

Dokumentace k projektu VG20102013018 bezpečnostního výzkumu MV ČR

Deterministické jádro HAVAR-DET systému HARP

**Ukázky aplikací deterministického jádra HAVAR-DET v oblasti
radiační ochrany**

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

Praha, 2011

Anotace

Jsou dokumentovány výsledky výpočtů získané kódem s akronymem HAVAR-DET, který je totožný s deterministickým jádrem systému HARP (HAzardous Radioactivity Propagation) vyvíjeným v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu MV ČR (2010 až 2013), č. projektu VG20102013018. Umožňuje odhadovat radiologické následky úniku aktivity do atmosféry a její transport komponentami životního prostředí. Zde jsou shrnuty také aplikace předchozích kompatibilních verzí předcházejících současné aktuální verzi HAVAR-DET. Průběžná validace a srovnávací výpočty jsou nedílnou součástí vývoje každého kódu. V případě produktu HAVAR-DET lze jmenovat jako první studii [3], ve které byly prováděny základní srovnávací analýzy a studie senzitivity původním programem HAVAR. Proběhlo základní srovnání dílčích výsledků se zahraničními kódy COSYMA, RODOS a MACCS. Tam jsou také podrobně uvedena srovnání pro případy validačních úloh č. 1 a č.2 zadaných odbornou komisí č. 6 podle směrnice VDS 030 SÚJB pro programy používané v oblasti hodnocení jaderné bezpečnosti. Pokračováním studie [3] pro ověřování kompatibility verze HAVAR-RP s původní verzí produktu HAVAR je studie [4]. Tam se provádí srovnávání vlivu neurčitosti při parametrizaci dílčích submodelů (nedokonalost fyzikálního popisu skutečných dějů), srovnávání výsledků referenčních variant s příbuznými kódy používanými v oboru (COSYMA, RODOS PV 5, v jednom případě RTARC) a výpočty speciálních scénářů (scénáře definované pro společné česko-rakouské cvičení v rámci procesu z Melku, šíření exhalací při extrémně nízkých rychlostech větru, analýza dlouhodobých úniků). V této práci jsou doplněny a rozšířeny zmíněné analýzy a navíc je zde zařazena dokumentace k ilustraci nových funkcí produktu HAVAR-DET spolu s ověřením jeho kompatibility s předchozími verzemi. Zde shromážděné údaje je nutno chápat jako výsledky podrobných analýz, jejichž metodika je popsána v dílčích zprávách (metodika HAVAR-DET [1], uživatelský manuál systému HAVAR-DET [2] a další publikace uvedené v referencích). Tvoří nedílnou součást k výsledkům presentovaným v této práci.

Zkratky

PRIMO – algoritmus přímočarého šíření vlečky v programu HAVAR-DET

SGPM - algoritmus segmentovaného modelu – stáčení vlečky

HAVAR-SG – výpočty programem HAVAR-DET algoritmem SGPM

HAVAR-DET – nejnovější deterministická verze programu HAVAR

LB-LOCA – Large Break Lost of Coolant Accident

TIC – Time Integrated near ground activity Concentration

OBSAH

<i>1</i>	<i>Periodický proces srovnávání výsledků při vývoji kódu HAVAR → HAVAR-DET.....</i>	<i>4</i>
<i>2</i>	<i>Srovnávací studie dílčích scénářů úniku aktivity s mezinárodními kódy COSYMA resp. RODOS</i>	<i>4</i>
2.1	Analýza scénáře LB-LOCA.....	4
2.2	Vážná havárie se scénářem ETE 1A.....	10
2.3	Testování efektu významného zastoupení vzácného plynu Xe-133 ve scénáři SKODA-Plzen_Xe133	12
<i>3</i>	<i>Dopočet scénáře česko-rakouského cvičení STEP-II b algoritmem segmentovaného modelu SGPM.....</i>	<i>17</i>
3.1	Stručný popis scénáře havárie	18
3.2	Zdrojový člen	18
3.3	Výběr meteorologických sekvencí.....	21
3.4	Spotřební koše	23
3.5	Některé výsledky výpočtů	27
<i>4</i>	<i>Porovnání výsledků výpočtů STEP II b provedených programy HAVAR a HAVAR-SG</i>	<i>36</i>
<i>5</i>	<i>Vliv typu zemského povrchu na průběh radiologických hodnot.....</i>	<i>41</i>
<i>6</i>	<i>Programový systém HAVAR-DET: Srovnání algoritmů PRIMO (přímocaré šíření) a SGPM („stáčení“).....</i>	<i>45</i>
<i>7</i>	<i>K únikům aktivity při nestandardních meteorologických podmínkách</i>	<i>53</i>
7.1	Šíření radioaktivního znečištění při nízkých rychlostech větru až bezvětří.....	54
7.2	Odhady radiačního zatížení při dlouhodobých únicích radioaktivity do životního prostředí	56
7.3	Spekulativní simulace ročních dlouhodobých difúzních charakteristik ekvivalentními mnohonásobnými hodinovými úniky	60
<i>8</i>	<i>Vznik dceřiných nuklidů při postupu mraku nad terénem</i>	<i>63</i>
<i>9</i>	<i>Reference</i>	<i>66</i>

1 Periodický proces srovnávání výsledků při vývoji kódu HAVAR → HAVAR-DET

Během období 1999 až 2010 byla na základě nových požadavků prováděna další rozšíření produktu, přičemž po každém podstatném rozšíření bylo prováděno ověření kompatibility s předchozí verzí. Vstupní data vždy ale musela být zjednodušena podle omezených možností použitého zahraničního kódu. Ověřování konkrétně probíhalo v etapách:

- Po aktualizaci dávkových konverzních faktorů podle Vyhlášky SÚJB č.307/2002 o radiační ochraně (realizováno v Q2/2003)
- Zavedení segmentovaného modelu umožňujícího respektovat časové (hodinové) změny meteorologických podmínek a dynamiky úniku aktivity, rozšíření ingesce (Q2/2005)
- Zjemnění polární výpočtové sítě v radiálním směru (z 20 pásem na 35 pásem do 100 km od zdroje), zabudování 3-D meteorologických předpovědních dat a dceřiných produktů v algoritmu stáčení a další (Q3/2008)
- Současná etapa: Q4/2010 a Q1/2011: Deterministické jádro aktuální verze kódu bylo použito při procesu výběru nového jaderného zdroje (NJZ). S touto verzí je nyní proveden přepočít scénáře LB-LOCA publikovaného původně na konferenci [6] a výsledky pro výpočty podle aktuální verze z roku 2010 jsou zde včleněny do výsledků původního srovnávání HAVAR × COSYMA (a případně RODOS) provedeného v [4].

V následujících kapitolách a obrázcích je užito označení HAVAR-SG jako zkratka pro výpočty HAVAR-DET algoritmem SGPM (stáčení).

2 Srovnávací studie dílčích scénářů úniku aktivity s mezinárodními kódy COSYMA resp. RODOS

Až do počátku roku 2006 měli autoři této zprávy možnost oficiálně spolupracovat na lokalizaci evropského systému RODOS (Real-time Online Decision Support systém) verze PV 6.0 na podmínky jaderných zařízení v České republice. Přitom bylo této možnosti využito též ke srovnávacím běhům s HAVAR-DET. Pokud se týká kódu COSYMA, oficiální licence byla zakoupena pro ÚJV Řež, divize ENERGOPROJEKT. V této kapitole 2 stručně zmíníme srovnání kódů pro 3 další dílčí scénáře úniku, na které během vývoje přišly požadavky. Srovnání s důležitým scénářem úniku definovaným pro Melkský proces je uvedeno samostatně v následující kapitole 3.

2.1 Analýza scénáře LB-LOCA

Vstupní parametry aktuálního algoritmu jsou zde naladěny na scénář LB-LOCA z [6] s dalšími zjednodušeními, které si vyžádal kód COSYMA (rovinný terén, uniformní typ povrchu, alespoň základní naladění parametrů ingesčních modelů FARMLAMD a dynamického modelu ENCONAN, ...). Uvádíme nejdůležitější parametry scénáře z [6]:

LB-LOCA source term generated at Skoda-Plzen (total release in Bq):

KR85M	3.5300E+11	KR88	8.0000E+11
RB88	1.4400E+11	I131	1.2800E+11
TE132	2.8900E+08	I132	1.7100E+11
I133	2.5100E+11	XE133	4.0900E+12
I134	2.3700E+11	CS134	3.7000E+10
I135	2.5100E+11	XE135	1.0700E+12
CS136	1.6000E+10	CS137	1.8500E+10
CS138	1.8100E+11		

Because of a certain limitation of the codes, more input data has been simplified and adjusted as close as possible in order to ensure optimum the code capability. The negligible differences remained, but those are not expected to cause remarkable influence on comparison. Uniform terrain approach has been used and the basic input definitions adopted as:

source geometry : **single point**
atm. stability category : **F** (alternatively **D** with rain)
wind speed at 10m : **1.0 m/s** (alt. **5m/s** for **D** cat.)
no. of windrose dir.: **16**
no. of radial distance. : **35** (from 0.666 to 100 km from the source)
terrain orography: **flat**
terrain roughness: **urban type**
dispersion σ_z, σ_y : **exponential KFK-Júlich**
no. of time segments: **1 segment**, total activity is released during 4800 s
with constant intensity
release height: **45 m**
thermal power of release : **0 MW**
vertical velocity of release : **0 m/s**
near-standing build.: **50 m** (width), **44 m** (height)
precipitation: **no** (alternatively **5mm/h** in the whole region for **D** cat.)
mixing height for F cat.: **200 m** (**560 m** for **D** cat.)
release duration : **4 800 s**
critical age group: **adults**

S těmito vstupy byl proveden v roce 2002 výpočet a výsledky byly graficky včleněny do původních grafů v [6], odkud je zde převzato i jejich číslování. V roce 2010 však byly provedeny další výpočty podle aktuální verze algoritmu HAVAR-DET z toho důvodu, aby byla prokázána kontinuita s původními verzemi. Původní grafy tedy rozšiřují křivky označené HAVAR-SG/2010.

2.1.1 SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH RADIOLOGICKÝCH HODNOT PRO SCÉNÁŘ LB-LOCA

K těmto veličinám patří objemové aktivity ve vzduchu, jejich časové integrály, plošné aktivity deponované na zemském povrchu a jejich časové integrály.

a) Kategorie stability F, $u_{10} = 1$ m/s, bez deště

Fig.1: Time integrated near ground activity concentration in air
 near-standing building 50 x 44 m, direction 1, flat terrain,
 uniform landuse (grass) + roughness (0.20m), model KFK - urban

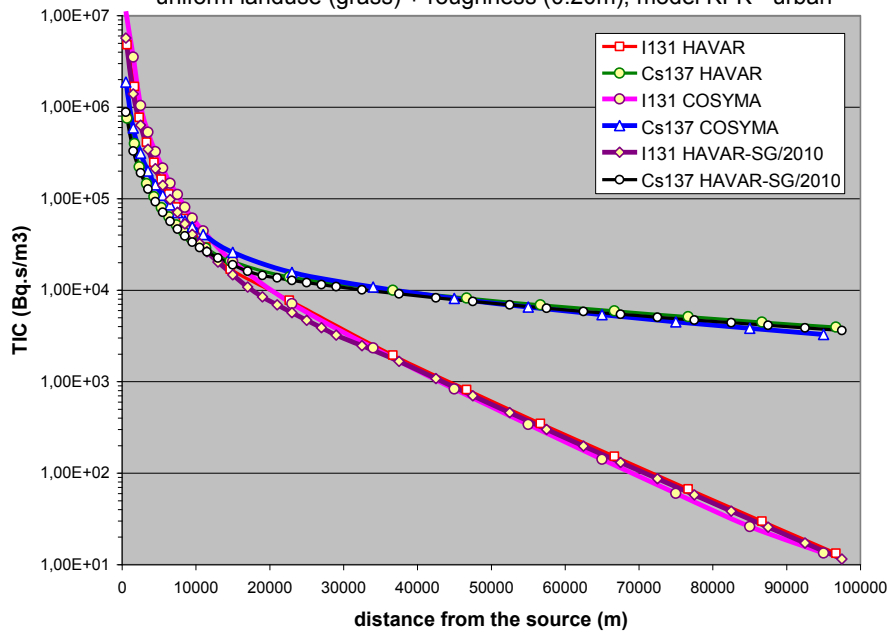
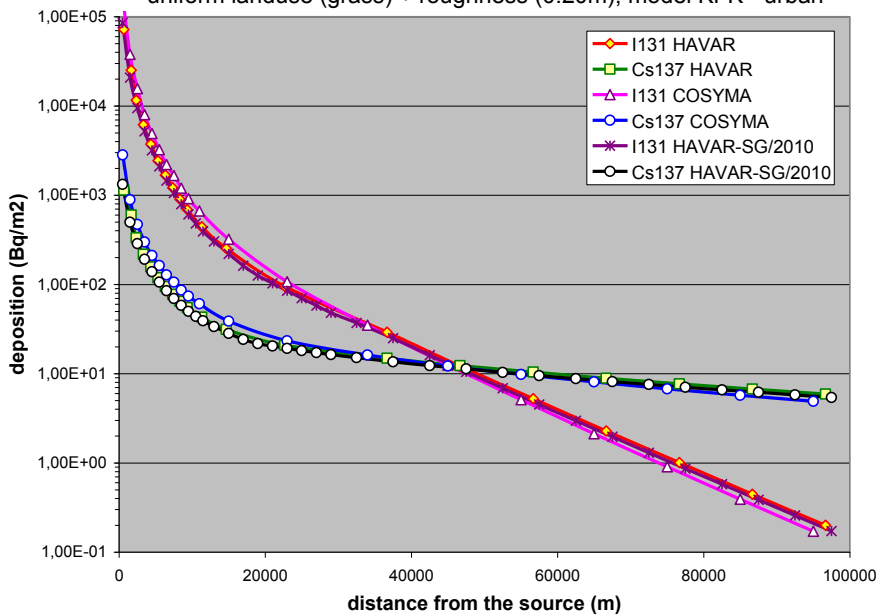


Fig.2: Activity concentration deposited on the ground
 near-standing building 50 x 44 m, direction 1, flat terrain,
 uniform landuse (grass) + roughness (0.20m); model KFK - urban



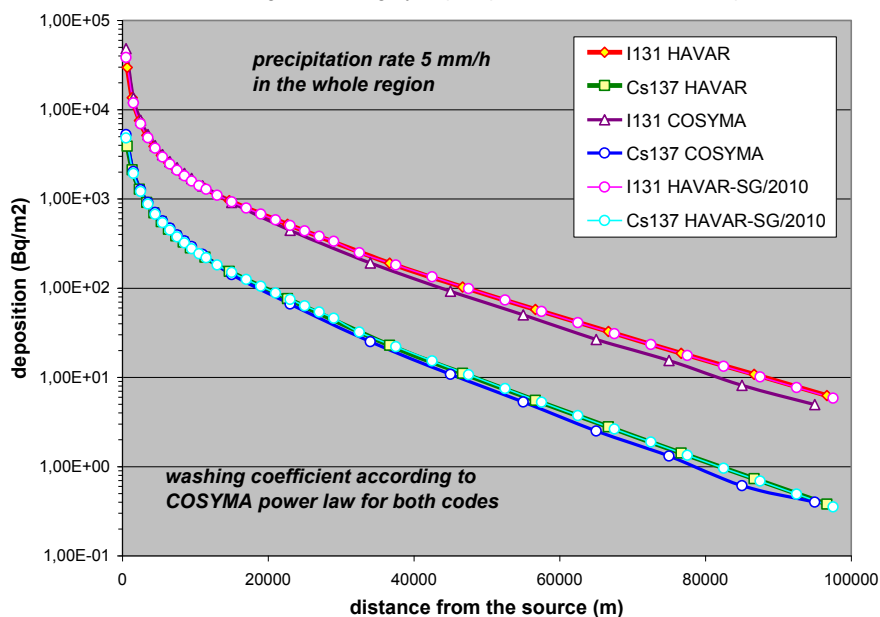
b) Kategorie stability D, $u_{10} = 5$ m/s, dešť 5 mm/h

Mocninný poloempirický vztah pro konstantu vymývání:

$$\Lambda(f, I) = a(f) * I^{b(f)} ; \quad a, b \dots \text{koef. závislé na stabilitě } f$$

$I \dots \dots \text{srážková intenzita (mm/hod)}$

Fig.2a: Activity concentration deposited on the ground
the same as Fig.2; but category D, precipitation rate 5 mm/h, wind speed 5 m/s



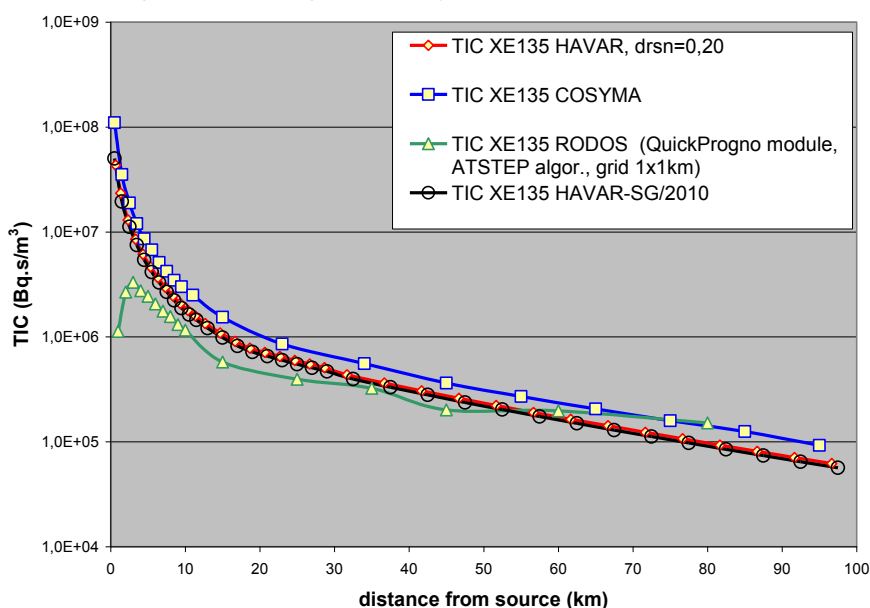
c) Dílčí srovnání čtyř kódů RODOS × HAVAR × HAVAR-SG/2010 × COSYMA

Kategorie stability F, $u_{10} = 1$ m/s, bez deště, jen TIC Xe135 z úniku

Autor této studie se aktivně zúčastnil lokalizace evropského systému RODOS na podmínky ČR. V rámci tohoto přístupu byla mimo jiného provedena dílčí studie šíření radionuklidu Xe135 ze scénáře LB-LOCA i podle verze RODOS PV 5.0F (QuickPrognó modul). Vše je znázorněno na následujícím obrázku Fig.3.

Fig.3: Comparison of COSYMA - HAVAR - RODOS results

Large break-LOCA scenario for 1 puff; release of $1.07E+12$ Bq of Xe135
Near-ground time integrated activity concentration of Xe135 in air [Bq.s.m⁻³]



2.1.2 SROVNÁNÍ NĚKTERÝCH DÁVEK (RESP. JEJICH ÚVAZKŮ)

Tyto hodnoty se počítají ze základních veličin přenásobováním dávkovými konverzními faktory a případnou výpočetně nenáročnou integrací v čase.

Původní přístup používaný v kódu HAVAR byl založen na konzervativní volbě konverzních faktorů. Jak je vidět z tabulky 1 (zde výběr pro 3 nuklidy) nerozlišoval se typ absorpce v plicích a bral se vždy největší koeficient (tučná modrá čísla). To je také důvodem, proč hodnoty 7-denní efektivní dávky pro dospělé na obrázku Fig.4 u původního produktu HAVAR jsou vyšší (podrobněji diskutováno v [2]).

Table 1:

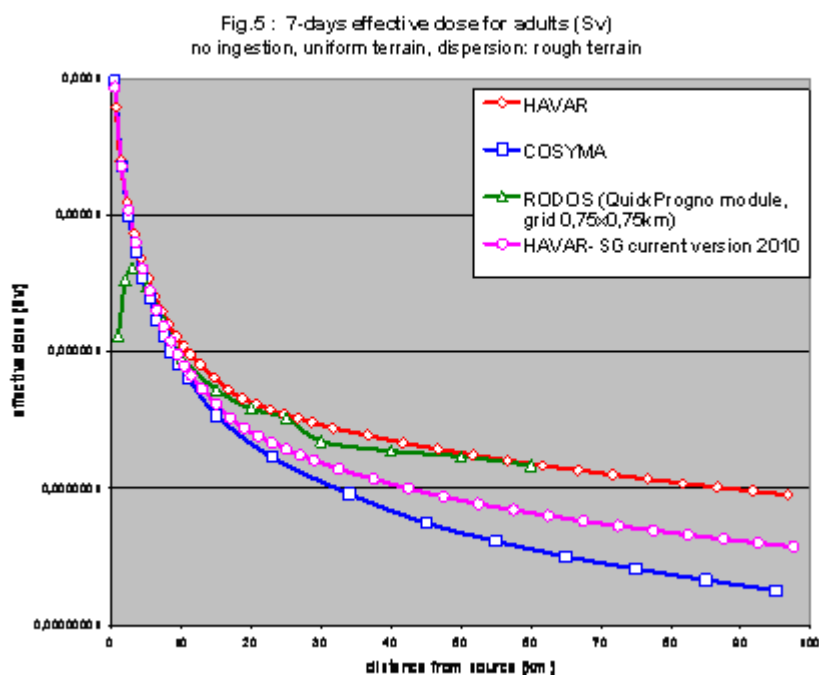
nuclide	Dose conversion coefficient for inhalation (Sv/Bq)		
	fast	medium	slow
I-131a	7.4E-9	2.4E-9	1.6E-9
Cs-134	6.6E-9	9.1E-9	2.0E-8
Cs-137	4.6E-9	9.7E-9	3.8E-8

Od poloviny roku 2003 byly do databáze HAVAR-RP zavedeny nové konverzní faktory podle vyhlášky 307 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost ze dne 13.6.2002 o radiační ochraně. Například u inhalace došlo k podrobnějšímu rozlišení podle typu absorpce v plicích (**F**ast, **M**edium, **S**low) – viz tabulka 2. Z tohoto důvodu také došlo u nové verze HAVAR-DET/2010 z roku 2010 ke snížení konzervatismu. Vše je pro případ úvazku efektivní dávky za 7 dní pro dospělé znázorněno na obrázku Fig.5, a to pro více kódů včetně RODOS.

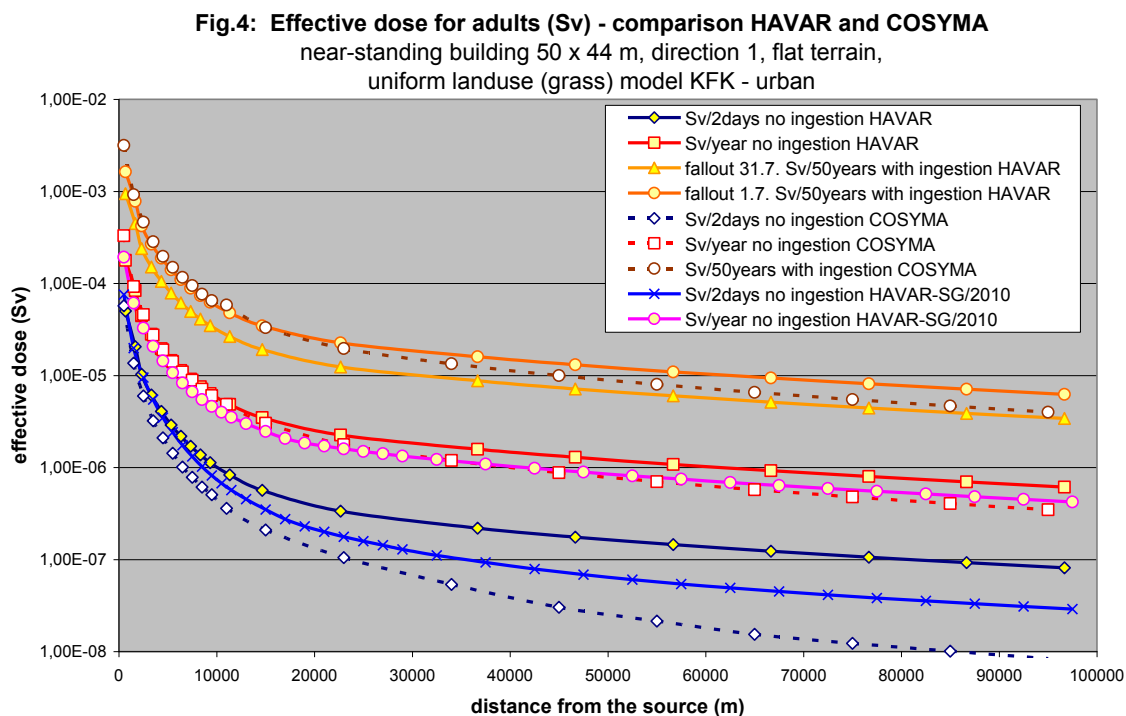
Table 2:

nuclide	Dose conversion coefficient for inhalation (Sv/Bq)		
	fast	medium	slow
I-131a	7.4E-9	2.4E-9	1.6E-9
Cs-134	6.6E-9	9.1E-9	2.0E-8
Cs-137	4.6E-9	9.7E-9	3.8E-8

Scénář k obrázku Fig.5: kategorie stability F, $u_{10} = 1$ m/s, bez deště



Konečně na dalším obrázku Fig.4 jsou některé výsledky rozsáhlého srovnávání úvazků efektivních dávek včetně ingesce. V [2] je vedena diskuse k problematice naladění parametrů ingesčního modelu FARMLAND (užit v COSYMA) s dynamickým modelem ENCONAN (užit v HAVAR-SG s českým lokálním košem spotřeby). Je složité odhalit všechny hodnoty použité v COSYMA (verze 2) a k dalším omezením přistupuje i fakt, že kód COSYMA neposkytuje roční dávku.



Podrobnější srovnávání by si vynutilo přesnější naladění vstupních parametrů a případných poloempirických formulí pro další transport aktivity (scénáře výkrmu hospodářských zvířat, migrace, fixace v půdě, alternativní vztahy pro dlouhodobé ozáření z depozice, vegetační periody vzhledem ke dni spadu v roce, faktory setrvání a odstínění atd.). S tím souvisí i strategie určování potenciálních či očekávaných dávek.

2.2 Vážná havárie se scénářem ETE 1A

Výpočty byly provedeny na základě dotazu se strany SÚJB, kompletní dokumentace je uložena v projektu ETE 1A v FORTRAN POWER STATION development studio. Vstupní data ze souboru HAV00.DAT jsou následující:

```

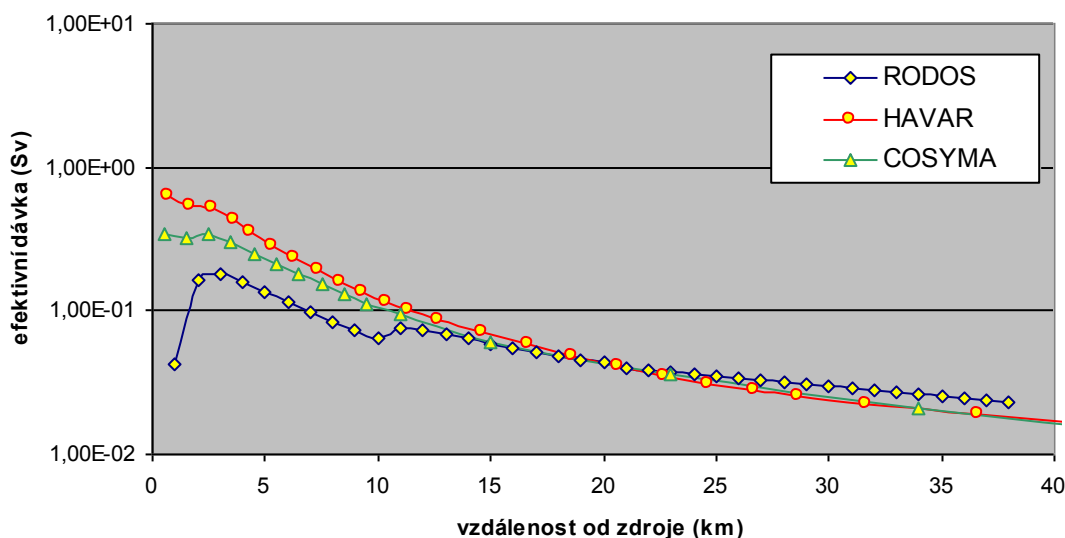
Pozadavek ze SÚJB: 1 rovnomerny puf, nebud., flat, zdroj: z STM-ETE I
21.2.2001: smer 3(Tyn), bez ing, KRK=1,TC=2hod
  1 model,
  3 KPS
 35 35 IX,IX1
  0 IBET
  1 0 KRK, NVYP, TB=0+KRK=1=> depo za cl.
F KV
  45.0 8 SUHEL, NUHEL
 7200.0 180.0 365.0 TB=TC, TSPD=1.7. TING=31.12.
  1.0 OPR
 68000.0 THAV
777 0 0 0 0 KPSSQ(5) - posled nenulovy=>NSEQ
X D D D D KVSQ(5) sekv. pocasi
  00.0 2.0 2.0 2.0 2.0 DOBASQ v hod.
  0.0000 0.200 0.200 0.2000 0.2000 RELAT. 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
 65. H
 507. HNV
  200.0 HS = vyska inverze
F KI = F => bez inverze
F T = ingesce + ING1=1=> SURO
0000. QH
 1.6 D
 00.0 VS
  1.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.0 UK
 50. 75. 00. 75. 10. 35.000. 0. 60. 20. 00. 65. 60. 00. 35. 15.
 44. 23. 00. 41. 66. 66.000. 0. 45. 45. 00. 45. 45. 00. 66. 46.
  5 1 IVEK, MORG
KR85M 2.5917E+17
KR85 1.2124E+16
KR87 2.3446E+17
KR88 5.6810E+17
KR89 2.6236E+14
RB88 1.3151E+14
RB89 1.7607E+14
SR89 2.8000E+14
SR90 1.9567E+13
Y90 1.0378E+12
SR91 2.5660E+14
Y91M 1.9794E+14
Y91 5.1467E+11

```

ZR95	5.3611E+12
NB95	4.2243E+10
ZR97	3.6888E+12
NB97	5.4410E+11
MO99	6.6200E+08
TC99M	6.1930E+08
TC99	1.3990E+00
RU103	2.6465E+11
RU105	8.6130E+10
RH105	1.0675E+11
RU106	9.6780E+10
RH106	9.6781E+10
TE127M	1.9601E+14
TE127	1.1517E+15
TE129M	1.1145E+15
TE129	1.9545E+15
TE131M	1.2624E+15
TE131	2.1184E+14
TE132	1.7433E+16
I132A	7.1028E+15
I131O	1.4182E+15
I131	1.2807E+16
I132O	1.2264E+15
I132	1.1079E+16
I133O	2.7189E+15
I133	2.4503E+16
I134O	9.1232E+14
I134	8.2133E+15
I135O	2.4183E+15
I135	2.1743E+16
XE133	2.8162E+18
XE135	7.8241E+17
XE138	3.1636E+16
CS134	2.6564E+15
CS136	1.3529E+15
CS137	1.3586E+15
CS138	3.4934E+15
BA140	5.2374E+14
LA140	4.3283E+13
CE144	3.5297E+12
PR144	3.4875E+12
KONEC	

Následující obrázek ukazuje sedmidenní efektivní dávku generovanou všemi třemi programy, přičemž bylo vybráno 15 nejvýznamnějších nuklidů.

Efektivní dávky (Sv) za 7 dní (bez ingesce)
srovnání RODOS x HAVAR x COSYMA (var. ETE1a -15 nukl.)



2.3 Testování efektu významného zastoupení vzácného plynu Xe-133 ve scénáři SKODA-Plzen_Xe133

Počátkem roku 2006 byla vedena diskuse k ujasnění efektu Xe-133 majícího převažující zastoupení v jednom partikulárním scénáři úniku definovaného na základě podkladů generovaných v Plzni. Uvádíme stručný popis procesu archivovaného v prostředí FORTRAN POWER STATION systému HAVAR-SG. Bylo prováděno srovnání prostorového rozložení časových integrálů objemové aktivity nuklidu Xe-133 v přízemní vrstvě vzduchu a dávky z externího ozáření od postupujícího radioaktivního mraku tvořeného Xe-133.

Srovnání TIC a cloudshine pro jediný nuklid Xe-133

Srovnávané programové systémy:

HAVAR-SG x **RODOS PV 5.0** x **COSYMA**

Převzaty některé údaje z výpočtů Škoda-JE, leden 2006:

Únik Xe-133: $1.44E+15$ Bq (Xe-133 tvoří 92 % cloudshine ze směsi vzácných plynů ze Škoda zadání – viz koláče HARP)

Model rozptylu: KFK (drsný terén, v RODOS =2 (lesy + zástavba))

Trvání úniku : 2 hodiny

Vertikální rychlost : 0 m/s

Vydatnost QH=0 kW

Výška úniku: 36.9 m

$U_{10} = 2$ m/s (viz meteofile : meteo.wea)

.... více: viz příložený vstup do Baliky: hin00.dat (vytvořen v panelech Havin)

Některé výsledky z výpočtů RODOS PV 5.0 (kompletní výsledky na pracovní stanici MLOK v UTIA).

Dále uveden opis textových výsledků a grafů z grafického prostředí UNIX.

GraphicsId: XeKFK.old/QuickProgno_222

Layer: XeKFK.old/Rad&Doses/CloudDoseSum

Name: At time 2006/01/26_13:14:00\npot. cloud gamma organ dose

SubLayers: {Lung ;Bonemarw;Thyroid ;Uterus ;effectiv}

Selected: effectiv

Description:

RunID: XeKFK

Blockname : TEMELIN

Run performed by : rodos

Run performed at : 25.01.2006 13:14 | 1

Operation mode : normal (Exercise)

Running state : interactive <Prognosis>

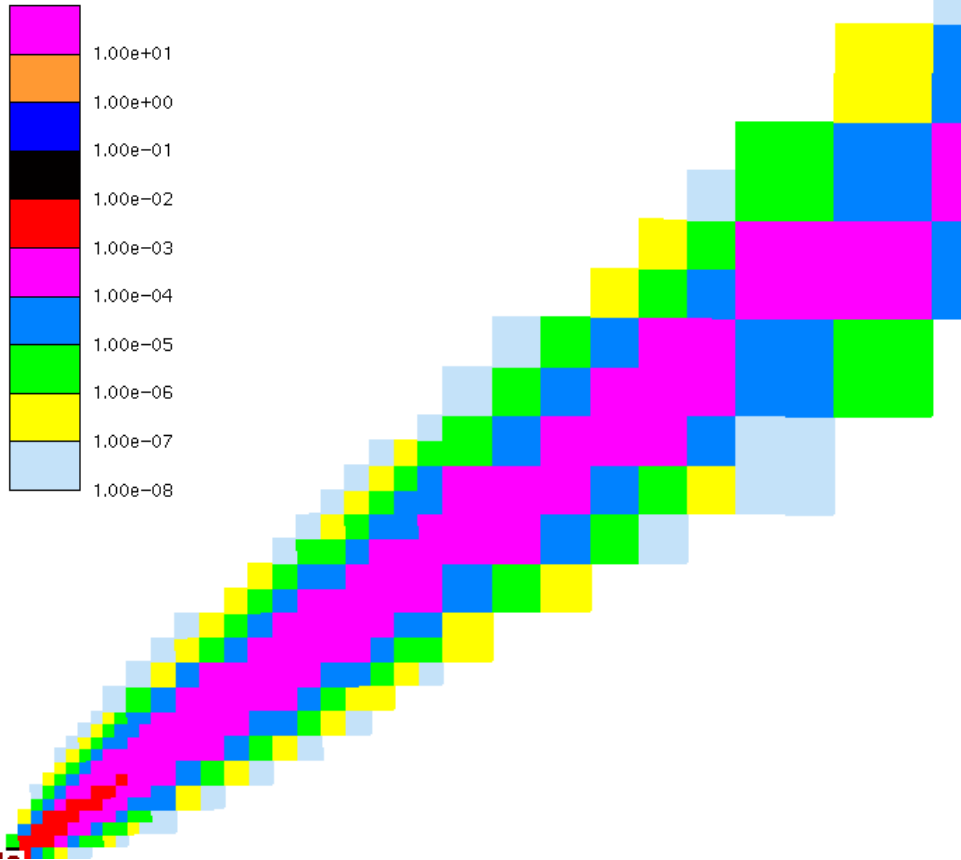
Time of reactor shutdown : no event

Release time : 25.1.06 13:14

Prognosis period : 25.1.06 13:14 - 26.1.06 13:14

Na následujícím obrázku je uvedeno hard-copy výsledků běhu RODOS z grafického prostředí UNIX.

At time 2006/01/26_13:14:00
 pot. cloud gamma organ dose
 mSv



Zadání vstupních dat pro výpočty pomocí HAVAR-DET:

A. HIN00.DAT (popis struktury je v [7]):

```

Skoda Plzen - 1 noble nukl Xe-133; 1 seg 2 hod, H=36.9
25. ledna 2006, meteo = konst, 25.1. : KFK; budovy ano
2
3
35 35
0 0 1
1 0
F 0
45.0 8
86400. 180.0 180.0
1.0
2.0000
3
2.0000
F
2.0000
0.0
0.0
36.9
100.
507.
200.0
F
  
```

```

T      1
      0.0
      1.6
      0.0
1.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.0
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
0
0
      0.00070      0.00150      0.00200      0.00750      0.00050
      0.00080      0.00250      0.00300      0.00850      0.00080
      0.00100      0.01500      0.02000      0.07300      0.00500
      0.00050      0.00015      0.00020      0.00075      0.00050

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
XE133      1.44E+15
KONEC

```

B) Soubor hodinových předpovědí počasí METEO.WEA:

```

METEOSEKVENCE - Skoda Plzeň, 25. leden 2006
1.00      0.00      247.50      2.00      F      0.00      76.00
1.00      1.00      247.50      2.00      F      0.00      109.00
1.00      2.00      247.50      2.00      F      0.00      143.00
1.00      3.00      247.50      2.00      F      0.00      176.00
1.00      4.00      247.50      2.00      F      0.00      210.00
1.00      5.00      247.50      2.00      F      0.00      243.00
1.00      6.00      247.50      2.00      F      0.00      277.00
1.00      7.00      247.50      2.00      F      0.00      440.00
1.00      8.00      247.50      2.00      F      0.00      604.00
1.00      9.00      247.50      2.00      F      0.00      768.00
1.00      10.00      247.50      2.00      F      0.00      931.00
1.00      11.00      247.50      2.00      F      0.00      1095.00
1.00      12.00      247.50      2.00      F      0.00      1259.00
1.00      13.00      247.50      2.00      F      0.00      1156.00
1.00      14.00      247.50      2.00      F      0.00      1054.00
1.00      15.00      247.50      2.00      F      0.00      951.00
1.00      16.00      247.50      2.00      F      0.00      849.00
1.00      17.00      247.50      2.00      F      0.00      746.00
1.00      18.00      247.50      2.00      F      0.00      644.00
1.00      19.00      247.50      2.00      F      0.00      638.00
1.00      20.00      247.50      2.00      F      0.00      633.00
1.00      21.00      247.50      2.00      F      0.00      628.00
1.00      22.00      247.50      2.00      F      0.00      623.00
1.00      23.00      247.50      2.00      F      0.00      618.00
1.00      24.00      247.50      2.00      F      0.00      613.00
1.00      25.00      247.50      2.00      F      0.00      665.00
1.00      26.00      247.50      2.00      F      0.00      718.00
1.00      27.00      247.50      2.00      F      0.00      771.00
1.00      28.00      247.50      2.00      F      0.00      824.00
1.00      29.00      247.50      2.00      F      0.00      877.00
1.00      30.00      247.50      2.00      F      0.00      930.00
1.00      31.00      247.50      2.00      F      0.00      977.00
1.00      32.00      247.50      2.00      F      0.00      1025.00
1.00      33.00      247.50      2.00      F      0.00      1073.00
1.00      34.00      247.50      2.00      F      0.00      1120.00
1.00      35.00      247.50      2.00      F      0.00      1168.00

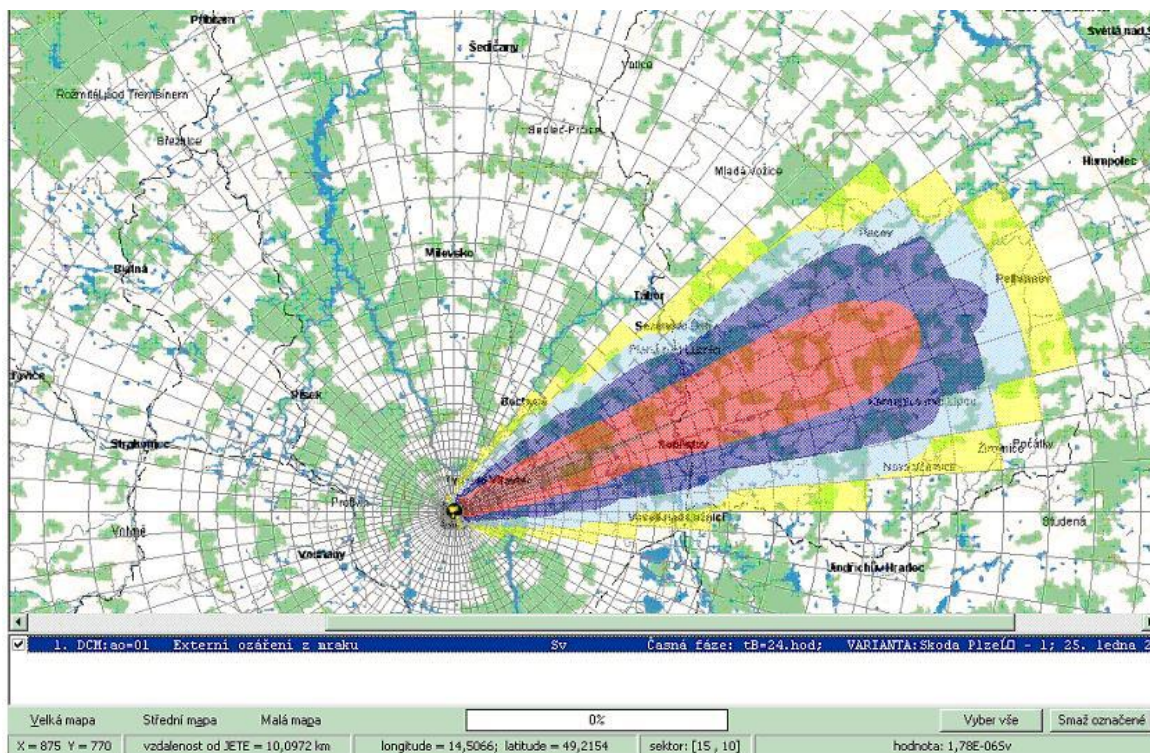
```

Následující tabulka uvádí některé hlavní výsledky:

Veličina	km 5	km 10	km 20	km 50
RODOS: CloudDoseEffective [Sv]	3.69E-6	1.22E-6	5.17E-7	2.94E-7
COSYMA: (org=EN) [Sv]	3.22E-6 (km=4.5)	1.49E-6 (km=9.5)	7.62E-7 (km=23)	4.08E-7 (km=55)
HAVAR-SG : γ -ozáření z mraku [Sv]	4.40E-6	1.82E-6	9.46E-7	4.66E-7
RODOS: TIC Xe-133 [Bq.s/m ³]	1.88E+9	8.42E+8	4.05E+8	2.30E+8
COSYMA: TIC Xe-133 [Bq.s/m ³]	4.37+E9 (km=4.5)	1.61+E9 (km=9.5)	5.57E+8 (km=23)	2.98E+8 (km=55)
HAVAR-SG : TIC Xe-133 [Bq.s/m ³]	2.79E+9	1.20E+9	4.90E+8	2.96E+8

Pozn.: hodnoty v tabulkách jsou získány odečtem z polohy kurzoru na izopletech; možná chyba je určitě < 10 %); numerické hodnoty jsou archivovány (pro RODOS výpočty je to běh XeKFK na pracovní stanici MLOK v UTIA). Výsledky COSYMA jsou odečteny z LPT souboru z podrobných numerických růžic.

Následující obrázek ukazuje distribuci externího ozáření z mraku v okamžiku přesně 8 hodin od počátku šíření radioaktivity Xe-133.



3 Dopočet scénáře česko-rakouského cvičení STEP-II b algoritmem segmentovaného modelu SGPM

Na základě bodu 7a „Cestovní mapy“ Bruselských dohod v rámci bilaterálních dohod mezi vládami Rakouska a České Republiky (dohody z Melku) byly v několika etapách provedeny srovnávací výpočty šíření radionuklidů po nehodách v JE, a to českými, slovenskými, rakouskými programy a evropským programem COSYMA.

V rámci společného česko-rakouského cvičení STEP-II b „Realistic Case Studies“, jehož výsledky byly prezentovány na jednání ve Vídni v dubnu 2003, byly provedeny srovnávací výpočty šíření radionuklidů v hypotetickém případě těžké havárie v JE Temelín se zdrojovým členem ST2 z knihovny programu RODOS pro JE typu VVER1000 a pro 2 reálné meteorologické situace. Podrobné výpočty byly v té době provedeny i původním programem HAVAR pro přímočaré šíření umožňujícím jen částečně a neúplně simulovat zadané proměnné meteorologické podmínky. Po zprovoznění segmentovaného algoritmu SGPM v roce 2005 bylo zadání pro cvičení STEP-II b přepočteno ex-post a dodatečně provedeno zhodnocení.

V této kapitole jsou publikovány výsledky výpočtů algoritmem SGPM pro vstupní data podle zadání pro uvedené společné česko-rakouské cvičení STEP-II b. Dále je zde zdokumentováno ověření funkčnosti nového algoritmu gaussovského modelu vlečky segmentovaného podle hodinových meteorologických sekvencí.

3.1 Stručný popis scénáře havárie

Hypotetická těžká havárie je iniciována následující kombinací událostí:

- Ztráta chladiva z chladné větve primárního okruhu způsobená prasknutím potrubí s maximálním průměrem 850 mm
- Ztráta napájení vlastní spotřeby
- Výpadek dieselgenerátorů systému zajištěného napájení
- Výpadek 2 hydroakumulátorů.

Tato kombinace událostí předpokládá ztrátu chladiva, tavení paliva a parní explozi, která zapříčiní ztrátu těsnosti kontejnmentu velkého rozsahu.

3.2 Zdrojový člen

Bylo doporučeno počítat 3 nebo 6 zdrojových členů:

- Před explozí (0 – 1 hod)
- Při parní explozi (1 – 2 hod)
- Po explozi (2 – 6 hod, po této době již neuniká žádná radioaktivita)

Únik radioaktivity do atmosféry jako frakce aktivity v aktivní zóně VVER1000

Nuclide group	Time 0 - 1 h (before steam explosion)	Time 1 - 2 h (steam explosion)	Time 2 - 3 h	Time 3 - 4 h	Time 4 - 5 h	Time 5 - 6 h	Total (0 – 6 h)
Xe, Kr	5.0E-05	7.0E-01	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	0.86
I, Br	5.0E-05	7.0E-01	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	4.0E-02	0.86
Cs, Rb	4.0E-06	4.5E-01	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	0.46
Te, Sb	4.0E-06	2,9E-01	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	1.0E-02	0.33
Sr, Ba	2.0E-06	6.0E-02	2.5E-04	2.5E-04	2.5E-04	2.5E-04	0.06
Ru, Mo	0.00E+00	3.7E-01	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	0.38
La, Zr, Y, Ce	0.00E+00	2.0E-03	7.5E-05	7.5E-05	7.5E-05	7.5E-05	2.3E-03

Předpokládá se efektivní výška úniku 100 m.

Rakouská strana navrhl vytvoření tabulky unikající radioaktivity pro 27 radionuklidů, aby nedošlo k nedorozumění ohledně skupin nuklidů.

Zdrojový člen ST2 z knihovny RODOS

No.	Radio-nuclide	Half-life	Core inventory (VVER-1000) (Bq)	Release fraction	Activity released between 0-1 h (Bq)	Release fraction	Activity released between 1-2 h (Bq)	Release fraction	Activity released between 2-6 h (Bq)
				0-1 h	1-2 h	2-6 h			
1	Kr-85m	4,4 h	6,66E+17	5,00E-05	3,33E+13	7,00E-01	4,66E+17	1,60E-01	1,07E+17
2	Kr-87	76 min	1,41E+18	5,00E-05	7,03E+13	7,00E-01	9,84E+17	1,60E-01	2,25E+17
3	Kr-88	2,8 h	2,07E+18	5,00E-05	1,04E+14	7,00E-01	1,45E+18	1,60E-01	3,32E+17

No.	Radio-nuclide	Half-life	Core inventory (VVER-1000) (Bq)	Release fraction	Activity released between 0-1 h (Bq)	Release fraction	Activity released between 1-2 h (Bq)	Release fraction	Activity released between 2-6 h (Bq)
				0-1 h	1-2 h	2-6 h			
4	Sr-89	52,7 day	2,25E+18	2,00E-06	4,49E+12	6,00E-02	1,35E+17	1,00E-03	2,25E+15
5	Sr-90	27,7 day	2,41E+17	2,00E-06	4,82E+11	6,00E-02	1,45E+16	1,00E-03	2,41E+14
6	Y-91	64 day	3,25E+19	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-03	6,50E+16	3,00E-04	9,75E+15
7	Zr-95	65,5 day	4,44E+18	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-03	8,88E+15	3,00E-04	1,33E+15
8	Mo-99	66,7 h	5,67E+18	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	2,10E+18	8,00E-03	4,54E+16
9	Ru-103	39,5 day	4,85E+18	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	1,80E+18	8,00E-03	3,88E+16
10	Ru-106	368 day	1,62E+18	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	6,01E+17	8,00E-03	1,30E+16
11	Sb-127	92 h	2,66E+17	4,00E-06	1,06E+12	2,90E-01	7,71E+16	4,00E-02	1,06E+16
12	Sb-129	4,34 h	1,02E+18	4,00E-06	4,06E+12	2,90E-01	2,94E+17	4,00E-02	4,06E+16
13	I-131	8,06 day	3,14E+18	5,00E-05	1,57E+14	7,00E-01	2,20E+18	1,60E-01	5,03E+17
14	Te-131m	30 h	6,16E+17	4,00E-06	2,46E+12	2,90E-01	1,79E+17	4,00E-02	2,46E+16
15	I-132	2,26 h	4,55E+18	5,00E-05	2,28E+14	7,00E-01	3,19E+18	1,60E-01	7,28E+17
16	Te-132	77,7 h	4,49E+18	4,00E-06	1,80E+13	2,90E-01	1,30E+18	4,00E-02	1,80E+17
17	I-133	20,9 h	6,39E+18	5,00E-05	3,20E+14	7,00E-01	4,47E+18	1,60E-01	1,02E+18
18	Xe-133	5,29 day	6,42E+18	5,00E-05	3,21E+14	7,00E-01	4,49E+18	1,60E-01	1,03E+18
19	I-134	52 min	7,02E+18	5,00E-05	3,51E+14	7,00E-01	4,92E+18	1,60E-01	1,12E+18
20	Cs-134	2,2 y	5,25E+17	4,00E-06	2,10E+12	4,50E-06	2,36E+17	1,00E-02	5,25E+15
21	I-135	6,7 h	6,01E+18	5,00E-05	3,00E+14	7,00E-01	4,20E+18	1,60E-01	9,61E+17
22	Xe-135	9,2 h	1,37E+18	5,00E-05	6,83E+13	7,00E-01	9,56E+17	1,60E-01	2,18E+17
23	Cs-136	13 day	1,26E+17	4,00E-06	5,04E+11	4,50E-01	5,67E+16	1,00E-02	1,26E+15
24	Cs-137	30 y	3,29E+17	4,00E-06	1,32E+12	4,50E-01	1,48E+17	1,00E-02	3,29E+15
25	Ba-140	12,8 day	5,46E+18	2,00E-06	1,09E+13	6,00E-02	3,28E+17	1,00E-03	5,46E+15
26	La-140	40,27 h	4,99E+18	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-03	9,97E+15	3,00E-04	1,50E+15
27	Ce-144	284 day	3,31E+18	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-03	6,62E+15	3,00E-04	9,93E+14

Pro výpočty původním programem HAVAR s omezením na maximální počet 5 segmentů úniku byl původní počet segmentů redukován na 5, jak je znázorněno v následující tabulce.

Upravený zdrojový člen (Bq) pro výpočty programem HAVAR-SG

Nuclide	0-1 hod	1-2 hod	2-3 hod	3-5 hod	5-6 hod
Kr-85m	3,33E+13	4,66E+17	2,68E+16	5,35E+16	2,68E+16
Kr-87	7,03E+13	9,84E+17	5,63E+16	1,13E+17	5,63E+16
Kr-88	1,04E+14	1,45E+18	8,30E+16	1,66E+17	8,30E+16
Sr-89	4,49E+12	1,35E+17	5,63E+14	1,13E+15	5,63E+14
Sr-90	4,82E+11	1,45E+16	6,03E+13	1,21E+14	6,03E+13
Y-91	0,00E+00	6,50E+16	2,44E+15	4,88E+15	2,44E+15
Zr-95	0,00E+00	8,88E+15	3,33E+14	6,65E+14	3,33E+14
Mo-99	0,00E+00	2,10E+18	1,14E+16	2,27E+16	1,14E+16
Ru-103	0,00E+00	1,80E+18	9,70E+15	1,94E+16	9,70E+15
Ru-106	0,00E+00	6,01E+17	3,25E+15	6,50E+15	3,25E+15
Sb-127	1,06E+12	7,71E+16	2,65E+15	5,30E+15	2,65E+15
Sb-129	4,06E+12	2,94E+17	1,02E+16	2,03E+16	1,02E+16
Te-131m	2,46E+12	1,79E+17	6,15E+15	1,23E+16	6,15E+15

Nuclide	0-1 hod	1-2 hod	2-3 hod	3-5 hod	5-6 hod
I-131A	8,00E+12	1,10E+17	6,50E+15	1,30E+16	6,50E+15
I-131O	8,00E+12	1,10E+17	6,50E+15	1,30E+16	6,50E+15
I-131	1,41E+14	1,98E+18	1,13E+17	2,26E+17	1,13E+17
Te-132	1,80E+13	1,30E+18	4,50E+16	9,00E+16	4,50E+16
I-132A	1,15E+13	1,60E+17	9,00E+15	1,80E+16	9,00E+15
I-132O	1,15E+13	1,60E+17	9,00E+15	1,80E+16	9,00E+15
I-132	2,05E+14	2,87E+18	1,64E+17	3,28E+17	1,64E+17
I-133A	1,60E+13	2,25E+17	1,25E+16	2,50E+16	1,25E+16
I-133O	1,60E+13	2,25E+17	1,25E+16	2,50E+16	1,25E+16
I-133	2,88E+14	4,02E+18	2,30E+17	4,60E+17	2,30E+17
Xe-133	3,21E+14	4,49E+18	2,58E+17	5,15E+17	2,58E+17
I-134A	1,75E+13	2,45E+17	1,40E+16	2,80E+16	1,40E+16
I-134O	1,75E+13	2,45E+17	1,40E+16	2,80E+16	1,40E+16
I-134	3,16E+14	4,43E+18	2,52E+17	5,04E+17	2,52E+17
Cs-134	2,10E+12	2,36E+17	1,31E+15	2,63E+15	1,31E+15
I-135A	1,50E+13	2,10E+17	1,20E+16	2,40E+16	1,20E+16
I-135O	1,50E+13	2,10E+17	1,20E+16	2,40E+16	1,20E+16
I-135	2,70E+14	3,78E+18	2,16E+17	4,32E+17	2,16E+17
Xe-135	6,83E+13	9,56E+17	5,45E+16	1,09E+17	5,45E+16
Cs-136	5,04E+11	5,67E+16	3,15E+14	6,30E+14	3,15E+14
Cs-137	1,32E+12	1,48E+17	8,23E+14	1,65E+15	8,23E+14
Ba-140	1,09E+13	3,28E+17	1,37E+15	2,73E+15	1,37E+15
La-140	0,00E+00	9,97E+15	3,75E+14	7,50E+14	3,75E+14
Ce-144	0,00E+00	6,62E+15	2,48E+14	4,97E+14	2,48E+14

Po výpočtu této úlohy původním programem HAVAR pro přímočaré šíření bylo provedeno vyhodnocení příspěvku jednotlivých radionuklidů k roční efektivní dávce (dávka od externího ozáření a její úvazek od ročního vnitřního příjmu aktivity). Do výpočtu pomocí SGPM bylo vybráno 12 radionuklidů, jejichž příspěvek byl větší než 1 %. Tyto radionuklidy a jejich aktivity v jednotlivých časových intervalech uvádí následující soubor *ST2_RODOS_cut.svn*, který vznikl po výběru 12 radionuklidů a vložení hodnot jejich aktivit do příslušného panelu vstupního subsystému *havar.exe*:

Zdrojový člen ST2 z RODOS, výběr nuklidů s eff. příspěvkem >1%,

11. června 2005; 5 segmentů úniku

Trvání fází úniku (hodiny):

1.0000 1.0000 1.0000 2.0000 1.0000

Energie úniku ve fázích (kW):

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

Vertikální rychlost výtoku (m/s):

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

Výška úniku ve fázích (m):

99.0 99.0 99.0 99.0 99.0

Nuklidy a uniklé aktivity [Bq]:

KR88	1.04E+14	1.45E+18	8.30E+16	1.66E+17	8.30E+16
SR90	4.82E+11	1.45E+16	6.03E+13	1.21E+14	6.03E+13
MO99	0.00E+00	2.10E+18	1.14E+16	2.27E+16	1.14E+16
RU103	0.00E+00	1.80E+18	9.70E+15	1.94E+16	9.70E+15
RU106	0.00E+00	6.01E+17	3.25E+15	6.50E+15	3.25E+15
TE132	1.80E+13	1.30E+18	4.50E+16	9.00E+16	4.50E+16
I131	1.41E+14	1.98E+18	1.13E+17	2.27E+17	1.13E+17
I133	2.88E+14	4.02E+18	2.30E+17	4.60E+17	2.30E+17
I135	2.70E+14	3.78E+18	2.16E+17	4.32E+17	2.16E+17
CS134	2.10E+12	2.36E+17	1.31E+15	2.63E+15	1.31E+15
CS137	1.32E+12	1.48E+17	8.23E+14	1.65E+15	8.23E+14
BA140	1.09E+13	3.28E+17	1.37E+15	2.73E+15	1.37E+15

3.3 Výběr meteorologických sekvencí

Pro srovnávací výpočty byly zvoleny 2 reálné meteorologické situace:

1. Case 1 - release 29.07.2001

V tomto případě začíná meteosekvence o 9 hodin dříve než únik.

Start of the release = 21:00, 29.07.01

Data from forecasted wind field (Czech Hydro-Meteorological Institut).

Values since 12:00 29.07.01 (=1.line) up to 12:00 31.07.01 (= the last line)

1. column = wind direction in degrees
2. column = stability category according to Pasquill (1= A, 2 = B, 3= C, 4 = D, 5 = E, 6 = F)
3. column = rain rate in mm/h x 100, i.e. 62 means 0.62mm/h, etc.
4. column = wind rate in m/s x 100, i.e. 56 means 0.56 m/s
5. column = height of the mixing layer in m, i.e. 88 means 88 m

2. Case 2 - release 28.06.2002

Start of the release = 00:00, 28.06.02

Data from forecasted wind field (Czech Meteorological Inst.).

Values since 00:00 28.06.02 (=1.line) up to 00:00 30.06.02 (= the last line)

- 1.column = wind direction in degrees
2. column = stability category according to Pasquill (1= A, 2= B, etc.)
3. column = rain rate in mm/h x 100, i.e. 3 means 0.03 mm/h, etc.
4. column = wind rate in m/s x 100, i.e. 131 means 1.31 m/s
5. column = height of the mixing layer in m, i.e. 76 means 76 m

Vzhledem k tomu, že meteorologické údaje uvádějí vždy směr **odkud** vane vítr, je nutno pro výpočet dávek tyto údaje přetransponovat do příslušných sektorů. Tzn., fouká-li vítr od severu, provádí se výpočet objemových aktivit, depozic a dávek v jižním sektoru. Po vložení příslušných údajů do záložky *Meteorologické sekvence* vstupního subsystému

havar (podrobně v [8] a uložení do archivu meteosekvencí získáme soubory *Melk_case1.wea* a *Melk_case2.wea*.

Soubor *Melk_case1.wea*:

METEOSEKVENCE: *Melk_case1*

1.00	0.00	356.00	2.30	E	0.75	159.00	time=12:00 29.07.01
1.00	1.00	351.00	2.02	E	0.75	138.00	time=13:00 29.07.01
1.00	2.00	346.00	1.75	F	0.75	117.00	time = etc.
1.00	3.00	341.00	1.48	F	0.01	97.00	
1.00	4.00	341.00	1.60	F	0.01	116.00	
1.00	5.00	340.00	1.72	F	0.01	136.00	
1.00	6.00	340.00	1.84	F	0.01	155.00	
1.00	7.00	340.00	1.96	F	0.01	175.00	
1.00	8.00	339.00	2.08	D	0.01	195.00	
1.00	9.00	339.00	2.20	D	0.00	215.00	
1.00	10.00	336.00	2.23	D	0.00	302.00	
1.00	11.00	334.00	2.26	D	0.00	390.00	
1.00	12.00	331.00	2.28	D	0.00	477.00	
1.00	13.00	328.00	2.31	C	0.00	565.00	
1.00	14.00	326.00	2.34	B	0.00	653.00	
1.00	15.00	323.00	2.36	A	0.00	741.00	
1.00	16.00	317.00	2.29	B	0.00	645.00	
1.00	17.00	310.00	2.21	C	0.00	550.00	
1.00	18.00	304.00	2.14	D	0.00	454.00	
1.00	19.00	298.00	2.06	D	0.00	359.00	
1.00	20.00	291.00	1.99	D	0.00	263.00	
1.00	21.00	285.00	1.91	F	0.00	168.00	
1.00	22.00	281.00	1.81	F	0.00	153.00	
1.00	23.00	276.00	1.72	F	0.00	139.00	
1.00	24.00	272.00	1.62	F	0.00	125.00	
1.00	25.00	267.00	1.53	F	0.00	110.00	
1.00	26.00	263.00	1.43	F	0.00	96.00	
1.00	27.00	258.00	1.34	F	0.00	82.00	
1.00	28.00	260.00	1.40	F	0.00	99.00	
1.00	29.00	261.00	1.47	F	0.00	116.00	
1.00	30.00	263.00	1.54	F	0.00	134.00	
1.00	31.00	264.00	1.60	F	0.00	151.00	
1.00	32.00	266.00	1.67	F	0.00	168.00	
1.00	33.00	267.00	1.73	F	0.00	186.00	
1.00	34.00	268.00	1.75	F	0.00	305.00	
1.00	35.00	270.00	1.77	F	0.00	425.00	

Soubor *Melk_case2.wea*:

METEOSEKVENCE *Melk case 2*

1.00	0.00	234.00	1.31	F	0.03	76.00	time=00:00, 28.06.02
1.00	1.00	250.00	1.48	F	0.03	109.00	time=01:00, 28.06.02
1.00	2.00	267.00	1.65	F	0.03	143.00	time=02:00, 28.06.02
1.00	3.00	283.00	1.82	F	0.03	176.00	time=etc.
1.00	4.00	300.00	1.99	F	0.03	210.00	
1.00	5.00	316.00	2.16	D	0.03	243.00	
1.00	6.00	333.00	2.33	D	0.07	277.00	
1.00	7.00	325.00	2.31	C	0.07	440.00	
1.00	8.00	317.00	2.28	C	0.07	604.00	
1.00	9.00	309.00	2.25	C	0.07	768.00	
1.00	10.00	301.00	2.23	B	0.07	931.00	
1.00	11.00	293.00	2.20	B	0.07	1095.00	
1.00	12.00	285.00	2.18	B	0.07	1259.00	
1.00	13.00	284.00	2.42	B	0.07	1156.00	
1.00	14.00	280.00	2.66	C	0.07	1054.00	
1.00	15.00	278.00	2.89	C	0.07	951.00	
1.00	16.00	276.00	3.13	D	0.07	849.00	
1.00	17.00	274.00	3.37	D	0.07	746.00	
1.00	18.00	275.00	3.61	D	0.01	644.00	
1.00	19.00	275.00	3.63	D	0.01	638.00	

1.00	20.00	274.00	3.65	D	0.01	633.00
1.00	21.00	276.00	3.66	D	0.01	628.00
1.00	22.00	276.00	3.68	D	0.01	623.00
1.00	23.00	276.00	3.70	D	0.01	618.00
1.00	24.00	277.00	3.72	D	0.00	613.00
1.00	25.00	277.00	3.74	D	0.00	665.00
1.00	26.00	277.00	3.77	D	0.00	718.00
1.00	27.00	277.00	3.79	D	0.00	771.00
1.00	28.00	277.00	3.82	D	0.00	824.00
1.00	29.00	276.00	3.85	C	0.00	877.00
1.00	30.00	276.00	3.87	C	0.10	930.00
1.00	31.00	275.00	3.85	B	0.10	977.00
1.00	32.00	274.00	3.83	B	0.10	1025.00
1.00	33.00	272.00	3.80	B	0.10	1073.00
1.00	34.00	271.00	3.78	B	0.10	1120.00
1.00	35.00	269.00	3.76	B	0.10	1168.00

3.4 Spotřební koše

Dále byly do výpočtu zadány spotřební koše pro ČR a pro Rakousko.

Consumption values in the Czech Republic, in 1996, in kg/(person*year)

Product [kg, l / y]	Consumption rate [kg/yr] or [l/yr]
cow milk	58,5
other milk products	144,0
beef	18,5
pork	49,2
poultry	13,6
raw meats, others	4,0
white bread	43,0
other bread	58,4
potatoes	77,2
other vegetables	79,5
mushrooms	0,2
fruits	59,0
eggs	14,4
sugar	39,5

The fraction of consumption of individual food production (% of total consumption)

	meat %	cow milk %	other dairy products %	vegetables %	fruits %
general population average	23	1,5	0,02	29	32
farmers	59	13,6	0,28	51	42

Austrian average consumption rates

Austrian average	consumption rate (kg/year)				
	age (years)				
	1	5	10	15	20
summer wheat, wholemeal	0	0,4	0,6	0,6	0,7
summer wheat, flour	0,4	2,2	3,1	3,5	4
summer wheat, pollard	0	0	0	0	0
winter wheat, wholemeal	1,8	3,7	4,8	5,5	6,6
winter wheat, flour	8,4	21,2	28,5	32,1	36,9
winter wheat, pollard	0	0	0	0	0
rye, wholemeal	0	1,8	2,6	2,9	3,3
rye, flour	0	7,7	10,2	11,7	13,5
rye, pollard	0	0	0	0	0
oat	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6
potatoes	1,4	12,4	23,7	31	61,3
leafy vegetables	13,5	16,1	19,7	35,8	37,2
root crop	14,6	5,31	7,3	12,8	13,1
fruit vegetables	14,6	8	9,9	17,9	18,3
fruit	46,4	32,9	37,2	43,8	63,9
berries	0	3,7	4,4	4,8	4,8
cow milk for drinking	175,9	76,7	99,7	116,4	130,3
evaporated milk	0	1,5	1,8	2,2	2,4
cream	0	2,9	3,8	4	4,7
butter	0	2,6	4	4,4	5,1
cheese, type #1	3,7	2,9	4,4	4,8	6,6
cheese, type #2	0	2,4	3,3	4,4	2,9
goat's milk	0	0	0	0	0,2
ewe's milk	0	0	0	0	0
beef, type #3	1,1	5,1	6,6	6,2	6,6
beef, type #4	2,2	10,9	13,5	12,8	13,5
veal	1,8	1,8	1,8	1,8	2,3

Austrian average	consumption rate (kg/year)				
	age (years)				
	1	5	10	15	20
pork	9,5	32,9	36,5	42	52,2
lamb	0	0	0,4	0,7	0,7
chicken	2,2	7,3	7,3	9,1	12,1
venison	0	0,4	0,4	0,5	0,6
eggs	1,8	6,6	7,3	11	14,2
beer	0	0	0	25,2	117,9

Do vstupních dat programu HAVAR-DET byly prostřednictvím panelu *Spotřební koš* vstupního subsystému *ingmodel.exe* vloženy 3 spotřební koše (kg/rok):

1. základní spotřební koš – představuje variantu *lokální produkce - lokální spotřeba*
2. spotřební koš pro farmáře
3. globální spotřební koš

1. spotřební koš pro lokální produkci – lokální spotřebu (kg/rok) (zpracováno s použitím spotřebního koše ENCONAN), v němž jsou uloženy původní hodnoty:

Potravina	0 - 1 rok	1 - 2 roky	2 - 7 let	7 - 12 let	12 - 17 let	dospělí
zelenina listová jarní	1,6	2,6	3,4	4	5	5,4
zelenina listová podzimní	6,6	10	14	16	20	22
zelenina kořenová	6,4	10	13	15	19	21
zelenina plodová	10	16	21	25	31	34
pšenice ozimá	12	33	54	80	111	123
brambory pozdní	3,4	18	32	39	60	62
ovoce	9,8	24	37	45	55	44
vejce	2,0	5,6	9	12	14	15
kuřecí (drůbež)	0,62	11	17	17	30	25
vepřové	1,3	5,9	10	19	23	47
hovězí (celkem)	2,0	5,6	8,9	11	12	12
mléko + smetana + máslo	74	95	115	116	101	75
sýr (rennet)	8	10	13	13	11	8,2
mléko suš. + kondenz.	2,0	2,6	3,1	3,1	2,7	2
tvaroh + ostatní	17	22	26	27	23	17
žito	1,7	4,9	7,9	12	16	18
pšenice jarní	0,54	1,6	2,5	3,7	5,2	5,7
brambory rané	1,1	5,6	10	12	18	19
skopové a jehněčí	0,013	0,058	0,1	0,19	0,23	0,46
králíci	0,078	1,4	2,1	2,2	3,7	3,1

Extra konzumace

Potravina	0 - 1 rok	1 - 2 roky	2 - 7 let	7 - 12 let	12 - 17 let	dospělí
lesní plody	0,33	0,81	1,2	1,5	1,9	1,5
houby	0	1,1	1,8	2,2	2,3	2,5
ryby	0	0	0	0	0	0
zvěřina	0,009	0,04	0,07	0,13	0,16	0,32
mléko ovčí	0,055	0,071	0,085	0,086	0,075	0,056
sýr ovčí	0,0053	0,0069	0,0083	0,0084	0,0073	0,0054

2. Spotřební koš pro farmáře

Potravina	0 - 1 rok	1 - 2 roky	2 - 7 let	7 - 12 let	12 - 17 let	dospělí
zelenina listová jarní	0,84	1,3	1,7	2,0	2,5	2,7
zelenina listová podzimní	3,4	5,3	6,9	8,1	10,2	11,0
zelenina kořenová	3,2	5,1	6,7	7,8	9,8	10,6
zelenina plodová	5,3	8,2	10,8	12,7	15,9	17,2
pšenice ozimá	1,2	3,4	5,4	8,0	11,1	12,3
brambory pozdní	1,7	9,3	16,5	20,0	30,5	31,6
ovoce	4,1	10,1	15,5	18,9	23,2	18,7
vejce	2,0	5,6	9,0	12,0	14,0	15,0
kuřecí (drůbež)	0,37	6,5	9,9	10,1	17,5	14,6
vepřové	0,77	3,5	6,0	11,4	13,7	27,5
hovězí (celkem)	1,2	3,3	5,3	6,6	7,4	6,8
mléko + smetana	7,6	9,9	11,9	12,1	10,5	7,8
sýr (rennet)	0,022	0,029	0,035	0,036	0,031	0,023
mléko suš, + kondenz,	0,0056	0,0072	0,0087	0,0088	0,0076	0,0057
tvářoh + ostatní	0,047	0,061	0,074	0,075	0,065	0,048
žito	0,17	0,49	0,79	1,2	1,6	1,8
pšenice jarní	0,05	0,16	0,25	0,37	0,52	0,57
brambory rané	0,54	2,86	5,11	6,19	9,42	9,77
skopové a jehněčí	0,013	0,058	0,10	0,19	0,23	0,46
králíci	0,078	1,1	2,2	2,2	3,7	3,1

3, Spotřební koš globální (průměrná populace)

Potravina	0 – 1 rok	1 - 2 roky	2 - 7 let	7 - 12 let	12 - 17 let	dospělí
zelenina listová jarní	0,48	0,74	1,0	1,1	1,4	1,6
zelenina listová podzimní	1,9	3,0	3,9	4,6	5,8	6,3
zelenina kořenová	1,8	2,9	3,8	4,4	5,6	6,0
zelenina plodová	3,0	4,7	6,1	7,2	9,0	9,8
pšenice ozimá	1,2	3,3	5,4	8,0	11,1	12,3
brambory pozdní	1,0	5,3	9,4	11,4	17,3	18,0
ovoce	3,1	7,7	11,8	14,4	17,7	14,2
vejce	0,20	0,56	0,90	1,2	1,4	1,5
kuřecí (drůbež)	0,14	2,5	3,8	3,9	6,8	5,7
vepřové	0,30	1,4	2,3	4,4	5,4	10,7
hovězí (celkem)	0,47	1,3	2,1	2,6	2,9	2,7
mléko + smetana + máslo	0,84	1,1	1,3	1,3	1,2	0,86
sýr (rennet)	0,0016	0,0021	0,0025	0,0025	0,0022	0,0016
mléko suš, + kondenz,	0,00040	0,00051	0,00062	0,00063	0,00055	0,00041
tvaroh + ostatní	0,0034	0,0044	0,0053	0,0053	0,0046	0,0034
žito	0,17	0,49	0,79	1,2	1,6	1,8
pšenice jarní	0,05	0,16	0,25	0,37	0,52	0,57
brambory rané	0,31	1,6	2,9	3,5	5,4	5,6
skopové a jehněčí	0,0029	0,013	0,023	0,043	0,052	0,10
králíci	0,018	0,32	0,48	0,50	0,85	0,72

3.5 Některé výsledky výpočtů

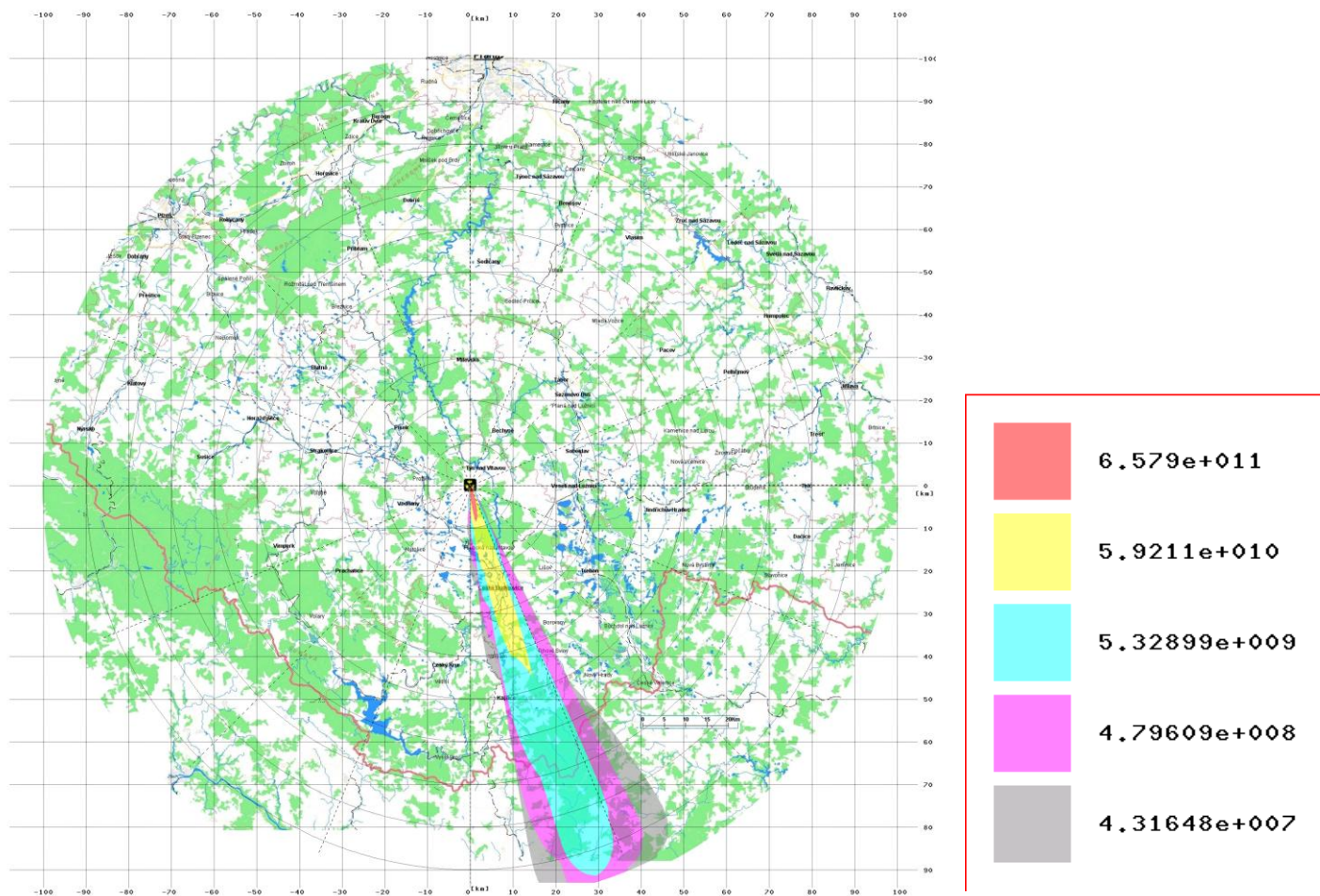
Uvádíme grafické ilustrace z výsledků segmentovaného algoritmu SGPM označovaném též jako HAVAR-SG. Následující první 4 obrázky (č.3.1 – 3.4) představují ukázkou grafického znázornění výsledků výpočtů časového integrálu přízemní objemové aktivity I-131 při výpočtu rozptylových koeficientů σ podle SCK/CEN modelu pro hladký terén a podle KFK modelu pro drsný terén a depozice Cs-137 variantně pro drsný a hladký terén v okamžiku odeznění pro variantu počasí Melk Case 1.

Další 2 obrázky (č.3.5 – 3.6) představují integrální přízemní objemovou aktivitu I-131 pro variantu Melk Case 2 pro hladký a drsný terén a poslední 2 obrázky (č.3.7 – 3.8) depozici Cs-137 variantně pro drsný a hladký terén v okamžiku odeznění.

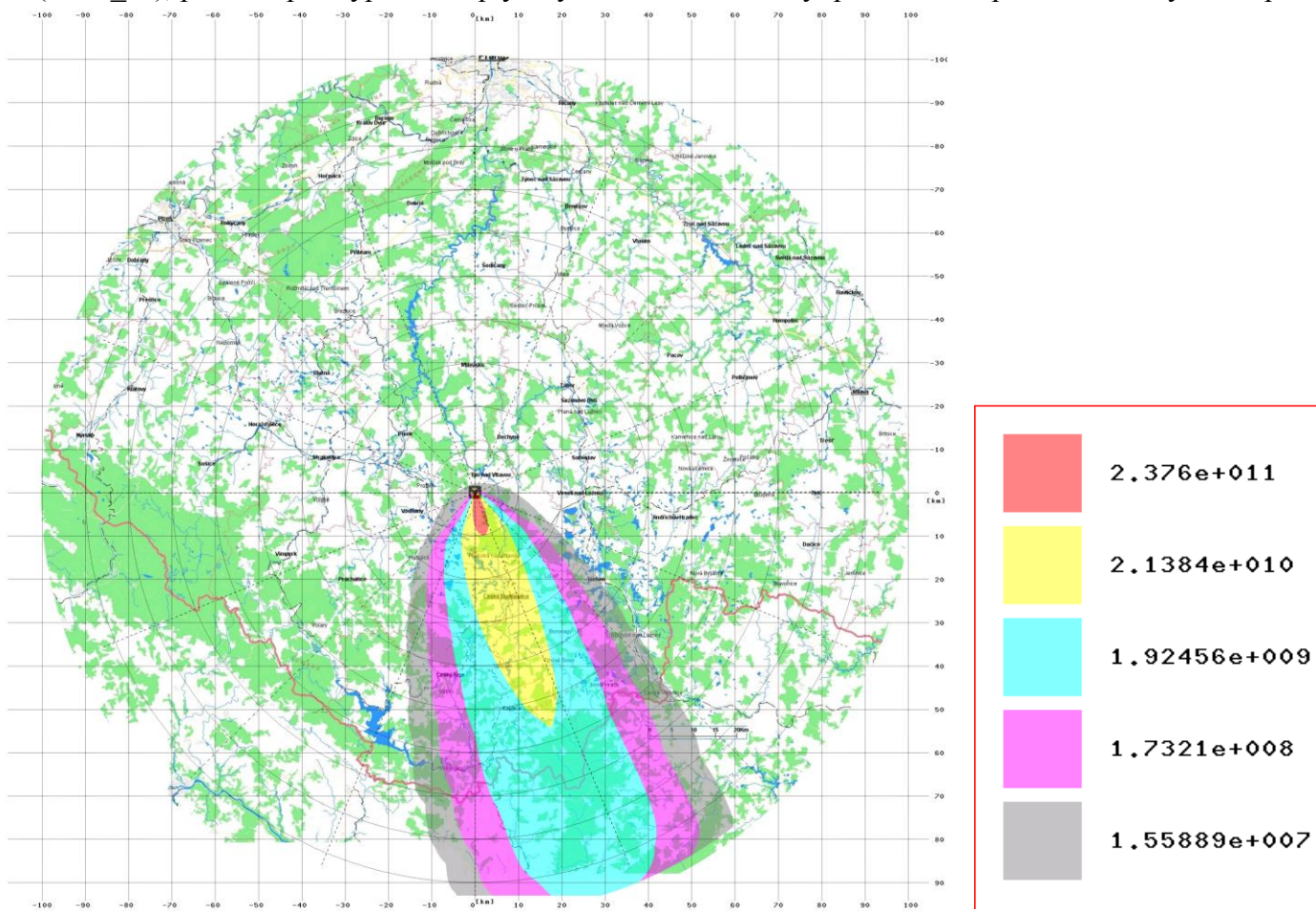
Úmyslně je rozlišován hladší a drsný terén, kdy příslušné disperzní parametry výrazně ovlivňují plošnou distribuci veličin na terénu. Je zřejmé, že výsledky jsou výrazně citlivé na volbu typu disperzních formulí.

Zobrazení výsledků výpočtů

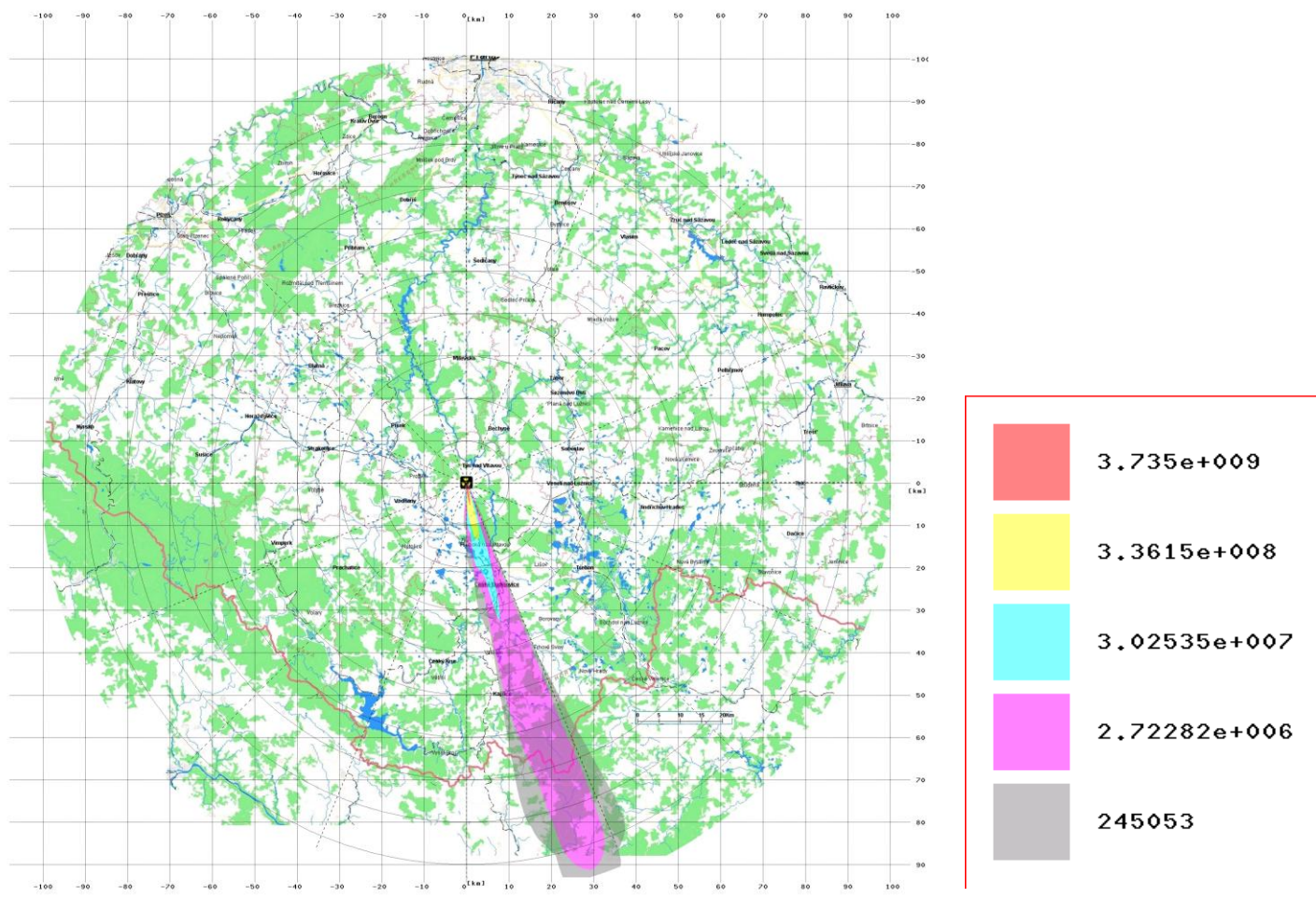
Následující obrázek č.3-1 představuje **integrální přízemní objemovou aktivitu radionuklidu I-131 [Bq.s.m⁻³]** pro variantu počasí Case 1 (Melk_c1), bez ingesce, 1 den, přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky SCK/CEN pro hladký terén:



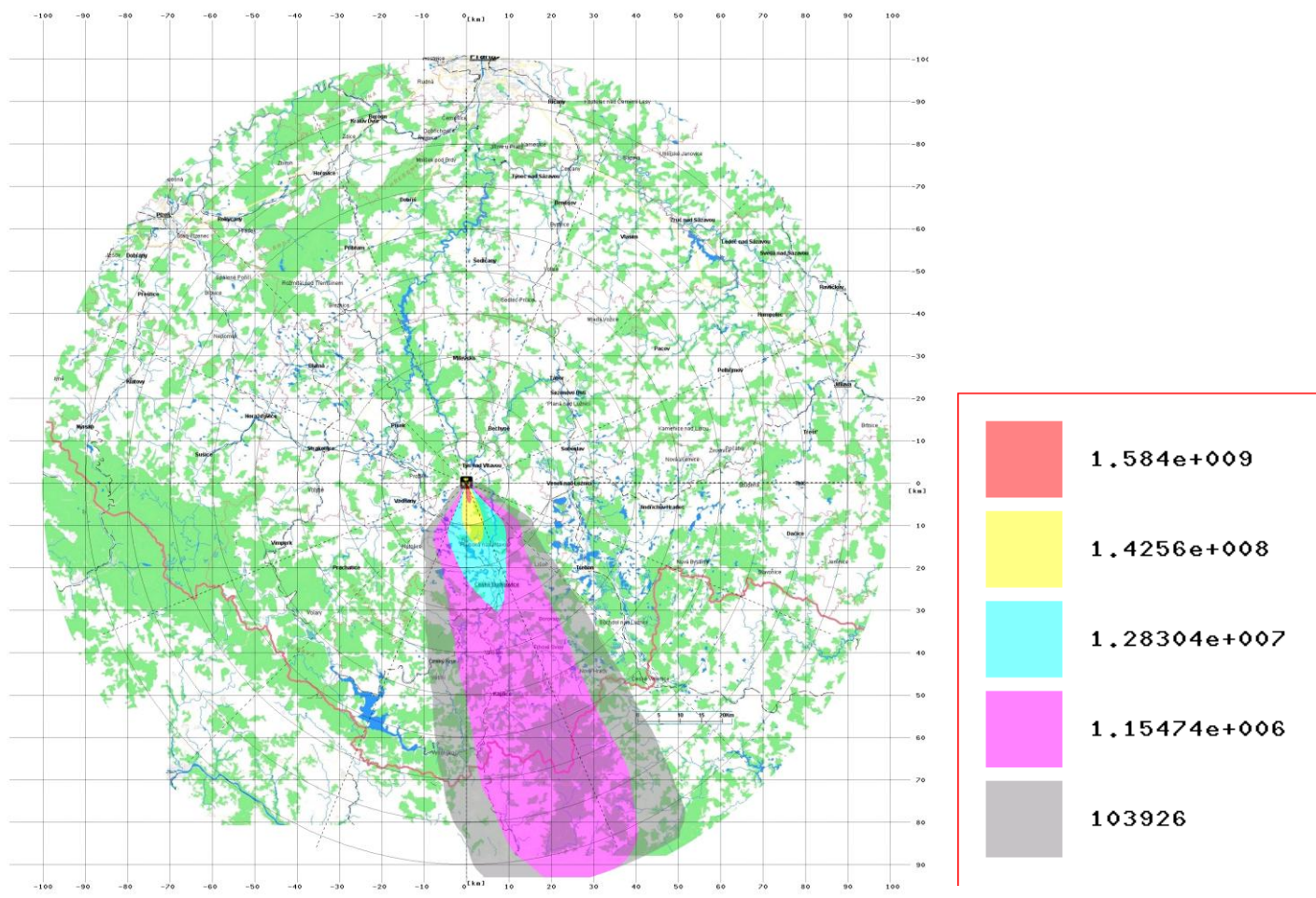
Následující **obrázek č.3-2** představuje **integrální přízemní objemovou aktivitu radionuklidu I-131 [Bq.s.m⁻³]** pro variantu počasí Case 1 (Melk_c1), přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky **KFK** pro drsný terén:



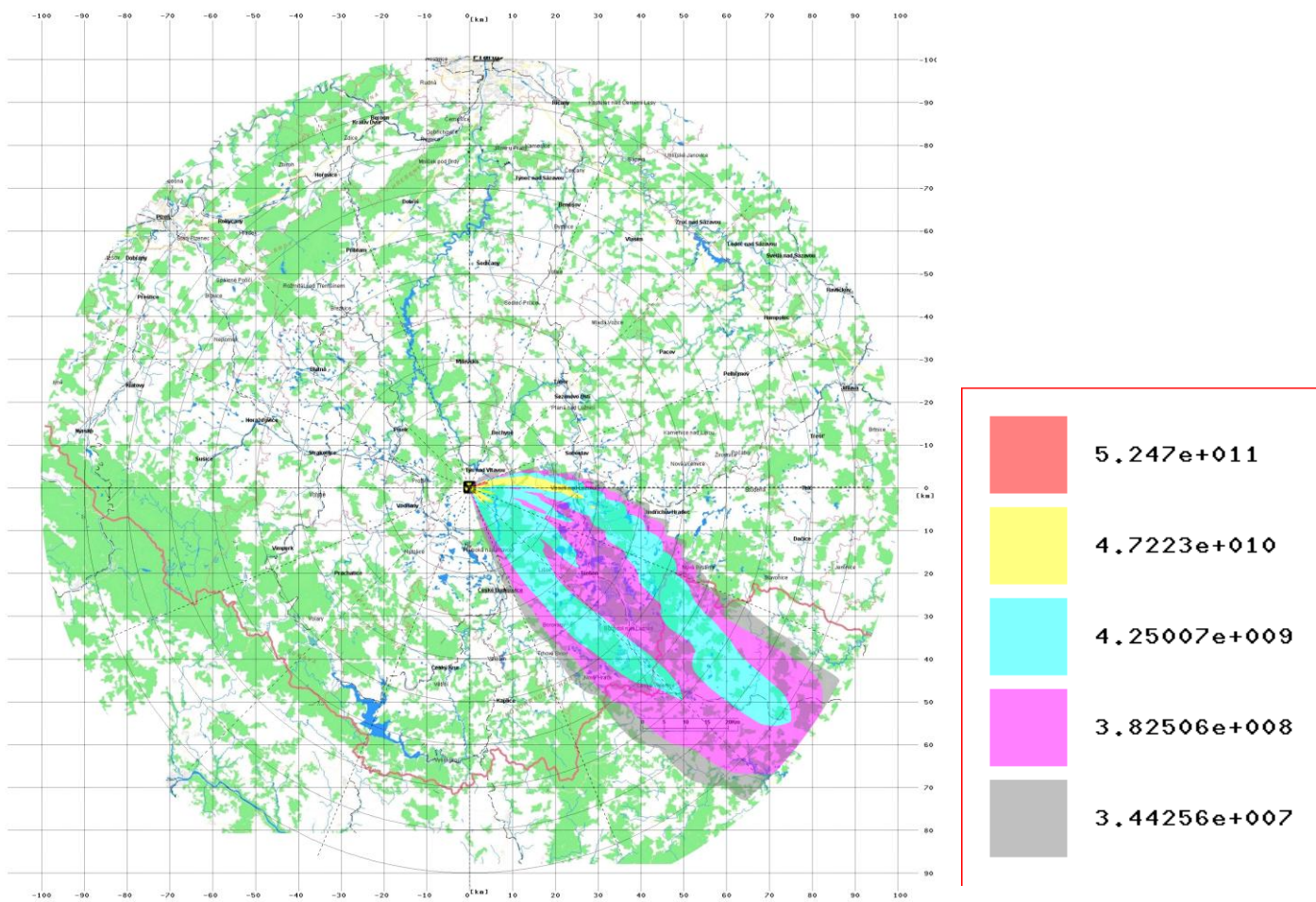
Obrázek č.3-3: MelkC1, SCK/CEN, bez ingesce, 1 den
 Depozice nuklidu Cs-137 [Bq.m⁻²] (v okamžiku odeznění)



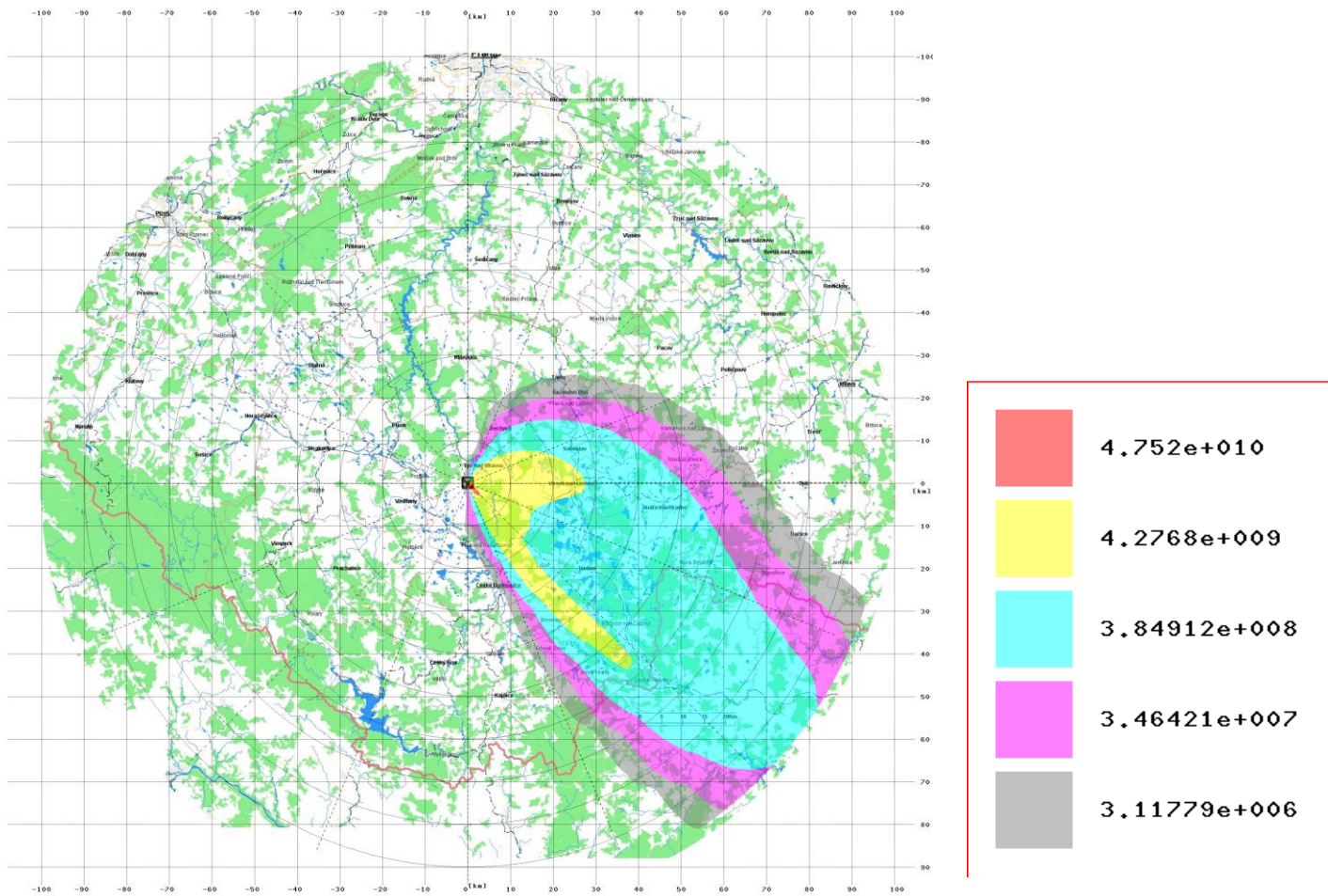
Obrázek č.3-4: MelkC1, KFK, bez ingesce, 1 den
 Depozice nuklidu Cs-137 [Bq.m⁻²] (v okamžiku odeznění)



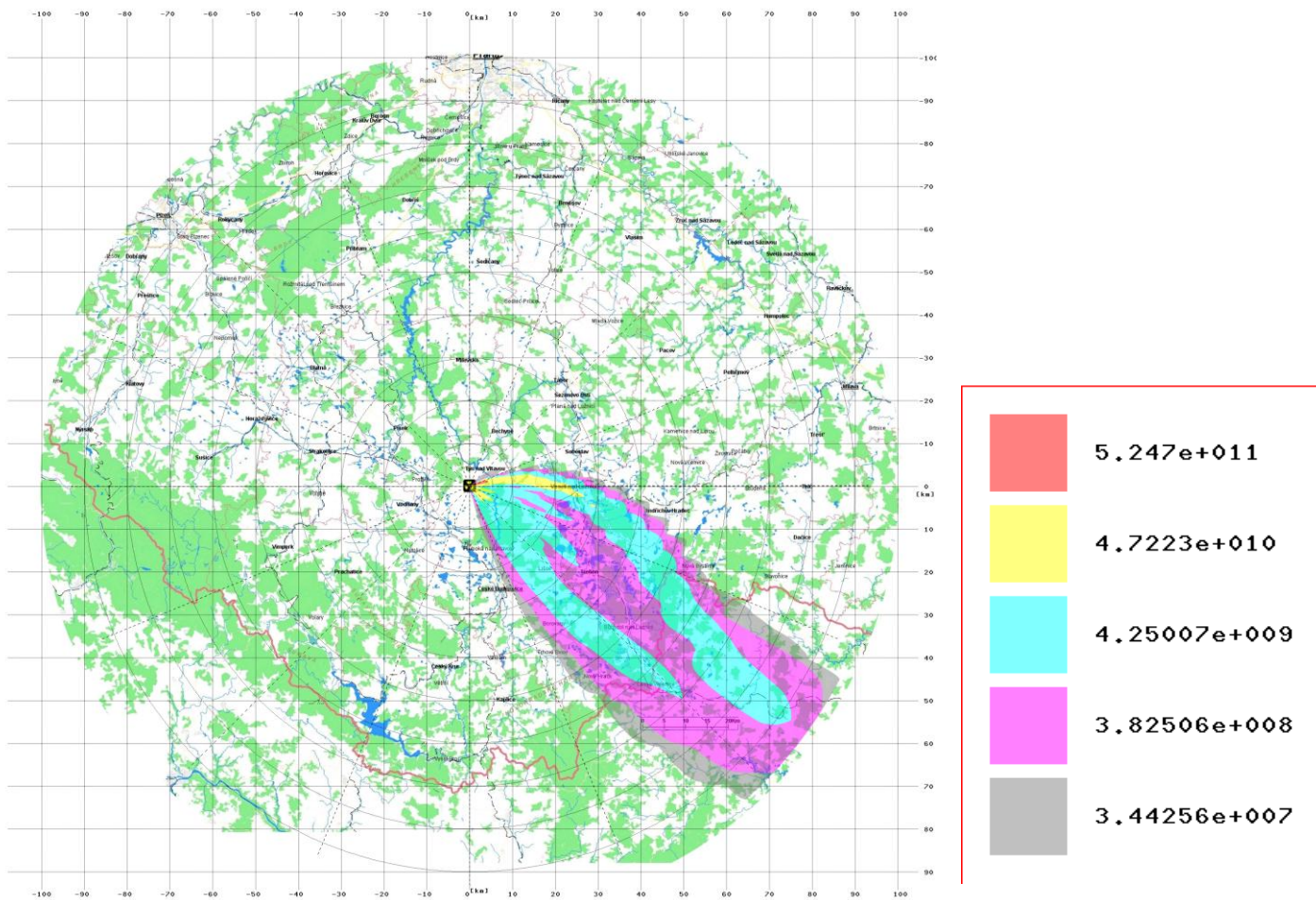
Následující **obrázek č.3-5** představuje **integrální přízemní objemovou aktivitu radionuklidu I-131 [Bq.s.m⁻³]** pro variantu počasí Case 2 (Melk_c2), bez ingesce, 1 den, přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky SCK/CEN pro hladký terén:



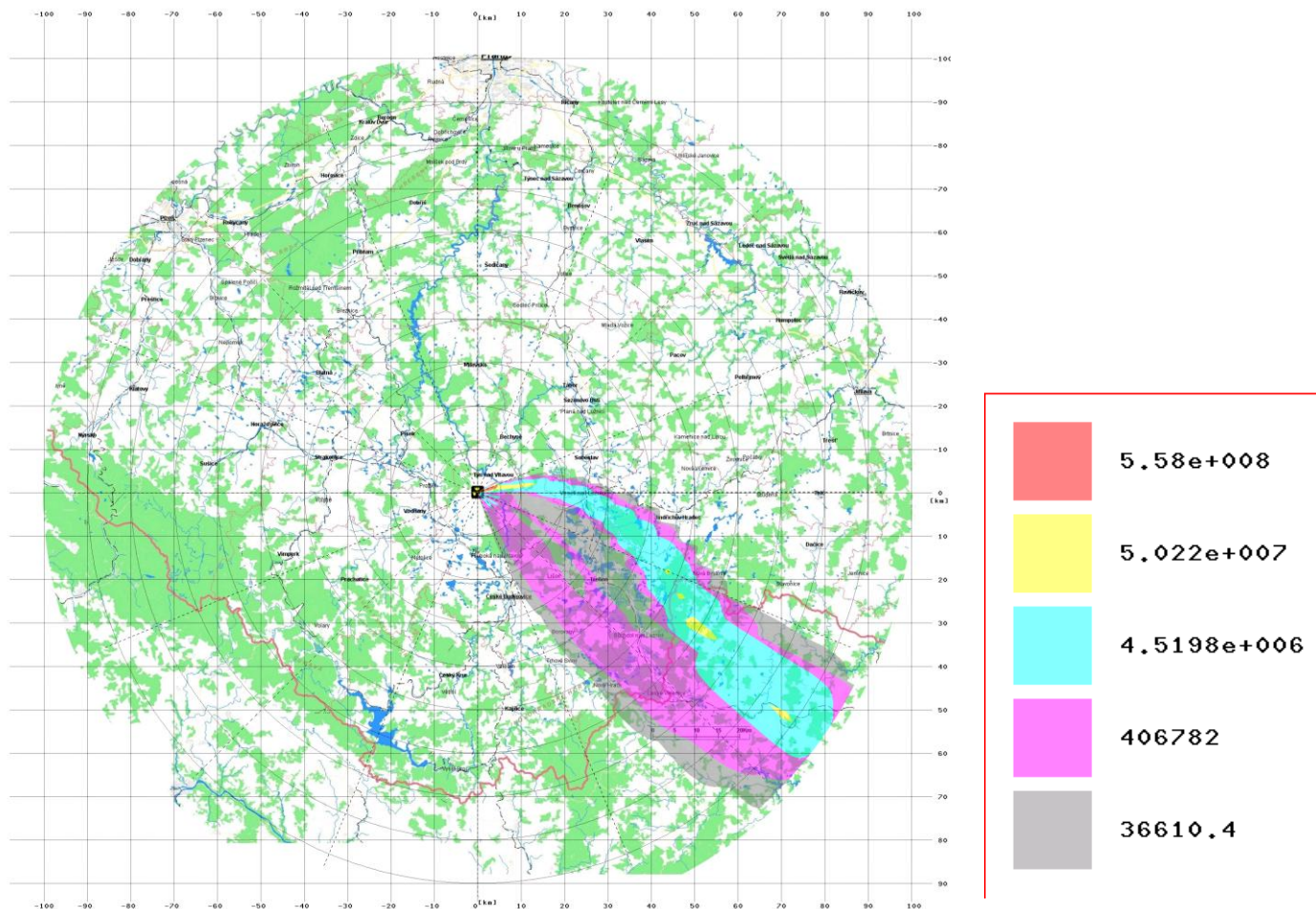
Následující **obrázek č.3-6** představuje **integrální přízemní objemovou aktivitu radionuklidu I-131 [Bq.s.m⁻³]** pro variantu počasí Case 2 (Melk_c2), přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky **KFK** pro drsný terén:



Obrázek č.3-7 představuje **depozici radionuklidu Cs-137 [Bq.m⁻²]** pro variantu počasí Case 2 (Melk_c2), přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky **KFK** pro drsný terén:



Obrázek č.3-8 představuje **depozici radionuklidu Cs-137 [Bq.m⁻²]** pro variantu počasí Case 2 (Melk_c2), přičemž pro výpočet rozptylových koeficientů σ byl použit vztah podle metodiky **SCKCEN** pro hladký terén:



4 Porovnání výsledků výpočtů STEP II b provedených programu HAVAR a HAVAR-SG

V této části srovnávání jsou rovněž uvedeny výsledky srovnávacích výpočtů provedených v rámci společného česko-rakouského cvičení STEP II b “Realistic Case Studies”, které byly prezentovány na workshopu ve Vídni 28. a 29. dubna 2003 a jsou uvedeny ve zprávě EGP [8]. K těmto výsledkům byly přidány ex post (v roce 2005) i hodnoty z nového výpočtu algoritmem SGPM. V dalším textu a v tabulkách jsou tyto výsledky označeny jako **HAVAR-SG**. Původní výsledky provedené algoritmem přímočarého šíření jsou označeny jako HAVAR.

Výpočty pomocí HAVAR-SG byly provedeny pouze pro 2 vybraná místa v ČR:

Cz1 – Borovany (14°38'29,7'' E, 48°54'0,64'' N)

Cz2 – Jindřichův Hradec (15°00'13,05'' E, 49°08'37,98'' N).

1. Case 1 (29-July-2001/21:00)

Zvolený model pro výpočet rozptylových koeficientů σ : KFK

Pro HAVAR-SG jsou hodnoty po výpočtu odečteny z mapy kliknutím na příslušné místo podle souřadnic (viz obr.č.3-6).

Místo na území ČR	Časový integrál objemové aktivity vzduchu [Bq.s/m ³]					
	Sr-90	Ru-106	I-131	Te-132	Cs-134	Cs-137
Cz1 (HAVAR)	7,0E+06	3,77E+08	3,6E+09	5,01E+09	1,52E+08	1,97E+08
Cz1 (HAVAR-SG)	1,39E+08	5,11E+09	1,02E+10	1,11E+10	2,30E+09	1,26E+09
Cz1 (RTARC)	5,02E+07	2,09E+09	4,22E+09	5,10E+09	8,27E+08	5,18E+08
Cz1 (TAMOS)	6,5E+06	2,7E+08	1,2E+09	6,5E+08	1,1E+08	6,7E+07
Cz2 (HAVAR)	-	-	-	-	-	-
Cz2 (HAVAR-SG)	1,96	8,48E+01	1,03E+02	1,76E+02	3,33E+01	2,08E+01
Cz2 (RTARC)	1,89E+05	7,84E+06	6,73E+06	1,63E+07	3,09E+06	1,94E+06
Cz2 (TAMOS)	1,6E+06	6,5E+07	2,7E+08	1,5E+08	2,6E+07	1,6E+07

Pozn:

I-131 v programu HAVAR: superpozice 90% elementární, 5% aerosol and 5% organický, v programu HAVAR-SG a RTARC/PTM pouze elementární, v TAMOS není známo

RTARC – jedná se o slovenský program RTARC/PTM

TAMOS – rakouský program

Místo na území ČR	Usazená aktivita [Bq/m ²]					
	Sr-90	Ru-106	I-131	Te-132	Cs-134	Cs-137
Cz1 (HAVAR)	2,95E+04	1,59E+06	4,58E+07	2,05E+07	6,41E+05	4,00E+05
Cz1 (HAVAR-SG)	2,32E+05	9,75E+06	1,53E+08	2,29E+07	3,84E+06	2,41E+06
Cz1 (RTARC)	6,93E+05	2,89E+07	2,15E+08	7,00E+07	1,14E+07	7,15E+06
Cz1 (TAMOS)	1,1E+06	4,8E+07	2,0E+08	1,0E+08	1,9E+07	1,2E+07
Cz2 (HAVAR)	-	-	-	-	-	-
Cz2 (HAVAR-SG)	3,92E-03	1,62E-01	1,55E+00	2,88E-01	6,37E-02	4,01E-02
Cz2 (RTARC)	5,38E+03	2,23E+05	9,12E+05	4,63E+05	9,12E+05	8,79E+04
Cz2 (TAMOS)	6,4E+04	2,6E+06	1,1E+07	5,6E+06	1,0E+06	6,5E+05

Srovnání dávek je zde provedeno pouze pro programy HAVAR a HAVAR-SG:

Místo na území ČR	Město	Úvazek efektivní dávky [mSv]		
		Roční příjem ^{x)} (včetně ingesce)	30 dní	7 dní
Cz1 (HAVAR)	Borovany	536	55,5	41,6
Cz1 (HAVAR-SG)	Borovany	1899	212,9	171,1
Cz2 (HAVAR)	Jindřichův Hradec	-	-	-
Cz2 (HAVAR-SG)	Jindřichův Hradec	2,69E-05	2,50E-06	1,93E-06

^{x)} pro defaultový spotřební koš v HAVAR
pro spotřební koš "lokální produkce – lokální spotřeba" v HAVAR-SG

Příspěvek cest ozáření

Místo na území ČR	Efektivní dávka z inhalace H_{inhal} [mSv]	Efektivní dávka z mraku H_{cloud} [mSv]	Efektivní dávka z depa H_{ground} [mSv]		
			$T_B=1\text{rok}$	$T_B=30\text{dní}$	$T_B=7\text{dní}$
Cz1 (HAVAR)	22	1,6	81	31,8	18,0
Cz1 (HAVAR-SG)	109	3,9	217	100	58,2
Cz2 (HAVAR)	-	-	-	-	-
Cz2 (HAVAR-SG)	1,27E-06	3,99E-08	3,00E-06	1,19E-06	6,22E-07

Efektivní dávky z ingesce jsou počítány za konzervativního předpokladu lokální produkce – lokální spotřeba. Dále je proveden výpočet dávky z ingesce pro spotřební koš upravený pro farmáře.

Efektivní dávka z ingesce z ročního příjmu pro různé spotřební koše

Výpočty programem HAVAR byly provedeny pro 6 radionuklidů (vstupní hodnota depozice do výpočtu ingesce byla určena z HAVAR). Výpočty programem HAVAR-SG jsou provedeny pro 13 radionuklidů, jejichž příspěvek k výslednému úvazku efektivní dávky je větší než 1%.

Místo na území ČR	Město	Efektivní dávka z ingesce z ročního příjmu [mSv]			
		ENCONAN modif, *) na českou spotřebu	Programem HAVAR-SG lokální koš	ENCONAN farmáři (HAVAR)	Programem HAVAR-SG farmáři
Cz1	Borovany	354	1570	170	90,2
Cz2	Jindřichův Hradec	-	2,26E-05	-	1,17E-06

*) modifikace podle tabulky B1 v [5] (Ing, Hůlka)

2. Case 2 (28-June-2002/0:00)

Zvolený model pro σ : KFK

Pro HAVAR-SG jsou hodnoty po výpočtu odečteny z mapy kliknutím na příslušné místo podle souřadnic.

Místo na území ČR	Časový integrál objemové aktivity vzduchu [Bq.s/m ³]					
	Sr-90	Ru-106	I-131	Te-132	Cs-134	Cs-137
Cz1 (HAVAR)	3,82E+06	2,06E+08	3,72E+09	2,77E+09	8,30E+07	5,21E+07
Cz1 (HAVAR-SG)	2,65E+06	1,42E+08	2,95E+09	1,92E+09	5,74E+07	3,61E+07
Cz1 (RTARC)	-	-	-	-	-	-
Cz1 (TAMOS)	9,8E+07	4,1E+09	1,7E+10	9,3E+09	1,6E+09	1,0E+09
Cz2 (HAVAR)	1,15E+08	4,87E+09	6,64E+09	1,42E+10	1,91E+09	1,20E+09
Cz2 (HAVAR-SG)	2,87E+07	1,19E+09	1,71E+09	2,50E+09	4,67E+08	2,93E+08
Cz2 (RTARC)	3,94E+07	1,64E+09	4,78E+09	3,77E+09	6,47E+08	4,06E+08
Cz2 (TAMOS)	1,7E+07	6,9E+08	2,6E+09	1,5E+09	2,7E+08	1,7E+08

Pozn:

I-131: superpozice 90% elementární, 5% aerosol and 5% organický.

Místo na území ČR	Usazená aktivita [Bq/m ²]					
	Sr-90	Ru-106	I-131	Te-132	Cs-134	Cs-137
Cz1 (HAVAR)	2,87E+04	1,55E+06	1,06E+08	2,07E+07	6,25E+05	3,91E+05
Cz1 (HAVAR-SG)	2,37E+04	1,27E+06	7,71E+07	1,49E+07	5,13E+05	3,23E+05
Cz1 (RTARC)	-	-	-	-	-	-
Cz1 (TAMOS)	8,0E+05	3,3E+07	1,4E+08	7,2E+07	1,3E+08	8,2E+06
Cz2 (HAVAR)	3,50E+05	1,49E+07	7,16E+07	4,38E+07	5,86E+06	3,66E+06
Cz2 (HAVAR-SG)	1,26E+05	5,20E+06	3,23E+07	9,29E+06	2,04E+06	1,28E+06
Cz2 (RTARC)	3,51E+05	1,46E+07	1,33E+08	3,39E+07	5,77E+06	3,62E+06
Cz2 (TAMOS)	8,0E+05	3,3E+07	1,4E+08	7,2E+07	4,1E+06	2,6E+06

Místo na území ČR	Město	Úvazek efektivní dávky [mSv]		
		Roční příjem ^{x)} (včetně ingesce)	30-dní	7-dní
Cz1 (HAVAR)	Borovany	867	83	40,6
Cz1 (HAVAR-SG)	Borovany	484	64,3	51,1
Cz2 (HAVAR)	Jindřichův Hradec	3650	264	200
Cz2 (HAVAR-SG)	Jindřichův Hradec	778	51,8	36

^{x)} pro implicitní spotřební koš v HAVAR
pro spotřební koš “lokální produkce – lokální spotřeba” v HAVAR-SG

Příspěvek jednotlivých cest ozáření

Místo na území ČR	Efektivní dávka z inhalace H_{inhal} [mSv]	Efektivní dávka z mraku H_{cloud} [mSv]	Efektivní dávka z depa H_{ground} [mSv]		
			$T_B=1\text{rok}$	$T_B=30\text{ dní}$	$T_B=7\text{ dní}$
Cz1 (HAVAR)	-	-	-	-	-
Cz1 (HAVAR-SG)	24,6	0,816	55,6	38,9	25,7
Cz2 (HAVAR)	65,0	7,0	558	192	128
Cz2 (HAVAR-SG)	20,0	0,629	92,5	31,2	15,4

Vzhledem k tomu, že program HAVAR stanovoval příspěvky jednotlivých cest ozáření k celkové dávce pouze pod osou mraku a místo Cz1 neleží pod osou mraku, nebylo možné přesně stanovit dávku od jednotlivých cest ozáření, proto není v tabulce uváděna žádná hodnota. Sumární dávku pak program počítal i v jiných místech než pod osou mraku.

Efektivní dávky z ingesce jsou počítány za konzervativního předpokladu lokální produkce – lokální spotřeba. Dále je proveden výpočet dávky z ingesce pro spotřební koš upravený pro farmáře.

Efektivní dávka z ingesce z ročního příjmu pro různé spotřební koše

Místo na území ČR	Město	Efektivní dávka z ingesce z ročního příjmu [mSv]			
		ENCONAN Modif. *) na českou spotřebu	Programem HAVAR-SG lokální koš	ENCONAN farmáři (HAVAR)	Programem HAVAR-SG farmáři
Cz1	Borovany	519	403	205	30,6
Cz2	Jindř. Hradec	2600	665	982	31,8

*) modifikace podle tabulky B1 v [8] (Ing, Hůlka)

5 Vliv typu zemského povrchu na průběh radiologických hodnot

Následující výsledky ukazují na důležitost vzít v úvahu typ zemského povrchu, který v důsledku suché depozice radionuklidů na terénu hraje úlohu určitého filtru, kdy aktivita radionuklidů ve vlečce se ochuzuje. Efekt je nejmarkantnější na elementární fyzikálně-chemické formě radionuklidu I-131, kdy jsou brány maximální hodnoty rychlosti suché depozice (odpovídají plně vyvinuté vegetaci). Algoritmus programu HAVAR-DET používá pro přibližné vyjádření vlivu orografie terénu a typu zemského povrchu poloempirické formule uvedené v [1]. Implementace přibližných poloempirických formulí je stejná jak u algoritmu přímočarého šíření tak u segmentovaného modelu stáčení SGPM.

Lokální fluktuaace radiologických hodnot mohou být způsobeny převýšením terénu a lokálním typem jeho pokryvu. Výpočty prokázaly význam vlivu těchto efektů. V jejich důsledku mohou rozdíly hodnot (např. efektivních dávek) v jednotlivých směrech kolísat až v rozsahu 1 řádu. Pro lepší porozumění uvádíme následující demonstrační scénář s únikem jediného nuklidu I-131 v elementární fyzikálně-chemické formě. V této kapitole analyzujeme separátně jen vliv typu zemského povrchu (landuse) pod postupujícím mrakem. Dále neuvažujeme vliv blízkostojících objektů. V tomto výpočtu, stejně jako v ostatních následujících výpočtech, jsou rychlosti suché depozice odečítány z následující vstupní tabulky:

Rychlost suché depozice (m/s)

fyzik.-chem. forma	typ zemského povrchu				
	vodní plochy	tráva	agricultural	lesy	zástavba
	1	2	3	4	5
aerosoly < 1µm	0,00070	0,00150	0,00200	0,00750	0,00050
aerosoly > 1µm	0,00080	0,00250	0,00300	0,00850	0,00080
elem. jód	0,00100	0,01500	0,02000	0,07300	0,00500
org. váz. jód	0,00050	0,00015	0,00020	0,00075	0,00050

Tyto hodnoty z hlediska marginálních odhadů jsou brány jako maximální (plně vyvinutá vegetace, maximální LAI apod.). Fluktuace hodnot suché depozice lze zadávat interaktivně ze vstupních panelů programu HAVAR-DET. Výpočetní polární mříž se sestává z 35 radiálních pásem (až do 100 km od zdroje) a z 80ti úhlových sektorů, které jsou pro případ geografické databáze sdruženy po pěti do 16ti základních směrů větrné růžice. Typ zemského povrchu se tedy zadává na 35 x 16 výsečích, a to tak, že je určen převládající typ, který se bere jako referenční.

Ve směru 6 (VJV) v jednotlivých radiálních pásmech od zdroje až do 100 km definujeme 3 typy zemského povrchu:

1. hypoteticky: necht' ve všech pásmech je jen tráva (tedy typ 2 z předchozí tabulky)
2. fiktivní hradba lesa mezi km 17 a 42.5, jinak tráva
3. skutečný typ zemského povrchu na výpočetní dlaždici ve směru VJV (bráno z geografické databáze).

V prvních dvou případech uvažujeme rovinný terén s nadmořskou výškou rovnou nadmořské výšce paty zdroje. V případě skutečného typu zemského povrchu ve směru VJV je uvažována skutečná orografie v tomto směru.

Vše udává následující tabulka:

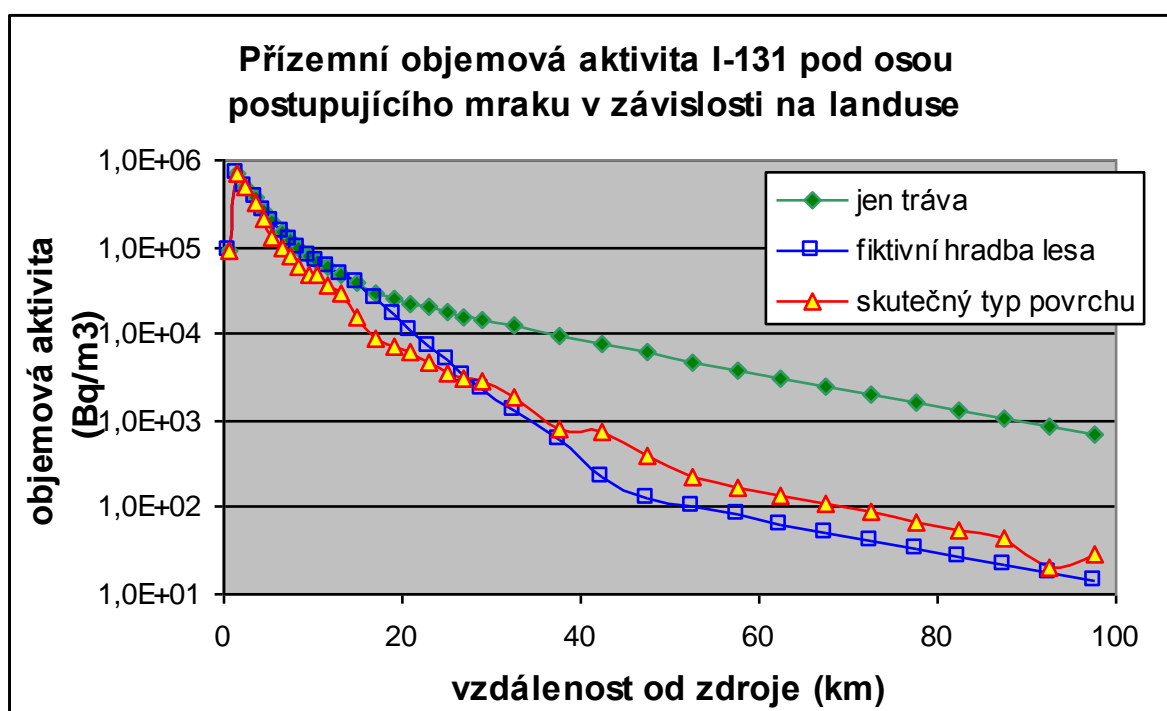
vzdálenost km	č.1: jen tráva	č.2: hradba lesa	č.3: skutečný pokryv
0,5	2	2	3
1,5	2	2	3
2,5	2	2	3
3,5	2	2	3
4,5	2	2	4
5,5	2	2	3
6,5	2	2	3
7,5	2	2	3
8,5	2	2	3
9,5	2	2	3
10,5	2	2	4
11,5	2	2	4
13	2	2	4
15	2	2	3
17	2	4	3
19	2	4	3
21	2	4	3
23	2	4	4
25	2	4	3
27	2	4	3
29	2	4	3
32,5	2	4	4
37,5	2	4	4
42,5	2	4	3
47,5	2	2	4
52,5	2	2	2
57,5	2	2	2
62,5	2	2	2
67,5	2	2	2

vzdálenost km	č.1: jen tráva	č.2: hradba lesa	č.3: skutečný povrch
72,5	2	2	2
77,5	2	2	2
82,5	2	2	2
87,5	2	2	2
92,5	2	2	2
97,5	2	2	2

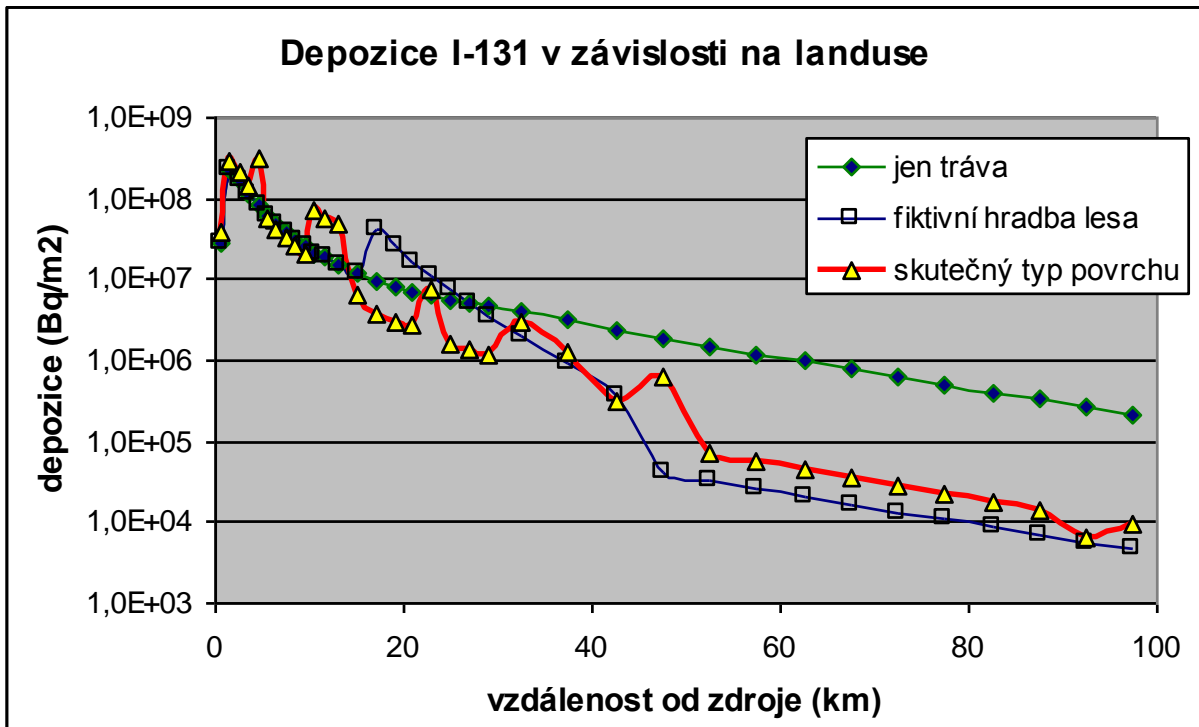
Definice scénáře úniku:

Uvažujme únik elementární formy I-131 o celkové aktivitě $3,60E+15$ Bq. Směr úniku je VJV (tedy směr 6 větrné růžice, bráno po směru hodin). Trvání úniku je 1 hodina, výška úniku 45 m, kategorie stability F, rychlost v 10 m: 1m/s, bez deště, bez vlivu blízkostojících objektů.

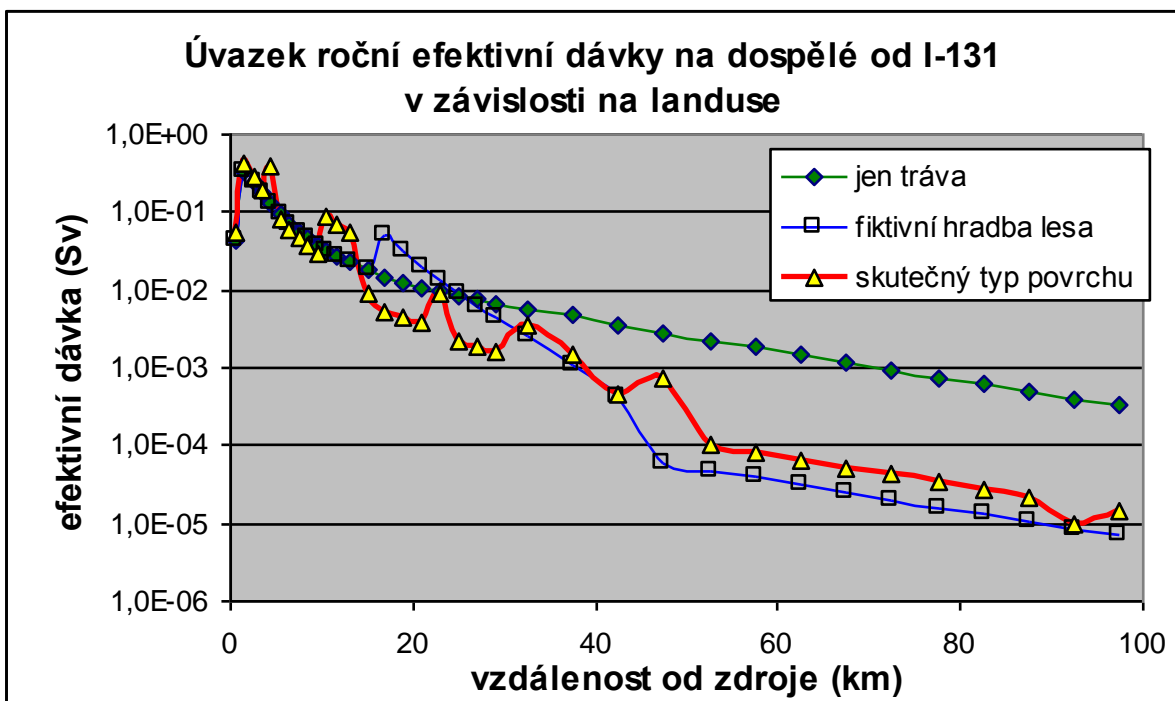
Z následujících obrázků je zřejmé, že v případě hladkého terénu (jen tráva) je aktivita unášena do větších vzdáleností. Pásmo lesů ve druhém případě ochudí vlečku škodlivin, takže hodnoty depozice i efektivních dávek za lesem jsou pak nižší než v případě hladkého terénu. V obou případech jsou průběhy objemových aktivit na následujícím obrázku monotónně klesající. U třetí křivky (skutečný typ povrchu) se mírně superponuje vliv skutečné orografie terénu ve směru 6.



Na dalším obrázku jsou vykresleny průběhy depozice I-131 pod osou mraku (ve směru 6). Jsou patrné výrazné skoky usazené aktivity v závislosti na typu zemského povrchu. Výsledkem je pak například efekt vyfiltrování aktivity z vlečky hradbou lesů a tím snížení depozice za touto hradbou.



Následující graf znázorňuje úvazek roční efektivní dávky pro dospělé od všech cest ozáření (včetně ingesce) od nuklidu I-131.

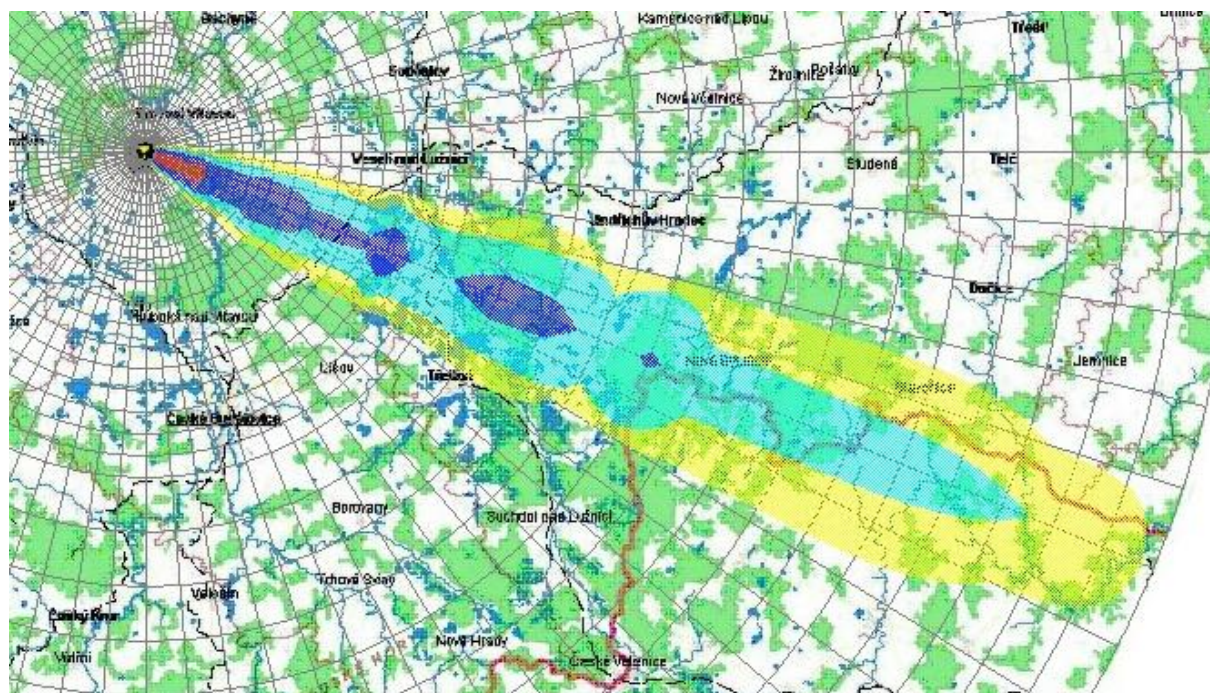


V tomto grafu je třeba objasnit, že například uvnitř hradby lesů hodnoty dávek jsou nerealistické a nemají význam. Důležitý a reálný je však znázorněný pokles za hradbou tam, kde jsou zemědělské plochy či sídliště. Významným výsledkem je fakt, že v důsledku vyfiltrování aktivity z vlečky v důsledku zemského pokryvu může dojít ve větších

vzdálenostech až k více než řádovému snížení sledovaných výstupů (ale pozor, je třeba mít na paměti, že například hodnoty suché depozice byly úmyslně maximalizovány a platí pro plně vyvinutou vegetaci). Dále je třeba k výsledkům přistupovat z hlediska použitelnosti poloempirických doporučení z [1].

Programový systém HAVAR-DET je přímo navrhován k tomu, aby bylo možno rychle a variantně posuzovat závažnost celé řady dalších efektů, které jsou charakterizovány v určitém rozsahu (variace disperzních koeficientů pro hladký nebo drsný terén, vliv blízkostojících objektů na atmosférickou disperzi, různého tepelného vnosu vlečky, vertikální rychlosti výtoku a výšky úniku, variace zdrojového členu, meteorologické sekvence). Podobně lze analyzovat případ jemných aerosolů, kdy vlečka je suchou depozicí ochuzována poměrně málo, může být unášena do velkých vzdáleností s eventualitou, že tam pak může být vymyta v důsledku případných intenzivních dešťových srážek.

Na posledním obrázku je uveden interaktivní 2-D výstup předchozího úvazku roční efektivní dávky pro dospělé od všech cest ozáření (včetně ingesce) od nuklidu I-131 na výpočetní síti pro 35 radiálních pásem až do 100 km od zdroje a 80 uhlových sektorů na mapovém pozadí ETE.



6 Programový systém HAVAR-DET: Srovnání algoritmů PRIMO (přímočaré šíření) a SGPM („stáčení“)

V publikaci [4] „Aplikace systému HAVAR-RP v oblasti radiční ochrany“ jsou podrobně srovnávány módy výpočtu PRIMO (přímočaré šíření) a SGPM (segmentovaný gaussovský model umožňující zahrnout dynamiku úniku a hodinové změny meteorologických podmínek). Testy se vztahovaly k homogennímu terénu (rovinný terén, jednotný pokryv – tráva). V tomto doplňku je srovnání rozšířeno s ohledem na proměnný typ zemského povrchu. Navíc jsou

porovnávány varianty bez deště, s globálními srážkami nad celým sledovaným územím a ukázka možností zahrnutí srážek lokálního charakteru.

Poznamenejme, že přímočaré šíření pomocí SGPM je simulováno vypouštěním ekvivalentních hodinových gaussovských „obláčků (kapek)“ šířících se vždy stejným směrem s následnou superpozicí sledovaných hodnot. V příkladech zvoleno šíření ve směru VJV (směr 6).

Opis vstupních dat:

PP1hod_NJZ_vyska_45_vydatnost_0_smer_6_pocasi_D, Primocare,Prsi2mm/hod,
Dec5,2009:

Hin00.dat:

```

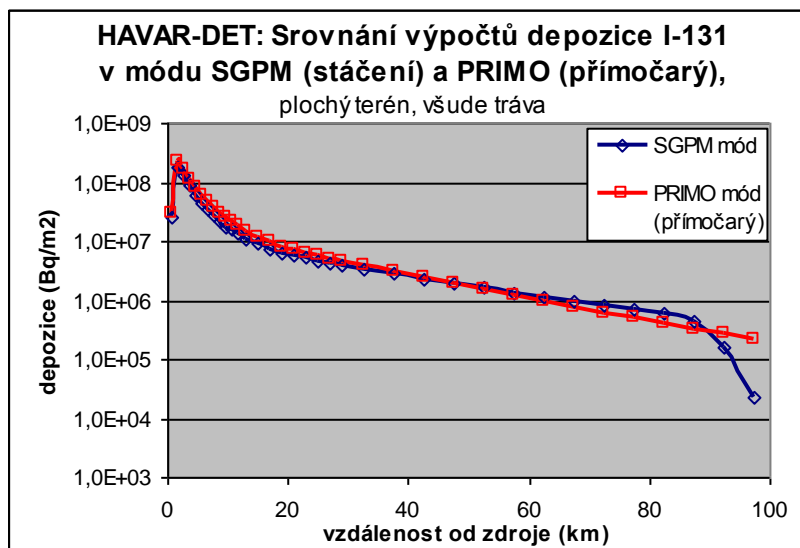
PP1hod_NJZ_vyska_45_vydatnost_0_smer_6_pocasi_D
Primocare,Prsi2mmhod, Dec5,2009
  2
  6
35 35
  0 0 1
  0 0
D  0
    45.0  8
    86400.    180.0    180.0
    1.0
    1.0000
  6
    5.0000
D
    1.0000
    0.0
    0.0
    45.0
  45.
507.
    200.0
F
T  1
    0.0
    1.6
    0.0
1.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 1.0
  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
  6
  0
  1
    0.00070    0.00150    0.00200    0.00750    0.00050
    0.00080    0.00250    0.00300    0.00850    0.00080
    0.00100    0.01500    0.02000    0.07300    0.00500
    0.00050    0.00015    0.00020    0.00075    0.00050
SEGMENT 1 : srazky a uniky:
  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00
  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00
  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00
  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00  2.00
SR90      4.00E+14
I131O     2.00E+14
I131      3.60E+15
I131A     2.00E+14
CS137     3.00E+13
KONEC

```

Běh 1: Testy shody módů PRIMO a SGPM – homogenní terén

Srovnání výpočtů depozice I-131 modulem SGPM a přímočarým modulem PRIMO

- pod osou mraku
- výška výpustí 45 m, nulová tepelná vydatnost
- **kategorie počasí F**, rychl. větru 2 m/s
- směr 6 – VJV (v programu SGPM jemný směr 26)
- **nuklid I-131**
- **ploché terén (flat), všude tráva**



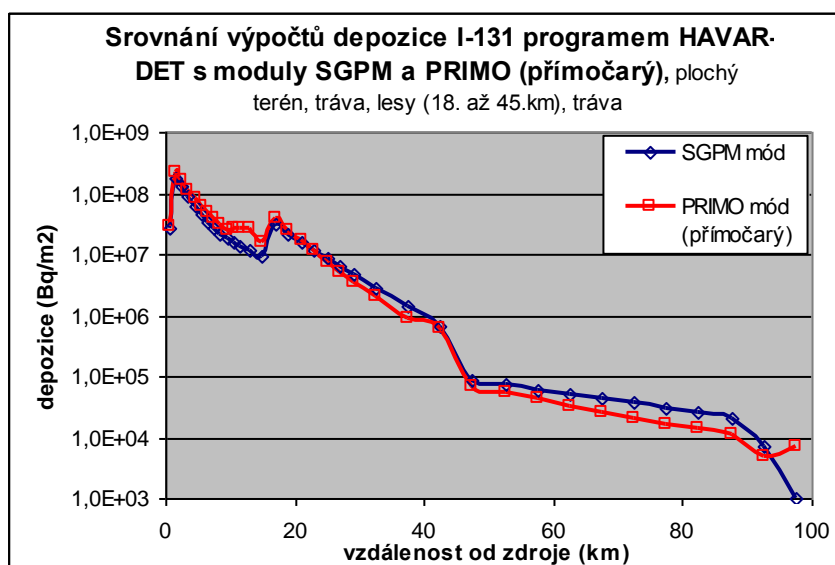
Běh 2: Testy shody módů PRIMO a SGPM – ilustrace významnosti filtrace aktivity z vlečky v důsledku hypotetického pásma lesů

Totéž jako v předchozím, ale s pásmem lesů uvnitř trávy

Rychlost suché depozice v_g pro lesy maximální (plně vyvinutá vegetace): $v_g = 0,073$ m/s

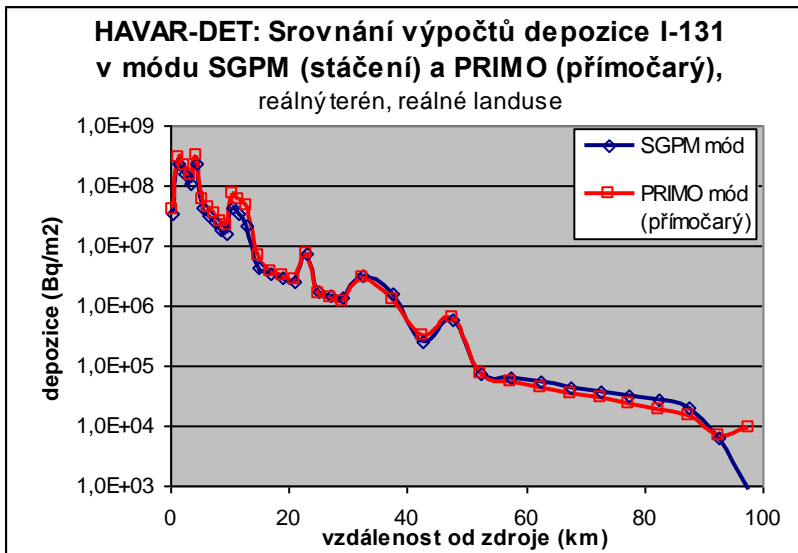
HAVAR-DET výsledky pro flat pro oba algoritmy, ale s pásmem lesů uvnitř trávy:

tráva, 10 pásem lesů (km 18-45 = pásma 15 až 24 včetně), potom opět tráva

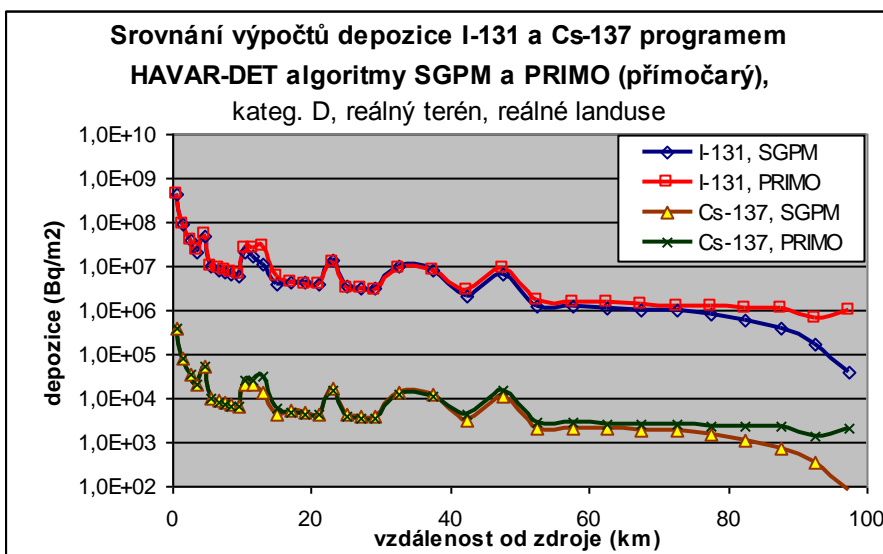


Běh 3: Testy shody módů PRIMO a SGPM – ilustrace významnosti filtrace aktivity z vlečky - reálný typ zemského povrchu ve směru 6

Totéž jako v předchozím, s reálným terénem a reálným landuse (střídání agri, lesy, tráva) Ve směru 6 VJV od JE Temelín



Kód HAVAR-DET: Srovnání výpočtů depozice I-131 a Cs-137 modulem SGPM (z IMPLICIT.OUT) s přímočarým modulem PRIMO pod osou mraku, výška výпустí 45 m, nulová tepelná vydatnost, kategorie počasí D bez deště, rychl. větru 5 m/s směr 6 (v modulu SGPM směr 26) reálný terén, reálné landuse



Kód HAVAR-DET: Srovnání výpočtů depozice I-131 a Cs-137 – dešť v celé oblasti modulem SGPM (z IMPLICIT.OUT) s přímočarým modulem PRIMO

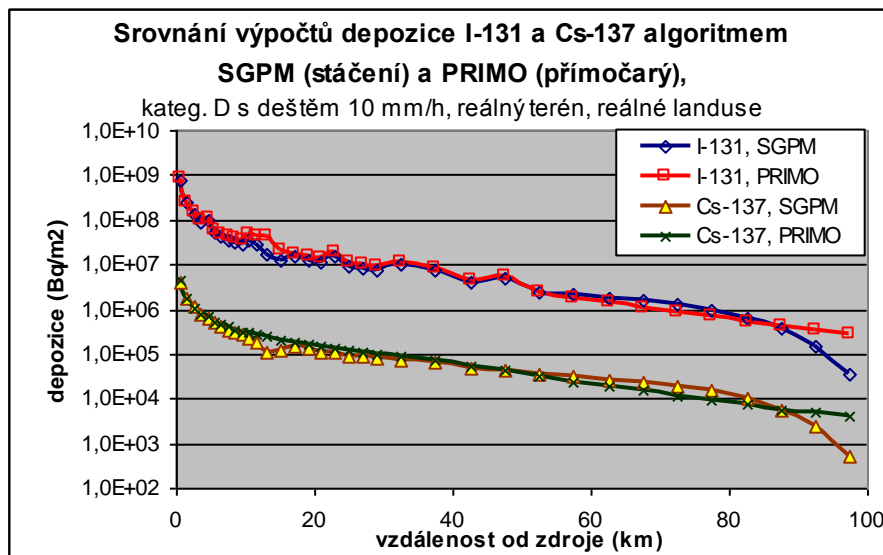
pod osou mraku

výška výpusť 45 m, nulová tepelná vydatnost

kategorie počasí D s deštěm 10 mm/h, rychl. větru 5 m/s

směr 6 (VJV) (v módu SGPM směr 26)

reálný terén, reálné landuse



Běh 4: Testy srážek lokálního charakteru

Kód HAVAR-DET: Srovnání výpočtů depozice I-131 a Cs-137 v módu SGPM s přímočarým modem PRIMO

pod osou mraku, výška výpusť 45 m, nulová tepelná vydatnost

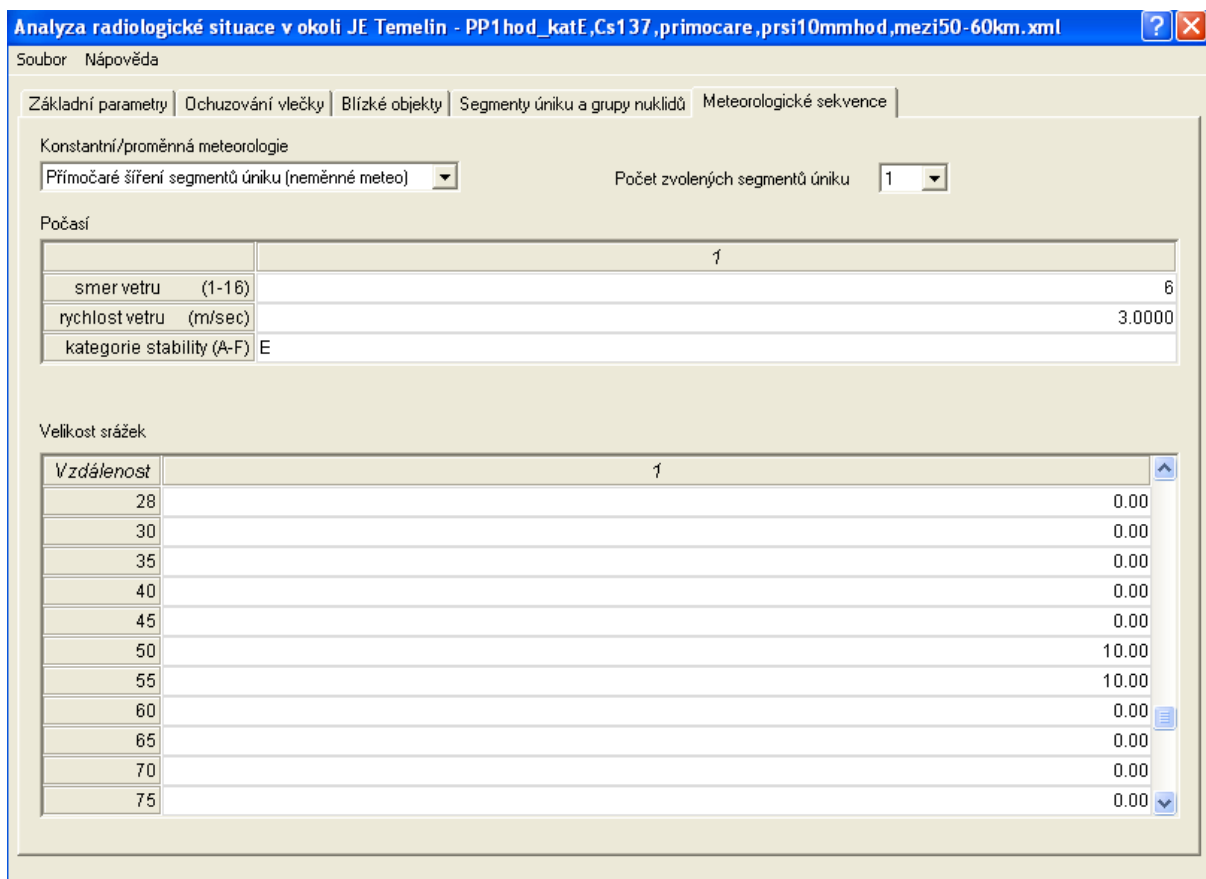
kategorie počasí E s deštěm 10 mm/h, rychl. větru 3 m/s

směr 6 (VJV) (v módu SGPM směr 26)

vypršení I-131 a Cs-137, dešť od 45.km do 55.km (pásmo 25-26)

reálný terén, reálné landuse

Zadání intenzivních lokálních srážek pro přimočaré šíření (způsob zadávání: pevně dané srážkové pásmo – mrak prochází „dešťovou clonou“) se zadá v následujícím vstupním panelu:



Zadání intenzivních lokálních srážek pro segmentované „stáčení“ (způsob zadávání: zadán časový interval). Následující panel umožňuje zadat jednoduchou bodovou meteopředpověď: ale pozor, prší naráz v celé oblasti. V následujícím panelu zadáváme déšť v celé oblasti trvající celou 5. hodinu po úniku. Možnost zadávat lokálně i časově proměnné srážky umožňuje až nová verze HAVAR-DET, využívající 3-D meteorologické předpovědi ve formátu HIRLAM.

Soubor Nápvěda

Základní parametry Pouzování vlačky Blízké objekty Segmenty úniku a grupy nuklidů Meteorologické sekvence

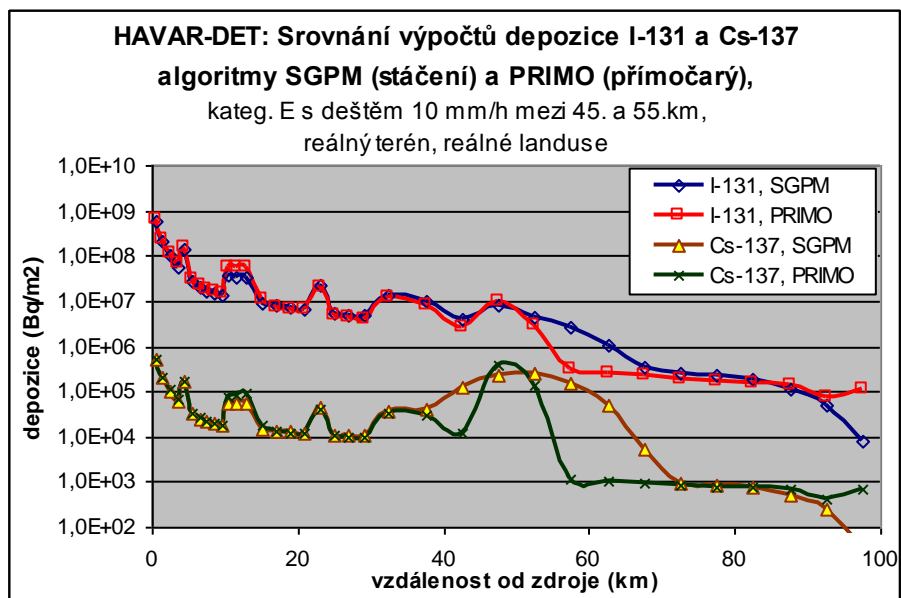
Konstantní/proměnná meteorologie Titulní řádka

Stáčení segmentu podle hodinových meteorosekvencí NJZ_vyska_45_vydatnost_0_smer_6_pocasi_F

Meteorosekvence

řvaní sekvence (hod)	pocatek (hod)	smer vetru (deg)	rychost vetru (m/s)	kat. pocasi (A - F)	srazky (mm/h)	Hmlox (m)
1.00	0.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	1.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	2.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	3.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	4.00	292.50	3.00	E	10.00	200.00
1.00	5.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	6.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	7.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	8.00	292.50	3.00	F	0.00	200.00
1.00	9.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	10.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	11.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	12.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	13.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	14.00	292.50	3.00	E	0.00	200.00
1.00	15.00	292.50	2.00	F	0.00	200.00

Načíst ze souboru Uložit do souboru



Kód HAVAR-DET: jen modul SGPM

Srovnání výpočtů depozice I-131 a Cs-137 Příklad s lokálním deštěm a bez deště

kategorie počasí E s deštěm 10 mm/h v 5. hodině úniku, rychl. větru 3 m/s

a dále kategorie E beze srážek

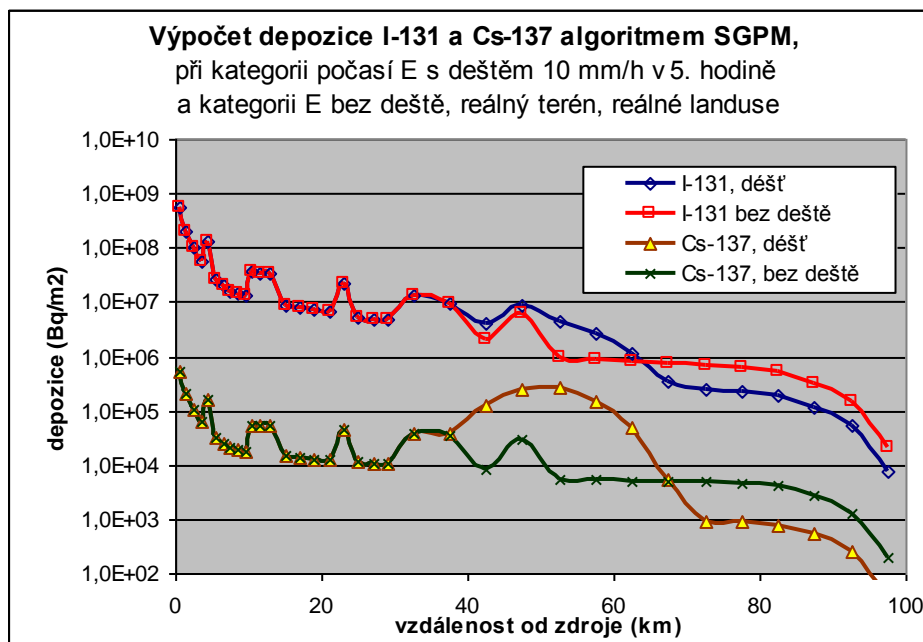
pod osou mraku

výška výpustí 45 m, nulová tepelná vydatnost

směr 6 VJV (v módu SGPM směr 26)

2 varianty: bez deště a vypršení I-131 a Cs-137, déšť v 5. hodině úniku

reálný terén, reálné landuse

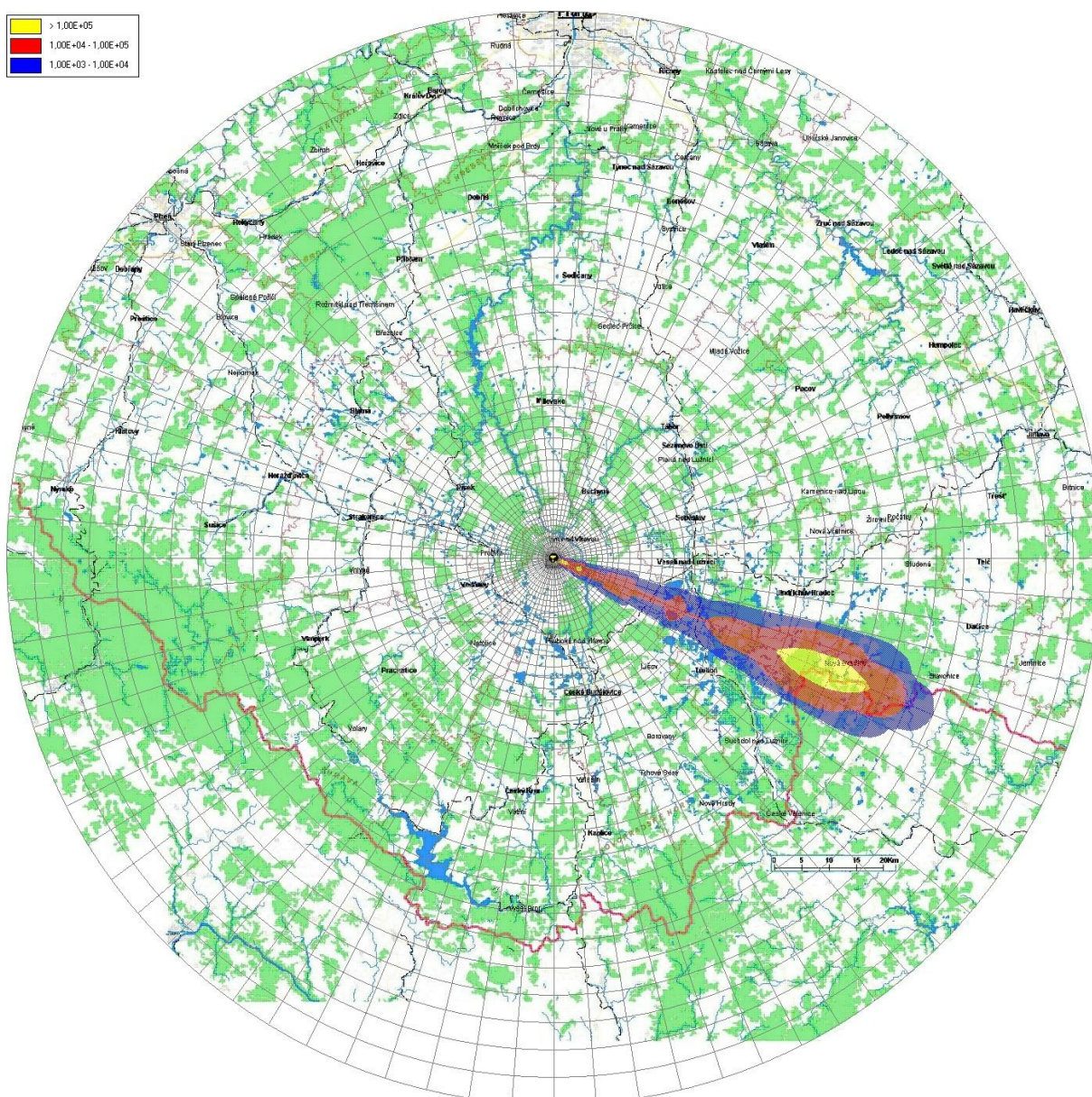
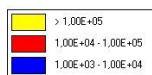


Depozici Cs-137 (v předchozím je v 1-D zobrazení) lze zobrazit také interaktivně v 2-D pomocí zobrazovacího systému (spojeným s módem SGPM). Na následujícím obrázku je vidět „dešťové oko“ na mapovém pozadí v poměrně velké vzdálenosti od zdroje.

Běh 5: Srážkové „oko“ při lokálním dešti v 2-D zobrazení na mapovém pozadí

Varianta výpočtu: DepCS137_E_5hod10mm_3m/s,

SGPM, při kategorii počasí E s deštěm 10 mm/h v 5. hodině úniku, rychlost větru 3 m/s
reálný terén ve směru 6 (VJV)



7 K únikům aktivity při nestandardních meteorologických podmínkách

Pro některé speciální případy je kód programu HAVAR-DET modifikován tak, aby jeho kopie byla schopna analyzovat důležité scénáře úniku, které mohou v některých situacích nezanedbatelně přispívat ke zvýšení radiologického zatížení populace. Byly provedeny podrobné analýzy pro dva speciální případy:

- Model šíření radioaktivního znečištění při nízkých rychlostech větru až bezvětří
- Odhady radiačního zatížení při dlouhodobých únicích radioaktivity.

Oba případy jsou komentovány v následujících kapitolách.

7.1 Šíření radioaktivního znečištění při nízkých rychlostech větru až bezvětří

Fyzikálním aspektům a modelové parametrizaci je věnována zpráva [10]. Výsledky analýz při výskytu calm podmínek jsou publikovány na konferenci HARMO9, a to jak v článku tak v posteru. Byly testovány dva možné přístupy:

- Superpozice 3-D gaussovských obláčků při bezvětří s využitím poloempirických formulí pro časovou závislost horizontálních a vertikálních parametrů disperze pro bezvětří podle [10, 13]
- Simulace nízkých rychlostí větru pomocí hypotetického cyklického pohybu segmentů úniku nad terénem, kdy je užit základní algoritmus atmosférické disperze založený na segmentovaném Gaussově modelu.

První metoda je ilustrována v [10, 12]. Ke druhé metodě uvádíme v dalším textu některé vybrané informace.

Simulace úniku radionuklidů při nízkých rychlostech větru pomocí segmentovaného Gaussova modelu vychází z podmínek proudění při silně stabilním zvrstvení v atmosféře. Konkrétně budeme uvažovat úniky z výšky 45 metrů, při kategorii stability D nebo alternativně F a nízké rychlosti 1 m/s. Opět se jedná o jediný segment úniku v trvání jedné hodiny a uniklé aktivity odpovídající scénáři LB-LOCA dokumentovaný v [6]. První základní fáze úniku probíhá ve směru 55 DEG (téměř JV). Pak únik končí a modelují se další fáze tohoto prvního základního segmentu tak, že tyto se periodicky po hodině vracejí nad místo úniku (zpětný směr 235 DEG). Příslušný meteosoubor je následující:

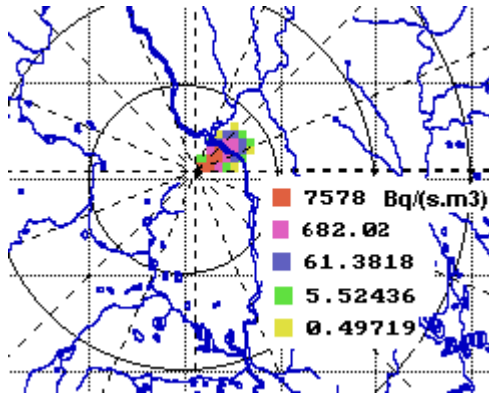
1.sloupec=doba trvani v hod., 2. sl=zacatek MRA od pocatku, 3. sl=smer foukani
4.=KPS podle HAVAR; 5.sl=U10, 6.=kat., 7.=srazky, 8. HMIX(neuvazuji)

Prvnich 5 pufů musí odpovídat předchozímu 5-ti seg. výpočtu.

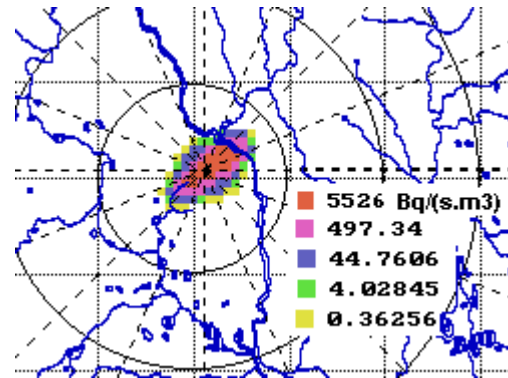
1	0	055	1	1,00	F	0,00	76
1	1	235	1	1,00	F	0,00	109
1	2	055	1	1,00	F	0,00	143
1	3	235	1	1,00	F	0,00	176
1	4	055	1	1,00	F	0,00	243
1	5	235	1	1,00	F	0,00	277
1	6	055	1	1,00	F	0,00	440
1	7	235	1	1,00	F	0,00	604
1	8	055	1	1,00	F	0,00	604
1	9	235	1	1,00	F	0,00	761

Byly prováděny výpočty se dvěma alternativními modely disperzních formulí, a to KFK pro drsný terén a SCK/CEN pro nižší drsnost. Byla prokázána velká závislost výsledků na použitém modelu disperze. Současně byly testovány varianty s alternativními kategoriemi stability atmosféry F a D.

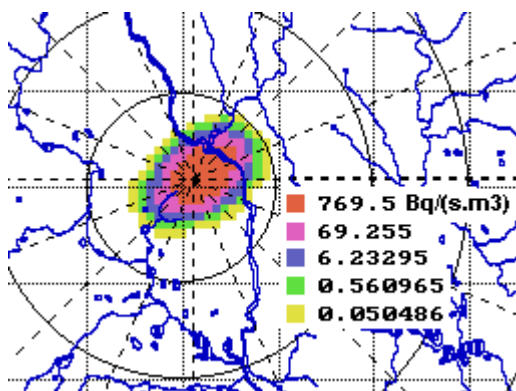
Ilustrativní časový vývoj mraku nad místem úniku je na obrázku 7-1. Detailnější kumulaci škodlivin pod osou cyklického pohybu nad místem úniku ve směrech zhruba SV \longleftrightarrow JZ znázorňuje obrázek 7-2.



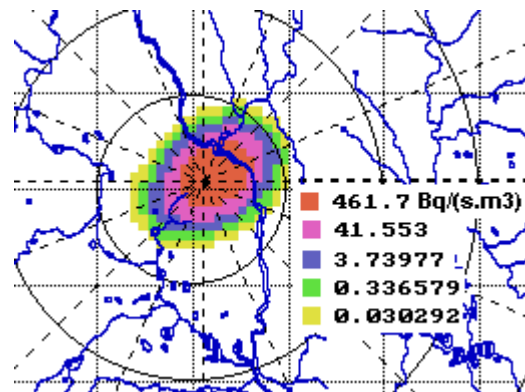
Ve fázi 1



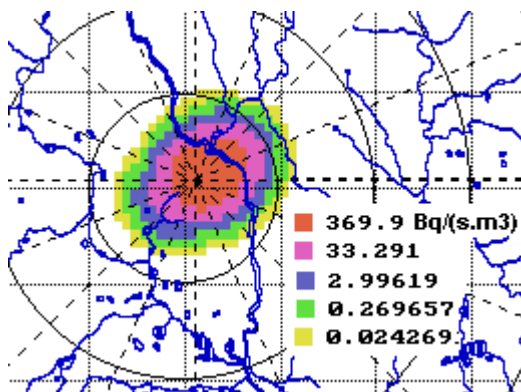
Ve fázi 2



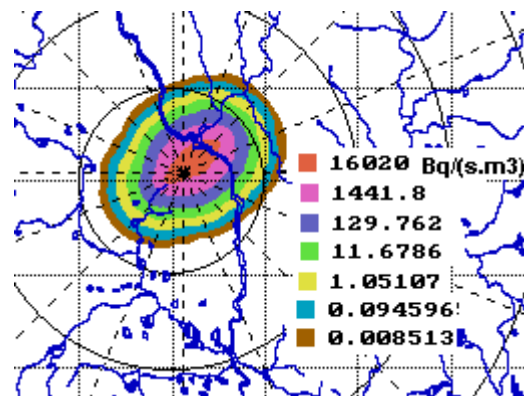
Ve fázi 4



Ve fázi 6

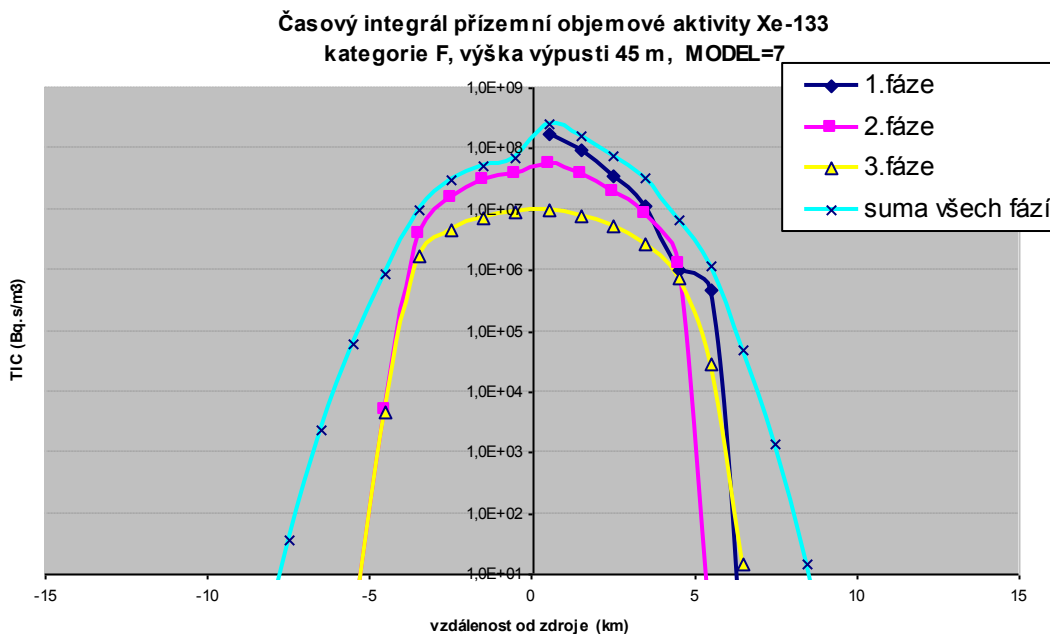


Ve fázi 8



Suma integrální koncentrace od všech fází

Obrázek 7-1: Únik Cs-137: $1,85E+10$ Bq v 1. hodině. Výška úniku 45 m, kategorie počasí F, Model disperze KFK (drsný terén). Únik trvá 1 hod., rychlost větru v 10 m je 1 m/s, směr 55 DEG. Sledováno 8 fází střídavého přechodu mraku nad místem úniku (55 DEG \leftrightarrow 235 DEG), každá fáze trvá hodinu, meteorologické podmínky se nemění. Zobrazeny integrální přízemní aktivity Cs-137, vždy za příslušnou fází přechodu mraku, poslední obrázek znázorňuje sumární efekt.



Obrázek 7-2: Narůstání časového integrálu objemové aktivity Xe-133 v přízemní vrstvě vzduchu v jednotlivých hodinových fázích cyklického pohybu prvotního mraku radioaktivity nad místem zdroje úniku. Model disperze = 7 (SCK/CEN – hladký terén). Vykreslovány hodnoty pod osou cyklického pohybu (ve směrech zhruba SV \longleftrightarrow JZ). Scénář úniku: unikla celková aktivita Xe-133 4,09E+12 Bq, únik trval 1 hodinu.

Testy prováděné v poslední době na dlouhých hodinových sekvencích (např. všech 17 520 hodin v období 2008 až 2009), komentované v [9], potvrdily častý výskyt povětrnostních sekvencí s nízkými rychlostmi větru. Tyto situace mohou mít podstatné dopady na radiologickou situaci a musí být brány v potaz a zařazeny do kvantitativních odhadů rizika (QRA). Shora popsáný zjednodušený přístup musí být nahrazen důkladnější analýzou a je nutné vyvinout metodologii popisu disperze při nízkých rychlostech větru. Pokus o řešení limitního případu (nulová rychlost větru) uvádíme v [10], který je založen na shora zmíněné superpozici 3-D gaussovských obláčků při bezvětří s využitím poloempirických formulí pro časovou závislost horizontálních a vertikálních parametrů disperze pro bezvětří podle [13].

7.2 Odhady radiačního zatížení při dlouhodobých únicích radioaktivity do životního prostředí

Jednou z méně zpracovaných oblastí radiační bezpečnosti je analýza následků dlouhodobých úniků radioaktivity do atmosféry s rozsahem několika týdnů či měsíců. Takové scénáře jsou sice méně pravděpodobné, ale lze si je představit například v případě některých nadprojektových havárií nebo při mimořádných událostech ve skladech vyhořelého paliva spojených s poruchami v odvodu zbytkového tepla nebo při teroristickém napadení.

Pomocí nového projektu HAVLONG kódu HAVAR jsou zpracovávány mnohonásobné sekvence úniku radioaktivity do atmosféry. Jsou použity hodinové meteosekvence samostatně generované na meteorových ČHMÚ v každé z lokalit JE Temelín a JE Dukovany. V této práci bylo použito celkem 3000 skutečných kontinuálních hodinových meteosekvencí pokrývajících spojitou časovou periodu 1.3.2004 až 3.7.2004. Principem algoritmu je

provádění mnohonásobné superpozice výsledků jednotlivých dílčích hodinových úniků, přičemž jednotlivé úniky jsou počítány kódem HAVAR-DET pro případ přímočarého šíření gaussovské vlečky. Pro použití tohoto modelu mluví jemné časové dělení na velký počet krátkodobých úniků, přičemž argumenty pro tento postup jsou obdobné jako v případě použití stejného modelu u kódů PC CREAM nebo NORMAL používaných k hodnocení dopadů normálního rutinního provozu.

Při postupném výpočtu lze přibližně respektovat dynamiku úniku (volbou předpisu pro časový průběh intenzity úniku a tepelného výkonu uvolňovaných vzdušín) a postupné změny dalších časově proměnných veličin. Z posledně jmenovaných je nejdůležitější juliánský den spadu v roce odpovídající danému konkrétnímu datu, na kterém silně závisí hodnoty úvazků dávek v důsledku příjmu kontaminované potravy.

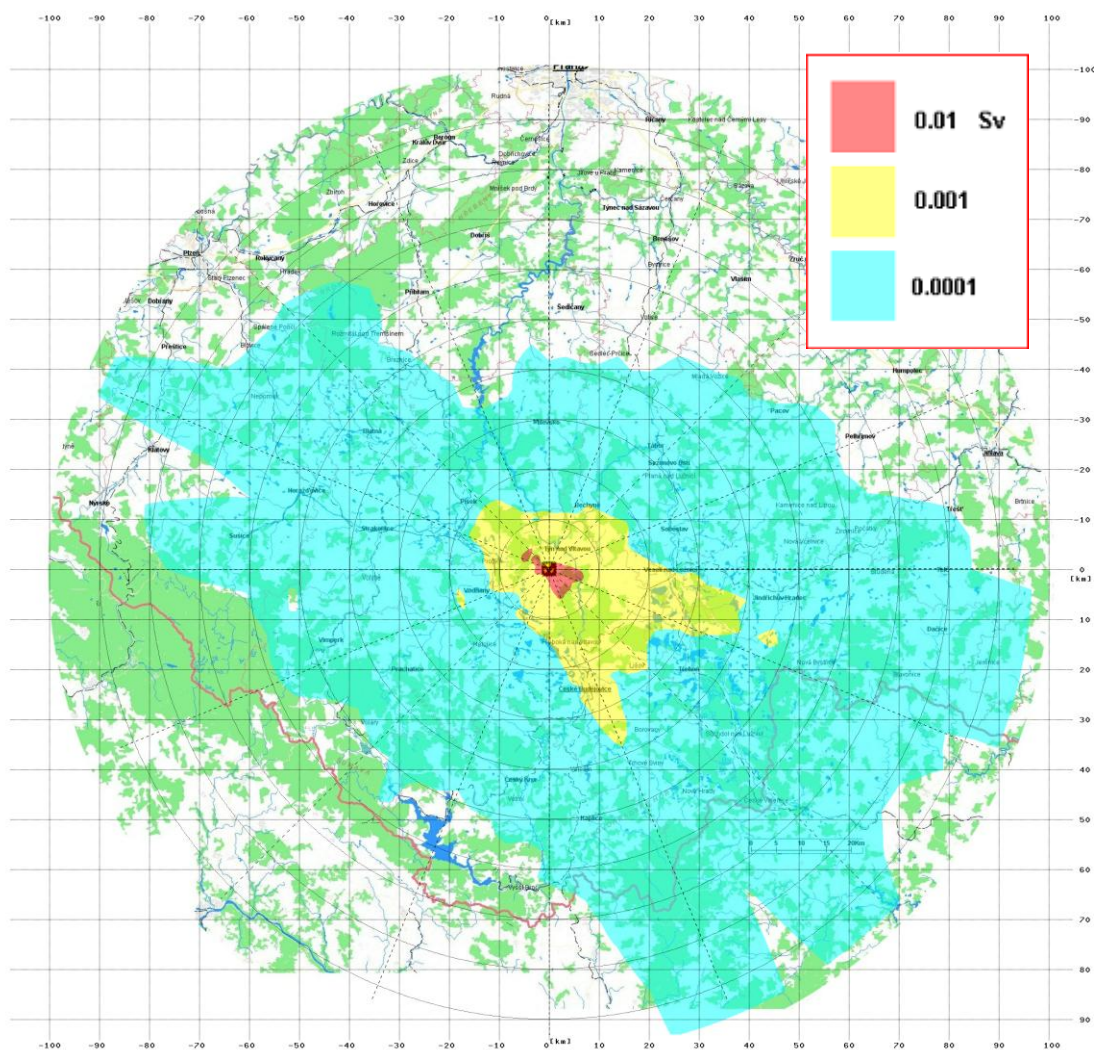
Uvedeme několik faktů z podrobné práce [12]. Byla ověřována možnost postihnout úniky trvající až několik měsíců při zachování co nejjemnějšího časového rozdělení vzhledem k podrobnosti sekvencí meteorologických podmínek, které jsou k dispozici. Je zřejmé, že se bude jednat o velký objem výpočtů, a proto je třeba nejdříve ověřit proveditelnost takové úlohy. Je tedy zvolen nejrychlejší algoritmus přímočarého šíření gaussovské vlečky, kdy vlečka odpovídající hodinovému úniku se celou další fází šíří s konstantními meteoparametry (směr a rychlost šíření, kategorie stability atmosféry, atmosférické srážky) odpovídajícími základní hodině. Jemné časové dělení na velký počet krátkodobých úniků spolu s omezením na modelování v bližším okolí zdroje podporuje zvolený přístup i z hlediska metodologického. Výsledky konečné superpozice hodnot z velkého množství dílčích hodinových úniků, z nichž každý byl vyšetřován podle schématu šíření „časově konstantní - prostorově konstantní“, by tedy měly být rozumně použitelné.

Bodové předpovědi z meteorologické věže v místě konkrétního jaderného zařízení jsou pro obě lokality JE Temelín a Dukovany automaticky přenášeny komunikačními linkami ČHMÚ do databázového systému ORACLE na KKC-SUJB. Uložená data byla primárně určena pro systém RODOS, nicméně se předpokládá jejich využití i pro jiné programy používané na KKC pro oblast jaderné bezpečnosti. Pro lokality ETE a EDU jsou modelem ALADIN prováděny každých 12 hodin (0.00 hod. a 12.00 hod.) analýzy meteosituaace. V okamžiku meteorologické analýzy je současně provedena předpověď na dalších 48 hodin. Historická data se takto postupně skladují v databázi ORACLE a lze je vyvolávat.

Jako zdrojový člen se do programu zadává odhadnutý inventář celkového úniku jednotlivých nuklidů do okolí (jeho konstrukcí se zde blíže nezabýváme). Vychází se z praktického přístupu, kdy jedna z možností je zadat únik jako určitou frakci (třeba navíc specifickou pro jednotlivé grupy nuklidů) celkového inventáře aktivity v zařízení. Byly zvoleny hypotetické celkové úniky aktivity $Q^n_{TOT} (Bq)$ během dlouhodobé periody 3000 hodin podle následující tabulky:

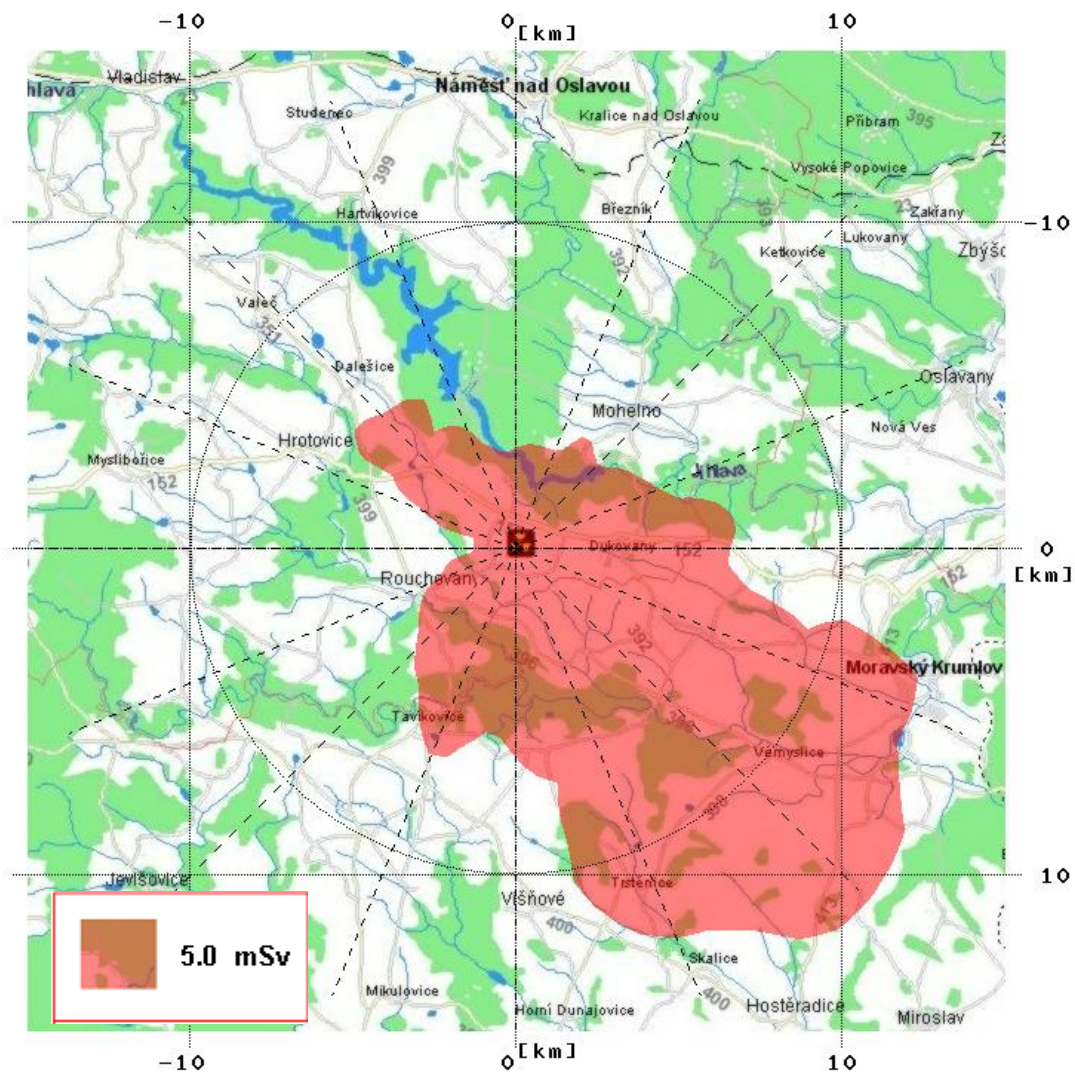
nuklid	$Q^n_{TOT} (Bq)$
Sr-90	3,77E+15
I-131	3,77E+15
Cs-137	3,77E+15

Hodinová intenzita úniku Q^n_{hod} v (Bq/hod) radionuklidu n se počítá podle zvoleného předpokládaného časového průběhu popsáno podrobně v [12]. Na obrázku 7-3 je znázorněn úvazek ekvivalentní dávky (Sv) na štítnou žlázu pro kojence kolem JE Temelín od ročního příjmu aktivity při hypotetickém dlouhodobém úniku.

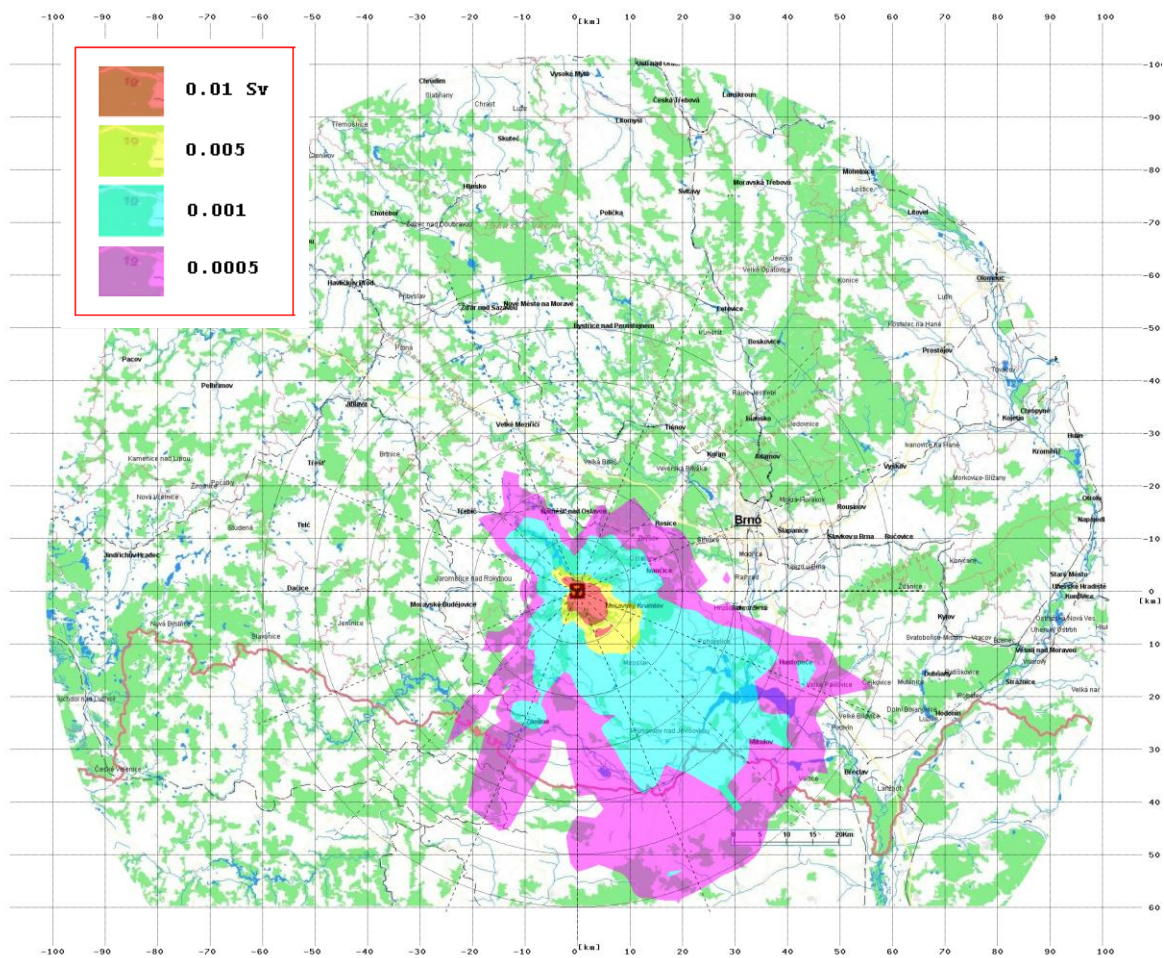


Obr. 7-3: Úvazek ekvivalentní dávky na štítnou žlázu (Sv) pro kojenče kolem JE Temelín při hypotetickém dlouhodobém úniku.
($H=100m$, s vlivem budov, dynamika vznosu QH , 3000 hodinových meteosekvencí - reálné předpovědi z ČHMÚ pro období 1.3. až 4.7. 2004)

Obrázek 7-4 ukazuje možnosti zobrazení zvolené kritické izodózy.



Obr.7-4: Dukovany, izodóza roční ingesční dávky 5 mSv pro dospělé pro aplikaci následných ochranných opatření, výška úniku 20 m, bez vlivu blízkostojících objektů, 3000 hodinových meteosekvencí pro Dukovany (1.3.2004 až 4.7.2004).



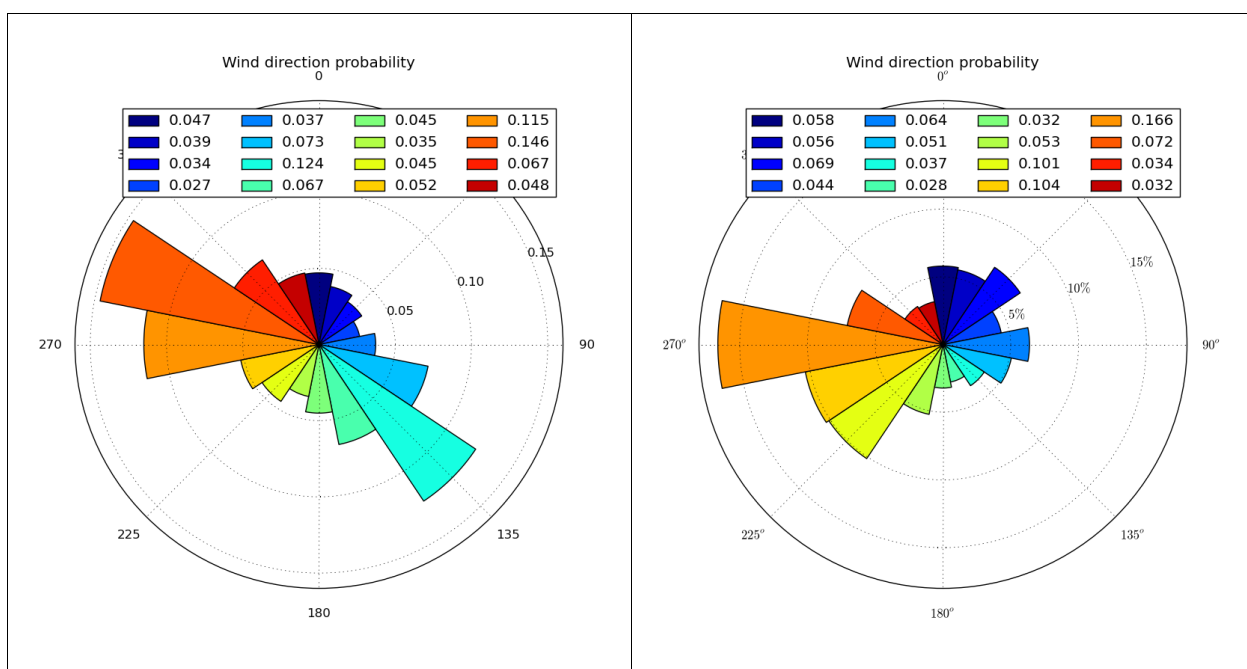
Obr. 7-5: Distribuce roční efektivní dávky od všech cest ozáření kolem JE Dukovany (superpozice 3000 hodinových meteo-sekvencí od 1.3.2004 do 4.7.2004, únik ve 20 m, bez budov, proměnná doba spadu).

7.3 Spekulativní simulace ročních dlouhodobých difúzních charakteristik ekvivalentními mnohonásobnými hodinovými úniky

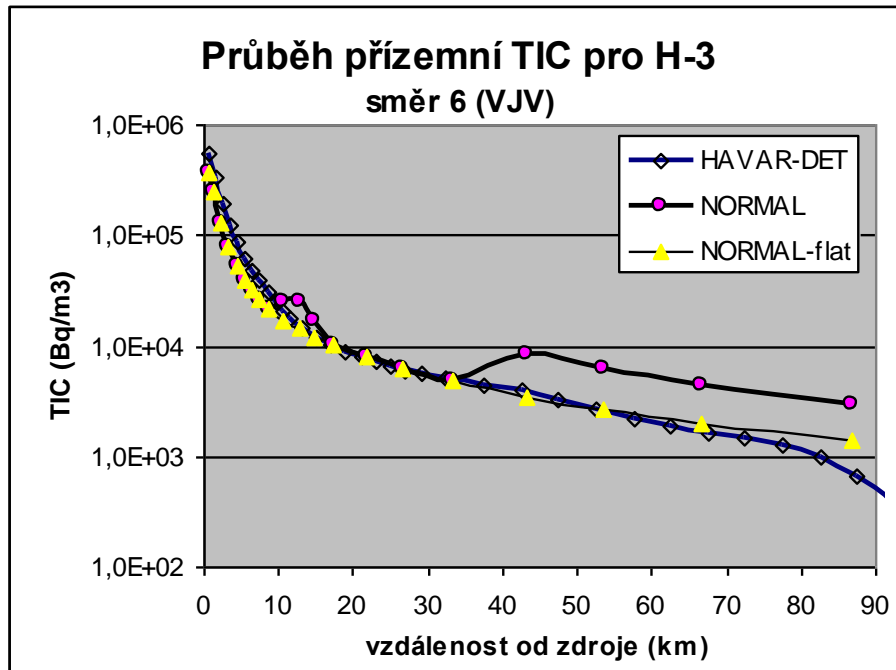
V předchozím odstavci byl použit model přímočarého šíření a testována náročnost a proveditelnost takové úlohy. Také pro následující mnohem složitější úlohu je třeba prověřit, jak zvládne algoritmus SGPM deterministického jádra produktu HAVAR-DET výpočetně náročné mnohonásobné vyvolávání archivovaných 3-D meteorologických sekvencí ve formátu HIRLAM. To znamená při respektování mnohem realističtějšího schématu šíření „časově proměnné - prostorově proměnné“. K těmto demonstračním účelům byla použita poněkud kuriózní simulace, kdy SGPM modul byl postupně volán pro každou hodinu roku 2008, kdy roční výpusti pro JE Temelín byly rozděleny do 8760 ekvivalentních hodinových úniků roku a každý tento hodinový únik byl unášen „skutečným“ počasím pro tuto hodinu. Šlo o archivované 3-D předpovědi popsané v [1], kap. 6.1. Tak bylo získáno 8760 scénářů a výsledné „roční“ statistiky se získaly jejich superpozicí. Podrobnosti ke scénáři jsou publikovány v [11].

Diference mezi statistikami na obr.7-6 signalizují jistý nesoulad mezi předpovědí a měřením charakteristik počasí (podrobněji rozbor v [9]), což ještě více podtrhuje význam zavádění asimilačních technik pro korekci modelových předpovědí na základě měření.

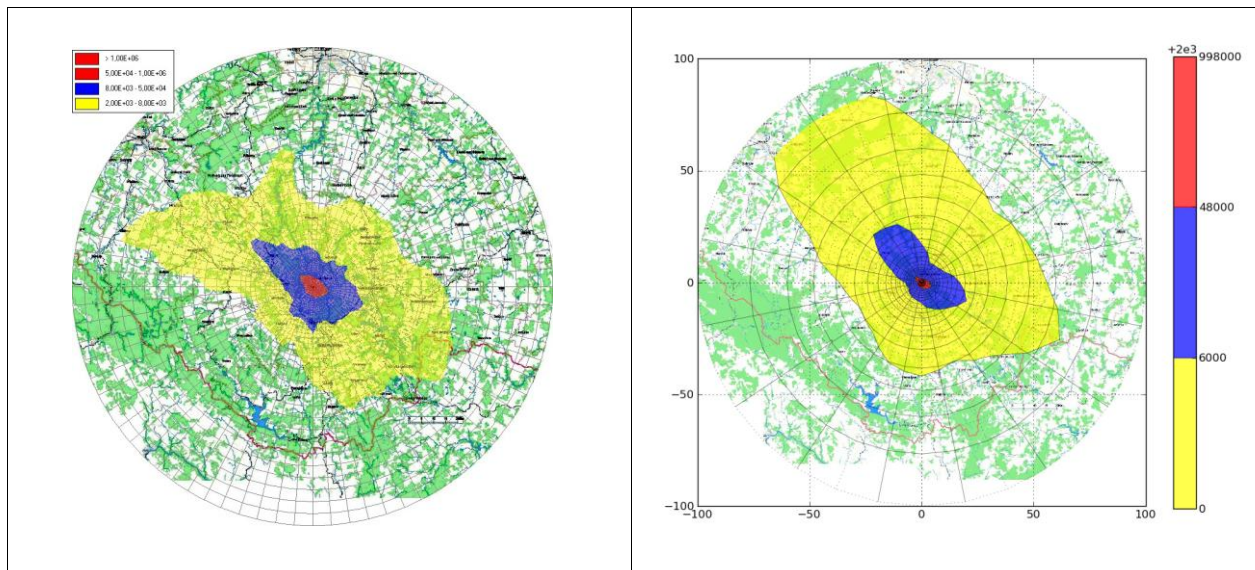
Statistika z obr.7-6 vlevo byla použita pro souběžné výpočty podle kódu NORMAL [14]. Výsledky jednoho dílčího srovnání pro objemovou aktivitu H-3 v přízemní vrstvě vzduchu jsou znázorněny na obrázcích 7-7 a 7-8. Byla zjištěna překvapivě dobrá shoda při parciálním srovnání TIC H-3. S jistou opatrností lze tento fakt považovat za určitý příspěvek k ověřování kompatibility systémů HAVAR-DET a NORMAL. Nicméně hlavním zjištěním je fakt, že výpočet je dostatečně rychlý a splňuje základní podmínku pro jeho nasazení deterministického jádra kódu HAVAR-DET do PSA studií a pokročilých statistických postupů pro asimilaci modelových předpovědí s pozorováními v terénu.



Obr.7-6: Větrné růžice pro JE Temelín spočtené na základě archivovaných meteorologických předpovědí za rok 2008 ve formátu HIRLAM (vlevo) a na základě meteorologických měření v místě zařízení (vpravo). Směr větru: odkud fouká.



Obr.7-7: Srovnání dlouhodobých hodnot časového integrálu měrné aktivity H-3 v přízemní vrstvě vzduchu podle HAVAR-DET (algoritmus SGPM) a NORMAL



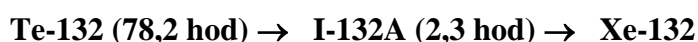
Obr.7-8: Srovnání rozložení dlouhodobé roční hodnoty TIC H-3 ($\text{Bq}\cdot\text{s}/\text{m}^3$) vypočtené kódem HAVAR-DET (vlevo) a NORMAL (pro rovinný terén - vpravo)

8 Vznik dceřiných nuklidů při postupu mraku nad terénem

Vyjdeme-li ze vztahu (2.26) z [1], celkový efekt mechanismů ochuzování radioaktivní vlečky (rozpad, fallout, washout) dává pro faktor ochuzení na vzdálenosti od zdroje do místa x :

$$F_{\text{depl}}^{\text{TOT}}(x) = F_{\text{dry}} \cdot \frac{\lambda^{\text{d}}}{(\lambda^{\text{p}} + \Lambda^{\text{p}}) - (\lambda^{\text{d}} + \Lambda^{\text{d}})} \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(\lambda^{\text{d}} + \Lambda^{\text{d}}) \cdot x}{\bar{u}}\right] - \exp\left[-\frac{(\lambda^{\text{p}} + \Lambda^{\text{p}}) \cdot x}{\bar{u}}\right] \right\}$$

Vzorec platí pro přímočaré šíření a za předpokladu, že rychlost suché depozice je u rodičovského a dceřiného produktu stejná, Aplikaci tohoto postupu zde ukážeme na jednoduchém rozpadu:

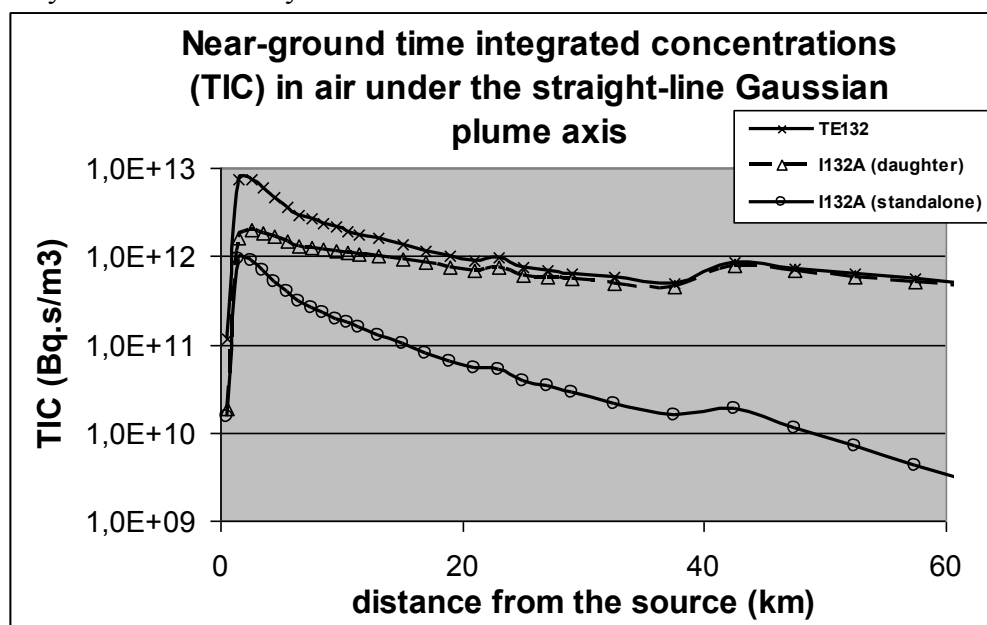


Vyšetřujeme dvě varianty hodinového úniku:

1) pouze I-132 = 3,92E+18 Bq

2) pouze Te-132 = 1,48E+18 Bq

Výsledek první varianty je na obrázku 8-1: dolní křivka, druhou variantu představují horní dvě křivky. V oblaku Te-132 vzniká nebezpečný I-132, který v důsledku tohoto mechanismu může být zanášen do velkých vzdáleností.



Obr. 8-1: Unášení nebezpečného I-132 do větších vzdáleností.

Na dalším obrázku analyzujeme další jednoduchý důležitý rozpad:



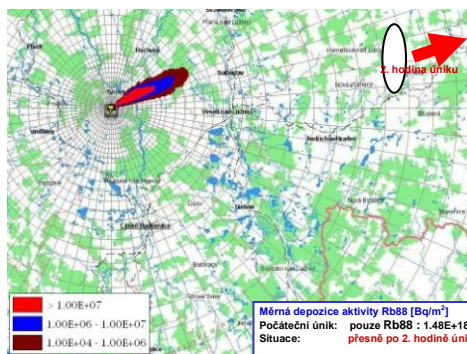
V prvním případě uvažujeme pouze samostatný hodinový únik

1) pouze Rb-88 = 1,48E+18 Bq

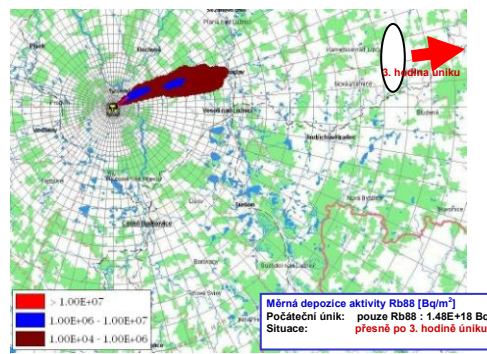
2) pouze Kr-88 = 1,48E+18 Bq

Kr-88 je vzácný plyn, Rb-88 předpokládáme v aerosolové formě. Nelze tedy použít shora uvedený analytický vztah. Tento případ řešíme numericky v rámci segmentovaného modelu SGPM podle navrženého schématu v kapitole 6.3.3 metodického manuálu HAVAR-DET [1], vztahy (6.24a) až (6.24c).

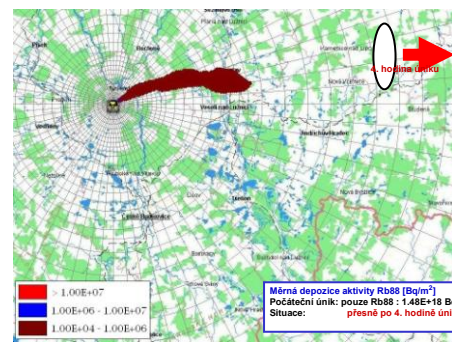
Výsledky pro variantu a) na následujícím obrázku 8-2 ukazují, že samotné Rb-88 poměrně rychle vymírá (horní řada animace na následujícím obrázku). Daleko nepříznivější případ nastává u varianty b) podle obrázku 8-3, kdy Rb-88 představuje dceřiný produkt v kryptonovém mraku a je kryptonem zanášeno do velkých vzdáleností (dolní řada poslední animace).



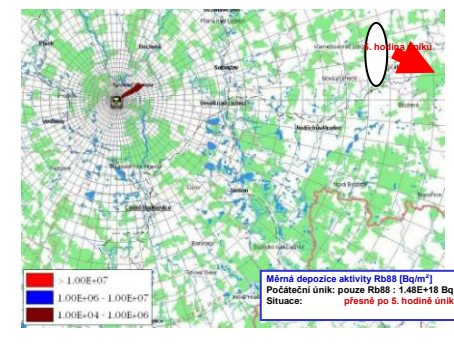
Po 2. hodině úniku



Po 3. hodině úniku

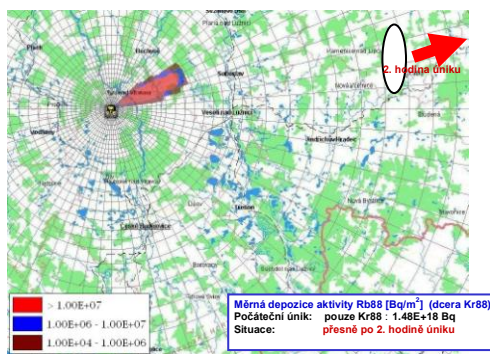


Po 4. hodině úniku

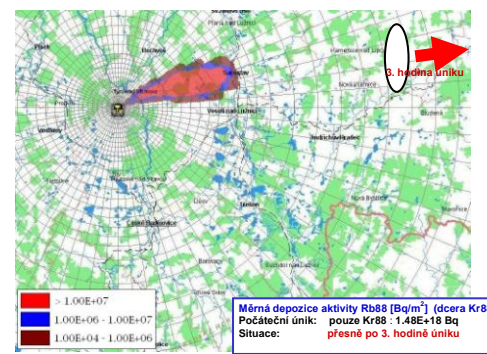


Po 5. hodině úniku

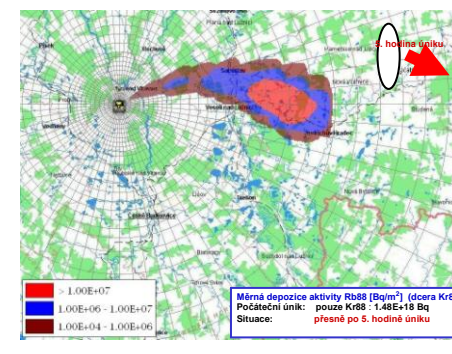
Obr.8-2: Varianta a) : Měrná depozice aktivity Rb-88 - poměrně rychlé vymírání Rb-88 při postupu nad terénem



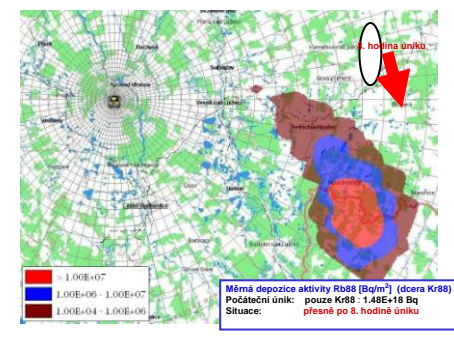
Po 2. hodině úniku



Po 3. hodině úniku



Po 5. hodině úniku



Po 8. hodině úniku

Obr. 8-3: Varianta b) : Měrná depozice aktivity Rb-88. Rb-88 nyní představuje dceřiný produkt v kryptonovém mraku a je kryptonem zanášeno do velkých vzdáleností

9 Reference

- [1] Pecha P., Pechová E.: Popis metodiky programu HAVAR-DET, zpráva EGP, arch.č. EGP 5014-F-110079, Praha, březen 2011
- [2] Pecha P., Pechová E., Hofman R.: Uživatelský manuál programu HAVAR-DET, zpráva EGP, arch.č. EGP 5014-F-110080, Praha, březen 2011
- [3] HAVAR: Interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderného zařízení do atmosféry.
ČÁST III : Srovnávací analýza a studie senzitivity, 2000
- [4] Aplikace systému HAVAR-RP v oblasti radiační ochrany - Srovnávací úlohy a analýzy některých scénářů úniku, Projekt VaV 6/2003 SÚJB, Praha, revize březen 2008
- [5] HAVAR: Interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderného zařízení do atmosféry.
ČÁST I : Metodika, 2000,
ČÁST II : Uživatelský manuál, 2000
- [6] Pecha P., Pechová E.: Application of the COSYMA code for comparative analysis of a certain accidental releases of radioactivity. In: Proceedings of 4th International conference IMUG2002, held in Monaco. BNL, Upton 2002, pages 5-15
- [7] Assumptions and conditions for exercise STEP II b, zadání SÚJB pro společné česko-rakouské cvičení, Praha, 2002
- [8] Pechová E.: Výpočty šíření radionuklidů pro společné česko-rakouské cvičení STEP II b „Realistic Case Studies“, zpráva EGP arch.č. 5014-L-030152, Praha, březen 2003
- [9] Hofman R., Kuča P., Pecha P.: Vliv variability povětrnostních podmínek na odhady důsledků dlouhodobých úniků radioaktivity, XXXII. Dny radiační ochrany, (Třeboň, CZ, 08.11.2010 – 12.11.2010), presentace, sborník abstraktů - str. 38, ISBN 978-80-01-04647-0
- [10] Pecha P., Pechová E.: Risk Assessment of Radionuclide Releases during Extreme Low-Wind Atmospheric Conditions. In: Proceedings of the 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. (Suppan P. ed.). Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe 2004, pp.320-324. Also poster presentation
- [11] Hofman R., Pecha P.: Application of Regional Environmental Code HARP in the Field of Off-site Consequence Assessment. PSA 2011 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis, Am. Nuclear Society. Wilmington, NC, March 13-17, 2011
- [12] Pecha P.: Odhady radiologických důsledků při dlouhodobých atmosférických únicích radioaktivity do životního prostředí. Závěrečná zpráva etapy E02 h) projektu 6/2003, 2004
- [13] Okamoto S., Onishi H., Yamada T., ...: A Model for Simulating Atmospheric Dispersion in a Low-Wind Condition. In: Proceedings of the 6th International Conference on Harmonisation in Atmospheric Dispersion Modelling for Reg. Purposes, Rouen 1999
- [14] Programový systém NORMAL: PC verze na ocenění radiační zátěže obyvatelstva v okolí jaderných zařízení při normálním provozu.
I. část: Metodika výpočtu, prosinec 2010
II. část: Uživatelský manuál, prosinec 2010
III. část: Srovnávací výpočty a studie sensitivity, arch.č. EGP 5010-F-100148, Praha, 12/ 2010