1,18
disperzní koeficient q_z pro kategorii C	(b)	0,996	4,34E-01	5,96E-01	6,83E-01	7,70E-01	8,85E-01	9,22E-01	9,42E-01	1,05	1,08
disperzní koeficient q_z pro kategorii D	(b)	0,885	1,22E-01	3,13E-01	4,47E-01	4,96E-01	5,92E-01	6,47E-01	7,25E-01	8,66E-01	8,93E-01
disperzní koeficient q_z pro kategorie E/F	(b)	0,774 0,662	1,40E-02	1,21E-01	2,59E-01	3,24E-01	3,56E-01	4,10E-01	4,41E-01	5,29E-01	5,41E-01

b) Parametry suché depozice

<i>neurčitý parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
rychlost usazování na zem pro aerosoly	m/s	1,00E-03	1,00E-06	2,23E-05	2,55E-04	4,88E-04	7,21E-04	4,72E-03	8,71E-03	1,27E-02	3,08E-02
rychlost usazování na zem pro elementární jód	m/s	1,00E-02	1,00E-06	6,00E-05	2,77E-03	5,83E-03	8,18E-03	3,71E-02	6,59E-02	9,48E-02	1,65E-01
rychlost usazování na zem pro metyljodid	m/s	5,00E-04	1,00E-08	6,15E-07	1,33E-05	2,60E-05	3,87E-05	1,53E-02	3,07E-02	4,60E-02	1,65E-01
rychlost usazování na kůži pro aerosoly	m/s	1,00E-03	1,00E-07	2,75E-06	9,05E-05	1,78E-04	2,66E-04	1,17E-02	2,32E-02	3,46E-02	0,11

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>neurčitý parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
rychlost usazování na kůži pro elementární jód	m/s	1,00E-02	1,00E-07	1,39E-06	4,94E-04	9,86E-04	1,48E-03	4,57E-02	9,00E-02	1,34E-01	3,30E-01
rychlost usazování na kůži pro metyljodid	m/s	5,00E-04	1,00E-09	3,86E-08	3,19E-05	6,38E-05	9,58E-05	2,59E-02	5,16E-02	7,74E-02	3,30E-01

c) Parametry mokré depozice

<i>neurčitý parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
vymývací koeficient <i>a</i> pro aerosoly	(e)	2,88E-01	2,00E-03	5,10E-03	3,31E-02	4,44E-02	7,20E-02	1,26E-01	1,43	4,81	5,31
vymývací koeficient <i>b</i> pro aerosoly	(e)	8,00E-01	1,94E-02	2,13E-01	4,87E-01	5,21E-01	6,74E-01	7,79E-01	9,94E-01	2,20E+00	2,89E+00
vymývací koeficient <i>a</i> pro elementární jód	(e)	2,88E-01	2,33E-04	6,97E-03	9,46E-02	1,33E-01	2,10E-01	6,13E-01	1,43	2,13	2,42
vymývací koeficient <i>b</i> pro elementární jód	(e)	6,00E-01	2,53E-02	2,27E-01	4,81E-01	6,10E-01	7,72E-01	8,54E-01	1,03	1,9	2,96
vymývací koeficient <i>a</i> pro metyljodid	(e)	2,88E-03	1,00E-04	5,00E-04	2,27E-02	3,58E-02	6,12E-02	1,74E-01	3,82E-01	5,87E-01	6,72E-01
vymývací koeficient <i>b</i> pro metyljodid	(e)	6,00E-01	2,63E-02	1,58E-01	4,59E-01	6,67E-01	7,96E-01	1,02	1,22	2,35	3,27

Poznámky:

- (a) Tyto distribuce byly odvozeny pro použití v modelech zabudovaných v programu COSYMA. V jiných modelech by měly být použity pouze v případech, když parametry mají tentýž význam jako v modelech použitých zde.
- (b) Disperze je modelována podle vztahu $\sigma = p x^q$. Jednotky *p* a *q* jsou takové, že σ je v metrech.
- (c) Tyto dvě hodnoty jsou defaultové hodnoty pro kategorii počasí A resp. B.
- (d) Tyto dvě hodnoty jsou defaultové hodnoty pro kategorii počasí E resp. F.
- (e) Mokrý depozice je modelována podle vztahu $\Lambda = a R^b$. Jednotky jsou takové, že rozměr Λ je 1/hod s rychlostí srážek v mm/hod.

Tab.P1-7: Parametry neurčitosti stanovené experty EC/USNRC pro MACCS a COSYMA podle liter. [7]

a) Atmosférická disperze

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>5%</i>	<i>percentily 50%</i>	<i>95%</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
Faktor zředění koncentrace v ose úniku (kategorie počasí A/B) ve 3. km	s/m ³		2,24E-08	3,08E-07	2,48E-06			
Faktor zředění koncentrace v ose úniku (kategorie počasí E/F) ve 3. km	s/m ³		1,03E-06	1,07E-05	8,47E-05			

b) Depozice

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>5%</i>	<i>percentily 50%</i>	<i>95%</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
rychlost suché depozice elementárního jódu na louky při rychl. větru 5 m/s	cm.s ⁻¹		9,5E-03	1,22	20,8			
rychlost suché depozice aerosolů 1 μm na louky	cm. s ⁻¹		5,4E-03	0,11	2,60			
frakce elementárního jódu odstraněná deštěm 0,33 mm s trváním 10 min	-		2,4E-03	6,2E-02	4,0E-01			
frakce aerosolů o velikosti 1 μm odstraněná deštěm 0,33 mm s trváním 10 min	-		1,61E-03	2,3E-02	6,4E-01			

c) Chování usazeného materiálu a odpovídající dávky

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>5%</i>	<i>percentily 50%</i>	<i>95%</i>	μ	σ^2	<i>rozdělení</i>
dávkový příkon γ -záření ve vzduchu, 1 m nad uniformním rovným a otevřeným trávníkem při průměrné depozici 1 Bq/m ³ Zr-95/Nb-95 při počáteční depozici	Gy/s		4,4E-16	8,37-16	2,4E-15			
dávkový příkon γ -záření ve vzduchu, 1 m nad uniformním rovným a otevřeným trávníkem při průměrné depozici 1 Bq/m ³ Zr-95/Nb-95 po 30 dnech depozice	Gy/s		2,44E-16	7,65-16	1,45E-15			
poměr efektivní dávky od Cs-137 uvnitř a vně budov pro málo stíněné budovy			5,3E-02	3,6E-01	8,9E-01			
dtto pro průměrně stíněné budovy			2,1E-02	9,4E-02	2,8E-01			
dtto pro hodně stíněné budovy			6,3E-04	1,7E-02	1,1E-01			

Příloha 2: Výběr neurčitostí vstupních parametrů modelu potravních řetězců a výpočtu dávek**Tab.P2-1: Nejdůležitější parametry vybrané na základě studií citlivosti v [10, 27] pro ingesční model ECOSYS [2]**

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Rychlost suché depozice		0.001		1.00	0.5		2.00	normální
Intercepční frakce		0.25		1.00	0.5		2.00	normální
Translokační faktory pro Cs		0.4		1.00 **			2.50	log-trojúhelníkové
Přenosový faktor Cs z půdy do rostliny		0.4					2.50	log-uniformní
Přenosový faktor Sr z půdy do rostliny		0.3					3.00	log-uniformní
Faktor resuspenze		0.4					2.50	log-uniformní
Rychlost odstranění Sr (vylouhování)		0.5					2.00	log-uniformní
Poločas smývání	den	15		25 **			35	trojúhelníkové
Hmotnost půdy v kořenové zóně	kg/m ²	300.00					400.00	uniformní
Přenosový faktor Cs do mléka		0.66					3.00	uniformní
Přenosový		0.5					1.25	uniformní

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
faktor Sr do mléka								
Přenosový faktor I do mléka		0.66					3.00	uniformní
Přenosový faktor Cs do masa		0.5					1.5	uniformní
Výnos listové zeleniny	kg/m ²	0.4					0.6	uniformní
Datum sklizně pšenice		15. červenec		1. srpen			15. srpen	trojúhelníkové
Faktor zpracování listové zeleniny		0.6					1.00	uniformní
Faktor zpracování mouky		0.4					0.60	uniformní
Faktor spotřeby zeleniny		0.7		1.00 **			1.30	trojúhelníkové
Krmné dávky krav		0.85					1.15	uniformní

Tab.P2-2: Výběr parametrů v analýze neurčitostí provedené v [5] s užitím kódu OSCAAR

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>střední odchylka μ</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Hmotnost intercepční frakce pro trávu na pastvinách	m ² /kg-dw			2.0	0.26	0.19		log-normální
Poločas smývání	den			10.4	1.0	0.13		log-normální
Časové období, během něhož je vegetace vystavena kontaminaci	den			30	-	-		konstantní
Obsah vody v trávě na pastvinách	-			0.1 – 0.75				uniformní
Denní příjem dojnice	kg-dw/den			9.0	9.0	2.3		normální
Vyloučená frakce denního příjmu radiojodu na litr mléka	1/litr			0.0091	-2.04	0.24		log-normální
Doba mezi dojením a spotřebou mléka	den			2.0	2.0	0.86		normální
Spotřeba mléka: testované osoby	litr/den			0.315	-0.65	0.36		log-normální
muž				0.377	-0.57	0.36		
žena				0.260	-0.73	0.36		
dítě				0.497	-0.36	0.21		

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>střední odchylka μ</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
farma - hoch				4.0				konstantní
farma - děvče				1.0				konstantní
Zpoždění od sklizně listové zeleniny do konzumace lidmi	den			5.0	-	-		konstantní
Poměr spotřeby listové zeleniny: testované osoby	kg-fw/den			0.049	-	-		konstantní
muž				0.047	-	-		
žena				0.050	-	-		
dítě				0.0072	-	-		

dw ... dry weight (suchá hmotnost)

fw ... fresh weight (hmotnost čerstvé rostliny)

Tab.P2-3: Výběr parametrů v analýze neurčitostí provedené v [2] s užitím kódu MARC-2A

číslo	Vstupní parametr	jednotka	min	10 % percentil	střední hodnota	90 % percentil	max	typ rozdělení
17	Model pastvy Intercepční faktor pro spásané pastviny	-	1.0E-1	2.0E-1	2.5E-1	3.0E-1	4.0E-1	uniformní v oblasti
18	Poločas retence pro pastviny	den	5.0E0	1.0E1	1.3E1	1.5E1	3.0E1	uniformní v oblasti
19	Intercepční faktor pro seno	-						uniformní v oblasti
20	Poločas retence pro seno	den						uniformní v oblasti
	Koncentrační faktor z kořenové cesty							
21	Stroncium – níž než 1 cm	-	2.7E-2	4.0E-2	5.3E-2	7.0E-2	1.0E-1	log-normální
22	Stroncium – horní 1 cm	-	9.2E-2	1.5E-1	2.1E-1	3.0E-1	4.9E-1	log-normální
23	Cesium	-	5.0E-3	1.1E-2	2.0E-2	3.5E-2	8.0E-2	log-normální
24	Fixace cesia	rok	4.5E-1	6.5E-1	9.0E-1	1.1E0	1.3E0	trojúhelníkové
	Modely pro krávy a ovce							
25	Konzumace pŕdy krávou	% příjem suché hmoty	1.0E0	2.0E0	4.0E0	6.0E0	1.0E1	uniformní v oblasti
26	Přijem suché hmoty krávou – letní pastva	kg/den	1.0E1	1.1E1	1.2E1	1.6E1	1.8E1	trojúhelníkové
27	Přijem suché hmoty krávou – zimní krmení	kg/den	1.0E1	1.2E1	1.4E1	1.6E1	1.8E1	trojúhelníkové
28	Doba setrvání Sr v GI traktu	hod	2.0E1	2.8E1	3.4E1	4.0E1	4.5E1	uniformní v oblasti
29	Doba setrvání Cs v GI traktu	hod	2.0E1	2.8E1	3.4E1	4.0E1	4.5E1	uniformní v oblasti
30	Doba setrvání I v GI	hod	5.0E-1	1.0E0	5.5E0	1.0E1	1.5E1	uniformní v oblasti

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>číslo</i>	<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
31	traktu	den/kg	4.5E-4	8.2E-4	1.3E-3	1.9E-3	3.5E-3	log-normální
32	Fm pro Sr	den/kg	2.5E-3	4.9E-3	7.9E-3	1.3E-2	2.5E-2	log-normální
33	Fm pro Cs	den/kg	3.0E-3	6.2E-3	1.0E-2	1.7E-2	3.5E-2	log-normální
34	Fm pro I	den/kg	6.0E-5	1.2E-4	1.9E-4	3.1E-4	6.0E-4	log-normální
35	Ff pro Sr v krávě	den/kg	7.0E-3	1.5E-2	2.5E-2	4.3E-2	9.0E-2	log-normální
36	Ff pro Cs v krávě	den/kg	2.0E-3	3.9E-3	6.3E-3	1.0E-2	2.0E-2	log-normální
37	Ff pro I v krávě	den	1.3E0	8.0E0	2.8E1	1.0E2	5.9E2	log-normální
38	Poločas Sr v krávě a ovci	den	1.2E1	2.0E1	2.8E1	4.0E1	6.5E1	log-normální
39	Poločas Cs v krávě a ovci	den	6.1E0	1.0E1	1.4E1	2.0E1	3.3E1	log-normální
40	Poločas I v krávě a ovci	% příjem suché	2.0E0	1.0E1	1.5E1	2.0E1	4.0E1	uniformní v oblasti
	Konzumace půdy ovčí	hmoty						
41	Konzumace suché hmoty	kg/den	5.0E-1	1.0E0	1.5E0	2.0E0	2.5E0	uniformní v oblasti
42	ovcí	den/kg	6.9E-4	1.5E-3	2.6E-3	4.5E-3	9.8E-3	log-normální
43	Ff pro Sr v ovci	den/kg	2.5E-2	7.0E-2	1.4E-1	3.0E-1	8.4E-1	log-normální
44	Ff pro Cs v ovci	den/kg	3.0E-2	8.4E-2	1.7E-1	3.6E-1	1.0E0	log-normální
	Ff pro I v ovci							
	Model pro obilniny							
45	Kontaminace obilnin půdou	% suché hmotnosti	1.0E-3	1.0E-2	1.0E-2	7.0E-2	1.0E-1	trojúhelníkové
46	Faktor koncentrace Sr v mouce	(Bq/kg)/(Bq/m ²)	1.0E-5	6.0E-4	8.0E-4	1.0E-3	2.0E-3	uniformní v oblasti
47	Faktor koncentrace Cs v mouce	(Bq/kg)/(Bq/m ²)	2.0E-3	9.0E-3	2.5E-2	4.0E-2	6.0E-2	uniformní v oblasti
48	Faktor koncentrace I v mouce	(Bq/kg)/(Bq/m ²)	2.0E-3	9.0E-3	2.5E-2	4.0E-2	6.0E-2	uniformní v oblasti
49	Faktor kořenové absorpce Sr	-	2.0E-2	3.9E-2	6.3E-2	1.0E-1	2.0E-1	log-normální
50	Faktor kořenové absorpce	-	3.0E-3	6.8E-3	1.2E-2	2.2E-2	5.0E-2	log-normální

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>číslo</i>	<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>10 % percentil</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>90 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
	Cs							
	Model pro čerstvou zeleninu							
51	Intercepční faktor	-	1.0E-1	2.0E-1	3.2E-1	5.0E-1	9.6E-1	log-normální
52	Poločas	den	4.6E0	1.0E1	1.7E1	3.0E1	6.5E1	log-normální
53	Kontaminace půdy	% suché hmotnosti	5.0E-2	1.5E-1	3.2E-1	6.8E-1	2.0E0	log-normální
54	Ztráta při zpracování	% zadrženého množství	5.0E0	1.0E1	2.0E1	3.0E1	5.0E1	uniformní v oblasti
55	Kořenová absorpce Sr	-	6.0E-2	1.2E-1	1.9E-1	3.1E-1	6.0E-1	log-normální
56	Kořenová absorpce Cs	-	2.6E-3	8.0E-3	1.8E-2	4.0E-2	1.2E-1	log-normální
57	Počáteční faktor resuspenze	1/m	5.0E-7	1.0E-6	5.5E-6	1.0E-5	5.0E-5	uniformní v oblasti
	Půdní model							
58	Podíl migrace Sr	rok/cm	5.0E-1	1.3E0	2.0E0	3.8E0	5.0E0	trojúhelníkové
59	Podíl migrace Cs	rok/cm	5.0E-1	1.2E0	2.2E0	4.2E0	1.0E1	log-normální
	Doby zpoždění							
60	pro obilniny	den	4.0E1	5.1E1	6.0E1	8.5E1	1.0E2	trojúhelníkové
61	pro čerstvou zeleninu (green)	den	3.0E0	3.9E0	5.0E0	6.1E0	7.0E0	trojúhelníkové
62	pro mraženou zeleninu (green)	den	1.2E2	1.5E2	1.8E2	2.1E2	2.4E2	trojúhelníkové
63	pro čerstvé mléko	den	1.5E0	1.8E0	2.0E0	2.6E0	3.0E0	trojúhelníkové
64	pro máslo	den	2.0E1	2.4E1	2.8E1	3.5E1	4.0E1	trojúhelníkové
65	pro tvrdý sýr	den	9.0E1	11.E2	1.2E2	1.6E2	1.8E2	trojúhelníkové
66	pro smetanu	den	3.0E0	3.5E0	4.0E0	5.2E0	6.0E0	trojúhelníkové
67	pro hovězí a skopové	den	8.0E0	1.0E1	1.2E1	1.7E1	2.0E1	trojúhelníkové

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Poznámky:

- (a) Minimální a maximální hodnoty jsou 0.1 a 99.9 percentily pro normální a log-normální rozdělení a hodnoty při nichž je pdf = 0 pro ostatní rozdělení.
- (b) Toto dává hodnoty píku pro trojúhelníkové rozdělení a střední hodnoty (median) pro ostatní rozdělení.

Korelace:

Byl specifikován korelační koeficient 0.9 mezi každými spřaženými parametry 21, 22, 49, 55 a 58

(between each pairing of the parameters 21, ...)

Byl specifikován korelační koeficient 0.9 mezi každými spřaženými parametry 23, 50, 56 a 59.

Byl specifikován korelační koeficient 0.9 mezi každými spřaženými parametry 32, 35 a 43.

Byl specifikován korelační koeficient 0.9 mezi každými spřaženými parametry 34 a 42.

Byl specifikován korelační koeficient 0.9 mezi každými spřaženými parametry 36 a 44.

Tab.P2-4: Nejdůležitější parametry vybrané na základě studií citlivosti v [31] pro ingesční model FARMLAND

<i>neurčitý parametr FARMLAND</i>	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
Faktor intercepce - pastva	-	0,25	1,00E-03	2,73E-02	1,16E-01	2,04E-01	2,92E-01	4,71E-01	6,50E-01	8,29E-01	9,56E-01
Doba zdržení - seno/siláž	den	1,40E+01	1,00E-01	2,33E+00	7,24E+00	1,22E+01	1,71E+01	2,60E+01	3,50E+01	4,39E+01	5,50E+01
Faktor intercepce - seno/siláž	-	0,62	1,00E-03	6,97E-02	2,40E-01	4,11E-01	5,81E-01	7,03E-01	8,25E-01	9,46E-01	1,00E+00
Kořenový příjem - pastva, Cs	(Bq/kg)/(Bq/kg)	3,00E-02	1,00E-04	2,11E-03	1,24E-02	2,27E-02	3,30E-02	1,02E-01	1,70E-01	2,39E-01	3,46E-01
Migrace v půdě pastvin - k12, Cs	den ⁻¹	6,65E-04	1,73E-05	2,34E-04	5,72E-04	9,04E-04	1,18E-03	2,34E-03	3,64E-03	5,47E-03	6,45E-03
Migrace v půdě pastvin - k23, Cs	den ⁻¹	1,72E-04	1,99E-05	3,07E-05	4,73E-05	1,14E-04	1,54E-04	2,96E-04	7,23E-04	9,94E-03	1,34E-02
Migrace v půdě pastvin - k34, Cs	den ⁻¹	1,07E-04	2,23E-05	5,90E-05	4,82E-04	9,35E-04	1,47E-03	2,07E-03	4,12E-03	1,83E-02	4,38E-01
Migrace v půdě pastvin - k43, Cs	den ⁻¹	4,03E-06	3,23E-07	8,85E-05	6,29E-04	1,42E-03	2,18E-03	3,52E-03	6,79E-03	2,45E-02	1,48E+00
Migrace v půdě pastvin - k45, Cs	den ⁻¹	3,80E-05	2,65E-06	4,62E-06	7,45E-06	2,94E-05	4,95E-05	6,13E-05	1,11E-04	6,52E-04	8,31E-03
Fixace v půdě pastvin - k1,11, Cs	den ⁻¹	2,11E-03	6,55E-05	1,83E-04	2,77E-04	3,61E-04	4,71E-04	6,26E-04	8,70E-04	1,47E-03	2,56E-03
Faktor resuspenze na pastvinách	m ⁻¹	1,00E-08	1,00E-10	1,64E-09	2,63E-08	5,10E-08	7,57E-08	5,87E-06	1,17E-05	1,75E-05	6,60E-05
Denní příjem sena/siláže - dojnice	kg/den	1,55E+01	1,90E+00	5,07E+00	7,51E+00	9,95E+00	1,24E+01	1,57E+01	1,90E+01	2,23E+01	2,71E+01
Přenosový faktor (Fm) Cs do mléka - dojnice	den/litr	5,00E-03	1,00E-04	1,01E-03	2,57E-03	4,13E-03	5,68E-03	1,18E-02	1,79E-02	2,41E-02	3,29E-02
Přenosový faktor (Fm) I do mléka - dojnice	den/litr	5,00E-03	1,00E-05	5,33E-04	2,90E-03	5,27E-03	7,63E-03	1,76E-02	2,75E-02	3,74E-02	5,49E-02
Přenosový faktor (Fm) Zn do mléka - dojnice	den/litr	1,00E-02	4,00E-05	3,03E-04	9,33E-04	1,77E-03	3,03E-03	5,20E-03	9,86E-03	3,04E-02	2,30E-01
Přenosový faktor (Ff) Cs do masa - dojnice	den/kg	3,00E-02	1,00E-06	1,10E-03	7,63E-03	1,42E-02	2,07E-02	3,90E-02	5,73E-02	7,56E-02	1,32E-01
Přenosový faktor (Ff) Ag do jater - dojnice	den/kg	4,00E-01	1,60E-02	1,21E-01	3,72E-01	7,04E-01	1,21E+00	2,07E+00	3,92E+00	1,21E+01	9,10E+01
Biologický poločas I (jódu) - dojnice	den	1,40E+01	1,00E-02	1,16E-01	2,37E+00	4,62E+00	6,88E+00	1,30E+01	1,92E+01	2,54E+01	3,85E+01
Přenosový faktor (Ff) Cs do masa - skot	den/kg	3,00E-02	1,00E-04	3,05E-03	1,52E-02	2,74E-02	3,95E-02	5,68E-02	7,41E-02	9,14E-02	1,32E-01

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>neurčitý parametr</i> FARMLAND	<i>jednotka</i>	<i>defaultová hodnota</i>	<i>percentily distribuce na vstupní parametr</i>								
			<i>minimum</i>	<i>5%</i>	<i>20%</i>	<i>35%</i>	<i>50%</i>	<i>65%</i>	<i>80%</i>	<i>95%</i>	<i>maximum</i>
Přenosový faktor (Ff) Te do masa - prasata	den/kg	3,00E-02	4,00E-04	3,03E-03	9,33E-03	1,77E-02	3,03E-02	5,20E-02	9,86E-02	3,04E-01	2,30E+00
Přenosový faktor (Ff) Zn do masa - ovce	den/kg	2,00E-02	7,40E-02	2,52E-01	5,00E-01	7,34E-01	1,02E+00	1,41E+00	2,08E+00	4,11E+00	1,40E+01
Intercepční faktor - obilniny	-	3,00E-01	1,00E-03	2,63E-02	1,61E-01	2,96E-01	4,31E-01	6,13E-01	7,96E-01	9,78E-01	1,00E+00
Koef. retence - obilniny - k21, Cs	den ⁻¹	4,95E-02	1,20E-06	1,46E-05	1,54E-03	1,44E-02	2,53E-02	4,16E-02	6,32E-02	1,12E-01	1,68E-01
Ztráta zpracováním – obilniny	-	1,00E-01	5,00E-02	1,00E-01	1,33E-01	1,66E-01	2,00E-01	3,00E-01	4,00E-01	5,00E-01	6,00E-01
Translokace Cs, obilniny - k23	den ⁻¹	3,41E-02	1,18E-05	1,42E-02	3,23E-02	5,40E-02	7,19E-02	1,10E-01	2,00E-01	4,86E-01	1,12E+00
Translokace Cs, obilniny - k34	den ⁻¹	6,44E-02	2,52E-02	3,43E-02	5,02E-02	6,88E-02	9,40E-02	1,04E-02	1,88E-01	4,29E-01	6,26E-01
Translokace Cs, obilniny - k41	den ⁻¹	5,21E-02	6,30E-05	1,61E-02	2,70E-02	3,17E-02	4,10E-02	5,45E-02	6,64E-02	1,07E-01	1,71E-01
Doba zdržení – zelenina	den	1,40E+01	1,00E-01	3,60E+00	8,53E+00	1,35E+01	1,84E+01	2,82E+01	3,80E+01	4,78E+01	5,48E+01
Kontaminace půdy – zelenina	frakce suché hmoty	1,00E-01	1,30E-02	9,88E-02	3,05E-01	5,79E-01	9,94E-01	1,71E+00	3,24E+00	1,00E+01	7,60E+01
Ztráta zpracováním – zelenina	(Bq/kg)/(Bq/kg)	2,00E-01	5,00E-02	1,00E-01	1,33E-01	1,67E-01	2,00E-01	3,33E-01	4,67E-01	6,00E-01	9,00E-01
Faktor intercepce – brambory	-	4,00E-01	1,00E-04	5,38E-03	1,39E-01	2,73E-01	4,07E-01	5,83E-01	7,58E-01	9,34E-01	1,00E+00
Koef. retence Sr - brambory, k21	den ⁻¹	4,95E-02	1,13E-05	2,54E-04	1,50E-03	4,66E-03	9,00E-03	1,70E-02	3,41E-02	9,53E-02	1,49E-01
Translokace Sr - brambory, k24	den ⁻¹	4,46E-05	1,98E-08	4,27E-07	7,23E-07	1,39E-06	3,11E-06	5,42E-06	1,14E-05	2,31E-04	6,32E-04
Translokace Sr - brambory, k45	den ⁻¹	4,46E-05	3,69E-05	8,36E-03	2,96E-02	3,54E-02	4,27E-02	5,44E-02	6,15E-02	2,28E-01	3,61E-01
Translokace Sr - brambory, k51	den ⁻¹	3,73E-03	1,99E-06	5,39E-06	3,49E-05	6,13E-04	1,98E-03	4,30E-03	1,14E-02	2,96E-02	8,08E-02
Koef. retence Cs, brambory, k21 ^b	den ⁻¹			2,43E-04			2,22E-3			4,09E-1	
Translokace Cs, brambory, k24 ^b	den ⁻¹			6,58E-6			5,42E-3			4,25E-2	
Translokace Cs, brambory, k45 ^b	den ⁻¹			6,29E-4			2,58E-2			2,94E-1	
Translokace Cs, brambory, k51 ^b	den ⁻¹			2,81E-5			3,10E-2			1,47E-1	

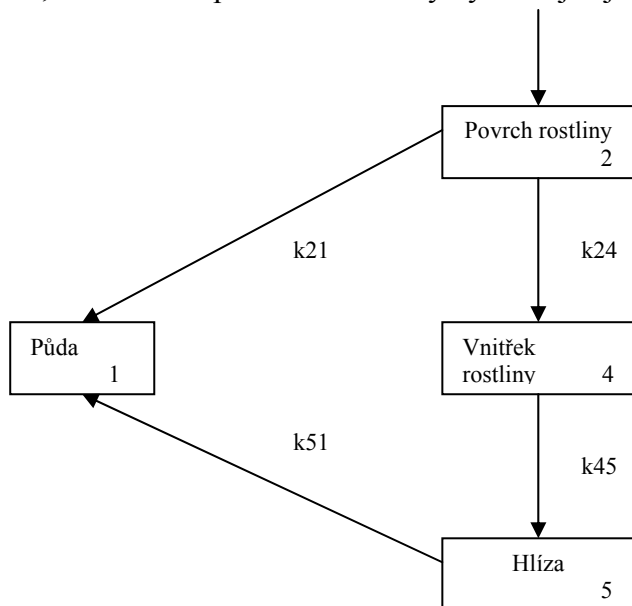
Poznámka:

a: defaultová doba zdržení pro smetanu je průměr pro všechny mléčné produkty

b: podle reference [35]

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Koeficienty k_{21} , k_{24} , k_{45} a k_{51} z předchozí tabulky vysvětluje zjednodušený kompartmentový model pro hlízy (brambory):



Tab.P2-5: Model potravního řetězce podle expertů pro MACCS a COSYMA v liter. [7]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>5 % percentil</i>	<i>50 % percentil</i>	<i>95 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Přenosový faktor (Ff) Cs do masa - skot	den/litr		0,003	0,039	0,093		
Přenosový faktor (Fm) Cs do mléka - dojnice	den/litr		0,001	0,0055	0,022		
Poměr koncentrace Cs z kořenové cesty pro obilí na běžných půdách po 6 měsících	Bq/kg čerstvé hmot. rostliny ku		0,00097	0,028	0,25		
po 3 letech	Bq/kg suché hmot. půdy		0,00075	0,015	0,18		
po 10 letech			0,00043	0,012	0,089		
Faktor intercepce pro zrno (grain)	-		0,023	0,46	0,98		
Faktor resuspenze pro povrch obilnin (surface crop)	-		1,16E-9	3,19E-8	2,14E-5		

Poznámka:

Podle [33] byl proveden průzkum transportu černobylského radiocesia do lidského organismu, spotřeby potravin a celotělové měření na dvou místech regionu Brjansk v Ruské federaci vzdálených od Černobylu cca 200 km na severozápad. Průzkum byl proveden ve vesnicích Shelomi/Korchi od roku 1994 třikrát (461 osob – 267 žen a 194 mužů) a ve vesnici Voronok v roce 1995 (126 osob – 86 žen a 40 mužů). Úroveň deponované aktivity byla v Shelomi/Korchi cca 700 kBq/m² a ve Voronoku cca 50 kBq/m².

V této oblasti je vyšší spotřeba lesních hub než v jiných zemích východní Evropy. Měření prokázala mnohem vyšší koncentraci radiocesia v houbách než v jiných zemědělských produktech. Na základě těchto skutečností bylo odhadnuto, že 8-9 let po havárii v Černobylu přispívaly houby 50-70% k příjmu radiocesia.

Následující tabulka uvádí příjem radiocesia z hub a lesních plodů (bobulí) v **Bq/den**:

Zdroj	Shelomi/Korchi	Voronok
Houby	228±63	23±16
Lesní bobule	5,7±1,9	0,1±0,07

Tab.P2-6: Globální parametry terestriálního ekosystému podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>mean</i>	<i>max</i>
Rychlost suché depozice, rozpustná forma ^{a)}	m/d	150	300	600
Rychlost suché depozice, fixovaná forma ^{a)}	m/d	100	200	500
Koeficient mokré depozice, rozpustná forma ^{a)}	-	2E5	5E5	20E5
Koeficient mokré depozice, fixovaná forma ^{a)}	-	2E5	5E5	20E5
Resuspenze ze zemědělské půdy, fixovaná	(Bq/m ³)/(Bq/kg)	2E-5	7E-5	20E-5
Resuspenze z lesní půdy, fixovaná	(Bq/m ³)/(Bq/kg)	1E-5	3E-5	10E-5
Hloubka horní vrstvy půdy	m		0,005-0,02	
Hloubka kořenové vrstvy zemědělské půdy	m		0,15-0,30	
Hloubka kořenové vrstvy lesní půdy	m	0,05	0,05	0,05
Hustota půdy	kg/m ³	1200	1500	1800
Intenzita fixace v půdě	d ⁻¹	0,1	0,3	1,0
Intenzita uvolňování ze zemědělské půdy	d ⁻¹	1E-4	3E-4	10E-4
Intenzita uvolňování z lesní půdy	d ⁻¹	0,5E-4	1,5E-4	5E-4
Transport v půdě do hloubky, rozpustná forma	d ⁻¹ per 1 m soil	0,001	0,003	0,010
Koeficient ztráty vlivem počasí (weathering), rozpustná forma	d ⁻¹	0,03	0,06	0,15
Koeficient ztráty vlivem počasí, fixovaná forma	d ⁻¹	0,05	0,08	0,2
Transportní koeficient z povrchu vegetace do vnitřní části, pevná forma	d ⁻¹	0,01	0,03	0,1
Transportní koeficient z vnitřní části vegetace do kořenů	d ⁻¹	0,03	0,1	0,3
Transportní koeficient z kořenů do vnitřní části vegetace	d ⁻¹	0,05	0,2	1,0

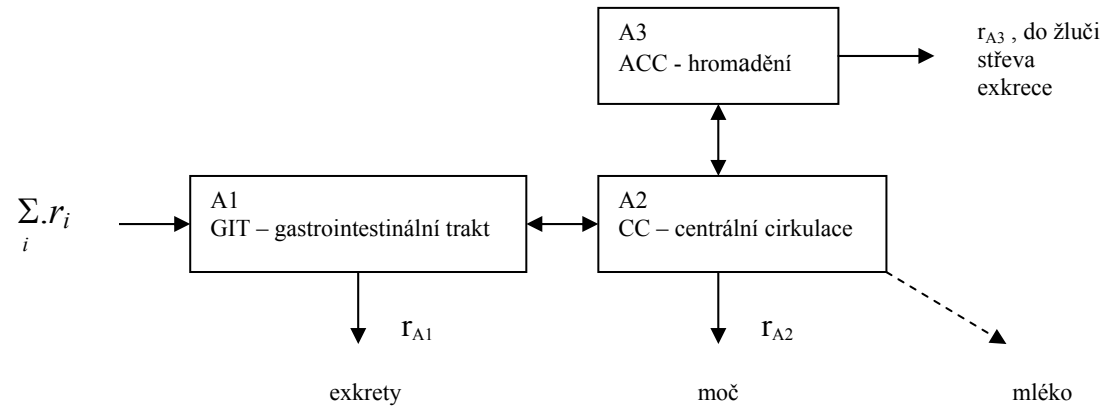
a) – pouze pro resuspenzi Cs-137

Tab.P2-7: Parametry závislé na vegetaci podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>mean</i>	<i>max</i>
Hmotnost sklizených obilnin	kg, suchá hm.	0,2	0,4	0,5
Hmotnost sklizené píce	kg, suchá hm.	0,1	0,2	0,5
Hmotnost sklizené zeleniny	kg, mokrá hm.	1,0	2,0	3,0
Hmotnost sklizených brambor	kg, mokrá hm.	0,5	2,0	3,0
Hmotnost nasbíraných lesních bobulí	kg	0,02	0,1	0,7
Hmotnost nasbíraných hub	kg, mokrá hm.	0,01	0,02	0,05
Intenzita růstu vegetace, β (kromě hub)	d^{-1}	0,01	0,02	0,05
Intenzita růstu hub, β	d^{-1}	0,1	0,2	0,5
Intercepce obilnin při spadu	-	0,05	0,1	0,2
Intercepce píce při spadu	-	0,02	0,5	0,8
Intercepce zeleniny při spadu	-	0,4	0,7	0,9
Intercepce brambor při spadu	-	0,05	0,2	0,5
Intercepce lesních bobulí při spadu	-	0,03	0,1	0,5
Intercepce hub při spadu	-	0,01	0,02	0,05
Transportní koeficient z kořenů do půdy (kromě hub a brambor)	d^{-1}	0,2E-4	1E-4	3E-4
Transportní koeficient z kořenů do půdy (brambory - houby)	d^{-1}	2E-3	5E-3	20E-3
Koeficient pro kořenový transport do rostlin (kromě hub a brambor)	d^{-1}	1E-4	5E-4	20E-4
Koeficient pro kořenový transport do rostlin (brambory)	d^{-1}	5E-4	20E-4	50E-4
Koeficient pro kořenový transport do rostlin (houby)	d^{-1}	50E-4	200E-4	500E-4

Dále uvedené schéma objasňuje kompartmenty a jejich značení pro stanovení transportních koeficientů ve zvířatech a v lidech, jak jsou uvedeny v následující tabulce:

Kompartmenty pro transport Cs-137 ve zvířatech a lidech



GIT - Gastro Intestinal Tract (zažívací trakt)
CC - Central Circulation
ACC - Accumulation

Tab.P2-8: Transportní koeficienty pro zvířata a pro člověka podle [34] pro TAMDYN-UV model (University of Veszprém, Hungary)

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>mean</i>	<i>max</i>
Rovnovážný koef. akumulace aktivity v rybím mase	kg/litr	2000	3000	5000
Krávy				
GIT exkrece	d ⁻¹	0,03-	0,07-0,4	0,2
GIT do CC	d ⁻¹	0,2-	0,4-07	1,0-
CC do GIT	d ⁻¹	0,02	0,05	0,1
CC vyměšování močí		0,003	0,01	0,02
CC do mlékaa		0,005	0,012	0,025
CC do ACC	d ⁻¹	0,03	0,1	0,15
ACC do CC	d ⁻¹	0,01	0,05	0,1
ACC exkrece	d ⁻¹	0,002	0,005	0,01
Prasata				
GIT exkrece	d ⁻¹	0,02-	0,1-0,4	0,2-
GIT do CC	d ⁻¹	0,2-	0,4-0,5	1,0-
CC do GIT	d ⁻¹	0,02	0,05	0,1
CC vyměšování močí		0,003	0,01	0,02
CC do ACC	d ⁻¹	0,03	0,1	0,15
ACC do CC	d ⁻¹	0,02	0,1	0,2
ACC exkrece	d ⁻¹	0,002	0,005	0,01
Člověk				
GIT exkrece	d ⁻¹	0,2	0,5	1,5
GIT do CC	d ⁻¹	0,3	1,0	3,0
CC do GIT	d ⁻¹	0,01	0,02	0,05
CC vyměšování močí		0,005	0,015	0,05
CC do ACC	d ⁻¹	0,03	0,1	0,25
ACC do CC	d ⁻¹	0,01	0,03	0,05
ACC exkrece	d ⁻¹	0,002	0,005	0,015

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Ztráta zpracováním (tímto faktorem se násobí produkce):

houby	0,4 (pro zlepšení simulace, dříve: 0,8)
ryby	0,5
hovězí, vepřové, bobule	0,9
zelenina	0,9

Neurčitosti v dávkovém modelu

Tab.P2-9: Model výpočtu dávek podle expertů pro MACCS a COSYMA podle [7]

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>5 % percentil</i>	<i>50 % percentil</i>	<i>95 % percentil</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Konverzní faktor pro příjem inhalací pro plíce	Sv/Bq						
Sr			1,54E-10	1,44E-7	8,20E-7		
Cs			1,55E-9	9,10E-9	8,11E-8		
Pu			3,62E-7	9,00E-6	0,00015		
Konverzní faktor pro příjem ingescí pro kostní dřeň	Sv/Bq						
Sr			3,35E-9	1,01E-7	8,10E-7		
Cs			6,90E-9	1,28E-8	2,64E-8		
Pu			2,20E-10	2,73E-8	9,48E-7		

Tab.P2-10: Nejdůležitější parametry vybrané na základě studií citlivosti v [22, 27] pro ingesční model ECOSYS-87

a) Citlivé parametry pro stanovení koncentrace Cs-137 v mléku

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Rychlost suché depozice na trávu	mm/s	0.0	1.5	1.0	4.0	normální
Retenční koeficient pro mokrou depozici	mm	0.05	0.2	0.2	0.4	normální
Poločas odstranění pro trávu v důsledku povětrnostních vlivů (weathering)	den	15.0	25.0		30.0	trojúhelníkové
Frakce aktivity přenesená do kořenové zóny	-	0.90	0.95		0.99	trojúhelníkové
Poločas ředění aktivity v důsledku růstu v květnu	den	13.	18.		23.	trojúhelníkové
Poločas příslušející translokaci v kořenové zóně	den	40.	60.		80.	trojúhelníkové
Dosažené maximum plochy listů trávy (LA)	datum	30.4.	15.5.		30.5.	trojúhelníkové
Přenosový faktor z půdy do trávy	-	0.01	0.03		0.05	uniformní
Začátek krmení čerstvou pící	datum	11.4.	21.4		1.5.	Trojúhelníkové
Pokračování plného	datum	1.5.	11.5.		21.5.	trojúhelníkové

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
krmení čerstvou pící						
Začátek krmení senem a siláží	datum	11.10.	21.10.		31.10.	trojúhelníkové
Plné krmení senem a siláží	datum	31.10.	10.11.		15.11.	trojúhelníkové
Začátek přípravy sena a siláže	datum	11.5.	16.5.		30.5.	trojúhelníkové
Spotřeba krmiva	kg/den čerstvé hmoty	60.	70.		80.	uniformní
Přenosový faktor z krmiva do mléka	den/kg	0.002	0.003		0.008	trojúhelníkové
Hmotnost půdy na pastvinách	kg/m ²	100.0	140.0		180.0	uniformní
Dlouhodobý biologický poločas pro mléko	den	10.0	15.0		20.0	uniformní
Frakce krátkodobého biologického poločasu	-	0.7	0.8		0.9	uniformní

b) Předpokládané rozdělení citlivých parametrů pro ocenění neurčitosti výpočtu dlouhodobé efektivní dávky z ingesce

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Retenční koeficient pro mokrou depozici	mm	0.05	0.2	0.1	0.4	normální
Poločas odstranění pro trávu v důsledku povětrnostních vlivů (weathering)	den	15.0	25.0		30.0	trojúhelníkové
Frakce aktivity přenesená do kořenové zóny	-	0.01	0.05		0.10	trojúhelníkové
Poločas příslušející translokaci v kořenové zóně	den	40.	60.		80.	trojúhelníkové
Dosažené maximum plochy listů trávy (LA)	datum	30.4.	15.5.		30.5.	trojúhelníkové
Začátek krmení čerstvou pící	datum	11.4.	21.4		1.5.	trojúhelníkové
Pokračování plného krmení čerstvou pící	datum	1.5.	11.5.		21.5.	trojúhelníkové
Začátek krmení senem a siláží	datum	11.10.	21.10.		31.10.	trojúhelníkové
Plné krmení senem a siláží	datum	31.10.	10.11.		15.11.	trojúhelníkové
Spotřeba trávy pro dobytek	kg/den čerstvé hmoty	60.0	70.0		80.0	uniformní
Začátek přípravy sena a siláže	datum	11.5.	16.5.		30.5.	trojúhelníkové

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

<i>Vstupní parametr</i>	<i>jednotka</i>	<i>min</i>	<i>střední hodnota</i>	<i>standardní odchylka σ</i>	<i>max</i>	<i>typ rozdělení</i>
Přenosový faktor z krmiva do mléka	den/kg	0.002	0.003		0.008	trojúhelníkové
Sklizeň ozimé pšenice	datum	26.7.	5.8.		15.8.	trojúhelníkové
Sklizeň ozimého žita	datum	21.7.	31.7.		10.8.	trojúhelníkové
Faktor zpracování pro pšeničnou mouku	-	0.4	0.5		0.6	uniformní
Faktor zpracování pro žitnou mouku	-	0.5	0.6		0.7	uniformní
Faktor zpracování pro listovou zeleninu	-	0.5	0.6		0.7	uniformní
Spotřeba mléka	g/den	115	230		345	uniformní
Spotřeba pšeničné mouky	g/den	65	130		195	uniformní
Spotřeba žitné mouky	g/den	18	35		53	uniformní
Spotřeba listové zeleniny	g/den	47	94		141	uniformní

Příloha 3: Zdrojové členy použité v analýzách

Tab.P3-1: Inventář AZ (převzato z analýz pro COSYMA [31] - reaktor PWR v Hinkley Point)

radionuklid	inventář (Bq)	poločas	radionuklid	inventář (Bq)	poločas
Co-58	3,08E+16	70,8 d	Te-131m	3,47E+17	30,0 h
Co-60	1,14E+16	5,27 r	Te-132	4,85E+18	78,2 h
Kr-85	2,17E+16	10,7 r	I-131	3,39E+18	8,04 d
Kr-85m	9,25E+17	4,48 h	I-132	4,96E+18	2,30 h
Kr-87	1,70E+18	76,3 min	I-133	6,81E+18	20,8 h
Kr-88	2,34E+18	2,84 h	I-134	7,84E+18	52,6 min
Rb-86	7,96E+15	18,6 d	I-135	6,40E+18	6,61 h
Sr-89	3,37E+18	50,5 d	Xe-133	6,85E+18	5,25 d
Sr-90	1,75E+17	29,1 r	Xe-135	1,67E+18	9,09 h
Sr-91	4,37E+18	8,48 h	Cs-134	3,85E+17	2,06 r
Y-90	1,82E+17	2,67 d	Cs-136	1,33E+17	13,2 d
Y-91	4,51E+18	58,6 d	Cs-137	2,29E+17	30,0 r
Zr-95	5,88E+18	65,5 d	Ba-140	6,14E+18	12,7 d
Nb-95	5,81E+18	35,1 d	La-140	6,32E+18	40,3 h
Zr-97	5,88E+18	16,9 h	Ce-141	5,92E+18	32,5 d
Mo-99	6,44E+18	66,02 h	Ce-143	5,44E+18	33,0 h
Tc-99m	5,55E+18	6,02 h	Ce-144	3,59E+18	285 d
Ru-103	5,25E+18	39,4 d	Pr-143	5,40E+18	13,6 d
Ru-105	3,51E+18	4,44 h	Nd-147	2,36E+18	11,0 d
Rh-106	3,18E+18	1,47 d	Np-239	7,32E+19	2,36 d
Ru-106	1,30E+18	368 d	Pu-238	3,17E+15	87,7 r
Sb-127	2,93E+17	3,89 d	Pu-239	1,11E+15	2,41E4 r
Sb-129	9,95E+17	4,31 h	Pu-240	1,06E+15	6550 r
Te-127	2,85E+17	9,35 h	Pu-241	3,12E+17	14,4 r
Te-127m	4,37E+16	109 d	Am-241	2,06E+14	432 r
Te-129	9,40E+17	69,6 min	Cm-242	6,62E+16	163 d
Te-129m	1,67E+17	33,6 d	Cm-244	2,75E+15	18,1 r

Tab.P3-2: Uvažovaná frakce aktivní zóny zdrojové členy

Zdrojový člen	Frakce inventáře aktivní zóny uvolněná do okolí								
	Xe - Kr	org. jód	anorg. jód	Cs - Rb	Te - Sb	Ba-Sr	Ru ^(a)	La ^(b)	Pu ^(c)
UK1	9,0E-01	7,0E-03	7,0E-01	5,0E-01	3,0E-01	6,0E-02	2,0E-02	4,0E-03	4,0E-03
CB2	1,0E-02	5,0E-06	2,0E-03	8,0E-03	8,0E-06	8,0E-07	8,0E-07	8,0E-07	3,0E-07
DBA ^(d)	1,0E-07	-	1,0E-06	1,0E-06	1,0E-08	1,0E-08	1,0E-08	1,0E-08	1,0E-10

(a) Zahrnuje Ru, Rh, Co, Mo, Tc

(b) Zahrnuje Y, La, Zr, Nb, Ce, Pr, Nd

(c) Zahrnuje Np, Pu, Am, Cm

(d) Tento zdrojový člen je určen jako unikající množství každého radionuklidu. Tato informace byla rovněž pro srovnání s ostatními zdrojovými členy převedena do tvaru prezentovaného v této tabulce. Uvolňované frakce různých izotopů téhož prvku a pro různé prvky se liší od hodnot z této tabulky 3 x.

Tab.P3-3: Uniklá aktivita ve zdrojovém členu DBA

radionuklid	aktivita (Bq)	radionuklid	aktivita (Bq)	radionuklid	aktivita (Bq)
Na-24	7,0E+10	Tc-99m	3,7E+10	Cs-137	2,7E+11
Cr-51	1,4E+11	Ru-103	2,7E+10	Cs-138	5,9E+12
Mn-54	1,4E+11	Ru-106	1,6E+10	Cs-139	2,0E+13
Fe-55	5,2E+09	Rh-103m	6,3E+10	Ba-137m	8,9E+11
Fe-59	5,2E+09	Rh-106	3,5E+10	Ba-139	4,4E+12
Co-58	3,4E+11	Ag-110m	5,6E+10	Ba-140	6,7E+10
Co-60	3,2E+10	Sb-122	1,0E+11	La-140	3,5E+10
Ni-63	5,6E+09	Sb-124	2,5E+10	Ce-141	1,0E+10
Zn-65	1,4E+11	Te-125m	1,7E+01	Ce-143	3,7E+10
Br-83	9,3E+10	Te-127m	1,8E+09	Ce-144	3,7E+10
Br-84	2,6E+12	Te-127	8,5E+09	Pr-143	3,6E+08
Br-85 ^(a)	4,8E+09	Te-129m	3,3E+10	Pr-144	3,7E+10
Kr-83m	5,2E+09	Te-129	8,9E+12	W-187	2,2E+01
Kr-85m	1,1E+11	Te-131m	1,2E+11	U-237	2,5E+08
Kr-85	2,3E+09	Te-131	2,3E+12	U-239	1,0E+10
Kr-87	9,3E+10	Te-132	1,8E+10	Np-239	4,1E+09
Kr-88	1,1E+11	I-130	1,9E+10	Pu-236	1,7E+05
Kr-89	8,1E+10	I-131	1,9E+12	Pu-238	3,7E+05
Rb-86	4,4E+09	I-132	5,2E+12	Pu-239	1,5E+05
Rb-88	3,5E+13	I-133	8,1E+12	Pu-240	1,4E+05
Rb-89	8,1E+12	I-134	6,3E+12	Pu-241	4,1E+07
Sr-89	4,4E+10	I-135	3,6E+12	Pu-242	4,4E+02
Sr-90	3,7E+08	Xe-131m	2,3E+10	Pu-243	8,5E+07
Sr-91	2,3E+11	Xe-133m	2,8E+10	Am-241	7,0E+04
Y-90	4,4E+08	Xe-133	1,5E+12	Am-242m	2,4E+03
Y-91m	6,3E+10	Xe-135m	9,3E+10	Am-242	4,8E+07
Y-91	4,8E+08	Xe-135	3,4E+11	Am-243	8,1E+03
Y-93	3,7E+11	Xe-137	8,1E+11	Am-244	2,7E+06
Zr-95	4,1E+10	Xe-138	4,1E+11	Cm-242	1,6E+06
Nb-95	4,4E+10	Cs-134	2,1E+11	Cm-243	6,3E+02
Mo-99	1,6E+11	Cs-136	2,5E+10	Cm-244	9,6E+04

Scénář úniku použitý při analýze neurčitostí kódu UFOMOD [4]:

Kategorie úniku FK2 podle Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke z r.1979

Popis nehody:

- Tavení aktivní zóny, velká trhlina v kontejnmentu (Ø 300 mm)
- Začátek úniku po vzniku nehody: 1 hodina
- Trvání úniku: 3 hodiny
- Výška úniku: 10 m
- Uvolněná energie: 4,1 MW (15E6 kJ/h)
- Četnost úniku: 6E-7/rok
- Uvolněný podíl inventáře aktivní zóny:

Xe, Kr	1,0
I-organický	7E-3
I ₂ , Br	4E-1
Cs, Rb	2,9E-1
Te, Sb	1,9E-1
Ba, Sr	3,2E-2
Ru, Rh, Co, Mo, Tc	1,7E-2
La, Y, Zr, Nb, Ce, Pr,	
Nd, Np, Pu, Am, Cm	2,6E-3

Únik radioaktivního materiálu do atmosféry začíná 1hod po nehodě a trvá 3 hodiny.
Vznos vlečky vlivem tepelné energie je rovněž po celé 3 hodiny.

Jako reprezentativní nuklidy jsou vybrány:

- I-131 s krátkým poločasem rozpadu
- Cs-137 s dlouhým poločasem rozpadu

Jsou vyšetřovány:

- Pole koncentrace ve vlečce, přízemní koncentrace (1 m nad zemským povrchem) a na zemském povrchu, přičemž je uvažována variabilita průměrných hodnot koncentrace (zprůměrovaných přes 115 sekvencí počasí, které reprezentují počasí v 1 roce) ve 4 intervalech vzdáleností:
D1 = 0,2 km – 0,5 km
D2 = 0,8 km – 1,2 km
D3 = 8 km – 12 km
D4 = 80 km – 120 km
- Krátkodobá dávka na červenou kostní dřev a 50-letá efektivní dávka pro výše uvedené 4 vzdálenosti
- Zdravotní důsledky a protipatření.

Příloha č.4: Výpočet parametrů náhodných rozdělení ze zadaných kvantilů

A) Uniformní (rovnoměrné) rozdělení

Generátor LHS nabízí 2 typy rovnoměrného rozdělení:

- spojité – náhodná veličina $X \in U(A, B)$, hustota pravděpodobnosti $f(x) = 1/(B-A)$
- diskrétní – se stejnou pravděpodobností $1/M$ nabývá některé z diskrétních hodnot m_1, m_2, \dots, m_M

B) Loguniformní rozdělení

Definice: Náhodná veličina X má loguniformní rozdělení, pokud $\ln X$ má rovnoměrné rozdělení.

Pro $X \in (A, B)$, potom $Y \in U(\ln A, \ln B)$

Příklad:

V tabulce implicitních neurčitostí pro FCM je pro škálový faktor pro přenosový koeficient půda – rostlina navrhováno loguniformní rozdělení $X \in (0.4, 2.5)$

Znamená to, že veličina $Y = \ln X$ je z rovnoměrného rozdělení $(\ln 0.4, \ln 2.5)$.

Algoritmus generování:

z rovnoměrného rozdělení $U(\ln 0.4, \ln 2.5)$ se generuje konkrétní hodnota y ;
potom $x = \exp(y)$

C) Normální rozdělení

Nechť :

A je 0.1 % kvantil normálního rozdělení $N(\mu, \sigma) \Rightarrow P(X \leq A) = 0.001$

B je 99.9 % kvantil normálního rozdělení $N(\mu, \sigma) \Rightarrow P(X \geq A) = 0.999$

Jsou známy expertní odhady A, B. Úkolem je stanovit parametry μ, σ normálního rozdělení. Ty se hledají podle:

$$\mu = (A + B)/2$$

$$\sigma^2 = [(B - A)/(2 * u_{.999})]^2$$

D) Lognormální rozdělení

Proměnná X má lognormální rozdělení, jestliže $Y = \ln(X)$ má $N(\mu, \sigma)$ rozdělení ($\mu \equiv \mu(y)$, $\sigma \equiv \sigma(y)$).

Hustota pravděpodobnosti funkce X je dána vztahem:

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}}$$

Standardizace Y dává novou proměnnou $U := (\ln(x) - \mu)/\sigma$.
Proměnná s lognormálním rozdělením může být vyjádřena jako:

$$x \equiv x(u) = m \cdot \exp(u \cdot \sigma) \quad \text{kde } m = \exp(\mu)$$

Vlastnosti:

- $x_{median} = x_{.50} = m$
- $x_{\alpha} = x_{1-\alpha} = m^2$
- $\mu(x) = \exp(\mu + (\sigma^2/2))$
- $\sigma^2(x) = \mu^2(x) \cdot (\exp(\sigma^2) - 1)$

Uživatel pouze potřebuje znát čísla A a B, která budou interpretována např. jako 0,1% (číslo A) a 99,9% (číslo B) kvantily lognormálního rozdělení.

- $\mu \equiv \mu(y) = (\ln(A) + \ln(B))/2$
- $\sigma^2 \equiv \sigma^2(y) = [(\ln(B) - \ln(A))/(2 \cdot u_{.999})]^2$

Tab.P4-1: K alternativnímu zadávání typu neurčitostí podle jejich absolutních hodnot

Neurčitý parametr	A (5% kvantil)	B (95% kvantil)	μ	σ^2	$\mu(x)$	$\sigma^2(x)$
v_d pro aerosoly	2,20E-05	1,30E-02	-7,53364	3,76316	0,001410666	1,18562E-05
v_d pro jód	6,00E-05	9,50E-02	-6,03752	5,01534	0,007315395	4,48916E-04
λ pro aerosoly	1,40E-06	1,30E-03	-10,06221	4,31510	0,000120535	1,01449E-07
λ pro jód	1,90E-06	5,80E-04	-10,31307	3,02451	7,92017E-05	2,94343E-08
p_y pro kategorii E	8,70E-02	4,40E-01	-1,63141	0,24276	0,250308861	3,98948E-02
p_z pro kategorii E	2,10E-01	4,80E+01	1,15528	2,72634	7,248965977	2,21385E+02
q_y pro kategorii E	7,60E-01	9,60E-01	-0,15763	0,00504	0,885039952	5,76475E-02
q_z pro kategorii E	1,20E-01	5,30E-01	-1,37757	0,20387	0,316064673	5,70117E-02

Poznámka ke generování lognormálního rozdělení:

Vezměme 1. řádek z tabulky – rychlost suché depozice v_d pro aerosoly .

Jde o nezápornou fyzikální veličinu.

Předpokládejme, že bylo pro ni vyspecifikováno lognormální rozdělení.

Při modelování je použito schéma převodu do standardizovaného tvaru: $v_d = v_d^{nom} * c$;

kde c je náhodný parametr mající lognormální rozdělení.

Řešme 2 úlohy pro dvojí možnost zadávání:

Úloha č. 1: úloha pro absolutní hodnoty náhodné proměnné v_d :

Jsou zadané pouze její kvantily A a B (1. řádek v tab.), máme určit parametry rozdělení

v_d má lognormální rozdělení $\Rightarrow \ln v_d$ má normální rozdělení $N(\mu, \sigma)$

kde $\mu = (\ln(A) + \ln(B)) / 2 = -7,533637$

$$\sigma^2 \equiv \sigma^2(v_d) = [(\ln(B) - \ln(A))/(2 \cdot u_{.95})]^2 = 3,763162$$

Úloha č. 2: úloha pro relativní hodnoty náhodného parametru c :

z výrazu $v_d = v_d^{\text{nom}} \cdot c$

Zadána $v_d^{\text{nom}} = \text{best estimate} = (A+B)/2 = 6.50 \text{ E-}03$

Neboli $c = v_d / v_d^{\text{nom}}$,

c pak má A_1 ((5% kvantil)) = $A / v_d^{\text{nom}} =$

B_1 ((95% kvantil)) = $B / v_d^{\text{nom}} = 1,9966211$

c má pak lognormal rozdělení $N(\mu, \sigma)$,

kde $\mu = (\ln(A_1) + \ln(B_1)) / 2 = -2,499375$

$$\sigma^2 \equiv \sigma^2(v_d) = [(\ln(B_1) - \ln(A_1))/(2 \cdot u_{.95})]^2 = 3,763162$$

kde $u_{.95} = 1,644854$ je 95% kvantil normovaného normálního rozdělení $N(0,1)$

Tab.P4-2: Relativní hodnoty náhodných parametrů

Neurčitý parametr	A_1 (5% kvantil)	B_1 (95% kvantil)	μ_1	σ_1^2
v_d pro aerosoly	3,4E-03	2,0E+00	-2,49937	3,76316
v_d pro jód	1,3E-03	2,0E+00	-2,99113	5,01534
λ pro aerosoly	2,2E-03	2,0E+00	-2,72475	4,31510
λ pro jód	6,5E-03	2,0E+00	-2,17071	3,02451

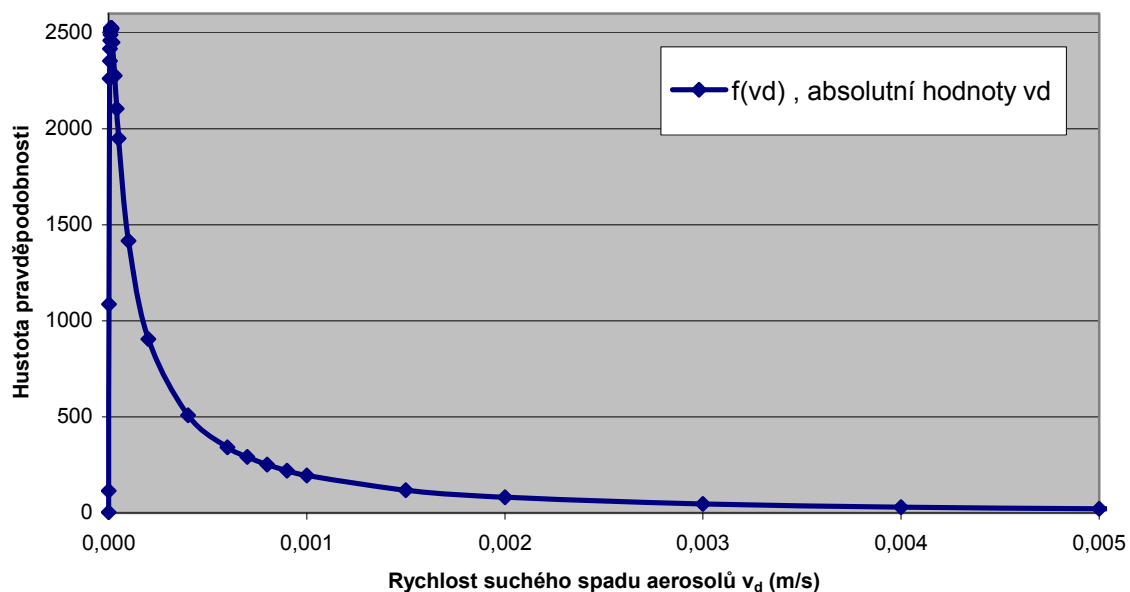
Na následujících grafech jsou vykreslena rozdělení pro obě úlohy.

!!! Všechna lognormální rozdělení jsou pro praktické výpočty omezená !!!

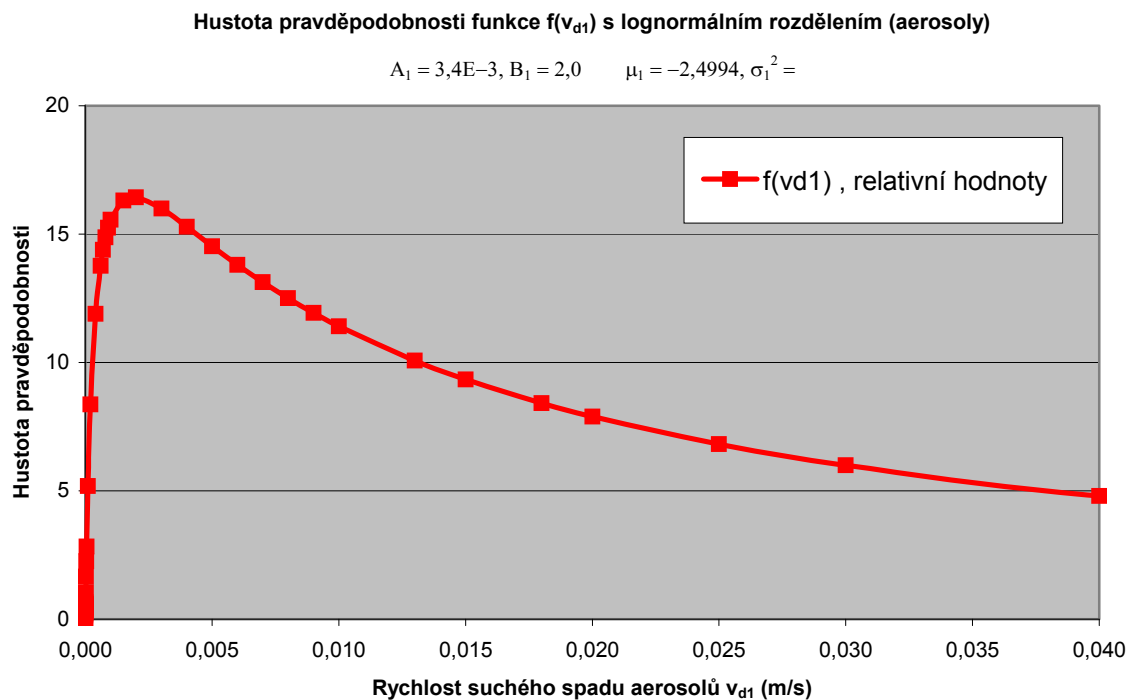
Graf 1: Graf pro úlohu č. 1: Absolutní hodnoty náhodné proměnné v_d (aerosoly)

Hustota pravděpodobnosti funkce $f(v_d)$ s lognormálním rozdělením (aerosoly)

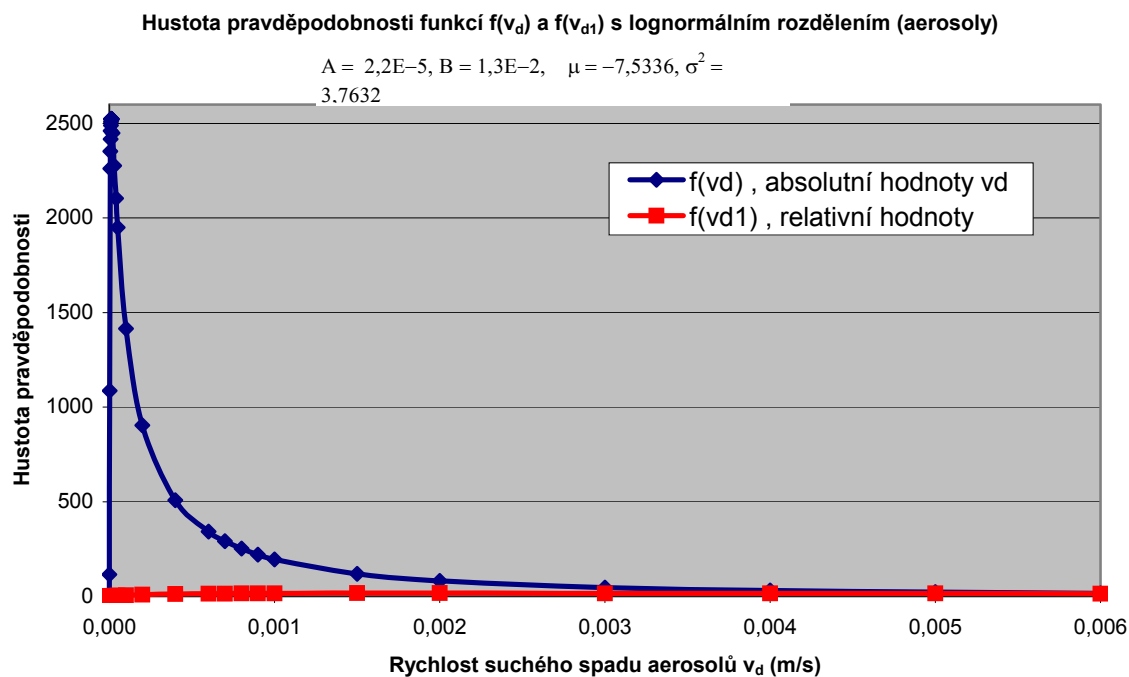
$$A = 2,2\text{E-}5, B = 1,3\text{E-}2, \mu = -7,5336, \sigma^2 = 3,7632$$



Graf 2: *Graf pro úlohu č. 2:* Relativní hodnoty náhodného parametru c

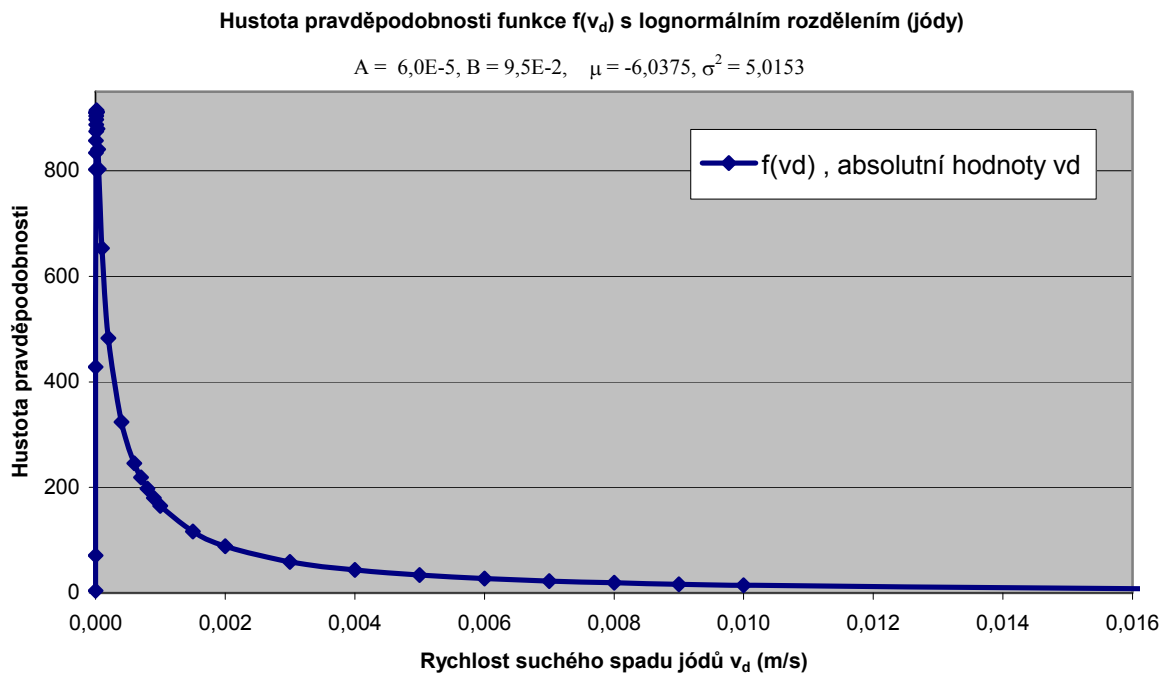


Graf 3: *Společný graf pro úlohy č. 1 a 2*

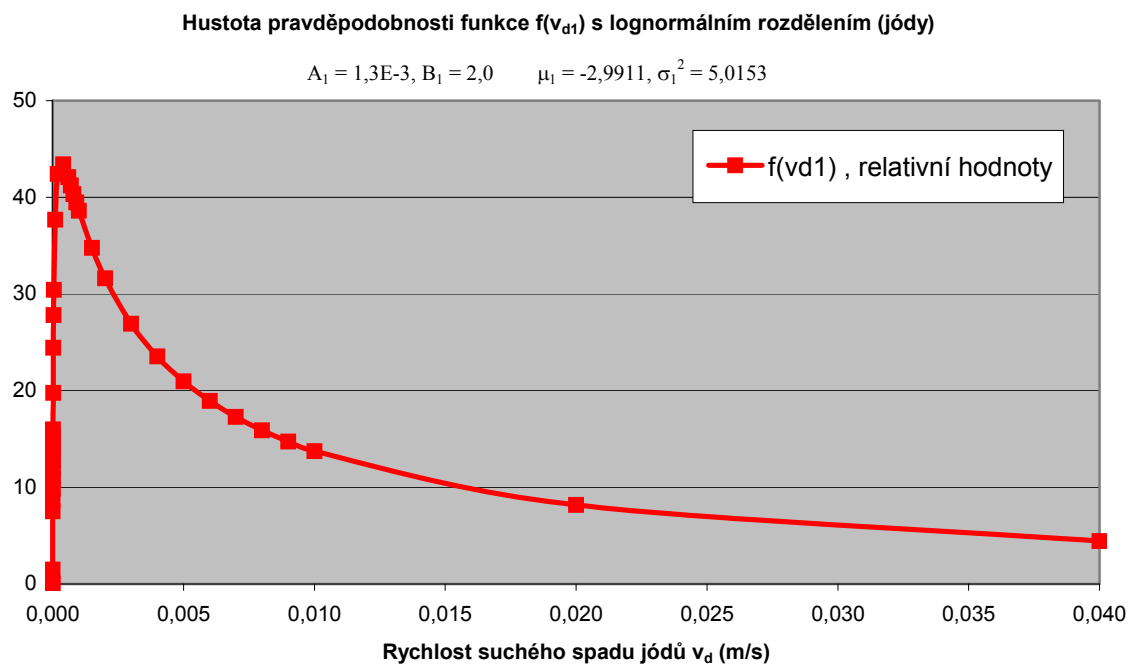


Výsledky ve formě tabulek a podrobnějších grafů jsou v souboru *lognormal.xls*.

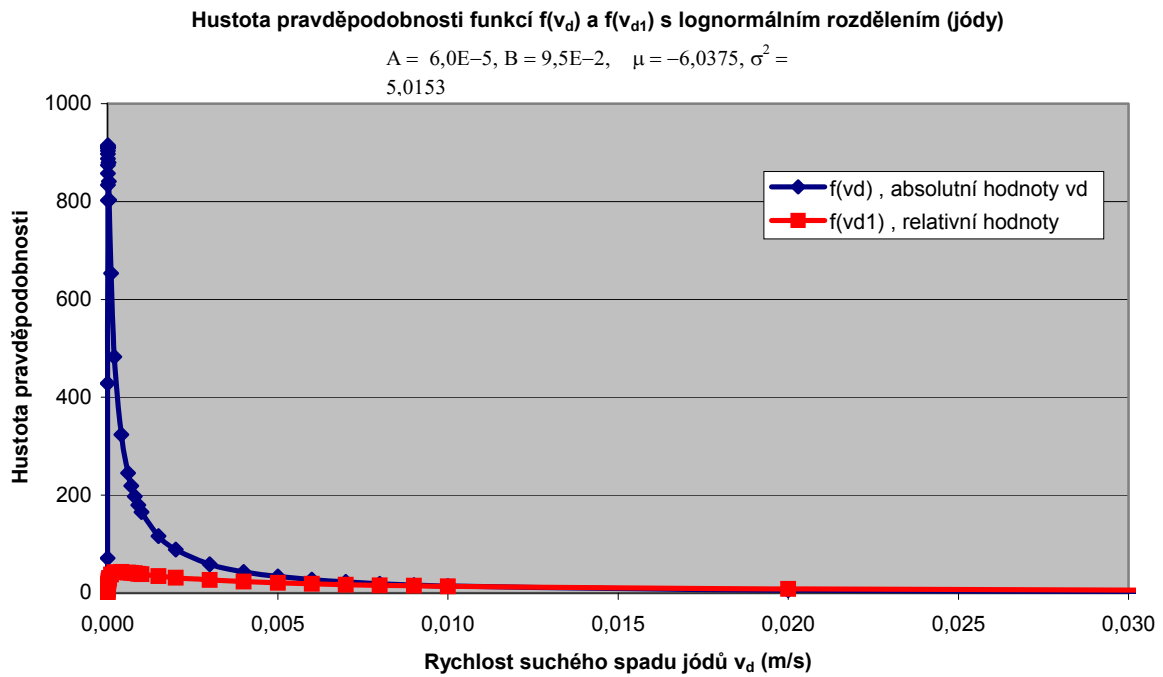
Graf 4: Absolutní hodnoty náhodné proměnné v_d (jódy)



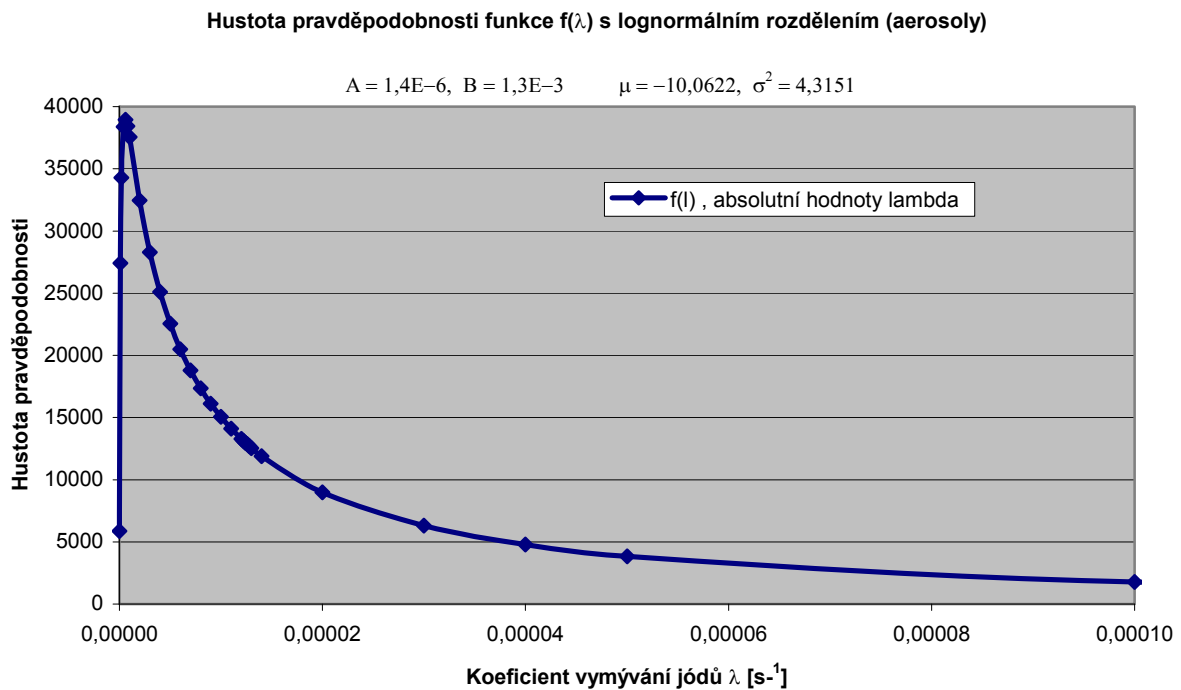
Graf 5: Relativní hodnoty náhodného parametru v_{d1} (jódy)



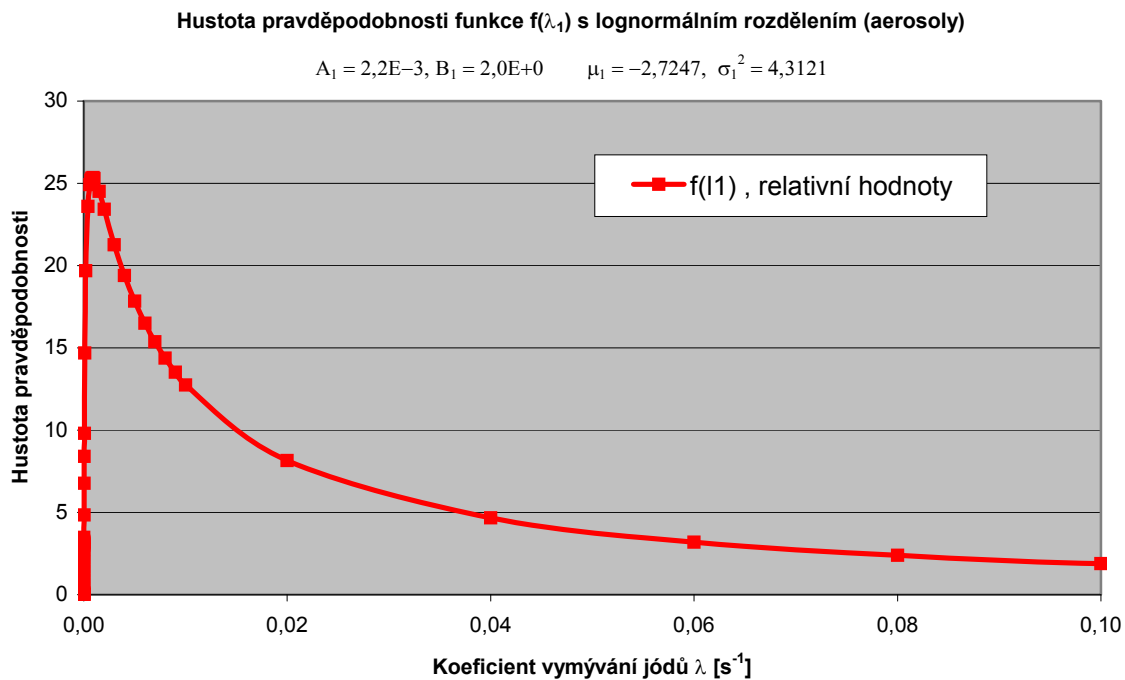
Graf 6:



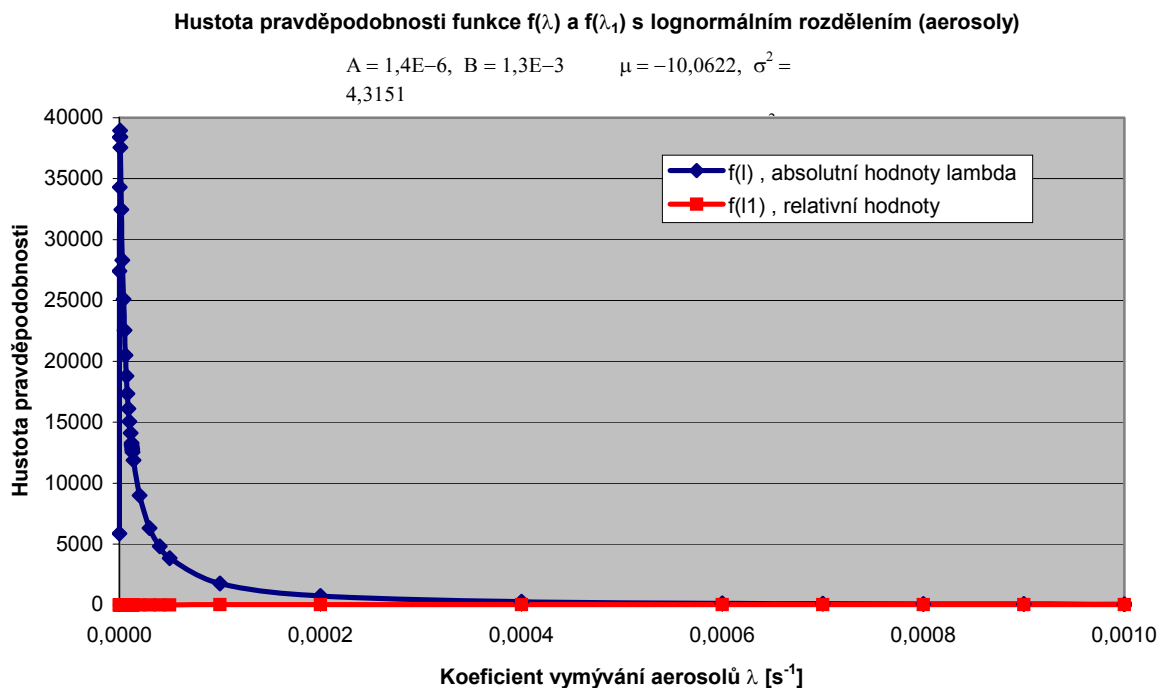
Graf 7: Absolutní hodnoty náhodné proměnné λ



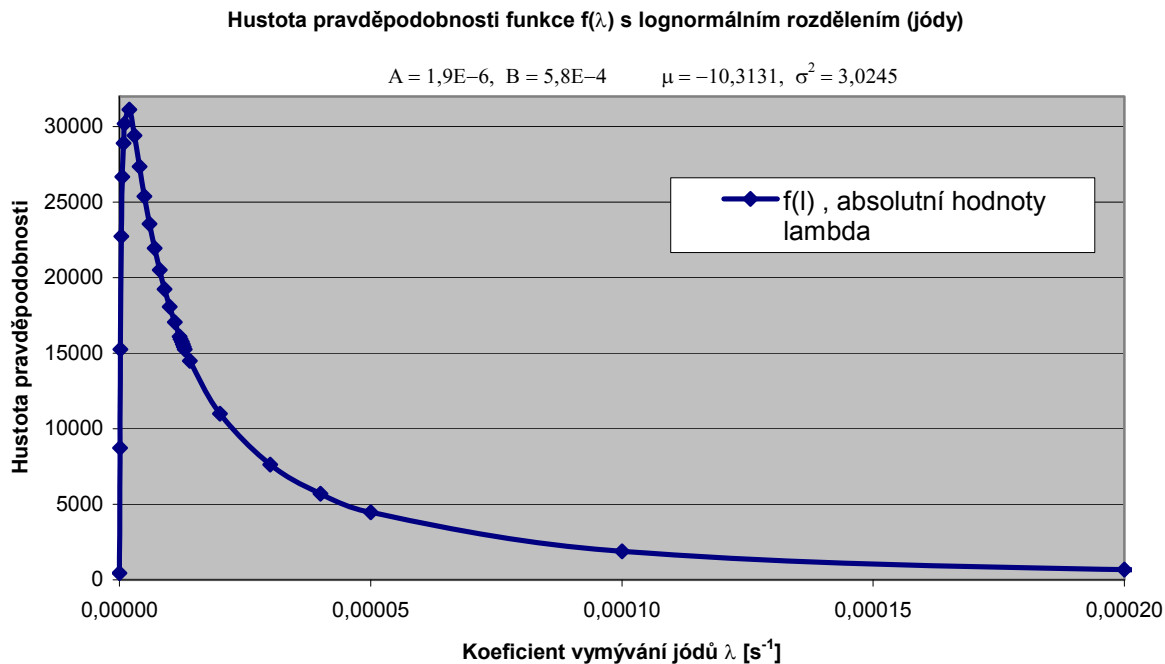
Graf 8: Relativní hodnoty náhodného parametru λ_1



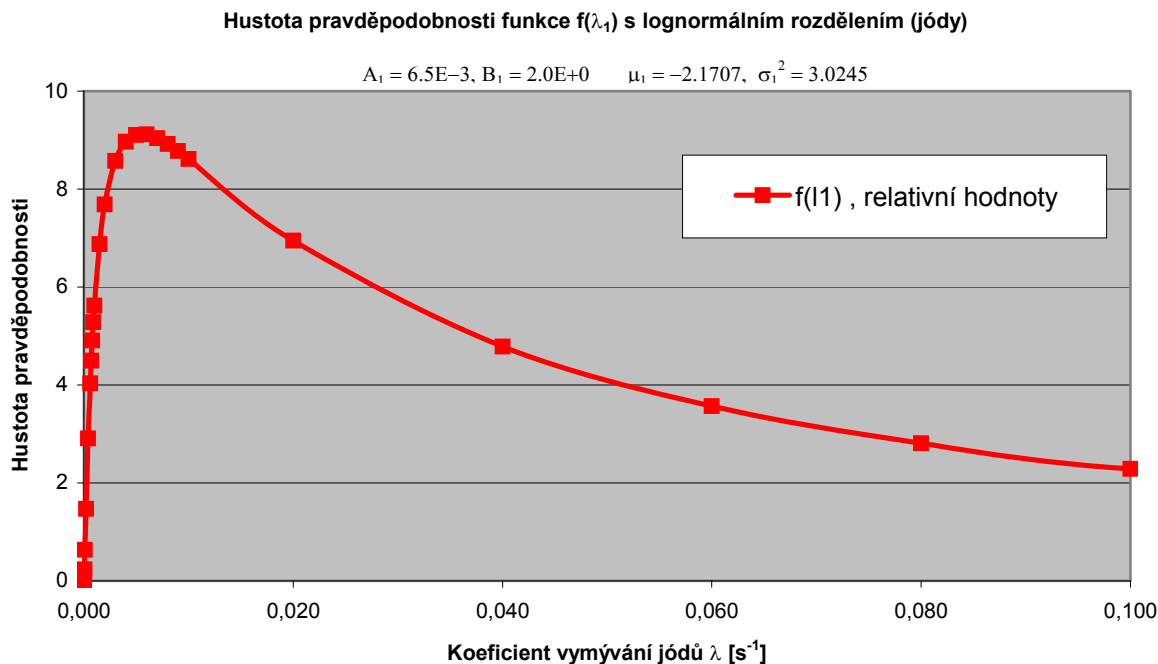
Graf 9:



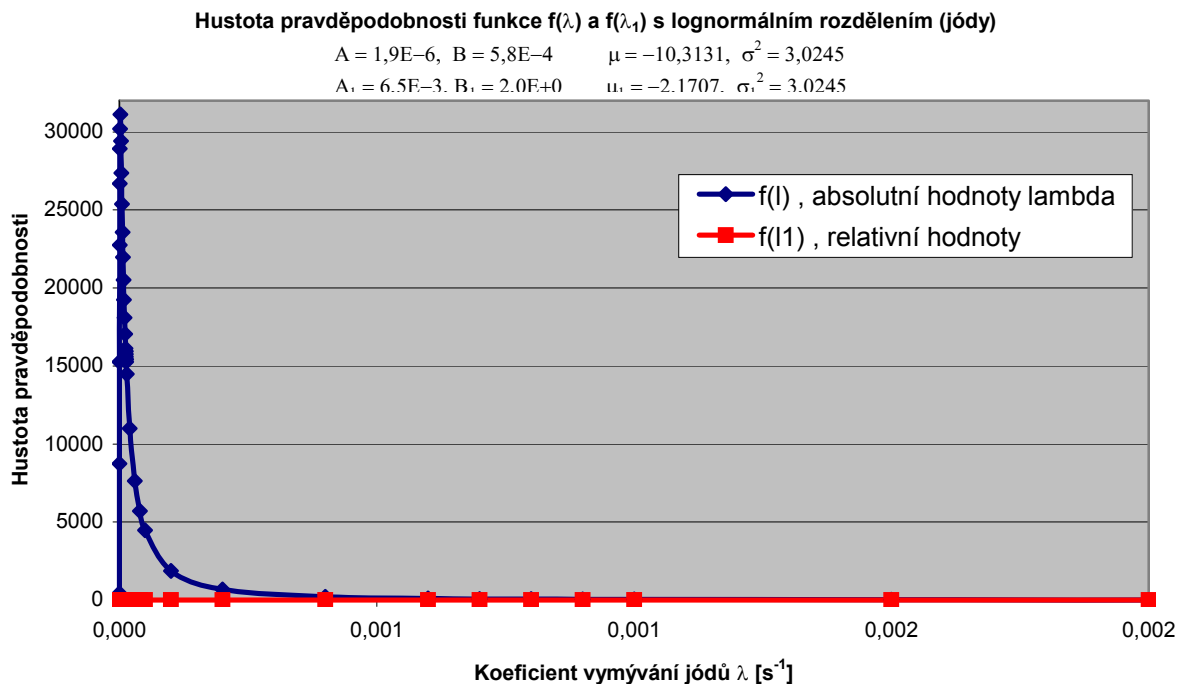
Graf 10: Absolutní hodnoty náhodné proměnné λ



Graf 11: Relativní hodnoty náhodného parametru λ_1



Graf 12:



Další rozhodnutí o generování realizací náhodných vstupů pomocí panelů LHS (Latin Hypercube Sampling):

Panely se musí přizpůsobit expertnímu zadávání v literatuře. Konkrétně pro 2 nejdůležitější LogNorm veličiny v_d a Λ (vymývání srážkami) bylo pro elementární (atomární) jódy nalezeno:

Podle Jones – COSYMA, Tab. P1-5:

Neurčitý parametr	A (5% kvantil)	B (95% kvantil)	μ	σ^2
v_d pro aerosoly	2,20E-05	1,30E-02	-7,533637013	3,763162045
v_d pro jódy	6,00E-05	9,50E-02	-6,037522192	5,015341927
λ pro aerosoly	1,40E-06	1,30E-03	-10,06221467	4,315095574
λ pro jódy	1,90E-06	5,80E-04	-10,31306956	3,024514311

Zelené jsme dopočítali za předpokladu LogNorm rozdělení

MARC-2A: v_d [m/s] :

< min; 10%; str.h; 90%; max > = 6.2E-4; 3.2E-3; 1.0E-2; 3.2E-2; 1.6E-1

OSCAAR : v_d [m/s] ...

Uvádí jen: střední hodnota = 1E-2

Střední odchylka $\mu = -2.0$; standardní odchylka $\sigma = 0.61$

Poslední řádek je zřejmě myšlen pro LogNorm

UFOMOD: v_d [m/s] : **LogUniformní**
< min; 50% kv ; max > = 2.0E-4; 0.01 ; 5.18E-2

UA COSYMA: v_d [m/s] : rozdělení neuvádí
< min; 50% kv ; max > = 6.0E-5; 0.01 ; 9.5E-2

COSYMA z liter [31]: v_d [m/s] : rozdělení neuvádí
Default= 1.0E-2
< min; 5%; 50% ; 95%; max > = 1.0E-6; 6.0E-5 ; 8.18E-3 ; 9.48E-2 ; 1.65E-1

=====

Obdobně udělat pro srážky

=====

Závěr: pro zadávání do panelů:

NOVÁ GRUPA NEURČITOSTÍ PRO ADM:

ADM1 – intenzita úniku : v GENII-S [1] je na str 7-4 tabulka Air release term pro Sample problem 1: ale chronický únik v Ci/rok
Kr - 1.E+3 - 1.E+4 LogUnif
Cs137 - 1.E-4 až 5.E-4 opět loguniform atd

Naše hodnota v nominálním výpočtu bude best estimate, necht' je to 50% kvantil uvažovaného původního LogNorm rozdělení.
My však vycházíme z 5% a 95% kvantilů. Navíc pro relativní rozdělení, u kterého musí být 50% kvantil = 1.0

Pokud budeme uvažovat neurčitost absolutně, pak tato úvaha odpadá.

Závěr: ze zadaných absolutních hodnot (z literatury) vypočteme relativní a dále posuneme tento interval tak, aby 50% kvantil = 1.0

Dále ověříme alternativní postup:

I): veličina má LogNorm rozdělení , pro absolutně zadané kvantily platí:

$$A = 5\% \text{ kv} = 6.0E-5 \text{ a } B = 95\% = 9.48E-2 \text{ z COSYMA [31]}$$

(pozn.: 99.9% kvantil = zhruba 3σ , 99.5% asi 2.5σ)

Nyní výpočtu relativní $c = x(Lnorm) / x.50$ $x.50$ je median, který ztotožním s nominálem.

Algoritmus:

Z kvantilů A a B pro Lnorm

Vypočtu: kvantily příslušného $N(\eta, \sigma)$: $A^* = \ln(A)$ a $B^* = \ln(B)$

v_d má lognormální rozdělení $\Rightarrow \ln v_d$ má normální rozdělení $N(\mu, \sigma)$

kde $\mu = (\ln(A) + \ln(B)) / 2 = -7,533637$

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

$$\sigma^2 \equiv \sigma^2(v_d) = [(\ln(B) - \ln(A))/(2 \cdot u_{.95})]^2 = 3,763162$$

$$u_{.95} = 1.644854$$

!!! Nyní pro bezrozměrné c:

nastavím tak, aby $\mu=0$ pro c Normální

což znamená, že Lognorm cx musí mít median $cx.50 = \exp(\mu) = e$

a σ^2 nechám !!! musí být ale relativní –musím spočíst

z původních A a B X.50 pro LogNorm

=====

Přijatý postup pro LHS:

V environmentálním modelu mají neurčitosti složitější charakter, proto je nutno zavést další omezení. Na příklad pro rychlost suchého usazování v_g (=c4 parametr):

Zadáva se pro 3 fyzikálně-chemické formy (atomární, aerosolovou, organickou) a v každé této formě je nutno rozlišovat různé hodnoty pro 5 typů zemského povrchu.

Rychlost suchého usazování v_g (m/s) (best estimate –nominální – hodnoty)

	<i>zástavba</i>	<i>tráva</i>	<i>zeměděl. plodiny</i>	<i>lesy</i>	<i>vodní plochy</i>
<i>aerosoly</i>	0.0005	0.0015	0.002	0.0038	0.0007
<i>atomární</i>	0.005	0.015	0.020	0.037	0.001
<i>organická</i>	0.00005	0.00015	0.0002	0.00038	0.0005

Vezměme atomární formu pro I131 ze 2. řádku tabulky. Pak pro různé typy povrchu jsou brány různé hodnoty. Ale v literatuře nenajdeme náhodné charakteristiky pro jednotlivé povrchy. Maximálně lze nalézt údaj pro travu:

Z produktu COSYMA převezmeme pro travu:

Veličina v_g má LogNorm rozdělení, pro absolutně zadané kvantily platí:

$$A = 5\% \text{ kvantil} = 6.0E-5 \text{ a } B = 95\% = 9.48E-2, \text{ vždy v m/s}$$

(pozn.: 99.9% kvantil = zhruba 3σ , 99.5% asi 2.5σ , 99.0% asi 2.33σ , 95% asi 1.65σ)

Předpoklad: neurčitosti pro jednotlivé typy povrchu spočtu tak, že z absolutních hodnot kvantilů spočtu medián (50% kvantil $X_{.50}$) a odtud určím relativní proměnnou Z s **lognormálním rozdělením a mediánem = 1.0**

Postup:

1) Do LHS panelu zadám absolutní hodnoty A a B (třeba podle COSYMA)

2) Nutno spočítat:

$$\text{Transformace na Normal: } \eta = (\ln A + \ln B) / 2$$

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

$$\sigma = \dots\dots\dots$$

Současně musí platit, že η je medián (50% kvantil) přetransformovaného N rozdělení Z toho plyne, že medián VG_{50} (50% kvantil) původní lognorm v_g musí být e^{η}

V LHS se tedy znovu přepočtou kvantily relativní LogNorm náhodné proměnné Z:

$Z = v_g / VG_{50}$ tak, že její 5% a 95% kvantily budou:

$$Z(5\%) = A / VG_{50} = A / (e^{(\ln A + \ln B/2)})$$

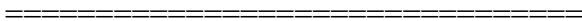
$$Z(95\%) = B / VG_{50} = B / (e^{(\ln A + \ln B/2)})$$

a dále se znovu vrátí k proměnné $W = \ln(Z)$, která má Norm rozdělení ,

tedy vypočte $\eta(W)$ a $\sigma(W)$ z $\ln[Z(5\%)]$ a $\ln[Z(95\%)]$;

Tedy generuje realizace W (aplikuje ořezání min. 2.5σ) , pak se vrátí k $Z = e^W$ a **vrací se tedy realizace Z.**

Mělo by platit: **Z je LogNormální veličina s mediánem 1.0**



Úplně stejně se musí udělat LogUniformní veličina X:

- a) Necht' X je zadána absolutně $\langle \text{MIN} ; \text{MAX} \rangle$
- b) $Y = \ln(X) \Rightarrow$ je uniformní na $\langle \ln(\text{MIN}) ; \ln(\text{MAX}) \rangle$
- c) Medián $Y = Y_{.50} = (\ln(\text{MIN}) + \ln(\text{MAX})) / 2$ (současně je to stř. hod)
- d) Vypočtu medián původní X : $X_{.50} = \ln(Y_{.50})$
- e) Definuji novou proměnnou Z , která má loguniformní rozdělení a medián =1.00 :

$$Z = X / X_{.50}$$

která má loguniformní rozdělení na intervalu $\langle \text{MIN} / X_{.50} ; \text{MAX} / X_{.50} \rangle$

a medián =1.00

- f) LHS tedy vrací hodnoty z

Přesnější specifikace náhodných charakteristik vstupních parametrů atmosférického modelu

ADM1: LogNorm (trunc), **relativní** kvantily 5% a 95% ; ořezání 2.5σ
(jde o rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být příslušná relativní proměnná s LogNormal, která má medián =1.0 !!!)

ADM2: LogNorm (trunc), **relativní** kvantily 5% a 95% ; ořezání 2.0σ
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogNormal, která má medián =1.0 !!!) ; viz OSCAAR, UFOMOD

ADM3: standardní Norm $N(0,1)$; 3.5σ ořezané; $\Delta\phi = ADM3 * 2\pi/80$ [rad]
Pozn.: jde o spojité rozdělení, vezmu LH realizace a sám si to v programu přepočtu na diskrétní $< -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 >$

ADM4: LogUniform, **relativní** meze min max
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogUniform, která má medián =1.0 !!!) ; viz MARC IIA, COSYMA

ADM5: LogUniform, **relativní** meze min max
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogUniform, která má medián =1.0 !!!) ; viz MARC IIA, COSYMA, UFOMOD

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin: Záhloví panelu

Počet vygenerovaných n-tic: Model pro ADM- 22. února 06

Vlastnosti náhodných veličin

ADM6: faktor vymývání - elem. jód	nom. hodn. <input type="text" value="0.64"/>	levá mez <input type="text" value="2"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="log-rovnoměrné"/>	pravá mez <input type="text" value="549"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
ADM7: faktor vymývání - aerosoly	nom. hodn. <input type="text" value="0.64"/>	levá mez <input type="text" value="2.3"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="log-rovnoměrné"/>	pravá mez <input type="text" value="606"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM8: kor.fakt.advekční rychl.vlečk	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	levá mez <input type="text" value="-1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="rovnoměrné"/>	pravá mez <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM9: kor.fakt.exponen.profilu větru	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="ořezané normální"/>	sigma <input type="text" value="0.15"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM10: škálový fakt.vertik.disperze	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	0.05-kvantil <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="2,5-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="ořezané lognormální"/>	0.95-kvantil <input type="text" value="4"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Nastavení korelací Uložit panel Původní

Vygenerovat a uložit výsledky Načíst panel Zrušit

ADM6: LogUniform, **relativní** meze min max
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogUniform, která má medián =1.0 !!!) ; viz UFOMOD

ADM7: LogUniform, **relativní** meze min max
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogUniform, která má medián =1.0 !!!) ; viz UFOMOD

ADM8: Uniformní, standardní, meze min max ;
Podle UFOMOD: $u = (1 + 0,1 * ADM8) * u_{10} + 0,5 * ADM8$
-musel jsem (zřejmě formálně) zadat nominální hodnotu =1

ADM9: standardně zadané Norm N(0,1); ořezání 3.0 σ ;
Kok, Eleveld

ADM10: LogNorm (trunc), **relativní** kvantily 5% a 95% ; ořezání 2.5 σ
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogNormal, která má medián =1.0 !!!) ; viz OSCAAR, UFOMOD

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Počet náhodných veličin : 12

Počet vygenerovaných n-tic 1000

Záhlaví panelu Model pro ADM- 22. února 06

Vlastnosti náhodných veličin

Název veličiny	nom. hodn.	rozdělení	parametry	ořezání	počet hodnot
ADM11:kor. na výšku směš. vrstvy	1	trojúhelníkové	levá mez: 0.5, pravá mez: 1.5	1-sigma	1
ADM12:kor. na tep.vydatnost vzd.	1	ořezané lognormální	0.05-kvantil: 1, 0.95-kvantil: 10	2,5-sigma	1
náh.veličina č.13	1	normální	μ : 1, σ : 1	1-sigma	1
náh.veličina č.14	1	normální	μ : 1, σ : 1	1-sigma	1
náh.veličina č.15	1	normální	μ : 1, σ : 1	1-sigma	1

Nastavení korelací Uložit panel Původní

Vygenerovat a uložit výsledky Načíst panel Zrušit

ADM11: Trojúhelníkové, standardní zadání; podle MARC II-A

ADM12: LogNorm (trunc), **relativní** kvantily 5% a 95% ; ořezání 2.5σ
(opět jde o zadaný rozsah v libovolném měřítku, výsledkem musí být relativní proměnná s LogNormal, která má medián =1.0 !!!) ; odhad podle UFOMOD

Příloha č.5: Vstupní panely pro zadávání implicitní grupy vstupních neurčitostí pro generování náhodných realizací pomocí LHS algoritmu

- ❑ **Atmosférický a depoziční submodel ADM**
- ❑ **Submodel transportu aktivity v potravních řetězcích FCM**
- ❑ **Dávkový a dosimetrický model DOS**

Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro ADM (atmosférický a depoziční model):

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin: Záhloví panelu

Počet vygenerovaných n-tic: Implicitní grupa pro ADM - atmosférický a depoziční modul, 7.1.2005

Vlastnosti náhodných veličin

Název	nom. hodn.	rozdělení	μ	sigma	ořezání	počet hodnot
ADM1: škálový faktor intenzity únik	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="ořezané normální"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="3-sigma"/>	<input type="text" value="11"/>
ADM2: škálový faktor horizontální di	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="ořezané normální"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.13"/>	<input type="text" value="3-sigma"/>	<input type="text" value="11"/>
ADM3: horizontální flukuaace směru	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="diskrétní uniformní"/>	levá mez: <input type="text" value="-5"/>	pravá mez: <input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="3-sigma"/>	<input type="text" value="11"/>
ADM4: škálový faktor rychlosti such	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="uniformní"/>	levá mez: <input type="text" value="0.41"/>	pravá mez: <input type="text" value="1.4"/>	<input type="text" value="3-sigma"/>	<input type="text" value="11"/>
ADM5: škálový faktor rychlosti suc	<input type="text" value="28"/>	<input type="text" value="uniformní"/>	levá mez: <input type="text" value="24.3"/>	pravá mez: <input type="text" value="29.4"/>	<input type="text" value="3-sigma"/>	<input type="text" value="11"/>

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin : Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic

Vlastnosti náhodných veličin

ADM6: faktor vymývání - elementár	nom. hodn. <input type="text" value="0.64"/>	levá mez <input type="text" value="0.43"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="0.84"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
ADM7: faktor vymývání - aerosoly	nom. hodn. <input type="text" value="2.63e-008"/>	levá mez <input type="text" value="3.6e-009"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="4.9e-008"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM8: korekční faktor advekční ry	nom. hodn. <input type="text" value="0"/>	levá mez <input type="text" value="-1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM9: korekční faktor exponentu p	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	levá mez <input type="text" value="0.5"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.5"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM10: škálový faktor vertikální dis	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="ořezané normální"/>	sigma <input type="text" value="0.13"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin : Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic

Vlastnosti náhodných veličin

ADM11: korekce na výšku směšov	nom. hodn. <input type="text" value="1.175"/>	levá mez <input type="text" value="0.6"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.75"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
ADM12: korekce na tepelnou vydat	nom. hodn. <input type="text" value="0.5"/>	levá mez <input type="text" value="0"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.13	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	sigma <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.14	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	sigma <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.15	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	sigma <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro FCM (model potravního řetězce):

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin: Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic:

Vlastnosti náhodných veličin

FCM1: intercepční frakce	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	μ <input type="text" value="0.25"/>	ořezání <input type="text" value="2-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="ořezané normální"/>	sigma <input type="text" value="2.0"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
FCM2: škálový faktor pro CRs-p půd	nom. hodn. <input type="text" value="1.45"/>	levá mez <input type="text" value="0.4"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="2.5"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
FCM3: vyluhování - relativní frakce	nom. hodn. <input type="text" value="1.45"/>	levá mez <input type="text" value="0.4"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="2.5"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
FCM4: poločas odstranění (1/den) v	nom. hodn. <input type="text" value="25.0"/>	levá mez <input type="text" value="15.0"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="trojúhelníkové"/>	pravá mez <input type="text" value="35.0"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
FCM5: plošná hustota (kg/m ²) koře	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	levá mez <input type="text" value="0.86"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.14"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin: Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic:

Vlastnosti náhodných veličin

FCM6: přenosový faktor Cs do mlék	nom. hodn. <input type="text" value="1.83"/>	levá mez <input type="text" value="0.66"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="3.0"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
FCM7: přenosový faktor Sr do mlék	nom. hodn. <input type="text" value="0.875"/>	levá mez <input type="text" value="0.5"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.25"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM8: přenosový faktor I do mléka (nom. hodn. <input type="text" value="1.83"/>	levá mez <input type="text" value="0.66"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="3.0"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM9: přenosový faktor Cs do mas	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	levá mez <input type="text" value="0.5"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.5"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM10: plošný výnos plodin - korek	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	levá mez <input type="text" value="0.8"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.2"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin :

Počet vygenerovaných n-tic :

Záhlaví panelu :

Vlastnosti náhodných veličin

FCM11: časový posun (dny) vegeta	nom. hodn. <input type="text" value="0"/>	levá mez <input type="text" value="-15"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="15"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM12: faktor zpracování pro mouk	nom. hodn. <input type="text" value="0.5"/>	levá mez <input type="text" value="0.4"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="0.6"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM13: faktor zpracování pro zeleni	nom. hodn. <input type="text" value="0.8"/>	levá mez <input type="text" value="0.6"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.0"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM14: faktory spotřeby potravin	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	levá mez <input type="text" value="0.7"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="trojúhelníkové"/>	pravá mez <input type="text" value="1.3"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
FCM15: krmné dávky skotu - stájov	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	levá mez <input type="text" value="0.85"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.15"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin :

Počet vygenerovaných n-tic :

Záhlaví panelu :

Vlastnosti náhodných veličin

FCM16: doba zdržení ke konzumaci	nom. hodn. <input type="text" value="2.0"/>	μ <input type="text" value="2.0"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	σ <input type="text" value="0.86"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.17	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	σ <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.18	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	σ <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.19	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	σ <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina č.20	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	σ <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

Implicitní grupa vstupních neurčitostí pro DOS (dávkový model):

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin : Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic

Vlastnosti náhodných veličin

DOS1: F lok	nom. hodn. <input type="text" value="0.875"/>	levá mez <input type="text" value="0.75"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.00"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
DOS2: SF	nom. hodn. <input type="text" value="0.2"/>	levá mez <input type="text" value="0.1"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="0.3"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
DOS3: d fast	nom. hodn. <input type="text" value="0.52"/>	levá mez <input type="text" value="0.40"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="0.71"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
DOS4: T1/2 fast	nom. hodn. <input type="text" value="1.1"/>	levá mez <input type="text" value="0.41"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.4"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
DOS5: T1/2 slow	nom. hodn. <input type="text" value="28"/>	levá mez <input type="text" value="24.3"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="29.4"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>

Nastavení generování náhodných veličin

Počet náhodných veličin : Záhlaví panelu

Počet vygenerovaných n-tic

Vlastnosti náhodných veličin

DOS6: FF filtr	nom. hodn. <input type="text" value="0.64"/>	levá mez <input type="text" value="0.43"/>	ořezání <input type="text" value="3-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="0.84"/>	počet hodnot <input type="text" value="11"/>
DOS7: k fast	nom. hodn. <input type="text" value="2.63E-8"/>	levá mez <input type="text" value="3.6E-9"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="4.9E-8"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
DOS8: T1/2 RES fast	nom. hodn. <input type="text" value="1.35"/>	levá mez <input type="text" value="0.5"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="2.2"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
DOS9: Fu a inh	nom. hodn. <input type="text" value="1.0"/>	levá mez <input type="text" value="0.5"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="uniformní"/>	pravá mez <input type="text" value="1.5"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>
náh.veličina 8.10	nom. hodn. <input type="text" value="1"/>	μ <input type="text" value="1"/>	ořezání <input type="text" value="1-sigma"/>
	rozdělení <input type="text" value="normální"/>	sigma <input type="text" value="1"/>	počet hodnot <input type="text" value="1"/>

Příloha 6: Srovnání modelu FARMLAND a ECOSYS

První srovnávací studie anglického modelu FARMLAND [28,29] a německého modelu ECOSYS [10, 27] byla provedena v roce 1985. Novější srovnávací studie z r.1988 a 1989 použily novější a dále vyvíjené modely zejména pro ECOSYS, který využil mnoho údajů získaných z havárie v Černobyli.

Rozdíly způsobené strukturou obou modelů byly mnohem menší než rozdíly vzniklé vlivem různých zemědělských zvyklostí a výběrem hodnot parametrů. Největší rozdíly vznikly, když byl jeden model složitější než druhý a zahrnoval další transformační procesy.

Srovnávací studie byla součástí větší studie, jejímž cílem bylo vytvořit defaultový model potravního řetězce (FCM) pro použití v EU v případě, že nebudou k dispozici příslušná data z určité lokality. Po validaci jednotlivých modelů s použitím černobylských dat byly oba modely srovnávány pro sadu specifických podmínek za účelem ohodnocení (kvantifikace) rozdílů mezi oběma modely a pochopení těchto rozdílů, aby mohla být oceněna jejich důležitost.

Pro srovnání byly zvoleny stejné zemědělské zvyklosti, aby se eliminovaly všechny rozdíly způsobené těmito předpoklady.

Byly zvažovány 4 radionuklidy:

- Sr-90
- Ru-106
- I-131
- Cs-137.

Byly srovnávány predikce z těchto modelů pro suché a mokré podmínky, jako vstupy byly použity:

- totální mokrá depozice
- množství srážek
- časový integrál koncentrace ve vzduchu.

Potraviny zahrnuté do této studie:

- ozimá pšenice
- jarní pšenice
- brambory
- kořenová zelenina
- listová zelenina,
- kravské mléko
- hovězí maso (krávy a býci)
- skopové maso.

Ačkoliv existuje mnoho sezónních rozdílů kvůli zemědělským praktikám, jiné faktory, jako je stádium vývoje rostliny v době depozic, mohou rovněž ovlivnit finální koncentraci v potravinách. Aby se mohly studovat tyto další sezónní efekty, bylo srovnání provedeno pro 4 různá období v roce:

- leden
- květen
- červenec
- září.

Z tohoto srovnání vyplynulo množství detailních výsledků. Zde jsou shrnuta pouze zásadní zjištění.

Způsob **modelování depozice** radionuklidů na rostliny a půdu se v modelech ECOSYS a FARMLAND poněkud liší.

FARMLAND při modelování listové kontaminace používá intercepční faktor, který reprezentuje frakci depozitu, která se usadí na rostlině. Není zde rozdíl mezi suchou a mokrou depozicí a nejsou brány v úvahu sezónní změny.

ECOSYS přijímá mnohem komplexnější přístup k modelování intercepce a retence aktivity na rostlinách. Suchá depozice je modelována se zahrnutím stádia vývoje rostliny a pro mokrou depozici uvažuje použitý přístup stádium vývoje rostliny, vodní kapacitu listů rostliny a schopnost radionuklidu zachytit se v rostlině.

Tyto rozdílné přístupy k modelování suché a mokré depozice byly důležitým zdůvodněním rozdílů zjištěných při srovnávání modelů.

Pro ilustraci je uvedena suchá a mokrá depozice na listovou zeleninu, jarní pšenici a travu, vypočtená oběma modely. Pro suchou depozici odpovídají hodnoty časového integrálu koncentrace ve vzduchu hodnotám měřeným v Mnichově po havárii v Černobyli v r.1986. Pro mokrou depozici je použit celkový mokrý depozit na zemském povrchu.

Rozdíly ve výpočtu depozitu na rostlinu při mokré depozici byly mezi oběma modely obecně velmi malé, často se jednalo o násobek 2 nebo 3. Nejmenší pozorovatelné rozdíly byly pro listovou zeleninu, protože oba modely předpokládaly konstantní stav vývoje rostliny v době depozice bez sezónních efektů.

V celé studii byly největší rozdíly ve výpočtu depozice z mokrého spadu (větší než 1 řád) pozorovány pro depozice v ročním období, kdy byly velmi nízké výnosy sklizně, např. krátce po zasetí plodiny, během velmi nízkého vzrůstu trávy v zimě a konce vegetačního období brambor v září.

Tyto efekty jsou modelovány v ECOSYSu, ale nejsou explicitně vyjádřeny ve FARMLANDu a vedly tudíž k pozorovaným rozdílům ve vypočtených depozicích. Ale vlivem dalších procesů přenosu nevedly tyto velké rozdíly nutně k velkým rozdílům ve vypočtených koncentracích ve sklizni (úrodě) nebo v mase a mléku pasoucích se zvířat.

Mokrá depozice na rostliny, vypočtená modelem ECOSYS, se mění v závislosti na množství srážek, zatímco depozice vypočtená modelem FARMLAND je konstantní.

Pro typický případ srážek o velikosti několika milimetrů byla výsledná depozice na travu vypočtená oběma modely v dobré shodě.

Pro větší srážky vypočetl ECOSYS až 10 krát menší depozici než FARMLAND, zatímco při menších srážkách byla depozice vypočtená modelem ECOSYS až 4 krát větší než z modelu FARMLAND.

Pro suchý spad byly depozice na rostlinu vypočtené modelem FARMLAND obecně nižší než depozice z modelu ECOSYS. Výjimkou jsou případy, kdy (stejně jako u mokré depozice) ECOSYS předpokládá menší výtěžek rostliny a tudíž menší depozici; zde byly výsledné depozice u FARMLAND vyšší.

Transport radionuklidů z listů do jedlých částí rostlin je v modelu ECOSYS i FARMLAND modelován obdobně.

V tomto srovnání byla uvažována ozimá a jarní pšenice. Pro ozimou pšenici obzvláště v počátku růstového období byly ve FARMLAND uvažovány mnohem vyšší translokační rychlosti než

Pravděpodobnostní přístup HAVAR-RP k predikci následků radiačních nehod

v ECOSYS. Nicméně v obou modelech byly vypočtené hodnoty koncentrací v ozimé pšenici v rozsahu nebo blízko rozsahu naměřených hodnot.

Přiblížení pro odhad kontaminace rostlin kořenovým transportem je podobné v obou modelech. Byly zde určité rozdíly v přenosových faktorech z půdy do rostliny, ale nevedly k podstatným rozdílům ve výsledku.

Výjimkou je modelování kořenového transportu radionuklidů v trávě na pastvinách. V modelu FARMLAND se předpokládá, že se depozice na půdu okamžitě promíchá v horní vrstvě 0 až 1 cm, zatímco ECOSYS předpokládá rovnoměrné míšení radionuklidů ve vrstvě 0 až 10 cm okamžitě po depozici.

Toto může vést k vyšším počátečním koncentracím v trávě z kořenového transportu vypočteným ve FARMLAND než v ECOSYS pro případ, že ke spadu dojde v období, kdy půda leží ladem. V obdobích brzy po depozici převládají koncentrace z vnější kontaminace spásané trávy vypočtené modelem FARMLAND, ve většině období roku jsou vyšší koncentrace vypočtené ECOSYSem.

Vyšší koncentrace vypočtené FARMLANDEM byly pozorovatelné pouze u trav na siláž při depozicích, které nastaly během zimy, kdy půda leží ladem.

Vyskytly se určité rozdíly v parametrech použitých k modelování transportu radionuklidů do krmiva. Pro stroncium byly rozdíly málo důležité, ale pro cesium se přenosové faktory do hovězího masa a kravského mléka lišily přibližně dvojnásobně.