

**HAVAR: Interaktivní programový systém pro hodnocení
radiační zátěže obyvatelstva při havarijních
únicích z jaderného zařízení do atmosféry**

ČÁST III : Srovnávací analýza a studie senzitivity

Zpracovatelé:

Ing. P. Pecha, CSc

Ing. E. Pechová - 41200

leden 2000

Obsah

Obsah.....	2
1. Kontinuální proces ověřovacích výpočtů	3
2. Základní srovnání výsledků produktu HAVAR a s deterministickými běhy podle produktu COSYMA prováděné v rámci výpočtů se zadáním pro dPBZ JETE, kap. 15.7.....	5
2.1 Konstrukce vstupních dat, výpočty, presentace výsledků podle obou produktů.....	5
2.2 Komentář k výsledkům výpočtu podle obou modelů.....	27
2.2.1 K nekonsistenci výpočtů podle HAVAR vers. COSYMA	27
2.2.2 Závěr a výhledy pro další komparativní práce:	28
3. Audit modelů transportu radionuklidů užitých v systému HAVAR na základě srovnávací analýzy s produktem COSYMA.....	29
4. Srovnání výsledků HAVAR a COSYMA pro případ validačních úloh.....	30
4.1 Validační úloha č. 1.....	30
4.2 Modifikovaná validační úloha č. 2	37
5. Výsledky validační úlohy č. 1 počítané podle produktu RODOS	42
Seznam literatury.....	45
Přílohy	46
Příloha 1 - Referát o srovnávací analýze HAVAR versus COSYMA na konferenci 4-th COSYMA Users Group Meeting	
Příloha 2 - Srovnání výsledků HAVAR versus COSYMA pro případ výskytu atmosférických srážek - validační úloha č.2 (1999)	
Příloha 3 - Srovnání výsledků HAVAR versus COSYMA se zahrnutím efektu blízkostojících objektů	

1. Kontinuální proces ověřovacích výpočtů

Systém HAVAR je vyvíjen pro potřeby projekčních prací podniku EGP Praha v rámci plánu technického rozvoje na základě spolupráce externího dodavatele se zainteresovanými pracovníky ENERGOPROJEKT Praha. Metodika, detailní popis systému HAVAR a jeho uživatelský manuál jsou popsány v prvních dvou částech dokumentace k tomuto systému.

V roce 1996 byly zahájeny základní ověřovací a srovnávací výpočty s dostupnými mezinárodně používanými kódy. Okamžitě je k dispozici systém COSYMA, který je podnikem EGP Praha oficiálně zakoupen. Kód COSYMA je sice určen hlavně k pravděpodobnostnímu hodnocení rizika provozu JE a ocenění vlivu případných protiopatření, nicméně lze jej použít i pro marginální případy deterministického popisu konkrétního incidentu. I když tyto deterministické běhy podléhají dalším omezením vedoucím k nutným zjednodušením, lze na druhé straně ve velké míře přizpůsobit vstupní srovnávací data systému HAVAR a tak získat výsledky obou systémů relevantní pro další srovnávání. Jsou hledány vhodné alternativní programové systémy, na př. americký standard MACCS, který je oficiálně k dispozici v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR (ÚTIA je oficiálním členem MACCS Users Group). Během času se vynořily další slibné produkty hodící se pro účely srovnávacích standardů.

Od roku 1997 se externí spolupracující tým aktivně účastní procesu implementace a lokalizace evropského systému RODOS (Decision Support System for Nuclear Emergencies – [3]) v rámci INCO COPERNICUS grantu Evropského společenství, jehož hlavním kontraktorem a garantem za ČR je Státní ústav radiální ochrany. Konkrétní práce jsou pak prováděny v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR. V důsledku směrnice VDS 030 SÚJB musejí být všechny programy užívané v ČR v oblasti jaderné bezpečnosti podrobeny standardizační proceduře bez ohledu na místo původu daného kódu. Z tohoto důvodu i systém RODOS může sloužit v současné době pro účely srovnávání, protože jak u tohoto produktu tak u systému HAVAR paralelně probíhají ověřovací výpočty povinných validačních úloh č. 1 a 2, které byly zadány Odbornou hodnotící komisí č.6 pro výpočty šíření RA produktů. Výsledky validačních úloh spočtených podle systému RODOS jsou dokumentovány v RODOS reportu o akreditaci tohoto systému na podmínky v České republice [4].

Během času byl systém HAVAR používán pro účely výpočtu k různým typům bezpečnostních zpráv, k odhadům závažnosti některých dílčích neplánovaných úniků a k posouzení míry konzervatismu těchto odhadů, pro presentaci produktu u nás i na mezinárodním poli (články do časopisů nebo sborníků konference) a konečně produkt byl využit i pro některé práce pro externí zákazníky ENERGOPROJEKTu Praha (Výzkumný ústav vodohospodářský). Ve všech těchto etapách bylo prováděno srovnávání výsledků základních řídicích veličin s výsledky kódu COSYMA a nejnověji též s produktem RODOS.

Z chronologického hlediska šlo o následující nejdůležitější fáze prací:

- Testování pro konkrétní vstupní data podle zadání do dPBZ, kap. 15.7 (malé jody) pro lokalitu JE Temelín, prováděné koncem roku 1996.
- Generování podkladů pro rozsáhlou srovnávací analýzu s produktem COSYMA, která byla prováděna během roku 1997 a jejíž výsledky byly publikovány v rámci konference 4th COSYMA Users Group Meeting [5] .

- Ověřování vypočtených hodnot koncentrace radionuklidů v přízemní vrstvě vzduch a jejich depozice na vodní ploše pro případ havarijního úniku ve směru vodní nádrže ORLÍK. Práce proběhly v EGP Praha ve 2.čtvrtletí 1998 na zakázku pro Výzkumný ústav vodohospodářský ústav a zvláštní důraz byl položen na implementaci modelu lokálních atmosférických srážek a jeho prověření.
- Počátkem roku 1999 byly prověřovány krátkodobé koeficienty zředění koncentrace škodlivin v atmosféře generované programem HAVAR pro účely dokumentace v kapitole 2 PpBZ .
- Ve 2. čtvrtletí 1999 proběhly srovnávací výpočty základních výsledných řídicích veličin pro zjednodušené částečně modifikované úlohy č. 1 a č. 2, zadané pro akreditační účely výpočetních kódů Odbornou hodnoticí komisí č.6.

Poznamenejme, že tento proces zpětně ovlivnil vlastní vývoj produktu HAVAR v tom smyslu, že zadání úloh si vynutilo nejen drobné přechodné úpravy zdrojového kódu a vstupních datových souborů, nýbrž i vlastní pozitivní rozvoj kódu ve smyslu implementace nových metodik a aktualizace vstupních souborů včetně jejich harmonizace s nejnovějšími předpisy Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Obecně lze říci, že proces srovnávání není jednoduchou záležitostí a vynucuje si celou řadu zjednodušení na straně vstupních dat. V některých případech je dokonce třeba provést přechodné úpravy v metodice tak, aby se oba systémy co nejvíce k sobě přiblížily a staly se srovnatelnými. Faktem je, že srovnávané kódy obvykle odrážejí poněkud odlišnou filozofii přístupu (leckdy národně podmíněného) a srovnání se proto provádí pro zjednodušené varianty. Nutno zdůraznit, že toto nemá obvykle vliv na závěry o hlavních rysech srovnávaných produktů a adekvátnosti výsledků závěrečného srovnávání. V tomto směru je užitečné poukázat na ten fakt, že cizí produkt pro uživatele je obvykle „black box“ s nemožností aplikovat jakékoliv úpravy fixně zabudované metodiky. Odtud plyne jedna z výhod svědčící ve prospěch vlastních živých vyvíjených systémů s možností rychlé implementace nových postupů, přechodných změn zdrojového kódu ve snaze se přizpůsobit ke srovnávanému cizímu produktu až po snadnou aktualizaci vynucenou závaznými národními předpisy.

2. Základní srovnání výsledků produktu HAVAR a s deterministickými běhy podle produktu COSYMA prováděné v rámci výpočtů se zadáním pro dPBZ JETE, kap. 15.7

Jedná se o první vlnu srovnávacích výpočtů zahájenou ke konci roku 1996. Testování bylo provedeno pro konkrétní vstupní data podle zadání do dPBZ, kap. 15.7 (malé jódy) pro lokalitu JE Temelín. Tato data musela být dále modifikována (ze shora zmíněných důvodů kompatibility zadávání vstupů se systémem COSYMA [6]). K nejdůležitějším změnám patří nutnost uvažovat plochý terén kolem JE s jednotnou nadmořskou výškou 500 m n.m. až do vzdálenosti 100 km od zdroje znečištění a dále pak nutnost modifikovat rychlosti suchého vypadávání a poloempirické koeficienty pro popis atmosférické disperze v databance systému HAVAR.

Následující text je rozdělen na dvě části. V první z nich jsou uvedeny detailní výsledky výpočtů obou srovnávaných systémů ve formě tabulek a grafů. Do výsledků jsou navíc zahrnuty i ty varianty spočtené podle systému HAVAR, které spíše spadají do oblasti studií sensitivity, nicméně však podávají obraz o výrazné závislosti fluktuací výstupů na fluktuaci vstupních parametrů. Tato fakta potom umožňují uspokojivě vysvětlit případné rozdíly srovnávaných výsledků, což je prováděno ve druhé části textu při podrobné analýze výsledků.

Hlavním výsledkem této fáze srovnávací analýzy HAVAR vers. COSYMA je ověření faktu, že obě hlavní výstupní veličiny, kterými jsou přízemní objemové aktivity nuklidů a jejich depozice na zemském povrchu, prokazují velmi dobrou shodu a že v rámci použitých modelů jsou v systému HAVAR určovány správně. Zásadní význam tohoto zjištění plyne z faktu, že všechny další výpočty radiačního zatížení v důsledku různých cest ozáření vycházejí z těchto dvou hlavních veličin.

Srovnání HAVAR vers. COSYMA lze považovat za první základní etapu kontinuálního procesu srovnávací analýzy, která zpětně bude ovlivňovat kvalitu systému HAVAR. Odtud vyplynuly požadavky na další fáze srovnávací analýzy, kdy se ukázalo, že bude třeba hlouběji analyzovat jednotlivé dílčí použité modely. Především jde o zahrnutí realističtějšího modelu cesty ingesce (např. podle metodiky SÚRO), dále pak dílčí modely vlivu vymývání atmosférickými srážkami, vznosu radioaktivní vlečky, vlivu blízkých stavebních objektů na rozptyl, popřípadě zahrnutí realističtějšího modelování trajektorií částic znečištění. Z tohoto hlediska se tedy předkládaný text jeví jako první etapa rozsáhlejšího srovnávání, která intenzivně pokračovala v dalších etapách a ve své závěrečné fázi vytvořila podklady pro předložení systému HAVAR ke standardizačnímu řízení.

2.1 Konstrukce vstupních dat, výpočty, presentace výsledků podle obou produktů

Testování v této fázi bylo provedeno pro konkrétní vstupní data podle zadání do dPBZ, kap. 15.7 (malé jódy) pro lokalitu JE Temelín. Byla provedena další modifikace vstupních dat jak na straně systému COSYMA a hlavně na straně zadávání vstupů v systému HAVAR (je v tomto směru mnohem flexibilnější) tak, aby obě vstupní množiny se pokud možno nejvíce kryly. Podrobné zadání jedné z variant (uvažování vlivu blízkostojících objektů) následuje ve formě

výpisu datového souboru HAVIN.DAT (následující data jsou detailně vysvětlena v uživatelském manuálu systému HAVAR :

```

HAVAR/BPP- komín, KV=F, KPS=8, QH=0kW, VS=0m/s
10.12.1996, jódý s filtraci, ingesce, integr
  1
  1
 20 20
  0
 0  0
F
    45.0  8
31536000.0
    1.0
36000.0
    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
100.
507.
    0.0.
F
T
  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.
  5  7
C14      1.69E+03
AR41     1.55E+06
CR51     1.55E+02
MN54     6.84E+00
FE55     6.48E+01
FE59     2.92E+00
CO58     1.40E+01
CO60     3.96E+00
KR85M    2.84E+11
KR85     1.76E+11
SR89     7.92E-01
SR90     8.64E-03
SR91     5.04E+00
ZR97     2.88E-03
NB97     2.81E-03
MO99     1.22E+01
RU103    1.01E+01
RU106    4.68E+00
TE131    2.16E+03
TE132    1.91E+04
I131     3.24E+07
I132     1.98E+07
I133     5.76E+07
I134     1.55E+07
I135     4.68E+07
XE133    3.02E+13
XE135M   1.73E+11
XE135    2.56E+12
XE138    7.92E+10
CS134    2.05E+03
CS137    4.68E+03
BA140    4.32E-01
LA140    5.04E-02
CE141    2.77E-02
KONEC

```

Jde o konzervativní odhad následků úniku při kategorii počasí F, s nulovým vlnosem vlečky exhalací (její efektivní výška je rovna skutečné výšce výpustí 100 m v úrovni ventilačního komína) a dále byl vybrán směr větru č. 8 (směr chladících věží). Pro popis atmosférické difúze byl ve všech variantách použit model Karlsruhe-Jülich, který je doporučován pro drsný terén.

Pro srovnávací výpočty byl dále modifikován vstupní soubor HAVLOK.DAT (viz opět podrobný popis v uživatelském manuálu pro HAVAR), ve kterém byl členitý terén nahrazen plochým terénem s jednotnou nadmořskou výškou 500 m n.m. (systém COSYMA neumožňuje zadávat členitý terén). Konečně v jednotlivých variantách výpočtu podle HAVAR byly požadovaným způsobem měněny hodnoty rychlostí suchého vypadávání molekulárního jódu a dále stejné veličiny pro depozici aerosolů, což se provádělo dynamickými změnami ve třetím datovém vstupu HAVDB.DAT (viz uživatelský manuál).

Závažným kritériem pro věrohodnost srovnávací analýzy bylo nastavení identického atmosférického rozptylu reprezentovaného rozptylovými parametry $\sigma_y(x)$ a $\sigma_z(x)$ v obou modelech. Z hlediska systému HAVAR se jednalo o volbu modelu KFK s exponenciálním tvarem poloempirických formulí pro vyjádření rozptylových parametrů $\sigma_y(x)$ a $\sigma_z(x)$.

Vstupní data podle zadání do dPBZ JETE kap. 15.7 pro malé jody - varianta A
Trvání havárie: 10 hod.

A. Bez uvažování vlivu blízkých budov

$v_g = 0,02$ m/s - rychlost suchého výpadku pro jody podle programu HAVAR

$v_g = 0,01$ m/s - rychlost suchého výpadku pro jody podle programu COSYMA

$v_g = 0,008$ m/s - rychlost suchého výpadku pro aerosoly podle programu HAVAR

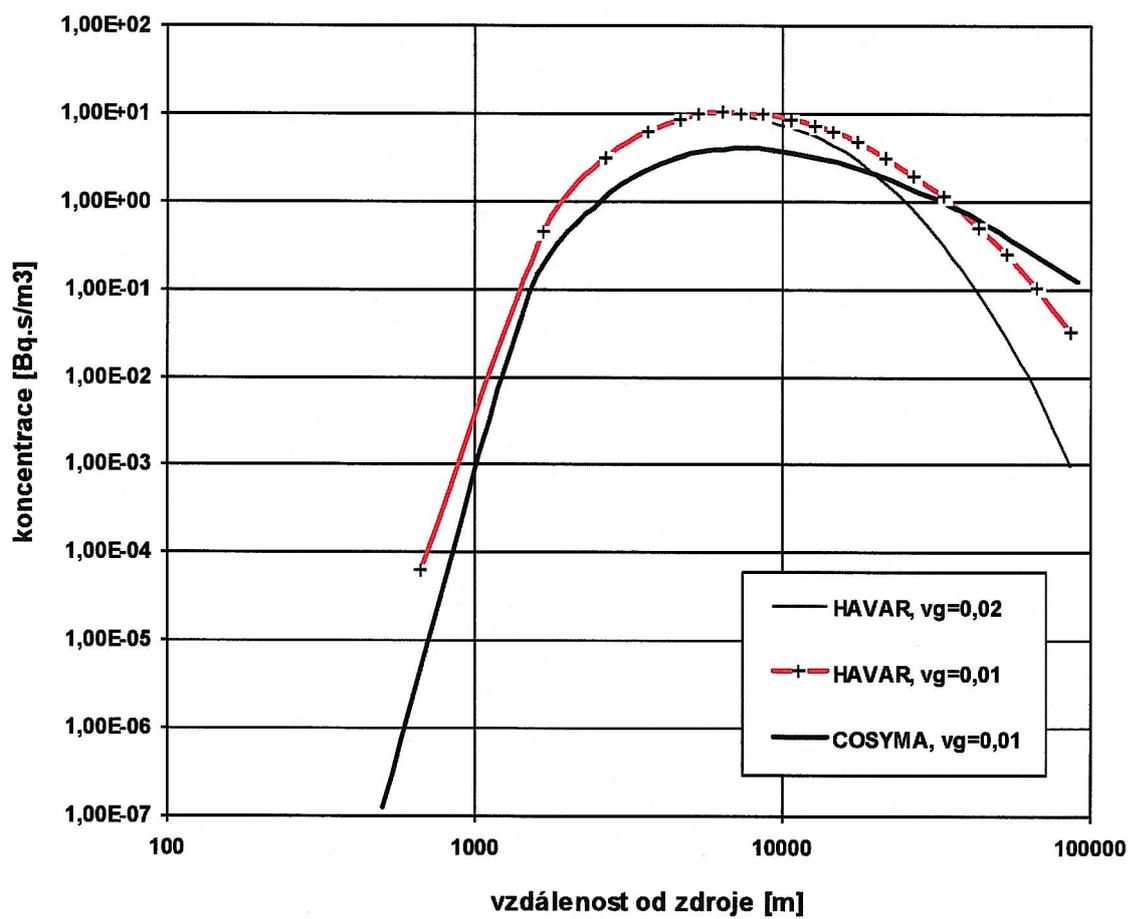
$v_g = 0,003$ m/s - rychlost suchého výpadku pro aerosoly podle programu UFOMOD

$v_g = 0,001$ m/s - rychlost suchého výpadku pro aerosoly podle programu COSYMA

Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] I131

vzdálenost [m]	HAVAR [Bq.s/m ³]		vzdálenost [m]	COSYMA
	$v_g = 0,02$	$v_g = 0,01$		[Bq.s/m ³] $v_g = 0,01$
667,	6,26E-5	6,26E-5	500,	1,25E-7
1667,	4,61E-1	4,61E-1	1500,	9,12E-2
2667,	3,10	3,10	2500,	9,33E-1
3667,	6,30	6,34	3500,	2,14
4667,	8,50	8,68	4500,	3,09
5333,	9,65	9,97	5500,	3,65
6333,	9,90	1,04E+1	6500,	3,93
7333,	9,25	1,02E+1	7500,	4,00
8667,	8,53	9,76	9000,	3,89
10667,	6,98	8,60	11000,	3,57
12667,	5,47	7,31	13000,	3,18
14667,	4,21	6,08	15000,	2,81
17333,	2,90	4,75	18000,	2,31
21667,	1,57	3,16	22500,	1,75
26667,	7,81E-1	2,00	27500,	1,30
33333,	3,19E-1	1,13	35000,	8,78E-1
43333,	9,07E-2	5,11E-1	45000,	5,51E-1
53333,	2,82E-2	2,49E-1	55000,	3,67E-1
66667,	6,73E-3	1,04E-1	70000,	2,17E-1
86667,	9,54E-4	3,27E-2	90000,	1,24E-1

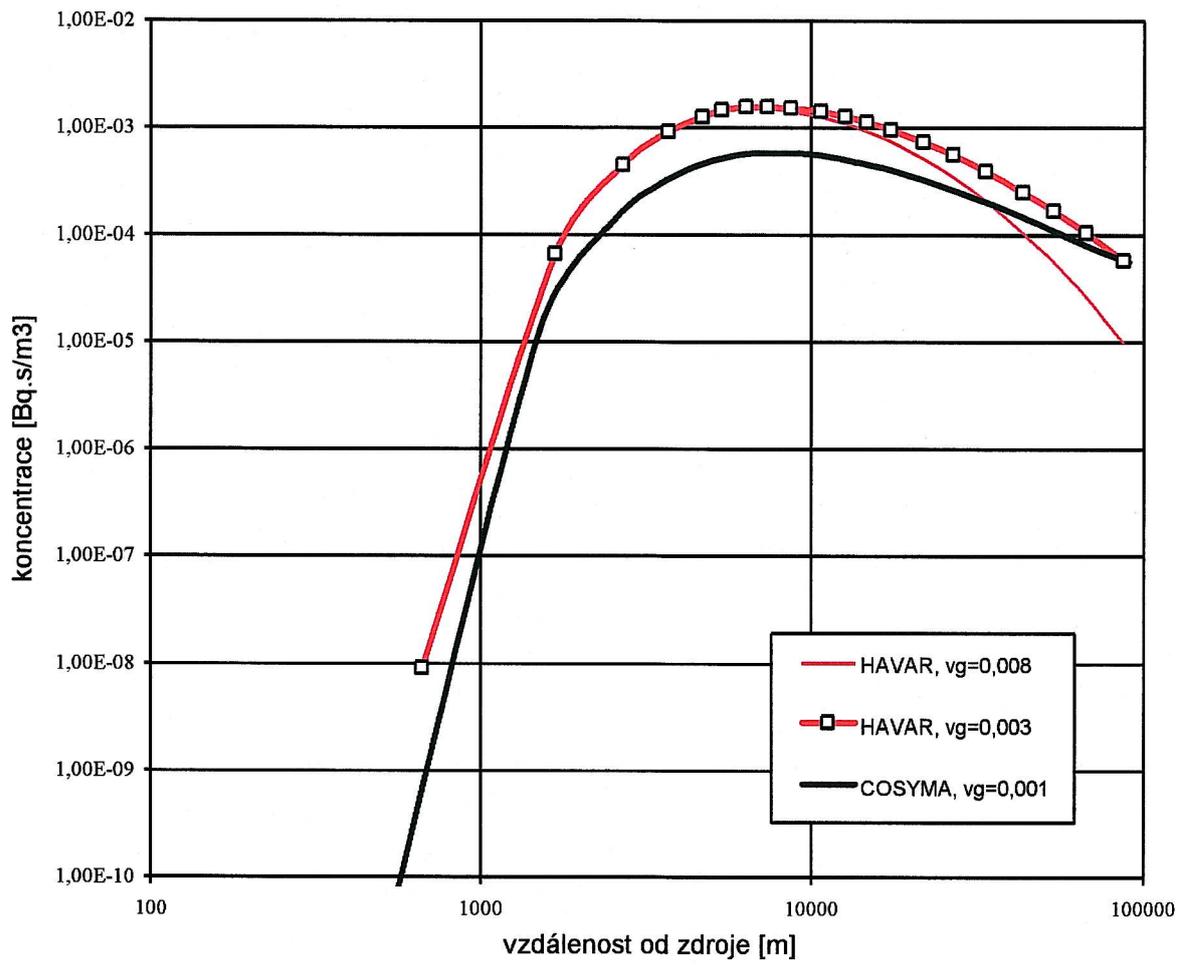
Časový integrál koncentrace I131



Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] Cs137

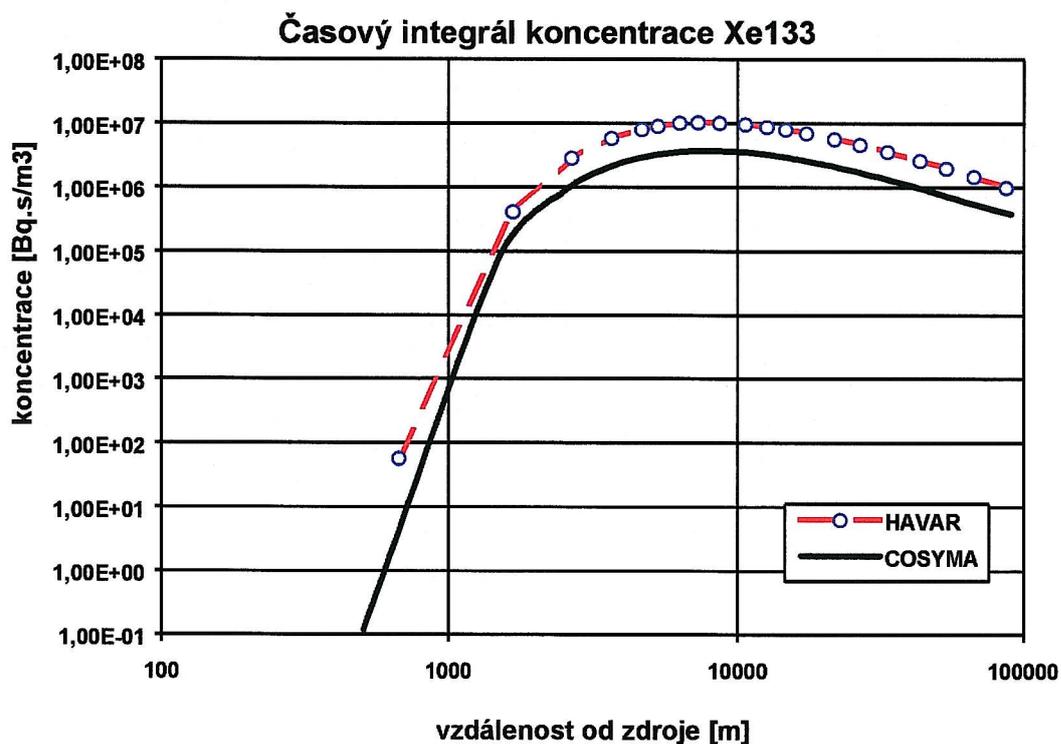
vzdálenost [m]	HAVAR [Bq.s/m ³]		vzdálenost [m]	COSYMA v _g = 0,001
	v _g = 0,008	v _g = 0,003		
667,	9,00E-9	9,00E-9	500,	1,80E-11
1667,	6,66E-5	6,66E-5	1500,	1,31E-5
2667,	4,50E-4	4,50E-4	2500,	1,34E-4
3667,	9,18E-4	9,22E-4	3500,	3,08E-4
4667,	1,26E-3	1,27E-3	4500,	4,46E-4
5333,	1,45E-3	1,48E-3	5500,	5,31E-4
6333,	1,53E-3	1,57E-3	6500,	5,75E-4
7333,	1,53E-3	1,59E-3	7500,	5,90E-4
8667,	1,43E-3	1,54E-3	9000,	5,83E-4
10667,	1,27E-3	1,43E-3	11000,	5,46E-4
12667,	1,10E-3	1,28E-3	13000,	5,00E-4
14667,	9,36E-4	1,14E-3	15000,	4,54E-4
17333,	7,49E-4	9,68E-4	18000,	3,91E-4
21667,	5,18E-4	7,45E-4	22500,	3,16E-4
26667,	3,46E-4	5,62E-4	27500,	2,54E-4
33333,	2,08E-4	3,96E-4	35000,	1,91E-4
43333,	1,04E-4	2,51E-4	45000,	1,38E-4
53333,	5,62E-5	1,68E-4	55000,	1,05E-4
66667,	2,65E-5	1,05E-4	70000,	7,56E-5
86667,	9,79E-6	5,79E-5	90000,	5,62E-5

Časový integrál koncentrace Cs137



Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] Xe133

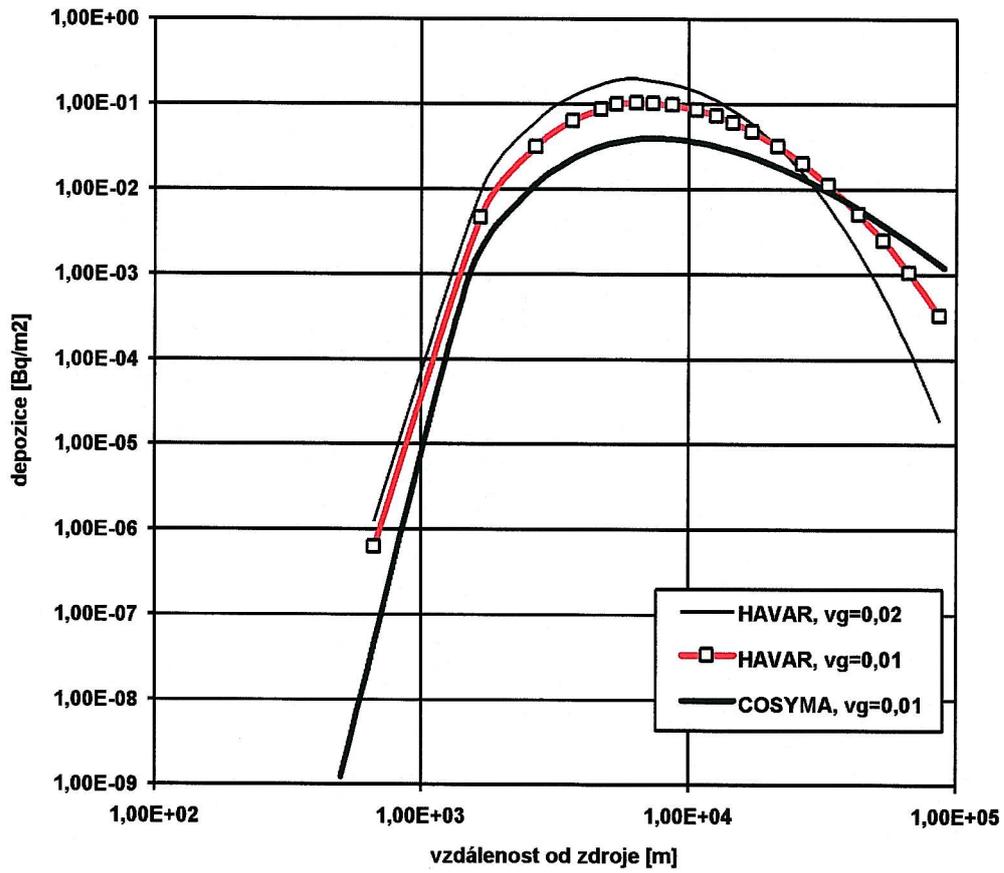
vzdálenost [m]	HAVAR [Bq. s/m ³]	vzdálenost [m]	COSYMA [Bq.s/m ³]
667,	5,83E+1	500,	1,16E-1
1667,	4,25E+5	1500,	8,41E+4
2667,	2,89E+6	2500,	8,60E+5
3667,	5,94E+6	3500,	1,98E+6
4667,	8,20E+6	4500,	2,86E+6
5333,	9,22E+6	5500,	3,40E+6
6333,	1,03E+7	6500,	3,68E+6
7333,	1,05E+7	7500,	3,78E+6
8667,	1,04E+7	9000,	3,74E+6
10667,	9,83E+6	11000,	3,51E+6
12667,	9,00E+6	13000,	3,22E+6
14667,	8,21E+6	15000,	2,92E+6
17333,	7,20E+6	18000,	2,53E+6
21667,	5,87E+6	22500,	2,05E+6
26667,	4,72E+6	27500,	1,66E+6
33333,	3,67E+6	35000,	1,26E+6
43333,	2,65E+6	45000,	9,21E+5
53333,	2,02E+6	55000,	7,01E+5
66667,	1,48E+6	70000,	5,19E+5
86667,	1,02E+6	90000,	3,90E+5



Depozice I131:

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq/m ²]		vzdálenost [m]	podle COSYMA v _g =0,01 [Bq/m ²]
	v _g =0,02	v _g =0,01		
667,	1,25E-6	6,25E-7	500,	1,24E-9
1667,	9,22E-3	4,61E-3	1500,	9,04E-4
2667,	6,20E-2	3,10E-2	2500,	9,25E-3
3667,	1,26E-1	6,34E-2	3500,	2,10E-2
4667,	1,71E-1	8,68E-2	4500,	3,06E-2
5333,	1,93E-1	9,97E-2	5500,	3,62E-2
6333,	1,98E-1	1,04E-1	6500,	3,89E-2
7333,	1,85E-1	1,02E-1	7500,	3,96E-2
8667,	1,70E-1	9,76E-2	9000,	3,85E-2
10667,	1,40E-1	8,60E-2	11000,	3,54E-2
12667,	1,10E-1	7,30E-2	13000,	3,15E-2
14667,	8,41E-2	6,09E-2	15000,	2,78E-2
17333,	5,80E-2	4,75E-2	18000,	2,29E-2
21667,	3,14E-2	3,16E-2	22500,	1,73E-2
26667,	1,57E-2	2,00E-2	27500,	1,29E-2
33333,	6,40E-3	1,13E-2	35000,	8,65E-3
43333,	1,82E-3	5,11E-3	45000,	5,42E-3
53333,	5,65E-4	2,49E-3	55000,	3,60E-3
66667,	1,34E-4	1,04E-3	70000,	2,12E-3
86667,	1,91E-5	3,26E-4	90000,	1,20E-3

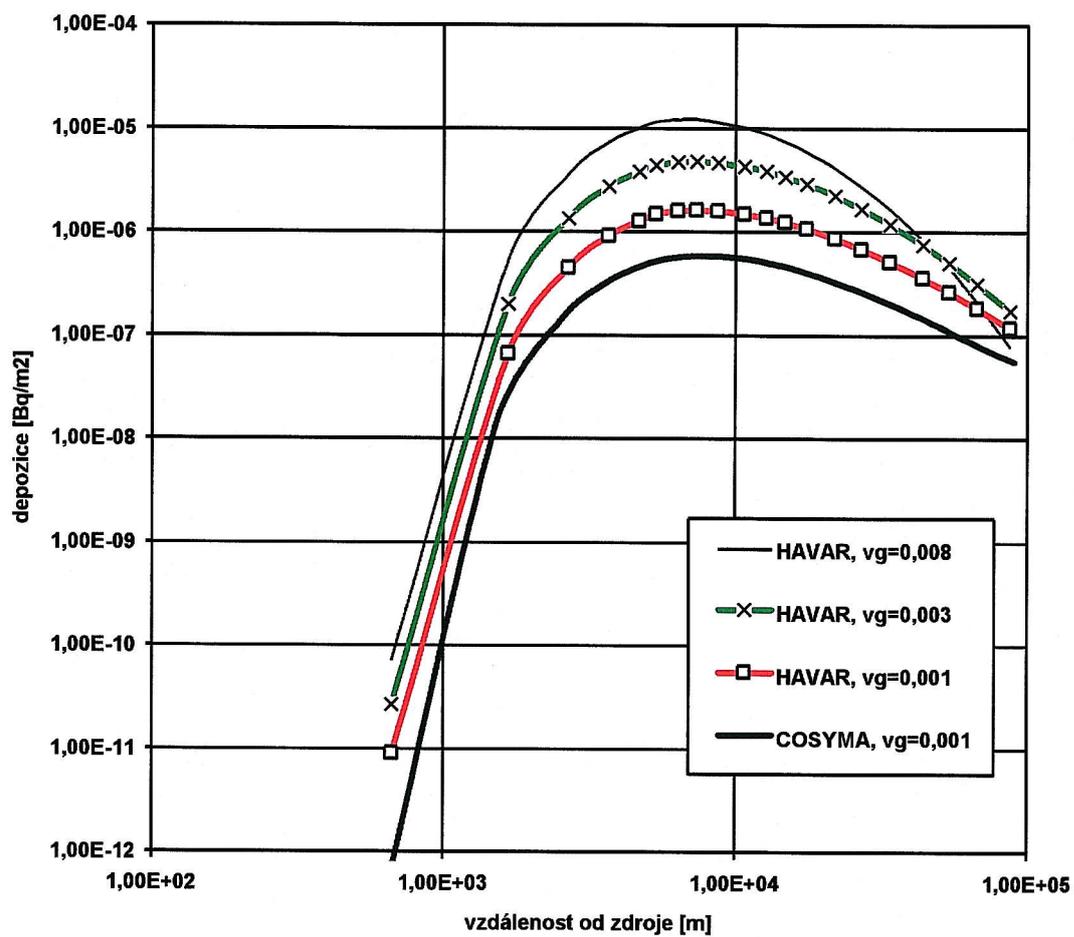
Depozice I131



Depozice Cs137:

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq/m ²]			vzdálenost [m]	podle COSYMA [Bq/m ²] v _g = 0,001
	v _g = 0,008	v _g = 0,003	v _g = 0,001		
667,	7,23E-11	2,71E-11	9,04E-12	500,	1,80E-14
1667,	5,33E-7	2,00E-7	6,66E-8	1500,	1,31E-8
2667,	3,59E-6	1,35E-6	4,49E-7	2500,	1,37E-7
3667,	7,35E-6	2,76E-6	9,22E-7	3500,	3,08E-7
4667,	1,01E-5	3,82E-6	1,28E-6	4500,	4,46E-7
5333,	1,16E-5	4,43E-6	1,49E-6	5500,	5,31E-7
6333,	1,22E-5	4,72E-6	1,59E-6	6500,	5,75E-7
7333,	1,23E-5	4,78E-6	1,62E-6	7500,	5,90E-7
8667,	1,14E-5	4,64E-6	1,60E-6	9000,	5,83E-7
10667,	1,02E-5	4,29E-6	1,50E-6	11000,	5,46E-7
12667,	8,80E-6	3,86E-6	1,37E-6	13000,	5,00E-7
14667,	7,48E-6	3,42E-6	1,24E-6	15000,	4,54E-7
17333,	5,98E-6	2,91E-6	1,07E-6	18000,	3,91E-7
21667,	4,15E-6	2,24E-6	8,61E-7	22500,	3,16E-7
26667,	2,77E-6	1,68E-6	6,80E-7	27500,	2,54E-7
33333,	1,67E-6	1,19E-6	5,13E-7	35000,	1,91E-7
43333,	8,36E-7	7,53E-7	3,57E-7	45000,	1,38E-7
53333,	4,48E-7	5,05E-7	2,62E-7	55000,	1,05E-7
66667,	2,12E-7	3,17E-7	1,84E-7	70000,	7,56E-8
86667,	7,84E-8	1,74E-7	1,18E-7	90000,	5,62E-8

Depozice Cs137

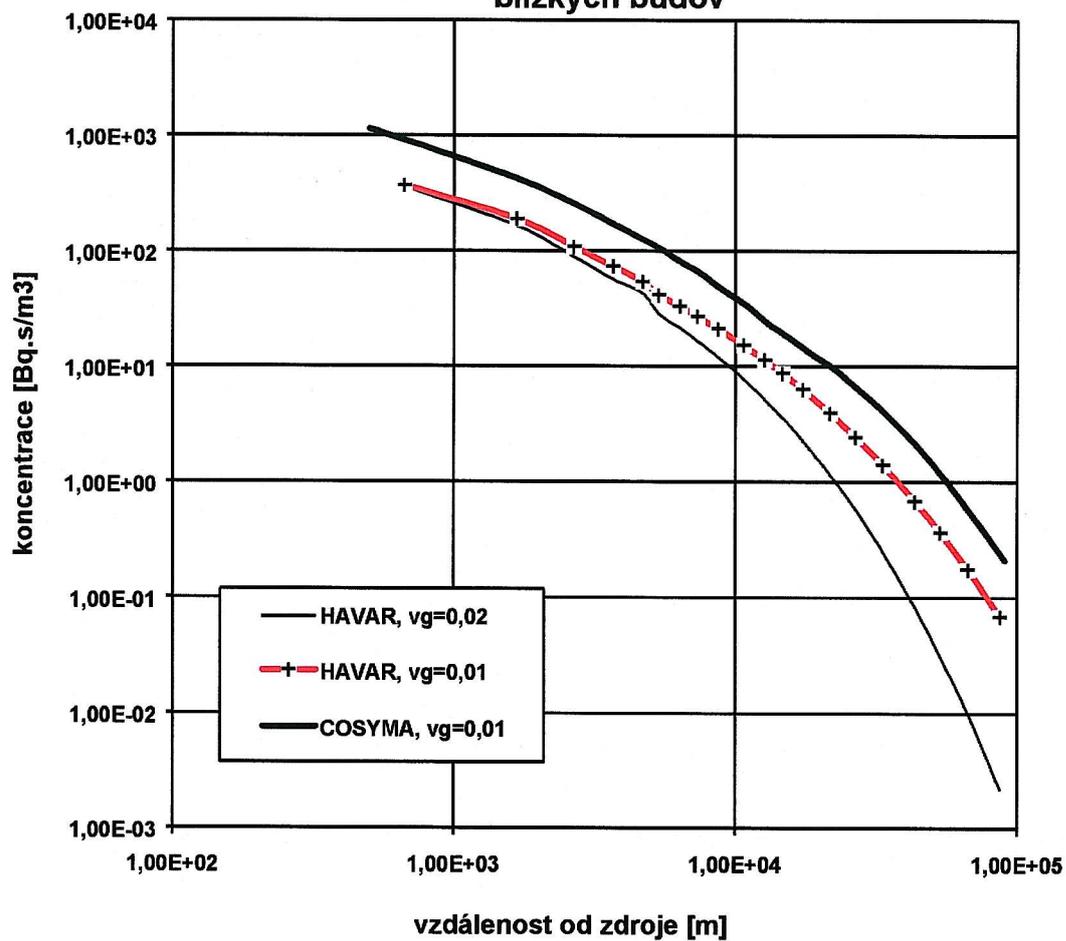


B. S uvážením vlivu blízkých budov

Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] I131

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq.s/m ³]		vzdálenost [m]	COSYMA [Bq.s/m ³] v _g =0,01
	v _g =0,02	v _g =0,01		
667,	3,58E+2	3,70E+2	500,	1,15E+3
1667,	1,65E+2	1,90E+2	1500,	4,67E+2
2667,	8,89E+1	1,09E+2	2500,	2,76E+2
3667,	5,69E+1	7,38E+1	3500,	1,83E+2
4667,	4,28E+1	5,44E+1	4500,	1,33E+2
5333,	2,86E+1	4,18E+1	5500,	1,02E+2
6333,	2,15E+1	3,34E+1	6500,	7,87E+1
7333,	1,66E+1	2,73E+1	7500,	6,42E+1
8667,	1,20E+1	2,13E+1	9000,	4,63E+1
10667,	7,78	1,53E+1	11000,	3,33E+1
12667,	5,22	1,14E+1	13000,	2,37E+1
14667,	3,60	8,78	15000,	1,88E+1
17333,	2,28	6,37	18000,	1,37E+1
21667,	1,16	3,99	22500,	9,48
26667,	5,76E-1	2,47	27500,	6,27
33333,	2,50E-1	1,41	35000,	3,69
43333,	8,28E-2	6,84E-1	45000,	1,94
53333,	3,12E-2	3,67E-1	55000,	1,08
66667,	9,83E-3	1,76E-1	70000,	4,89E-1
86667,	2,18E-3	6,88E-2	90000,	2,10E-1

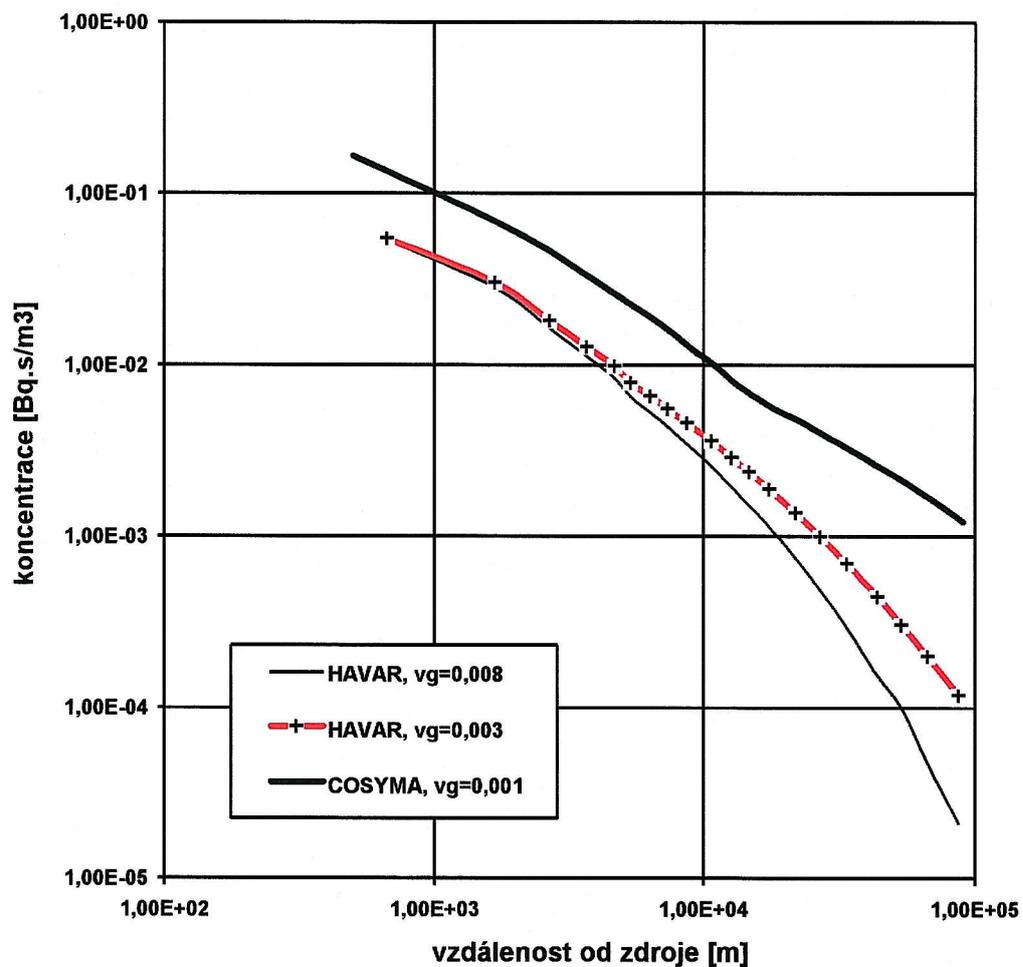
Časový integrál koncentrace I131 s uvažováním vlivu blízkých budov



Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] Cs137

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq.s/m ³]		vzdálenost [m]	COSYMA [Bq.s/m ³] v _g =0,001
	v _g =0,008	v _g =0,003		
667,	5,40E-2	5,51E-2	500,	1,67E-1
1667,	2,83E-2	3,04E-2	1500,	7,47E-1
2667,	1,64E-2	1,82E-2	2500,	4,89E-2
3667,	1,13E-2	1,28E-2	3500,	3,49E-2
4667,	8,39E-3	9,86E-3	4500,	2,69E-2
5333,	6,55E-3	7,92E-3	5500,	2,20E-2
6333,	5,29E-3	6,59E-3	6500,	1,85E-2
7333,	4,36E-3	5,58E-3	7500,	1,57E-2
8667,	3,47E-3	4,61E-3	9000,	1,25E-2
10667,	2,56E-3	3,60E-3	11000,	9,90E-3
12667,	1,95E-3	2,89E-3	13000,	7,85E-3
14667,	1,53E-3	2,39E-3	15000,	6,70E-3
17333,	1,14E-3	1,90E-3	18000,	5,60E-3
21667,	7,45E-4	1,38E-3	22500,	4,71E-3
26667,	4,86E-4	1,00E-3	27500,	3,90E-3
33333,	2,94E-4	6,98E-4	35000,	3,16E-3
43333,	1,55E-4	4,46E-4	45000,	2,52E-3
53333,	9,93E-5	3,06E-4	55000,	2,08E-3
66667,	4,72E-5	2,00E-4	70000,	1,62E-3
86667,	2,09E-5	1,18E-4	90000,	1,22E-3

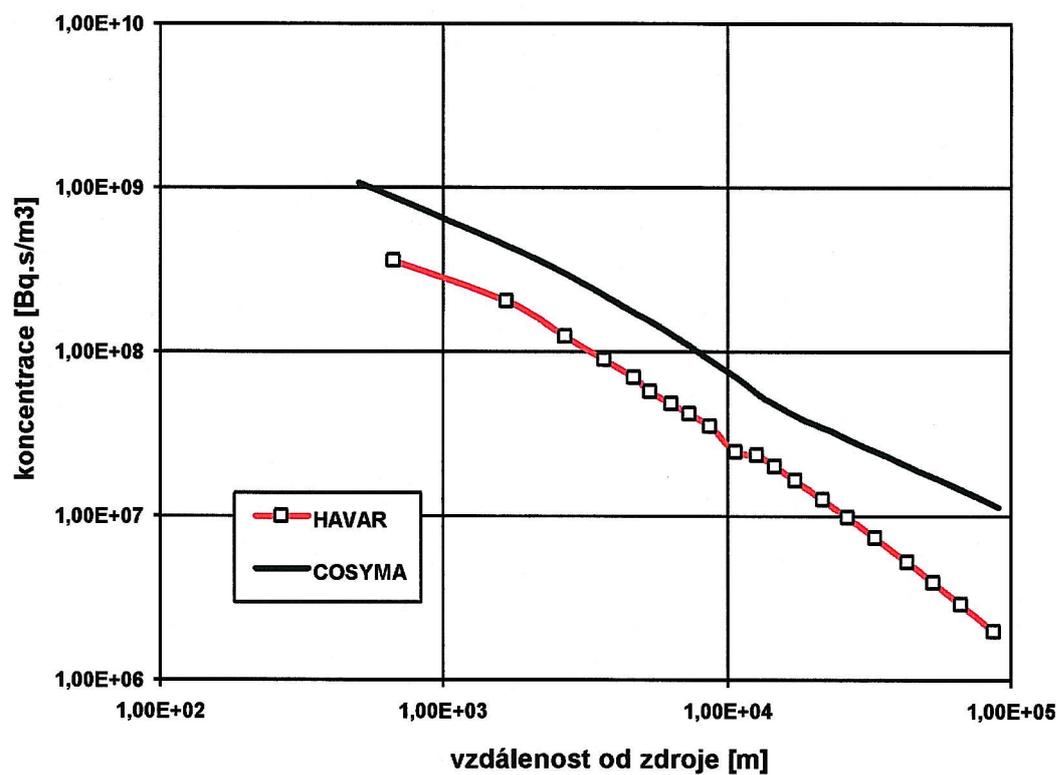
Časový integrál koncentrace Cs137 s uvážením vlivu blízkých budov



Časový integrál koncentrace [Bq.s/m³] Xe133

vzdálenost [m]	HAVAR [Bq.s/m ³]	vzdálenost [m]	COSYMA [Bq.s/m ³]
667,	3,59E+8	500,	1,07E+9
1667,	2,04E+8	1500,	4,84E+8
2667,	1,24E+8	2500,	3,15E+8
3667,	8,96E+7	3500,	2,30E+8
4667,	6,98E+7	4500,	1,79E+8
5333,	5,72E+7	5500,	1,48E+8
6333,	4,82E+7	6500,	1,24E+8
7333,	4,18E+7	7500,	1,06E+8
8667,	3,51E+7	9000,	8,49E+7
10667,	2,46E+7	11000,	6,81E+7
12667,	2,34E+7	13000,	5,44E+7
14667,	1,99E+7	15000,	4,68E+7
17333,	1,64E+7	18000,	3,95E+7
21667,	1,26E+7	22500,	3,38E+7
26667,	9,79E+6	27500,	2,86E+7
33333,	7,38E+6	35000,	2,39E+7
43333,	5,22E+6	45000,	1,97E+7
53333,	3,92E+6	55000,	1,69E+7
66667,	2,89E+6	70000,	1,39E+7
86667,	1,98E+6	90000,	1,13E+7

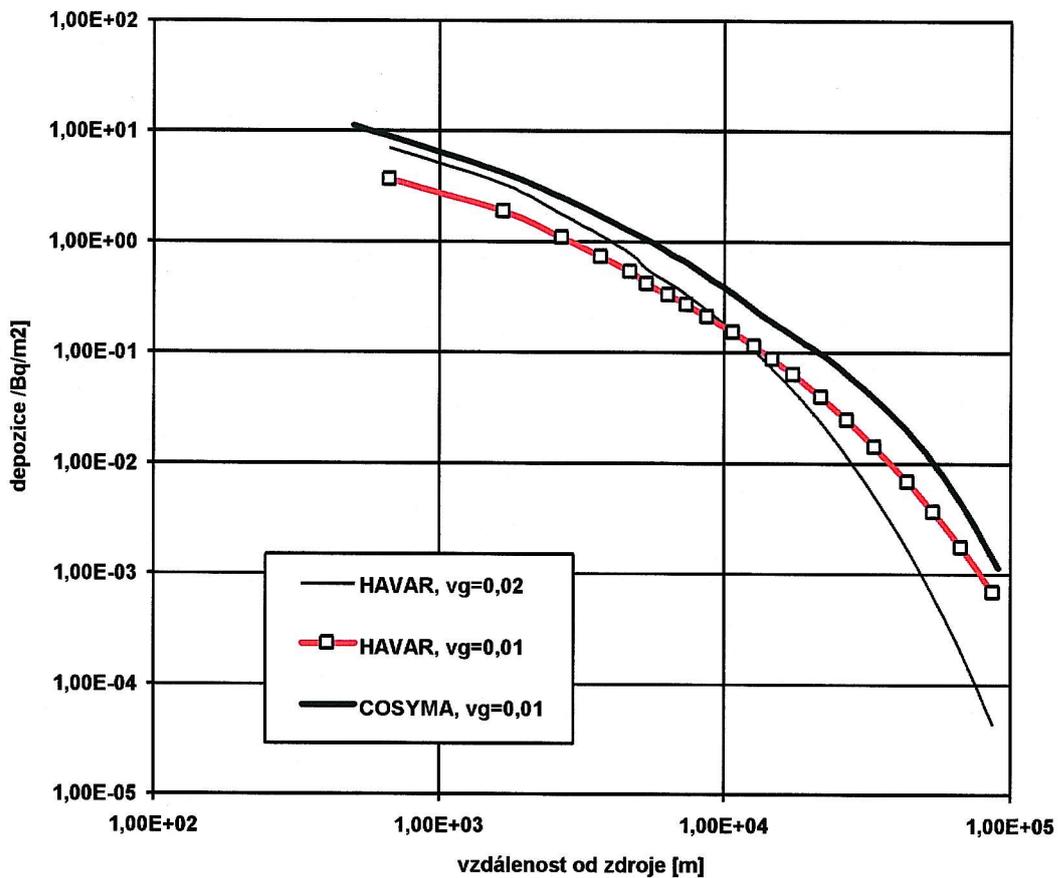
Časový integrál koncentrace Xe133 s uvažáním vlivu blízkých budov



Depozice I131

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq/m ²]		vzdálenost [m]	podle COSYMA [Bq/m ²] v _g =0,01
	v _g =0,02	v _g =0,01		
667,	7,13	3,71	500,	1,14E+1
1667,	3,31	1,90	1500,	4,62
2667,	1,18	1,09	2500,	2,73
3667,	1,14	7,39E-1	3500,	1,81
4667,	7,87E-1	5,43E-1	4500,	1,31
5333,	5,73E-1	4,19E-1	5500,	1,01
6333,	4,31E-1	3,34E-1	6500,	7,75E-1
7333,	3,32E-1	2,72E-1	7500,	6,31E-1
8667,	2,41E-1	2,13E-1	9000,	4,55E-1
10667,	1,55E-1	1,54E-1	11000,	3,27E-1
12667,	1,04E-1	1,15E-1	13000,	2,32E-1
14667,	7,21E-2	8,79E-2	15000,	1,83E-1
17333,	4,57E-2	6,36E-2	18000,	1,33E-1
21667,	2,33E-2	3,98E-2	22500,	9,15E-2
26667,	1,16E-2	2,47E-2	27500,	6,00E-2
33333,	5,02E-3	1,41E-2	35000,	3,46E-2
43333,	1,66E-3	6,86E-3	45000,	1,76E-2
53333,	6,24E-4	3,66E-3	55000,	9,22E-3
66667,	1,97E-4	1,76E-3	70000,	3,66E-3
86667,	4,35E-5	6,89E-4	90000,	1,14E-3

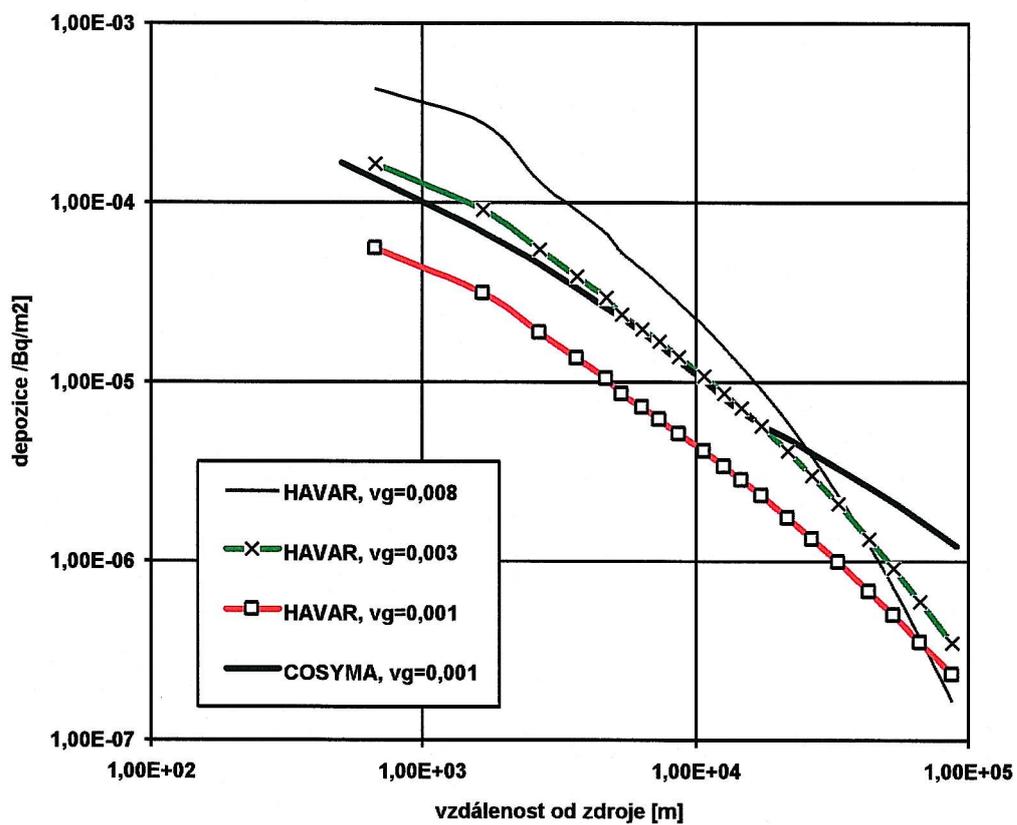
Depozice I131 s uvážením vlivu blízkých budov



Depozice Cs137

vzdálenost [m]	podle HAVAR [Bq/m ²]			vzdálenost [m]	podle COSYMA [Bq/m ²] v _g =0,001
	v _g =0,008	v _g =0,003	v _g =0,001		
667,	4,32E-4	1,65E-4	5,55E-5	500,	1,67E-4
1667,	2,77E-4	9,12E-5	3,13E-5	1500,	7,47E-5
2667,	1,31E-4	5,45E-5	1,89E-5	2500,	4,83E-5
3667,	9,02E-5	3,86E-5	1,36E-5	3500,	3,49E-5
4667,	6,70E-5	2,96E-5	1,05E-5	4500,	2,69E-5
5333,	5,25E-5	2,38E-5	8,57E-6	5500,	2,22E-5
6333,	4,23E-5	1,98E-5	7,20E-6	6500,	1,85E-5
7333,	3,49E-5	1,68E-5	6,18E-6	7500,	1,57E-5
8667,	2,77E-5	1,38E-5	5,17E-6	9000,	1,25E-5
10667,	2,05E-5	1,08E-5	4,12E-6	11000,	9,90E-6
12667,	1,56E-5	8,69E-6	3,39E-6	13000,	7,85E-6
14667,	1,22E-5	7,17E-6	2,85E-6	15000,	6,70E-6
17333,	9,11E-6	5,70E-6	2,33E-6	18000,	5,60E-6
21667,	5,96E-6	4,13E-6	1,76E-6	22500,	4,71E-6
26667,	3,88E-6	3,01E-6	1,34E-6	27500,	3,90E-6
33333,	2,36E-6	2,10E-6	9,90E-7	35000,	3,16E-6
43333,	1,24E-6	1,34E-6	6,81E-7	45000,	2,52E-6
53333,	7,14E-7	9,18E-7	5,01E-7	55000,	2,08E-6
66667,	3,77E-7	5,99E-7	3,56E-7	70000,	1,62E-6
86667,	1,67E-7	3,53E-7	2,35E-7	90000,	1,22E-6

Depozice Cs137 s uvážením vlivu blízkých budov



2.2 Komentář k výsledkům výpočtu podle obou modelů

2.2.1 K nekonsistenci výpočtů podle HAVAR vers. COSYMA

Všechny vstupní údaje byly v obou systémech shodně nadefinovány, nicméně je zde základní odlišnost v implementovaném modelu atmosférického rozptylu. V systému HAVAR byla zvolena volba 2 z PANEL M pro volbu alternativního modelu (viz popis v uživatelském manuálu systému HAVAR). Jedná se Gaussův model přímočarého šíření vlečky nad drsným terénem, kdy disperzní koeficienty jsou dány příslušnými exponenciálními výrazy podle vztahů (2.15) a (2.16) v metodickém manuálu. Systém COSYMA používá algoritmus atmosférického modelu MUSEMET, který je rozšířením předchozího konvenčního gaussovského přímočarého modelu vlečky. Tento „Volume source“ model umožňuje segmentovat celkový únik do jednotlivých časových bloků, kdy elementární úseky oblaku předchozí časové fáze představují dílčí zdroje pro gaussovské modelování v následující časovém bloku. Přitom lze zahrnout změnu povětrnostních charakteristik a je možné uvažovat disperzi ve směru pohybu oblaku.

V zásadě jsou zde tři principiální odlišnosti dané rozdíly v použitých algoritmech výpočtu:

- Jak již bylo zmíněno, v systému HAVAR je pro popis atmosférické difúze použito klasické řešení difúzní rovnice ve tvaru přímočarého Gaussova modelu vlečky. Kód PC COSYMA používá modifikaci tohoto modelu pod označením MUSEMET, která umožňuje v hrubých rysech modelovat trajektorie. V rámci jednoho segmentu však používá přímočarý Gaussův model. Bylo zajištěno, že v obou kódech jsou použity stejné koeficienty $\sigma_y(x)$ a $\sigma_z(x)$ pro popis vertikální a horizontální disperze (v kódu HAVAR se navíc provádí dynamická interpolace ze zadaných tabulkových hodnot - zda se postupuje obdobně v PC COSYMA či zda zde jsou použity diskrétní tabulkové hodnoty, není zatím jasné). Co je však nejpodstatnější, kód MUSEMET uvažuje i radiální rozptyl ve směru postupu vlečky, což vede obecně k většímu rozptylu škodlivin.
- Závislost výškového profilu větru po souřadnici z (vertikální složka) je v každém ze systémů poněkud jiná. Neliší se však podstatně a tak ani odsud napočítávané střední rychlosti (po z) nevykazují přílišné difference, které by si vynucovaly úpravu v algoritmu výpočtu (v tomto případě samozřejmě v systému HAVAR).
- V systému PC COSYMA lze zadat drsnost povrchu terénu pouze rámcově tak, že se na příslušném vstupním panelu vyznačí, zda jde o drsný či hladký povrch. V systému HAVAR je otázka drsnosti řešena mnohem podrobněji. Ve vstupním souboru HAVLOK.DAT se zadává pro konkrétní lokalitu dvourozměrné pole lokálních drsností (viz podrobný popis v manuálu systému HAVAR). Tak je možno přesněji spočítat střední rychlost větru, profil rychlosti po z , disperzní parametry a pod.

Pro vlastní srovnání, zda výsledky obou systémů se dobře shodují, jsou rozhodující varianty spočtené bez vlivu blízkostojících objektů. Z příložených tabulek a grafů lze konstatovat velmi dobrou shodu, pokud si uvědomíme fakt, že kód MUSEMET v důsledku uvažování nenulového radiálního rozptylu $\sigma_x(x)$ vede k poněkud intenzivnější disperzi. Proto lze očekávat, že integrální přízemní objemové aktivity budou obecně nižší pro výsledky podle COSYMA než podle HAVAR. Toto odpovídá též obecně známému faktu, že Gaussův přímočarý model šíření obecně dává vyšší hodnoty přízemních koncentrací. Míru tohoto

snížení lze odhadovat na základě dalšího systému UFOMOD, jenž také používá kód MUSEMET a kde jsou publikovány úvahy o definici velikosti parametru $\sigma_x(x)$ (tam se definuje pomocí určitého vztahu k $\sigma_y(x)$, přičemž rovnost $\sigma_x(x) = \sigma_y(x)$ je považována za horní přijatelný odhad).

Je nutné srovnávat křivky s odpovídajícími stejnými rychlostmi suchého vypadávání nuklidů. Jedná se o hodnoty $v_g = 0.01 \text{ m.s}^{-1}$ pro elementární jód a $v_g = 0.001 \text{ m.s}^{-1}$ pro aerosoly. Výsledky s jinými hodnotami mají charakter studií sensitivity a dávají možnost posoudit významnost tohoto parametru. Například v Německu se prováděly výpočty pro místní drsný terén a pro případ aerosolů také tak, že vliv suchého výpadku na přízemní koncentraci (ochuzení vlečky v důsledku suchého spadu) se počítal za předpokladu užití střední hodnoty $v_g = 0.003 \text{ m.s}^{-1}$, zatímco depozice aerosolů na zalidněném terénu (obecně má charakter hladkého terénu) se počítala lokálně za předpokladu $v_g = 0.001 \text{ m.s}^{-1}$.

Na základě všech shora uvedených faktů je možno konstatovat dobrou shodu odpovídajících výsledků získaných pomocí obou systémů. Systematickou odchylku integrálních přízemních koncentrací nuklidů lze částečně vysvětlit různou hodnotou radiálního disperzního parametru $\sigma_x(x)$. Průběh usazené aktivity pak má očekávaný průběh. Dále na základě tvaru křivek můžeme usoudit, že mechanismus ochuzení vlečky v důsledku radioaktivního rozpadu nuklidu a jeho suchému vypadávání funguje správně.

Výpočty prováděné v druhé části s uvažováním vlivu blízkostojících objektů mají zatím orientační charakter studie sensitivity. Jak HAVAR tak COSYMA užívají poněkud jiné poloempirické formule, jejichž diference je silně zvýrazněna zadaným blízkostojícím objektem s extrémním rozměrem (přítomnost chladících věží ve směru 8 je nahrazena objektem o výšce 154 m a šířce 190 m). V důsledku takového objektu dojde k velkému skokovému zvýšení disperze a dále v důsledku vírů za objektem k výraznému snížení efektivní výšky vlečky. Předpokládá se, že tyto výsledky budou rozvíjeny při dalších komparativních studiích s cílem zabudovat do systému HAVAR alternativní model využívající nejnovějších poznatků v oboru.

2.2.2 Závěr a výhledy pro další komparativní práce:

- Byla prokázána správná funkce systému HAVAR při určování dvou základních nejdůležitějších veličin dále používaných při hodnocení radiační zátěže, kterými jsou přízemní objemové aktivity uniklých nuklidů a jejich depozice na zemském povrchu.
- Je žádoucí pokračovat v komparativních pracích a studiích sensitivity s cílem doplnit systém HAVAR nejnovějšími výsledky v oblasti (vliv budov, vymývání atmosférickými srážkami, vznos vlečky škodlivin, upřesnění rychlostních profilů, inverzní situace, změny polohy horní hranice směšovací vrstvy a pod.)

Pokročit ve směru analýzy modelů různých cest radiačního zatížení a jejich případné náhrady novými zpřesněnými modely (např. realističtější a rozmanitější model ingesce). Akceptování a implementace nejnovějších hygienických předpisů (včetně nových databank konverzních koeficientů) a kritérií hodnocení radiační zátěže obyvatel a rizik

3. Audit modelů transportu radionuklidů užitých v systému HAVAR na základě srovnávací analýzy s produktem COSYMA

Při dalším srovnávání se pokračovalo v rámci závěrů pro další aktivitu deklarovanou v předchozí kapitole. Konkrétním výrazem byly práce prováděné během roku 1997 a jejichž vyústěním bylo vypracování a presentace příspěvku na konferenci 4th COSYMA Users Group Meeting [5] s názvem „*Application of PC-COSYMA code such a verification tool used in stage of NPP design*“. Celé znění příspěvku je zde přiloženo v příloze č. 1.

Zde jen shrneme základní řešená témata:

- Jsou deklarovány důvody pro paralelní vývoj lokálních kódů k již existujícím zahraničním kódům
- Je provedeno shrnutí komparativních výpočtů podle atmosférického a depozičního modelu systému HAVAR v rámci :
 1. komparativní a validační studie podle zadání Batch I z práce [7] pro případ normalizovaných integrálních přízemních koncentrací radionuklidů
 2. deterministických běhů podle systému COSYMA
- Je proveden audit dynamického modelu transportu radionuklidů potravními řetězci ENCONAN zabudovaného v systému HAVAR (podrobný popis viz kap. 5 základního metodického manuálu HAVAR). Z důvodů nastavení maximální kompatibility s omezenou skupinou vypouštěných nuklidů jsou uvedeny výsledky pro různé okamžiky spadu v roce (COSYMA zná pouze kategorie *zima – léto*).

4. Srovnání výsledků HAVAR a COSYMA pro případ validačních úloh

V rámci standardizačního procesu systému HAVAR bylo nutné propočítat validační úlohy a tím splnit předpisy směrnice VDS 030 SÚJB pro programy používané v oblasti hodnocení jaderné bezpečnosti. Úlohy byly zadány Odbornou komisí č. 6 pro výpočty šíření RA produktů. Obě validační úlohy jsou propočteny přesně podle zadání a výsledky jsou uvedeny ve zvláštním validačním reportu zaslaném členům komise.

Za účelem vzájemného srovnání s produktem COSYMA byly obě úlohy zde propočteny ještě jednou, a to s malými modifikacemi vstupních dat, která umožnila nastavit co největší možnou kompatibilitu obou produktů a tím zaručit, že srovnávané výsledky obsahují co nejmenší systematickou odchylku. Hlavní příčinou nutnosti modifikovat původní zadání byl fakt, že je předepsána malá drsnost terénu (všude 0.1 metru). Pro tento případ v produktu COSYMA (jediná drsnost se z panelu volí jako „rural“) je zabudován exponenciální model experimentálně stanovený v SCK/CEN, Mol, Belgie, který platí pro hladký terén v rozmezí drsností $z_0 \in < 0.1 \text{ m} ; 1 \text{ m} >$. Disperzní koeficienty ve periferním směru y a po výšce z jsou vyjádřeny vztahy:

$$\sigma_y = p_y \cdot x^{q_y} \quad (4.1)$$

$$\sigma_z = p_z \cdot x^{q_z}$$

kde příslušné koeficienty p a q jsou tabelovány pro všechny třídy klasifikace stability atmosféry podle Pasquilla. Tento model ale není zabudován do systému HAVAR, který naproti tomu používá pro hladký terén Hoskerovy formule podle vztahu (2.14) ze základního metodického manuálu HAVAR. Kód COSYMA nedává v základních výstupních souborech k dispozici napočítávané dílčí hodnoty disperzních koeficientů, a proto by bylo obtížné diskutovat případné odchylky výsledků. Proto bylo změněno zadání úlohy na velkou drsnost, která se v kódu COSYMA zadává ve vstupním panelu hodnotou „urban“ a v kódu HAVAR volbou modelu 2 (KfK model s koeficienty podle (2.15) a aproximací (2.16) ze základního metodického manuálu). Při volbě „urban“ lze v COSYMA panelu zajistit, že příslušné koeficienty p a q jsou stejné jako u HAVAR.

4.1 Validační úloha č. 1

Charakter zdroje : **bodový zdroj**

Kategorie počasí: **F**

Rychlost větru v 10 m: **1.0 m/s**

Počet směrů: **16 - výpočet provést v 1 směru,**
- **uvažovat rovinný terén**
- **konstantní drsnost 0.1 m**

Počet vzdáleností: **20**

Vzdálenosti: **1, 3, 5, 10, 20, 50, 100 km**

Výška výpustí: **45 m**

Tepelná vydatnost zdroje : 0

Výstupní rychlost výpustí: 0

Blízké budovy: **neuvažovat**

Srážky: 0

Inverze: **neuvažovat**

Doba trvání úniku: **10 hod**

Zdrojový člen:

Xe135	10Bq/s
I131aerosol.	10Bq/s
I131org.	1Bq/s
I135aerosol.	10Bq/s
I135org.	1Bq/s
Cs137	10Bq/s

Kritická skupina obyvatel: **dospělí**

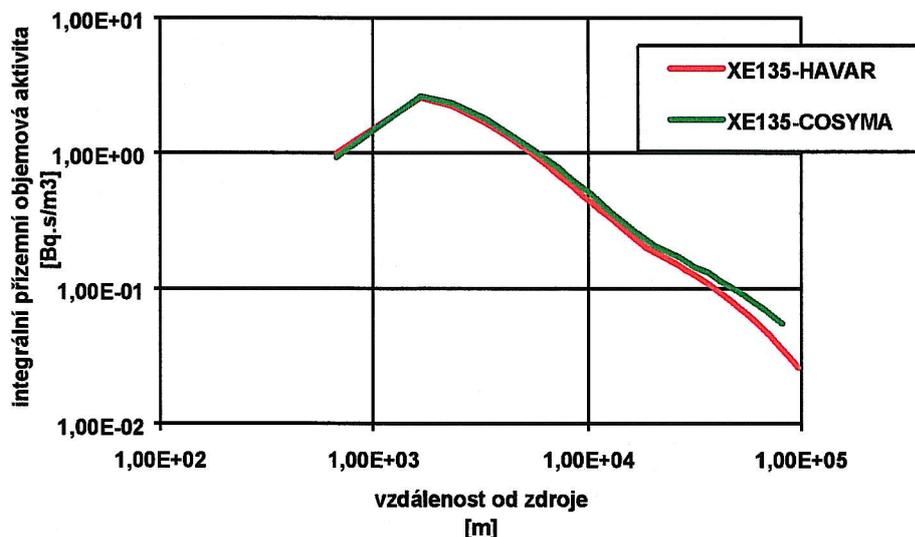
Největší změnou bylo uvažování velké drsnosti terénu (typu „urban“ podle COSYMA, v HAVAR pak změna ze zadané hodnoty 0.1 m na 1 m). Při těchto hodnotách je zajištěno, že hodnoty disperzních koeficientů v obou produktech se jsou počítány ze stejných vzorců (ovšem pro rozsah platnosti formulí do 10 km od zdroje znečištění).

Následují výsledky srovnání hodnot přízemní koncentrace vybraných radionuklidů podle obou produktů:

Vzdálenost Integralni prizemni aktivita, pod osou mraku
(m) (Bq.s/m3)

x (i)	XE135-HAVAR	XE135-COSYMA
666,67	9,93E-01	9,29E-01
1666,67	2,58E+00	2,64E-00
2333,33	2,25E+00	2,35E-00
3333,33	1,70E+00	1,80E-00
4333,33	1,30E+00	1,38E-00
5333,33	1,03E+00	1,11E-00
6333,33	8,32E-01	9,12E-01
7333,33	6,88E-01	7,71E-01
8333,33	5,80E-01	6,40E-01
9333,33	4,96E-01	
10333,33	4,33E-01	5,02E-01
11333,33	3,86E-01	
12666,66	3,36E-01	3,73E-01
14666,67	2,78E-01	
16666,67	2,34E-01	2,63E-01
18666,67	2,02E-01	
20666,67	1,86E-01	2,07E-01
22666,67	1,72E-01	
24666,67	1,60E-01	
26666,67	1,49E-01	1,72E-01
28666,67	1,39E-01	
31666,67	1,27E-01	1,45E-01
36666,66	1,09E-01	1,33E-01
41666,66	9,43E-02	1,15E-01
46666,66	8,23E-02	
51666,66	7,23E-02	9,48E-02
56666,66	6,39E-02	
61666,66	5,66E-02	
66666,66	5,03E-02	7,10E-02
71666,66	4,49E-02	
76666,66	4,01E-02	
81666,66	3,59E-02	5,54E-02
86666,66	3,22E-02	
91666,66	2,90E-02	
96666,66	2,61E-02	

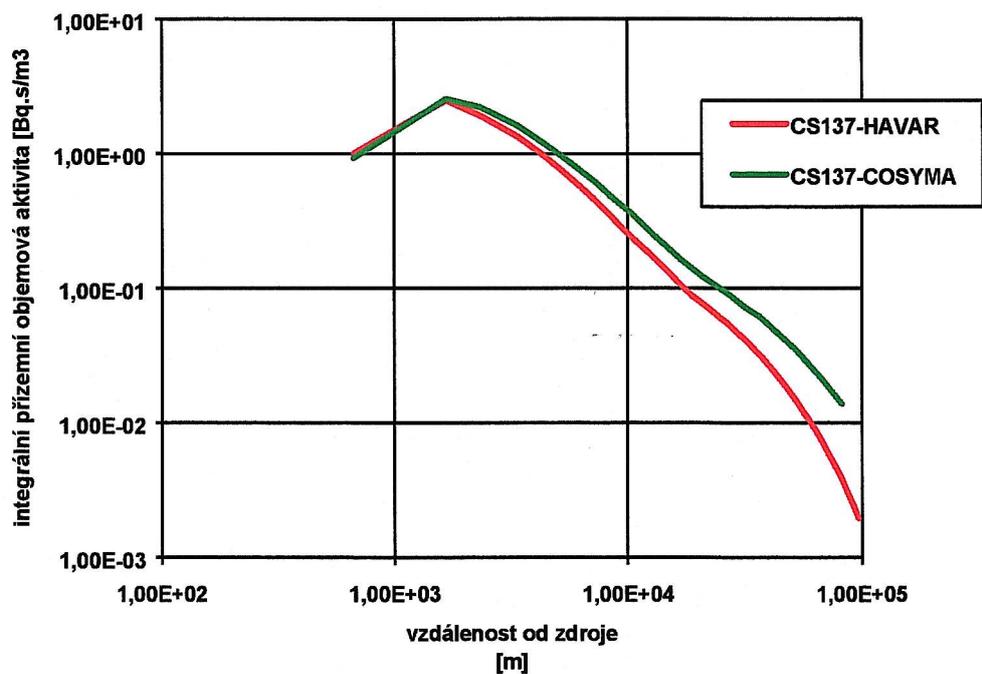
Integrální přízemní objemová aktivita Xe135



Vzdalenost Integralni prizemni aktivita, pod osou mraku
(m) (Bq.s/m3)

x(i)	CS137-HAVAR	CS137-COSYMA
666,67	1,00E+00	9,27E-01
1666,67	2,51E+00	2,57E-00
2333,33	1,93E+00	2,22E-00
3333,33	1,36E+00	1,63E-00
4333,33	9,76E-01	1,20E-00
5333,33	7,24E-01	9,30E-01
6333,33	5,54E-01	7,33E-01
7333,33	4,36E-01	6,05E-01
8333,33	3,51E-01	4,87E-01
9333,33	2,87E-01	
10333,33	2,41E-01	3,60E-01
11333,33	2,07E-01	
12666,66	1,72E-01	2,54E-01
14666,67	1,34E-01	
16666,67	1,07E-01	1,66E-01
18666,67	8,84E-02	
20666,67	7,78E-02	1,23E-01
22666,67	6,88E-02	
24666,67	6,11E-02	
26666,67	5,44E-02	9,18E-02
28666,67	4,86E-02	
31666,67	4,12E-02	7,21E-02
36666,66	3,16E-02	6,12E-02
41666,66	2,45E-02	4,95E-02
46666,66	1,91E-02	
51666,66	1,50E-02	3,53E-02
56666,66	1,18E-02	
61666,66	9,35E-03	
66666,66	7,43E-03	2,15E-02
71666,66	5,91E-03	
76666,66	4,72E-03	
81666,66	3,78E-03	1,38E-02
86666,66	3,03E-03	
91666,66	2,43E-03	
96666,66	1,95E-03	

Integrální přízemní objemová aktivita Cs137



Při srovnávání depozice bylo třeba nejdříve nastavit shodné rychlosti suchého výpadku pro jednotlivé fyzikálně-chemické formy radionuklidů. Do programu COSYMA byly zadány z příslušného vstupního panelu „deposition“ původní implicitní hodnoty HAVAR, konkrétně:

$v_g = 0.008$ pro aerosoly

$v_g = 0.02$ pro elementární jód

$v_g = 0.0001$ pro organickou formu

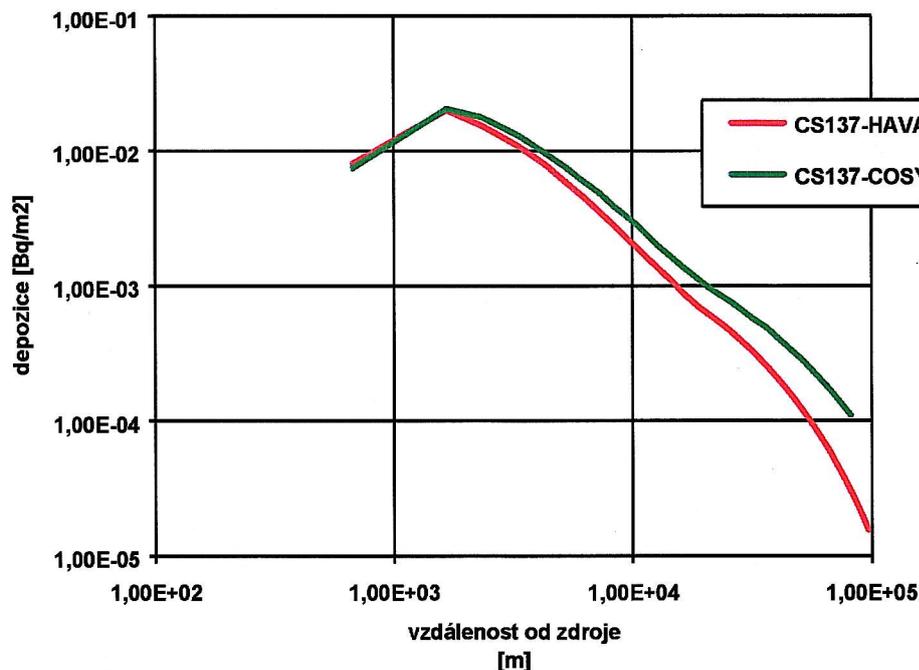
$v_g = 0.0$ pro vzácné plyny

K určité nekonzistenci kódu COSYMA patří také fakt, že v panelech změněné hodnoty rychlosti suchého spadu v_g se pak nikde neobjeví v opisu ve výsledkové části.

Výsledky srovnání jsou uvedeny v následující tabulce a grafu:

vzdálenost [m]	deponovaná aktivita CS137 [Bq.m ⁻²]	
x(i)	CS137-HAVAR	CS137-COSYMA
666,67	8,01E-03	7,42E-03
1666,67	2,01E-02	2,06E-02
2333,33	1,55E-02	1,78E-02
3333,33	1,09E-02	1,31E-02
4333,33	7,81E-03	9,60E-03
5333,33	5,79E-03	7,44E-03
6333,33	4,43E-03	5,86E-03
7333,33	3,49E-03	4,84E-03
8333,33	2,81E-03	3,89E-03
9333,33	2,30E-03	
10333,33	1,93E-03	2,88E-03
11333,33	1,66E-03	
12666,66	1,38E-03	2,03E-03
14666,67	1,07E-03	
16666,67	8,58E-04	1,33E-03
18666,67	7,08E-04	
20666,67	6,23E-04	9,85E-04
22666,67	5,51E-04	
24666,67	4,89E-04	
26666,67	4,36E-04	7,34E-04
28666,67	3,89E-04	
31666,67	3,30E-04	5,77E-04
36666,66	2,53E-04	4,90E-04
41666,66	1,96E-04	3,96E-04
46666,66	1,53E-04	
51666,66	1,20E-04	2,83E-04
56666,66	9,46E-05	
61666,66	7,48E-05	
66666,66	5,94E-05	1,72E-04
71666,66	4,73E-05	
76666,66	3,78E-05	
81666,66	3,02E-05	1,10E-04
86666,66	2,42E-05	
91666,66	1,94E-05	
96666,66	1,56E-05	

Depozice Cs137



K výpočtům podle COSYMA poznamenejme, že adekvátní grupu nuklidů je nutné nastavit v panelu „Iodine fractions“ hodnotami:

- 0.0 pro elementární jód
- 0.09 pro organickou formu
- 0.91 pro aerosoly

Ke srovnání hodnot přízemní koncentrace radionuklidů ve vzduchu ve větších vzdálenostech se konsistence obou modelů stává poněkud neurčitou. V systému HAVAR je použito úvahy z metodického manuálu (viz vztahy (2.17) a (2.18)), kdy $\sigma_z(x)$ může nabýt maximálně hodnoty:

$$\sigma_z(x)_{MAX} = 0,8 \cdot H_{mix} \quad (4.2a)$$

a dále pro hodnotu $\sigma_y(x)$ se použije postupu z atmosférického modelu ATSTEP systému RODOS [8], kdy disperze v periferním směru y se bere podle vztahů KfK do 10 km, přičemž pro vzdálenosti $x > 10$ km se používá závislost:

$$\sigma_y(x > 10km) = a \cdot \sqrt{x} \quad (4.2b)$$

Konstanta a se určuje z podmínky spojitého přechodu funkce σ na 10. km.

Jaká omezení se však použijí u disperzních koeficientů pro velké vzdálenosti u kódu COSYMA není zcela zřejmé a navíc výstupy z COSYMA tyto napočítávané hodnoty neobsahují.

Na tomto místě je třeba uvést, že analogická srovnávací studie prováděná u kódu NORMAL s produktem PC CREAM ukázala, že pro koncentrace ve vzduchu podle Gaussova modelu vyjádřeného vztahem podle (3.2) z metodického manuálu HAVAR lze psát:

$$C_{k,j}^n(x, y, z = 0) \approx \frac{1}{\sigma_{y,j}(x) \cdot u_{k,j}^0} \quad (4.3)$$

Experimenty potvrdily, že součin $\sigma_y \cdot u(z)$ se s výškou téměř nemění a tudíž je přesnější rychlost v měřící výšce v 10 metrech nahradit rychlostí v efektivní výšce výpustí z toho důvodu, že použitý model disperze KfK poskytuje disperzní koeficienty v efektivní výšce výpustí (počítají se interpolací (2.16) z metodického manuálu HAVAR).

Při srovnání deponované aktivity se její hodnoty vztahují k okamžiku odeznění havárie nad terénem, to znamená, že mrak opouští poslední radiální vzdálenost X(35).

4.2 Modifikovaná validační úloha č. 2

Zadání:

Úloha č. 2 – rozšířená varianta:

Charakter zdroje: **bodový zdroj**

Kategorie počasí: **F**

Rychlost větru v 10 m: **1.0 m/s**

Počet směrů: **16** - výpočet provést v **1 směru**,
 - **uvažovat rovinný terén, ve vzdál. 5 km převýšení terénu 100 m**
 - **drsnost 0.1 m do 10 km včetně, dále 0.3 m**

Počet vzdáleností: **20**

Vzdálenosti: **1, 3, 5, 10, 20, 50, 100 km**

Výška výpustí: **45 m**

Tepelná vydatnost zdroje : **neuvažovat**

Výstupní rychlost výpustí: **neuvažovat**

Blízké budovy: **kolmo na směr větru , výška 154 m, šířka 190 m**

Srážky: **2 mm/hod**

Inverze: **výška inverzní vrstvy 200 m**

Doba trvání úniku: **10 hod**

Zdrojový člen:

Xe135	10Bq/s
I131aerosol.	10Bq/s
I131org.	1Bq/s
I135 aerosol.	10Bq/s

I135 org. 1Bq/s
Cs137 10Bq/s

Kritická skupina obyvatel: **dospělí**

Tato data byla opět modifikována tak, aby bylo možno provést adekvátní nastavení se vstupem COSYMA, tedy:

- model rozptylu KfK
- výpočet podle HAVAR byl proveden se skutečnými drsnostmi pro jednotlivá radiální pásma lokality Temelín (proměnnou drsnost COSYMA nedovede respektovat a byl zadán typ drsnosti „urban“) – tento fakt může být dalším zdrojem nekonzistencí
- uniformní převýšení terénu (u COSYMA nelze zadat)
- pro srovnávací výpočty se neuvažuje výskyt inverzní situace, kterou u kódu COSYMA nelze tímto termínem zadat

Oproti zjednodušené variantě je tedy nutno uvažovat navíc dešťové srážky a blízkostojící objekt. Oba tyto efekty se testovaly postupně a srovnával se vzniklý efekt oproti variantě č. 1.

a) Efekt atmosférických srážek:

Pro případ atmosférických srážek se v produktu HAVAR užívá vztah (4.4) k vyjádření pravděpodobnosti Λ [s⁻¹] pro odstranění příměsí z jednotky objemu za jednotku času. Tato pravděpodobnost je funkcí intenzity atmosférických srážek a liší se pro jednotlivé fyzikálně-chemické formy nuklidů podle vztahu:

$$\Lambda^n(x) = \gamma^n \cdot \nu(x) \quad (4.4)$$

γ^n je v [1] tabelovaný parametr závislý na fyzikálně-chemické formě nuklidu n
[hod . mm⁻¹.s⁻¹]

$\nu(x)$ je vydatnost atmosférických srážek [mm/hod.]

Naproti tomu v produktu COSYMA je pro vyjádření pravděpodobnosti Λ užit mocninový výraz:

$$\Lambda^n(x) = a \cdot \nu(x)^b \quad (4.5)$$

Konkrétní hodnoty konstant (jedná se o implicitní hodnoty) obou produktů shrnuje následující tabulka :

forma	γ podle (4.4) HAVAR	a podle (4.5) COSYMA	b podle (4.5) COSYMA
aerosoly	2.6E-5	8.0E-5	0.8
elementární jód	1.3E-4	8.0E-5	0.6
organická forma	1.3E-6	8.0E-7	0.6

Byl učiněn pokus nastavit konstanty pro COSYMA podle implicitních hodnot HAVAR tak, aby pro zadanou intenzitu srážek 2 mm/hod si výsledné konstanty vymývání byly rovny. V COSYMA panelu pro depozici tedy bylo zadáno:

a = 2.6E-5 , b = 1.0 pro aerosoly

a = 1.3E-4 , b = 1.0 pro elementární jód
a = 1.3E-6 , b = 1.0 pro organickou formu

Za účelem přehlednějšího srovnávání se vyšlo ze zadání úlohy 1 a přidaly se srážky podle zadání úlohy 2. Jestliže se uvažuje výskyt srážek v celém rozsahu o intenzitě 2 mm/hod, pak výsledky podle programu HAVAR jsou v 1. části přílohy 2, odpovídající výsledky podle COSYMA pak ve druhé části přílohy 2, kdy příslušné konstanty pro vymývání byly nastaveny podle implicitních hodnot systému HAVAR. Ve 3. části přílohy 2 jsou pak výsledky podle COSYMA s touž intenzitou srážek, ale s původními implicitními COSYMA hodnotami. V příloze 2 jsou uvedeny jak hodnoty přízemních koncentrací resp. jejich integrálů, tak depozice.

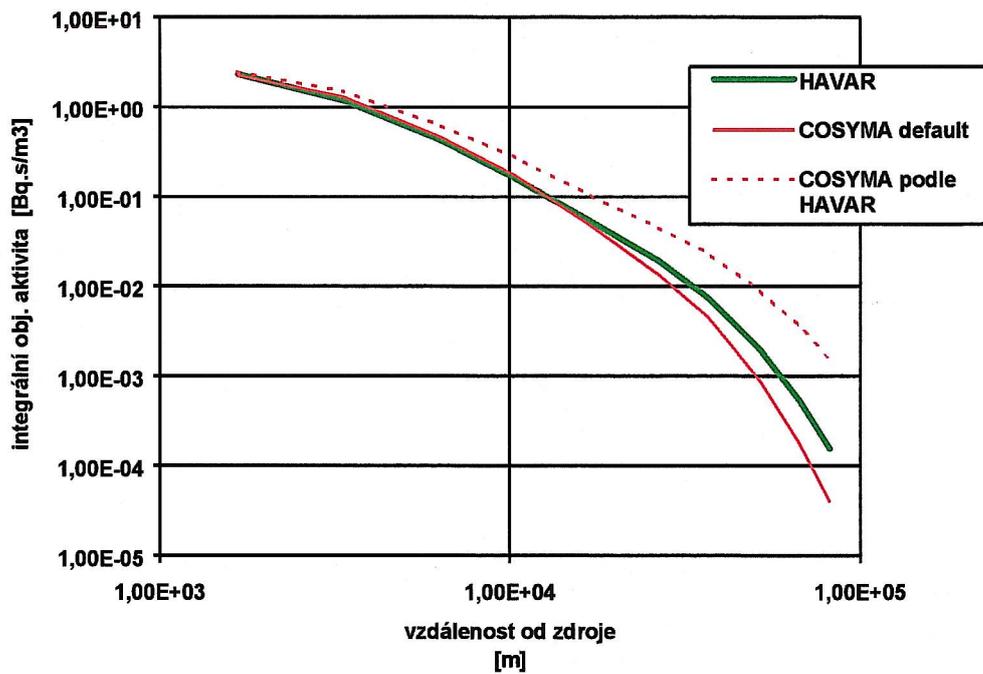
Část výsledků pro případ izotopu Cs137 (aerosol) je vybrána do následujících tabulek a je vykreslen průběh jak přízemní koncentrace tak deponované aktivity.

Validační úloha č.2 - srovnání výsledků HAVAR - COSYMA

Tab.: Integrální přízemní objemová koncentrace Cs137
srážky 2 mm/h v celé výšce

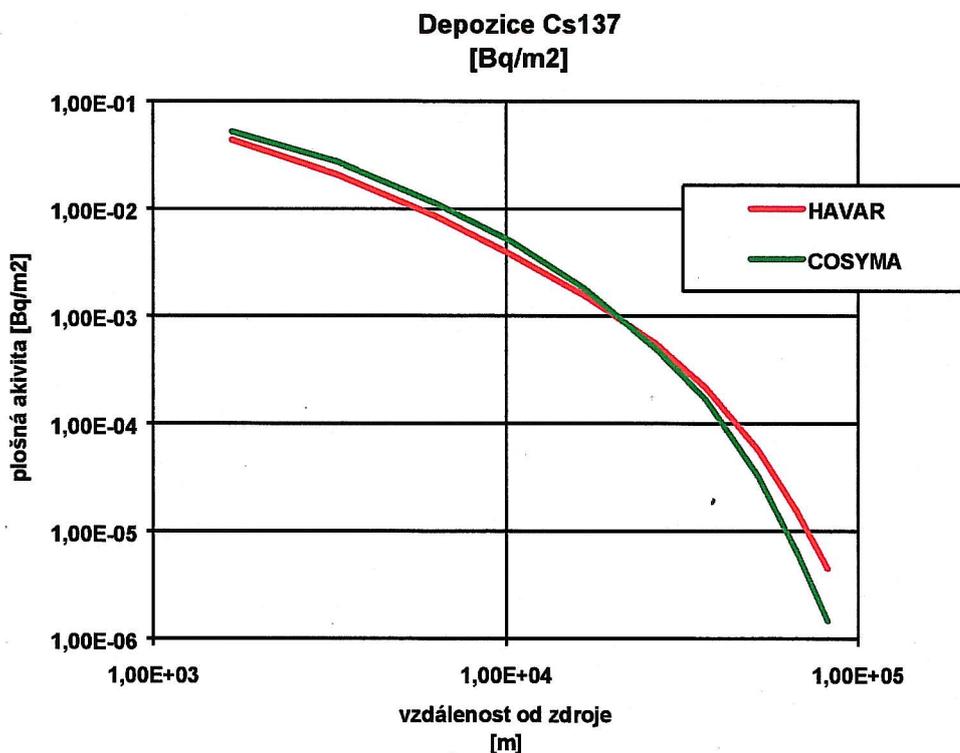
vzdálenost [m]	HAVAR	COSYMA s implicitními parametry vymývání	COSYMA parametry vymývání podle HAVAR
1666,6	2,35E0	2,28E0	2,46E0
3333,3	1,20E0	1,29E0	1,50E0
6333,3	4,33E-1	4,61E-1	6,16E-1
10333,3	1,61E-1	1,72E-1	2,73E-1
16666,6	5,60E-2	5,07E-2	1,07E-1
26666,6	1,92E-2	1,34E-2	4,47E-2
36666,6	7,57E-3	4,56E-3	2,35E-2
51666,6	2,0E-3	8,91E-4	8,92E-3
66666,6	5,51E-4	1,82E-4	3,61E-3
81666,6	1,56E-4	3,95E-5	1,54E-3

Integrální přízemní objemová aktivita [Bq.s/m³]



Tab.: Depozice Cs137
srážky 2 mm/h v celé výšce

vzdálenost [m]	depozice [Bq/m ²]	
	HAVAR	COSYMA puvodní depo. param.
1666,6	4,37E-2	5,20E-2
3333,3	2,09E-2	2,73E-2
6333,3	8,52E-3	1,12E-2
10333,3	3,70E-3	4,94E-3
16666,6	1,55E-3	1,79E-3
26666,6	5,56E-4	4,95E-4
36666,6	2,19E-4	1,69E-4
51666,6	5,77E-5	3,30E-5
66666,6	1,59E-5	6,74E-6
81666,6	4,51E-6	1,47E-6



b) Testování vlivu blízkostojících objektů

Výsledky obou kódů jsou uvedeny v příloze 3. Rozdíl mezi hodnotami přízemních objemových aktivit je způsoben jednak tím faktem, že rozměry blízkostojícího objektu (chladicí věže) jsou

zcela extrémní, na které použité poloempirické formule obou kódů nejsou pravděpodobně příliš vhodné. Pak u kódu HAVAR s formulemi podle kapitoly 2.4 základního metodického manuálu (viz vztah (2.20) vychází efektivní výška výpustí 77 m. Dochází sice ke zvětšení rozptylu podle (2.21) tamtéž, nicméně vliv zvětšení efektivní výšky pro blízké vzdálenosti převažuje.

V manuálech produktu COSYMA není provedena přesná specifikace použitých vztahů a reference směřují k algoritmu kódu UFOMOD [20]. Z tohoto důvodu nejsou dále činěny žádné závěry s tím, že pro takto extrémní zadání je nutné najít speciální vztahy.

c) Studie senzitivity provedené programem HAVAR

V rámci analýzy vlivu dalších vstupních parametrů byly testovány efekty:

- zvýšení hodnoty horní hranice směšovací vrstvy (zhruba trojnásobné)
- simulace inverzní situace pomocí modelu KfK s vícenásobnými odrazy na horní hranici směšovací vrstvy

Výsledky jsou archivovány, přičemž lze konstatovat očekávaný efekt, který ovšem není nijak výrazný (na úrovni několika desítek procent).

5. Výsledky validační úlohy č. 1 počítané podle produktu RODOS

Byly provedeny základní výpočty zjednodušené úlohy č. 1. Na následujících obrázcích jsou výsledky časových integrálů přízemních koncentrací pro Xe135 ve dvou provedeních, a to s disperzními koeficienty pro hladký terén a za druhé pro větší drsnost typu „urban“. Lze konstatovat dobrou shodu s oběma předchozími produkty pokud si uvědomíme, že systém RODOS neuvádí maximální hodnoty pod osou mraku, nýbrž hodnoty střední na příslušné dlaždici (v tomto případě 1 x 1 km).

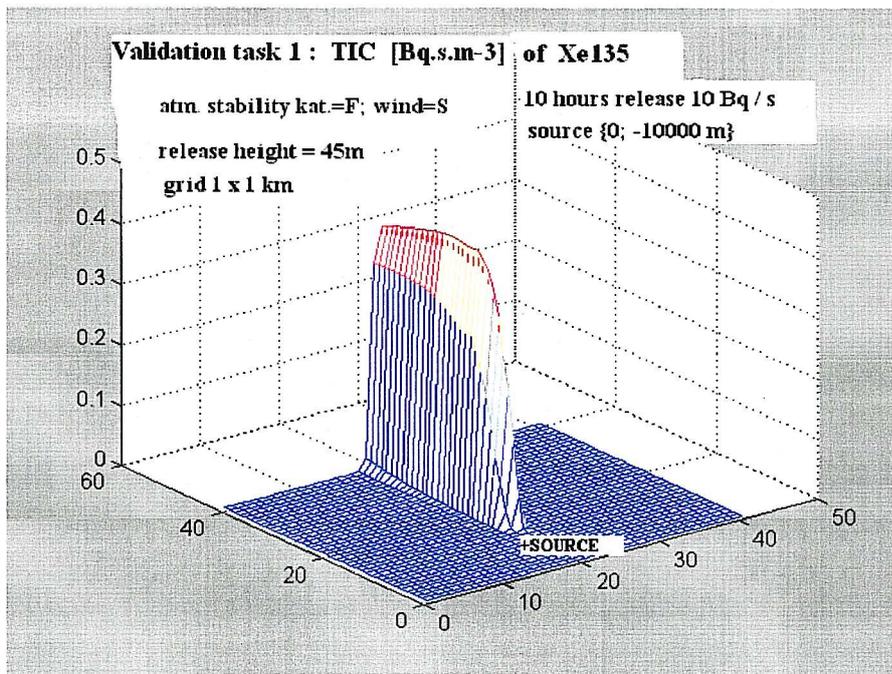
Integrální přízemní koncentrace Xe 135 :

Validační úloha 1 zadaná Odbornou hodnotící komisí č.6 pro výpočty šíření RA produktů

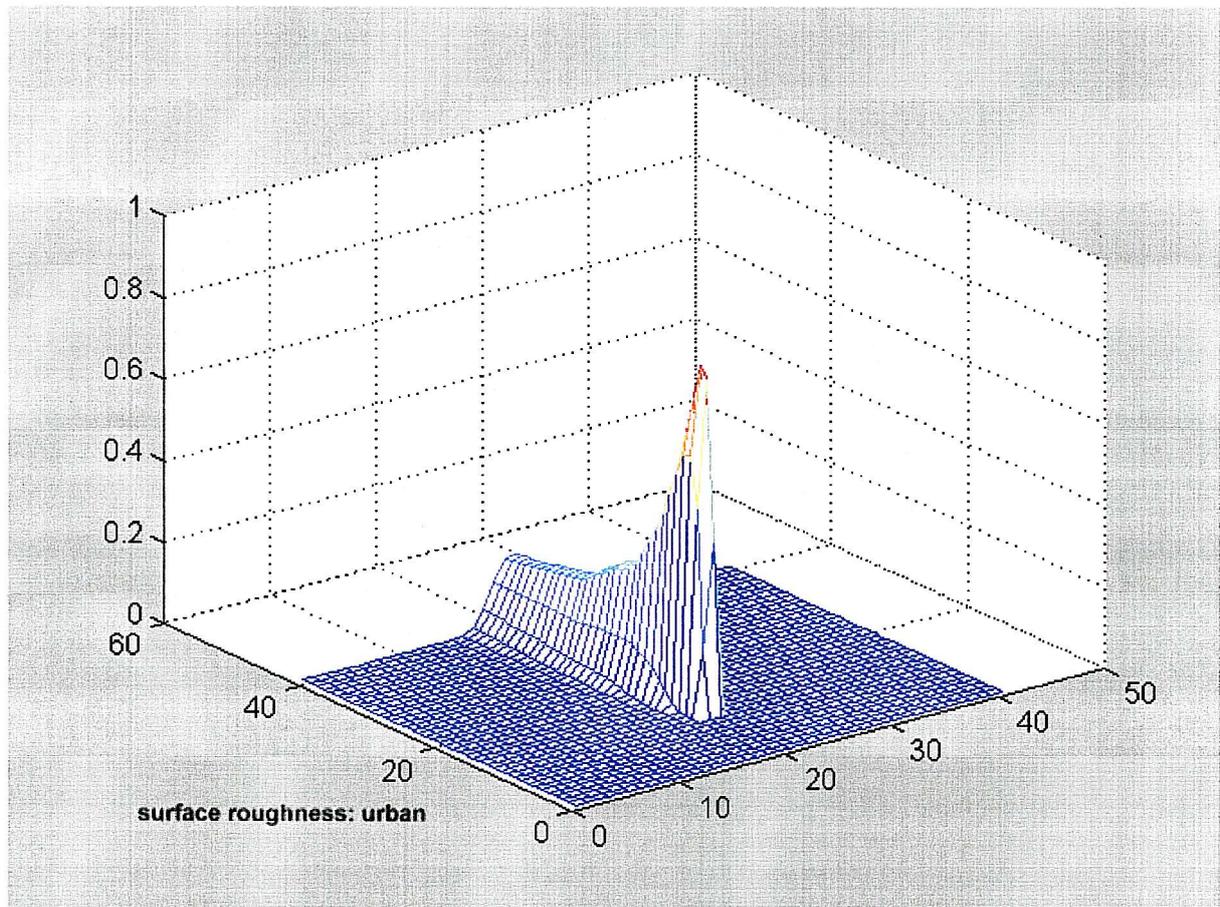
Výsledky podle RODOS systému

(Vstupní data přizpůsobena k zadání, vítr na sever, hodnoty koncentrací jsou střední na čtvercích 1 x 1 km):

Obr. 1: malý rozptyl (drsnost = rural => dispersni koeficienty podle MOL) :



Obr. 2: velký rozptyl (drsnost = urban => dispersní koeficienty podle KfK/Jülich) :



Seznam literatury

- [1] Pecha P., Pechová E.: **HAVAR**: Interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderného zařízení do atmosféry. **ČÁST I : Metodika**. EGP Praha, Arch.č.EGP 4104-6-990057, prosinec/99.
- [2] Pecha P., Pechová E.: **HAVAR**: Interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderného zařízení do atmosféry. **ČÁST II : Uživatelský manuál**
EGP Praha, Arch.č. EGP 4104-6-990027, rev. verze prosinec/99.
- [3] RODOS: Decision Support System for Nuclear Emergencies.
RODOS report R-3-1998, FZK 6069
- [4] Pecha P. Nedoma P. Karny M., Kuca P : Status report on RODOS accreditation for its use in Czech Republic – Local Quality Assurance Process.
RODOS(WG1)-TN(98)-29, final version July, 1999.
- [5] Pechova E., Pecha P., Nedoma P. : Application of the PC COSYMA code such a verification tool used in stage of NPP design. 4-th COSYMA Users Meeting, Prague 1997
- [6] PC COSYMA
National Radiological Protection Board, Kernforschungszentrum Karlsruhe,
EUR 14 917 EN (NRPB - SR259).
- [7] J. Pasler-Sauer: Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models. Kfk 4164 (1986)
- [8] Jürgen Pasler-Sauer : Description of the Atmospheric Dispersion Model ATSTEP.
RODOS report WG3 – TN(97) – 01

Přílohy

PŘÍLOHA 1

Referát na konferenci:

Pechova E., Pecha P., Nedoma P. (1997) : *Application of PC COSYMA code such a verification tool used in stage of NPP design.* Proceedings of the 4-th COSYMA Users Group Meeting, Prague, Sept. 1997.

Application of PC-COSYMA code such a verification tool used in stage of NPP design

E. Pechová
ENERGOPROJEKT Praha
Czech Republic

P. Pecha, P. Nedoma
Institute of Information Theory and Automation
Academy of Sciences of Czech Republic

Abstract

Current experience with COSYMA code in design company ENERGOPROJEKT Praha is presented. PSA technique is not so far a standard tool for safety evaluation during design stage of NPP (Nuclear Power Plant) and deterministic approach is used based on verification of compliance with limits resulting from government regulatory authority guidelines. The limits have character either of partial restrictions related to various fields of penetration of radionuclides to environment or stand for overall deterministic analysis of postulated „design basis accident“. The verification procedures require as a rule analysis of certain partial problems represented by the „worst“ possible cases to ensure sufficient level of conservatism in NPP design. Briefly is described former own company software used for safety site survey and evaluation, its development and improvements. Purchase of COSYMA package in 1995 has meant the basic step towards to future application of PSA methodology. In the first stage of understanding and learning of the COSYMA code some comparative studies were realized where deterministic runs of COSYMA represent standard tool for tuning and verification of the proprietary codes. The benefit of such comparison is demonstrated on analysis of one partial case of irregular release of radionuclides caused by temporary malfunction of filtering system and subsequent releases to venting stack.

1. Introduction

ENERGOPROJEKT Praha is involved in design of nuclear facilities in Czech Republic. The company is main general contractor for NPP design and participates in all phases of a NPP licensing procedures, mainly during:

- sitting
- design
- construction
- operation
- decommissioning

So far the deterministic evaluation of NPP effects on human health and impact to living environment is used. It consists in verification of compliance with limits related to the respective licensing stages and is distinguished for both occupational and public domains. The

limits are defined both for routine and accidental releases of radionuclides by governmental regulatory authorities and compliance with them is inevitable condition for successful licensing. From the point of overall safety assessment so far the deterministic approach based on declaration of „design basis accident“ is adopted. Compliance with all partial limits as well as with the limits declared for the design basis accident have to be described in detail in Preliminary Safety Report prepared and submitted for licensing by ENERGOPROJEKT.

In the second stage of design all comments, recommendations and conclusions from licensing procedure have to be taken into account and set of input data is further improved and clarified. This leads to more precise recalculations and verification of further cases being pointed out by opponents. The cases being analyzed in the process have character of some special „worst“ cases under cumulating of the worst input conditions with regard to final impact on population health. Or, sensitivity studies leading to repetitive calculations have to be done in order to find and check the worst effects. Nonconformity with regards to limit should lead to changes and modifications in NPP design. All results have to be summarized by SKODA and ENERGOPROJEKT in succeeding Pre-Operation Safety Report.

Special attention is devoted to atmospheric releases of radionuclides. For purposes of evaluation of off-site consequences of such releases corresponding program products were developed at ENERGOPROJEKT Praha since 1982. Former versions was originally designed for batch processing in mainframe environment and they were recently substantially rebuilt, improved and moved to PC environment with broad friendly interactive support for input of data and immediate graphical presentations of results. Now the proprietary codes consist of two subsystems:

- HAVAR - Interactive system for assessment of effects of accidental releases of radionuclides from NPP to atmosphere
- NORMAL - Interactive system for assessment of effects of routine releases of radionuclides to atmosphere during normal operation of NPP

Simultaneously with development of this own codes ENERGOPROJEKT was looking for some proper and perspective code which would provide access to the latest know-how in the field and moreover enabled:

- verification of its existing codes (from short time horizon)
- future benefits from the time-consuming process of learning and understanding of the new code with perspective to move towards to PSA methodology and its application also in design stages (medium time horizon)

The PC-COSYMA code was selected as a candidate for these purposes due to its following outstanding features:

- general acceptance of high level of the code
- broad application in nuclear industry
- profoundly tested by various intercomparison benchmark procedures

-- still „live“ product under development of skilled specialists from outstanding international research centres

Before using of the COSYMA code such a standard tool for verification of other codes we must have on mind the purposes and endpoints for which the code was developed. It was not designed for real-time modelling in detail of one certain accident characterized by real changes of conditions. COSYMA was designed for probability safety assessment based on statistical processing of results of many times repeated single runs when conditions for a single run are generated according to some proper sampling scheme. The single run enables modelling of dispersion and deposition processes, calculation of doses from various pathways of radionuclide transport, various kinds of countermeasures could be taken into account etc. The particular models used in the single run should describe situation as much as precise. On the other hand in spite of many thousands of repetitive calculations it should be very fast. Then some compromise is introduced. Atmospheric dispersion is described using Gaussian models, which are sufficiently fast. It was revealed that with regard to „averaging“ procedures used during successive statistical processing of a great number of single runs the resulting statistics are not much sensitive to dispersion model selection. Then the Gaussian models are generally accepted.

2. Reasons for comparison calculations between PC-COSYMA and HAVAR

The benefit from PC-COSYMA comparative calculations will be now demonstrated on analysis of one partial case of accidental release to atmosphere related to temporary malfunction of filtering system, when some activity was released to environment through the venting stack (source term of the accident - see APPENDIX I). The purpose of the analysis was to verify compliance with limit of committed equivalent dose to thyroid for children and adults. The calculations provided high conservative results for the doses from ingestion when applying code HAVAR. When input data were adopted as closely as possible to PC-COSYMA and deterministic calculations was performed, the COSYMA results were much less conservative. This means that complete audit of HAVAR code had to follow.

Because PC-COSYMA enables calculations only for one age group - adults - we shall further limit to this category. Individual dose in Sv for adults from ingestion of foodstuff f between time t_1 and t_2 can be expressed schematically (correct expression for COSYMA is in [2], similar for HAVAR in [7]):

$$ID(n,o,f,g) \approx AG(n,g) \cdot AF(n,f,t_1,t_2) \cdot DCF(n,o) \quad (1)$$

f, g	foodstuff; grid element
n, o	radionuclide considered for ingestion; organ or tissue
t_1, t_2	time of ingestion start; time of end of activity intake
AG	total activity initially deposited on ground [Bq/m ²]
AF	time integral (from t_1 to t_2) of activity intake per unit initial deposition
DCF	dose conversion factor (integrated 50 a after single intake) [Sv/Bq]

From this expression we can see that source of possible errors can be either in values of deposited activity on ground or in the second term representing time integral activity intake.

2.1 Audit of dispersion and deposition model of HAVAR system

Dispersion of radionuclides in atmosphere is in HAVAR described according to several modifications of segmented Gaussian plume model. Let us assume for simplicity only dry deposition of radionuclides on ground. Deposition of activity on the ground depends on air concentration at ground level $C(n,g,0)$ in Bq/m^3 and dry deposition velocity v_g :

$$AG(n,g) \approx C(n,g,0) \cdot v_g \quad (2)$$

From this expression is evident that decisive role play correct values of concentration of activity in air.

2.1.1 Comparison of HAVAR dispersion model with comparative and validation studies according to Batch I Problem from ref. [4]

In the following table are given normalized integral activities in air near ground calculated by program HAVAR according to the Gaussian plume model with σ_y and σ_z according to Karlsruhe/Jülich. The input data were adopted just to Batch I Problem from [4]. Simulation was done using normalized unit release of $Xe133 = 1.0 Bq$.

Distance from source [m]	Normalized ground level concentrations of Xe133 in air [Bq/m^3]	
	$u_{10} = 1$ m/sec	$u_{10} = 2$ m/sec
667	1,93E-12	9,65E-13
1667	1,42E-8	7,11E-9
2667	9,58E-8	4,80E-8
3667	1,97E-7	9,80E-8
4667	2,72E-7	1,36E-7
5333	3,17E-7	1,59E-7
6333	3,40E-7	1,70E-7
7333	3,47E-7	1,74E-7
8667	3,44E-7	1,73E-7
10667	3,25E-7	1,63E-7
12667	2,98E-7	1,50E-7
14667	2,71E-7	1,37E-7
17333	2,38E-7	1,20E-7
21667	1,94E-7	9,80E-8
26667	1,57E-7	7,92E-8
33333	1,21E-7	6,15E-8
43333	8,77E-8	4,46E-8
53333	6,67E-8	3,41E-8
66667	4,91E-8	2,52E-8
86667	3,61E-8	1,94E-8

Comparison of the results of atmospheric dispersion according to various models are taken from [4] and shown here in Appendix II. The results according to HAVAR from the previous table for $v_{10}=2$ m/s are added to figure in Appendix II and are marked using symbol \otimes . From there can be stated very good consent with „Gaussian region“.

2.1.2 Using PC-COSYMA deterministic runs such a tool for validation of HAVAR dispersion and deposition model

Let us assume the irregular release of radionuclides for from stack according to description in Appendix I related to the temporary disfunction of air filtering system. The release height is 100 m, the plume is moving without changes in one direction 8 (337 deg), stability category F is assumed. In this way is defined „worst case“ for analysis, because there is a big population site in direction 8 situated 22 km from source of the release.

The situation described above is not in contradiction with design philosophy of COSYMA and then can be analyzed by COSYMA single deterministic run when following endpoints (see [1]) are taken into account:

- Air concentration of each nuclide at all grid points
- Deposition of each nuclide at all grid points
- Mean organ doses from each exposure pathway and each nuclide (short and long term individual doses)
- Doses at each grid points (short and long term individual doses)

The problem was to adopt input data in both systems to be the same (or, at least as close as possible). It was nearly successfully done. The negligible differences remained, but those are not expected to cause remarkable errors. Before presenting results, comparison of basic features of both systems should be done:

PC-COSYMA

HAVAR

 Gaussian volume source model
 (MUSEMET- option 1,2,3 for wind dir. changes)

Segmented Gaussian plume model in
 several modifications (so far options 1,2 for
 wind dir.; ATSTEP model is planned)

$\sigma_z, \sigma_y, \sigma_x \approx \sigma_y$: according to KfK / Jülich

σ_z, σ_y : according to KfK / Jülich
 and alternatively : HOSKER, BOX, ...

building wake effect according to [5]
 (UFOMOD)

building wake effect according to [6]
 (decreasing of hef is taken into account)

ingestion : FARMLAND option
 (ECOSYS option not tested)

former static INTERATOMENERGO and
 new dynamic FCM ENCONAN according
 to [9], implementation into HAVAR - see
 [10]

presentation technique: standard user friendly
 environment

presentation technique: standard user
 friendly environment with extended
 graphical pres. of results (2D-graphics)

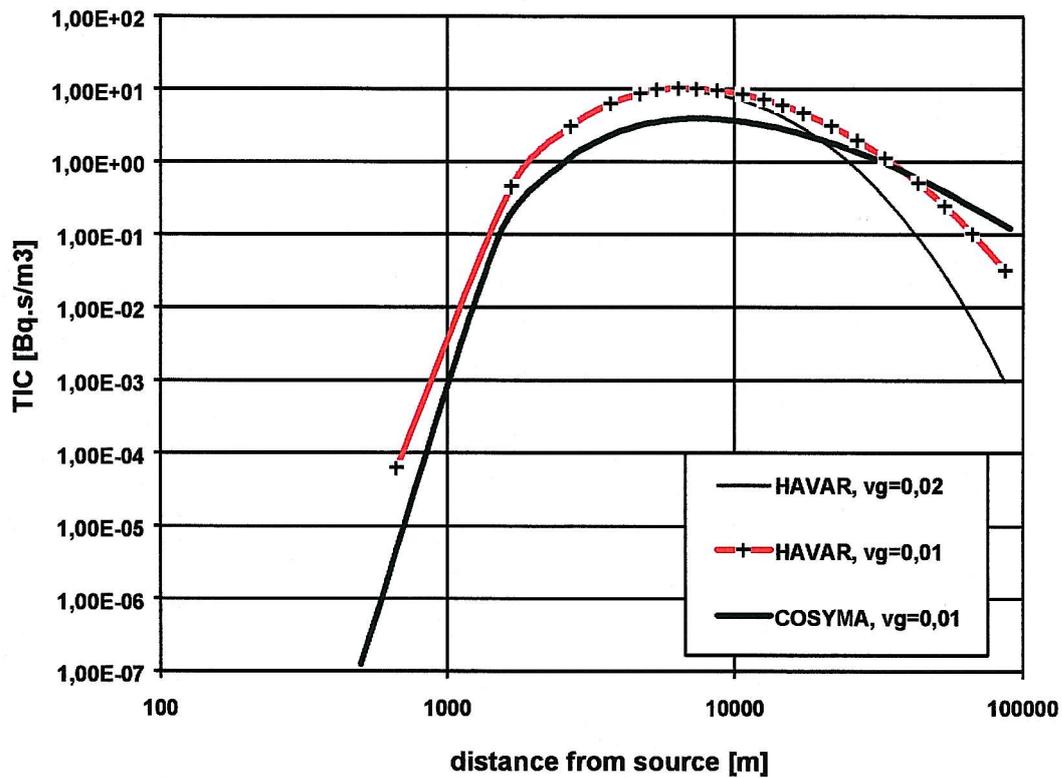
 As to dry deposition velocity v_g , different current default values were used in a particular
 code:

- $v_g = 0.01$ m/s dry deposition velocity of iodines according to COSYMA
- $v_g = 0.02$ m/s dry deposition velocity of iodines according to HAVAR
- $v_g = 0.001$ m/s dry deposition velocity for aerosols according to COSYMA
- $v_g = 0.008$ m/s dry deposition velocity for aerosols according to HAVAR
- $v_g = 0.003$ m/s dry deposition velocity for aerosols according to UFOMOD [5]

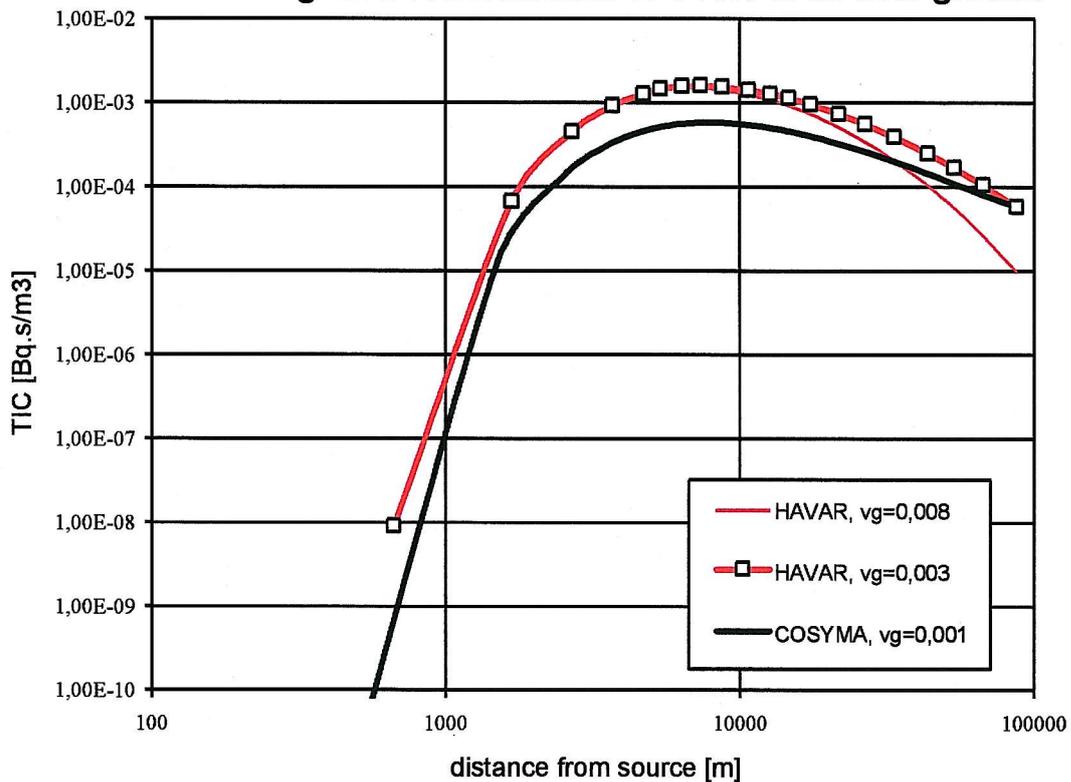
a) Results under assumption of no building wake effect

The following 5 figures show the results of comparison COSYMA / HAVAR for cases without
 building wake effect, flat terrain and for various combinations of v_g values:

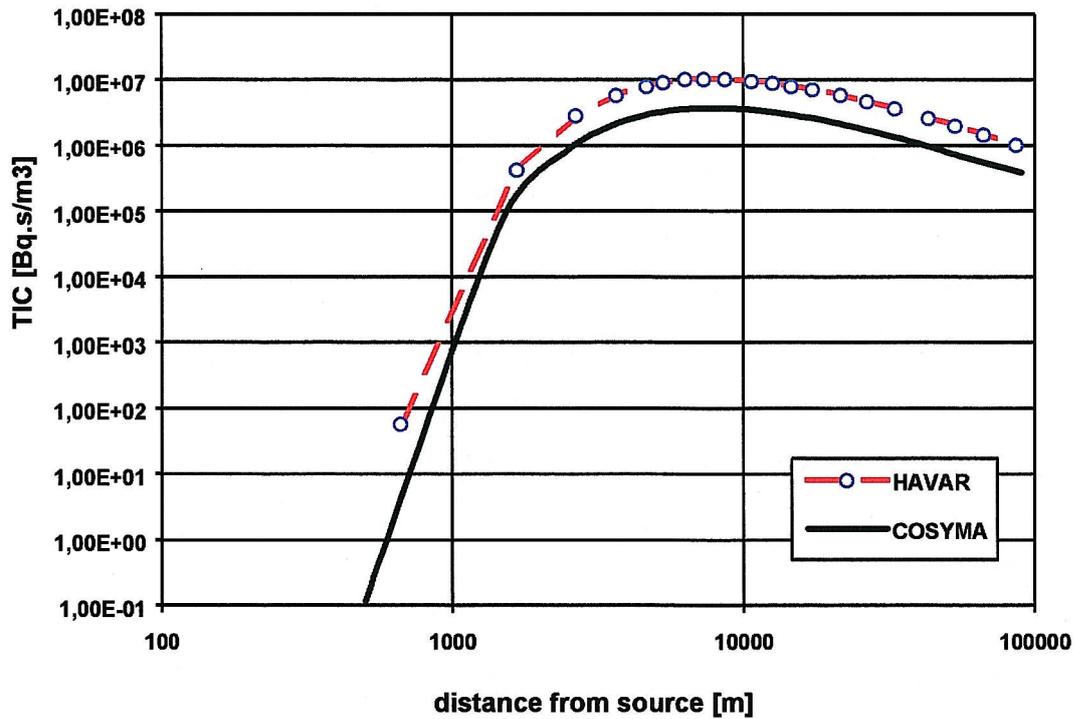
Time integrated concentration of I131 in air near ground



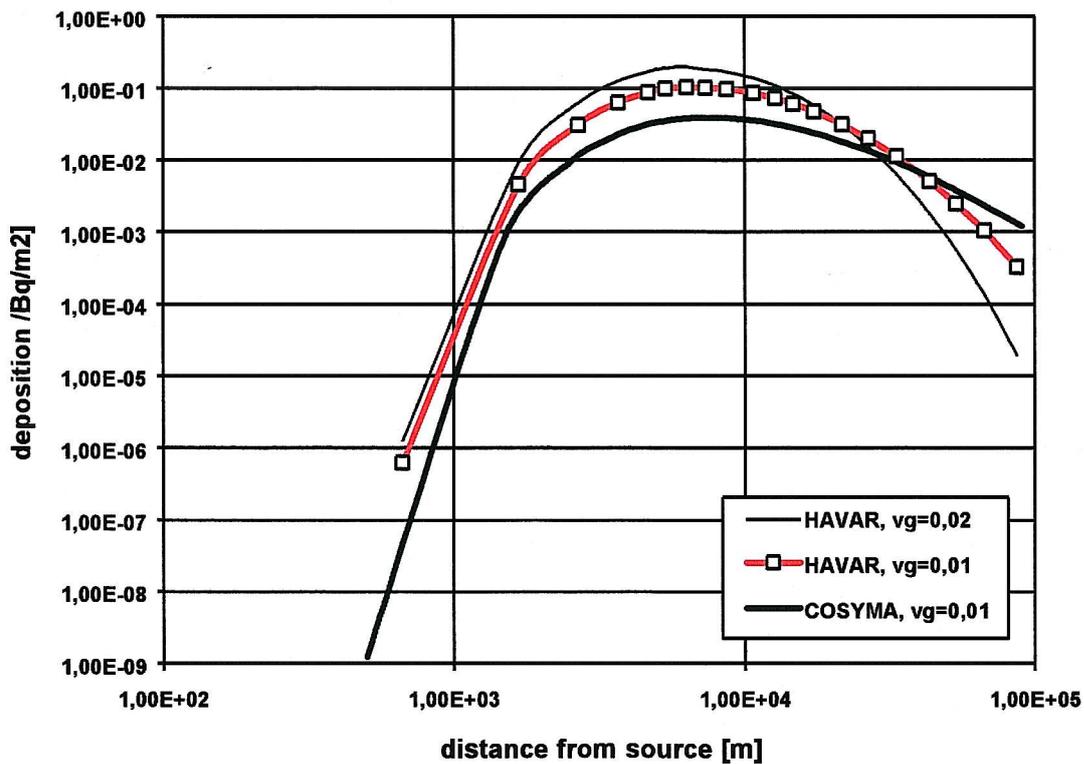
Time integrated concentration of Cs137 in air near ground

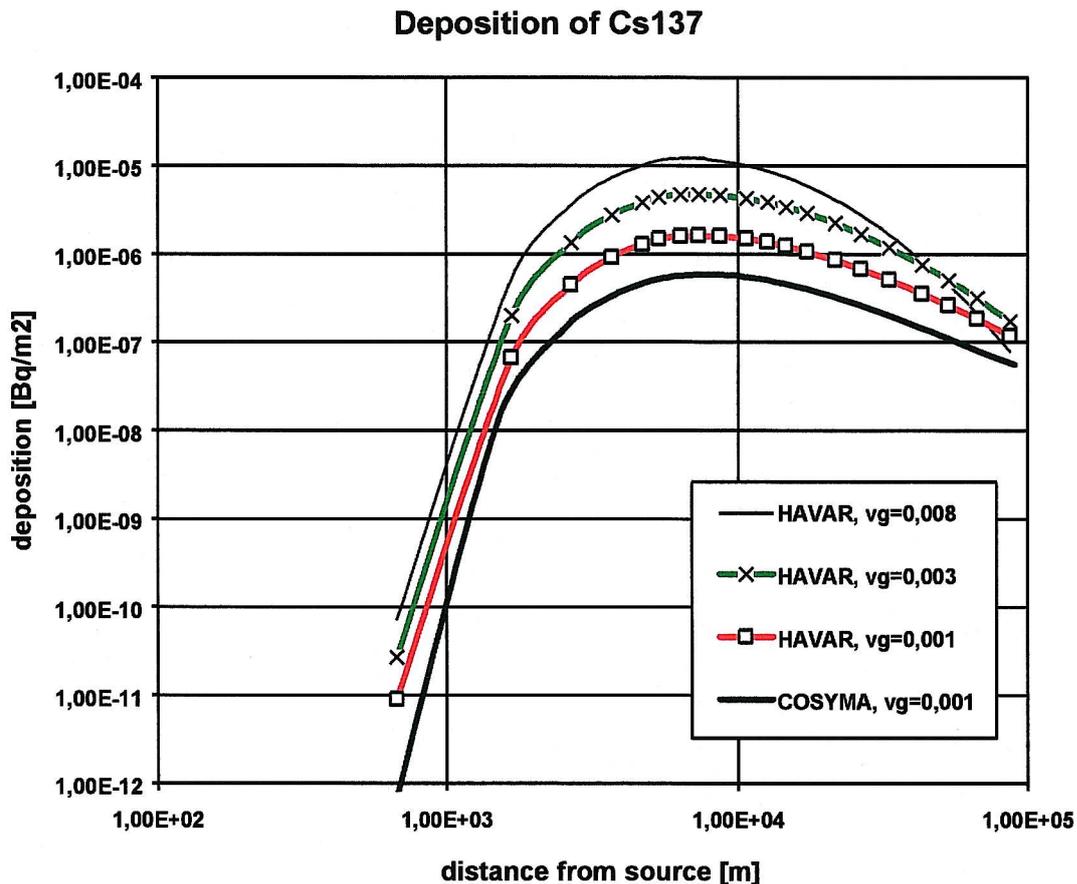


Time integrated concentration of Xe133 in air near ground



Deposition of I131





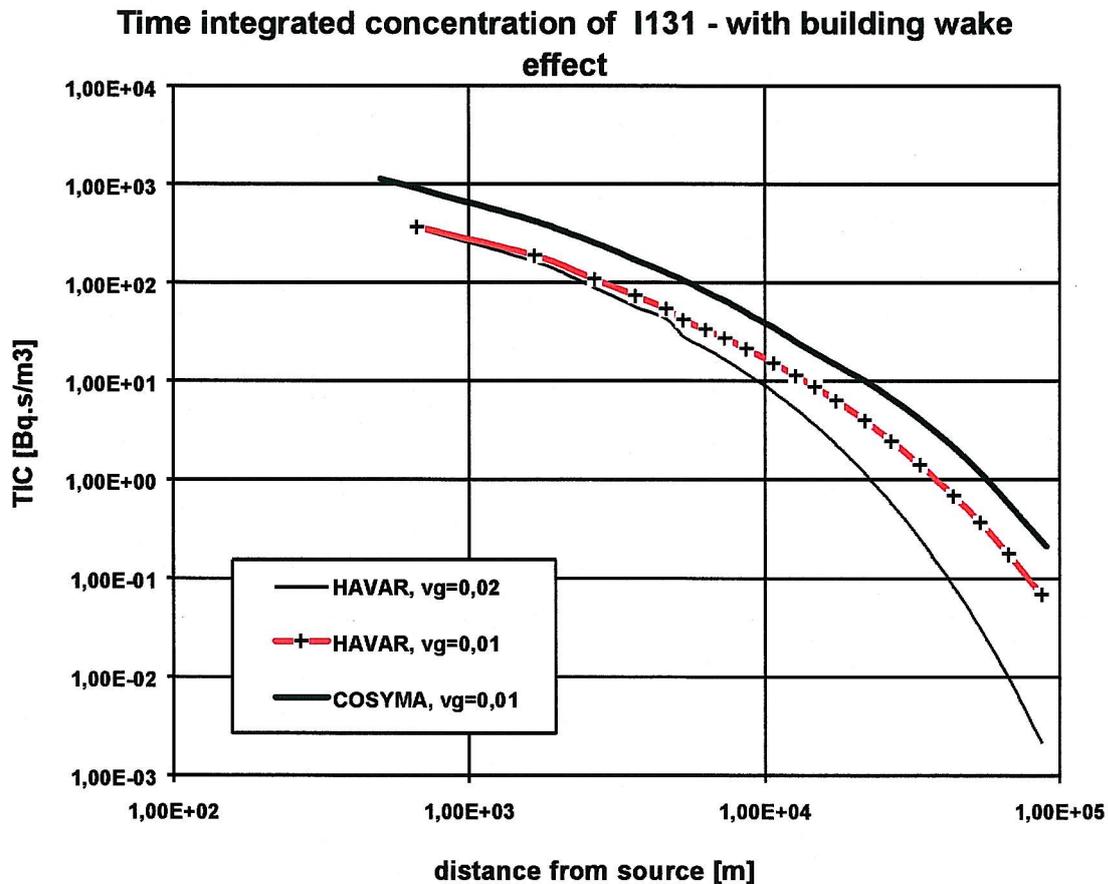
On basis of the previous five figures we can state out good consent of results between COSYMA / HAVAR. Some systematic difference appears when we compare values of time integrated concentration of radionuclides in air. The values according to COSYMA are systematically somewhat lower than for HAVAR. It can be explained by the fact, that COSYMA includes also dispersion in the direction of plume movement, when some dependency according to $\sigma_x \approx \sigma_y$ are introduced [5]. HAVAR has adjusted exactly the same σ_z and σ_y as COSYMA, but x-dependency of dispersion cannot be included. Then the resulting dispersion has somewhat lower intensity. The systematic differences in air concentrations enter also into the corresponding figures for deposition. The deposition values stand for the time, when the plume just finishes its transport over the respective grid point (initial deposition values).

b) Results when building wake effect was taken into account

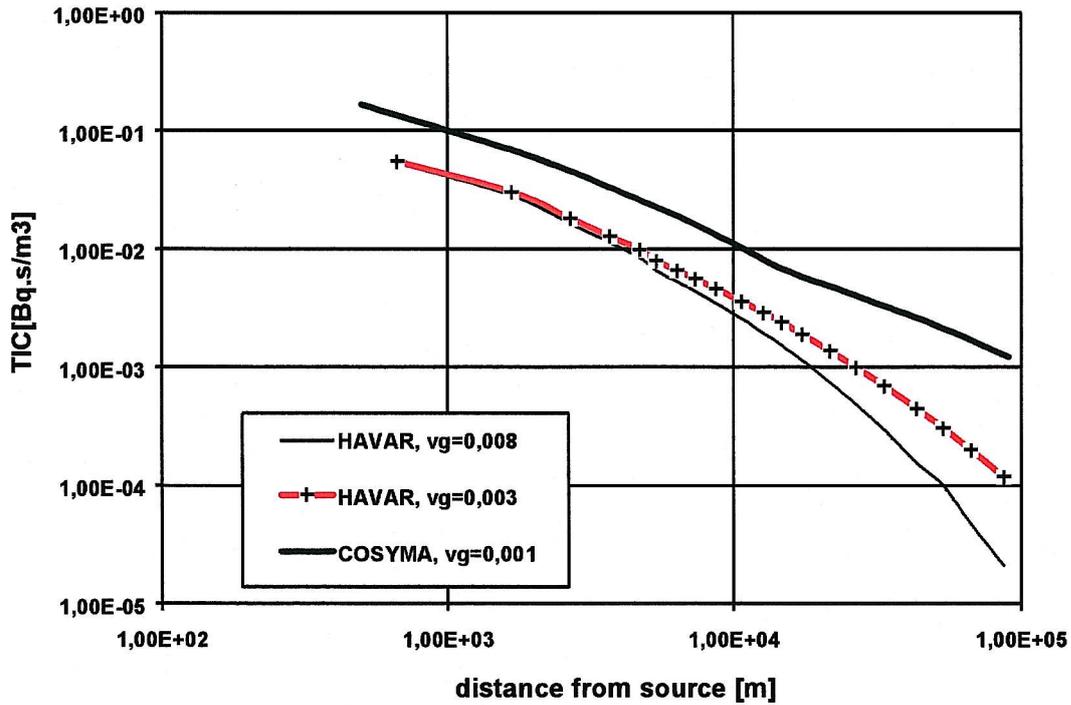
As was mentioned above for NPP Temelin a big population center exists in direction 8 with mean distance of 22 km from source of the release. Moreover in the same direction are situated cooling towers with height = 150 m. It overcomes release point by 50 m. According to current methodology the effect of the cooling towers is roughly substituted by effect of equivalent near- standing building with height H = 150 m and width B = 190 m.

It is questionable if such extreme case can be described by such a simple models (COSYMA uses model according to [5], HAVAR uses different expressions according to [6]). But we have decided to point out the significant effect of near standing buildings and successive future necessity to investigate the problem more profoundly when taking into account the site-specific features. In some cases the release may not adequately be presented as a single point source and applying a volume source model will be more appropriate. The influence of near-standing buildings, interaction of cooling towers with the plume, abnormal surface shapes and other site-specific phenomena on short-range atmospheric dispersion variability require a site-specific analysis. From this point of view should be considered the question of reasonability of country specific codes development.

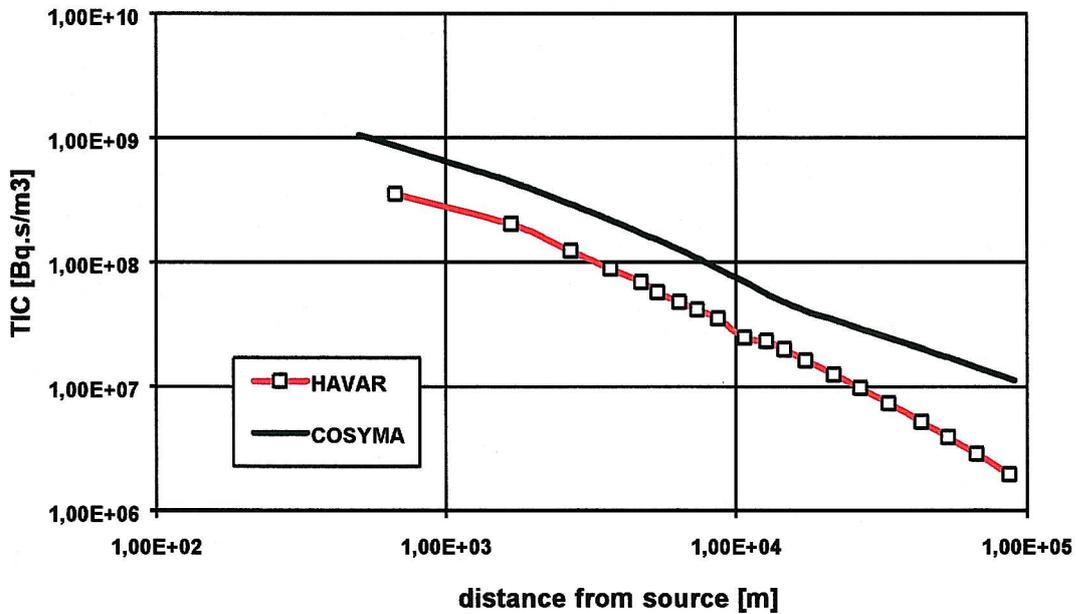
The next five figures describe the results of calculations where building wake effect is considered. At this stage of knowledge we are not able to decide which one is better. It can be only noted that the effect according to HAVAR with [6] is much more intensive and the problem needs more investigation.



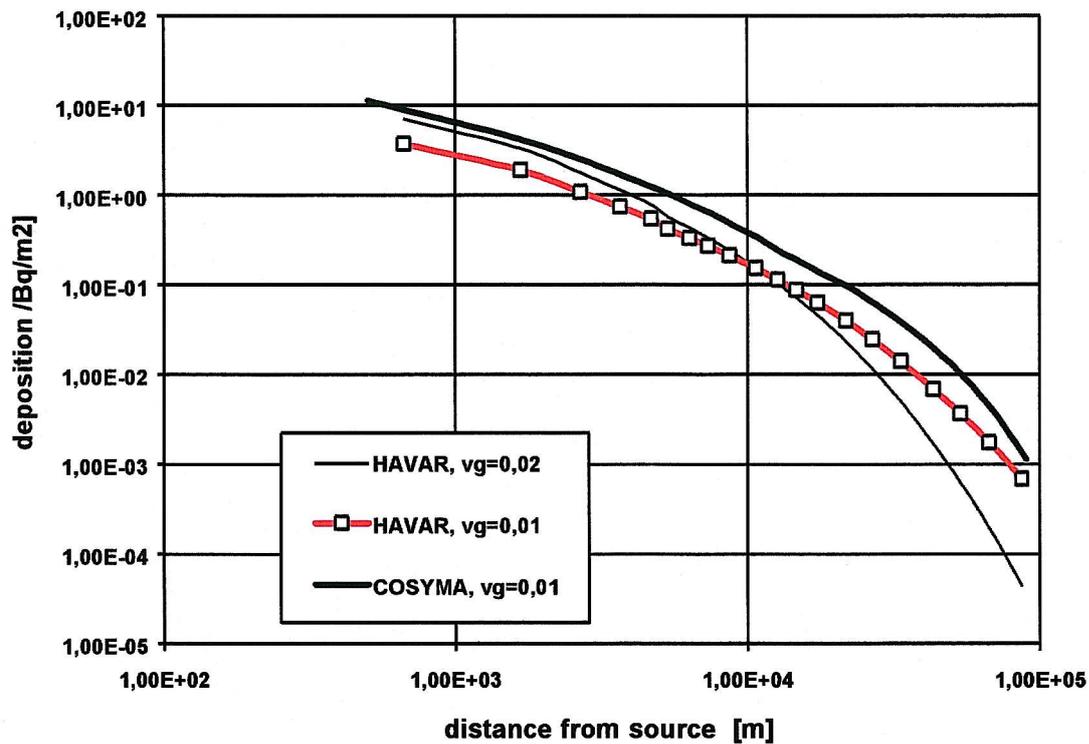
Time integrated concentration of Cs137 - with building wake effect



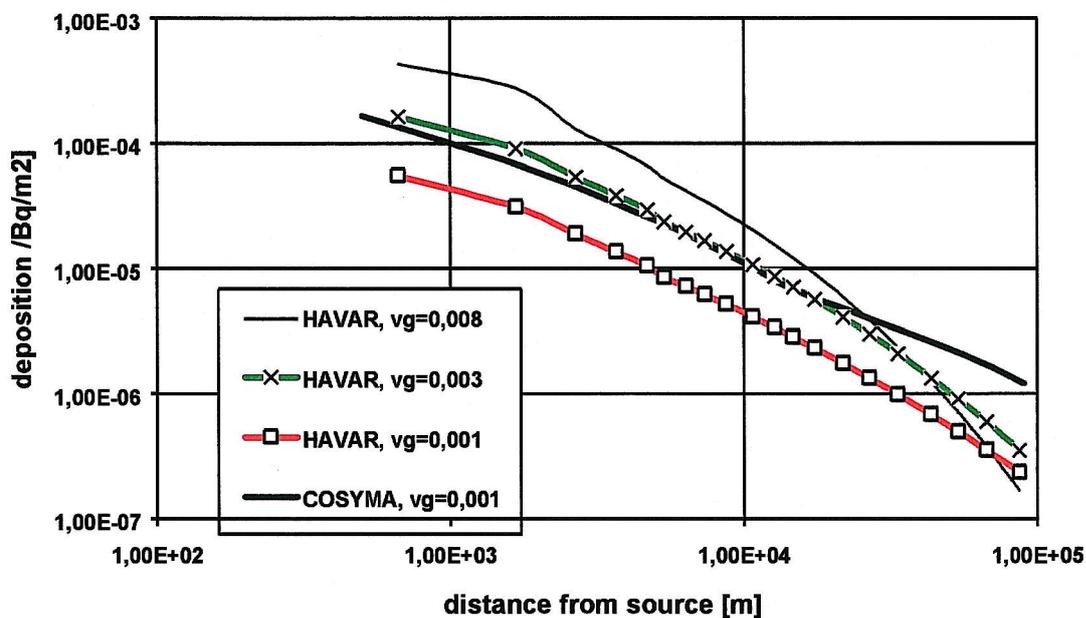
Time integrated concentration of Xe133 - with building wake effect



Deposition of I131 - with building wake effect



Deposition of Cs137 - with building wake effect



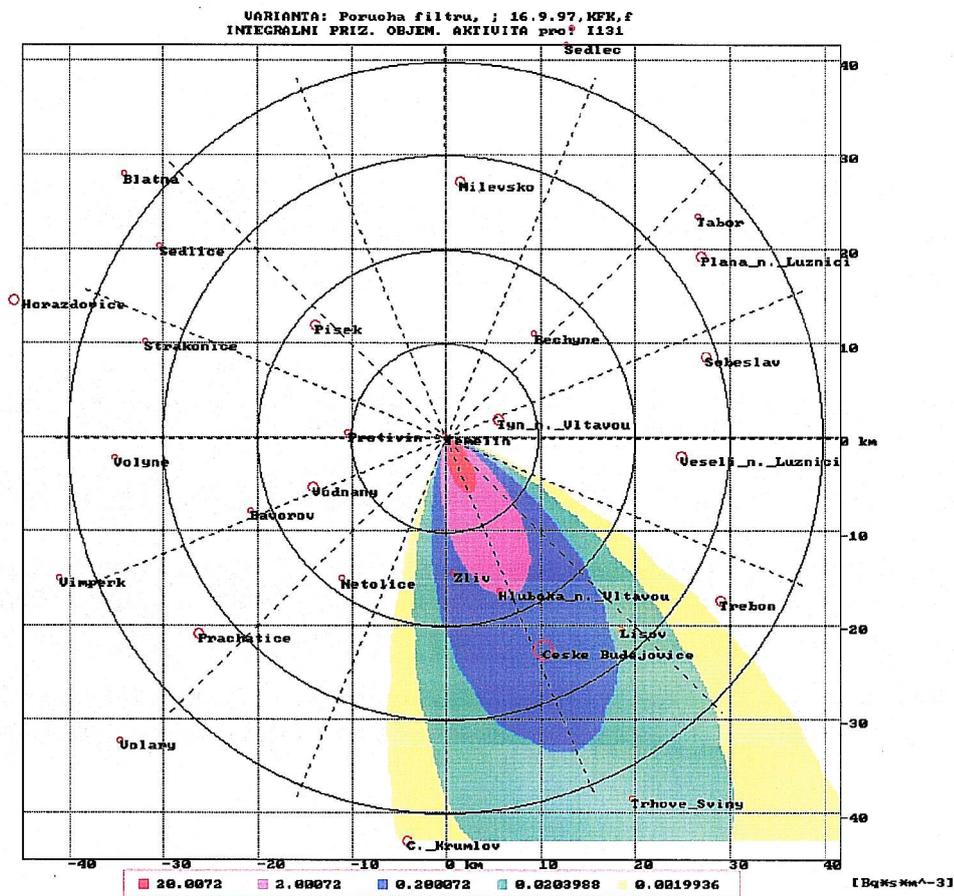
The following two figures demonstrate 2-D distribution for case with and without building wake effect. It also shows extended graphical functions of HAVAR system. For better understanding of the pictures one must be aware of dependency of $\sigma_y(x)$ calculated according to KfK/Jülich model on effective height of the plume. In the following table are some results for F stability category (no building wake is assumed):

$\sigma_y(x)$ [m] for F category:

Effective height of plume [m]	Distance from source x [m]					
	2666	4667	7667	10 667	14 667	21 667
50	339	529	771	1010	1270	1680
77	655	1010	1630	2280	3040	4320
100	1060	1910	3080	4580	6410	9680
170	858	1440	2270	3260	4310	6340

Influence of near standing buildings according to [6] has two effects. At first, σ_y and σ_z are increased by some additional initial values. The second effect consists in substantial decreasing of effective height of plume - for the case initial height of 100 m was decreased to 77m (no buoyancy and vertical velocity at the source point are assumed). The second effect has prevalent influence and explains the two figures.

TIC of I131: category F, with building wake effect



2.2 Audit of food chain model for system HAVAR using COSYMA FARMLAND model

Let us return to considerations in the header of paragraph 2 where discrepancy between results of COSYMA and HAVAR calculations of committed equivalent dose to thyroid due to internal intake of activity has been stated. The first term on the right side of equation (1) - AG (total activity initially deposited on ground - was validated here in detail in paragraphs 2.1.1 and 2.1.2. On the basis of the comparison studies with COSYMA results we are competent to declare correct function of dispersion and deposition models of HAVAR (off course, within the range of validity of Gaussian plume model).

It means that source of the discrepancy must be in the second term of the right side of equation (1), which represents time integral of activity intake. The more precise modeling of the variable means quite reassessment of food chain modeling and move towards dynamic methodology. System HAVAR contained former static model called here INTERATOMENERGO based on simplified methodology and did not enable to take into account dynamic features for foodstuffs and feedstuffs processing and consumption. For this reason an investigation of existing dynamic models has been done in order to select the proper one. FARMLAND and ECOSYS models seems to be the most sophisticated products. But their application to HAVAR can be hardly realistic for many reasons. Fortunately there is available model ENCONAN [9] developed for environment of Czech territory and having clear and comprehensive dynamic structure. Moreover the code ENCONAN has been validated during VAMP procedure established and coordinated by IAEA.

Model ENCONAN has been adopted for its use in program HAVAR [10]. It enables calculation of doses from internal intake of activity by ingestion for arbitrary Julian day of fallout of radionuclides in relation with vegetation periods, transport of nuclides through animals, processing and consumption delays and others. The basic scheme of the model is presented in Appendix III. It should be point out that so far only local production and consumption approach has been adopted. Then the comparison test with COSYMA results for ingestion has been done.

Comparative calculations run on simplified data of scenario described in Appendix I. Source term was reduced to one nuclide I131 and the only food pathway - milk- was assumed. The option was selected from panel I1 during COSYMA input process and then default values in successive panel I2 were modified according to data valid for Czech region (original default data are in parenthesis):

I2: Food parameters - adults

Milk

Fraction of food consumed fresh 0.46 (0.80)

Average delay time between food harvest and consumption

Fresh (d): 4 (2)

Processed (d): 30 (30)

Consumption rate (kg / yr) 248 (115)

We have to say again that it was not possible to adjust all input data to be the same for both codes. The possible differences are the subject of sensitivity studies which has been just started. Nevertheless, we think the results are good and we do not expect great differences caused by the rather small input data inconsistency.

Finally, the results are described in the following picture and they are related to one grid point: 15 km from the source and under the plume axis. The new results according to ENCONAN are presented for several discrete days of release of radionuclides and are summarized in the following table:

Results of HAVAR according to model ENCONAN : Committed doses for adults owing to activity intake from milk products during period from day of release to the end of the year (Julian day 365)

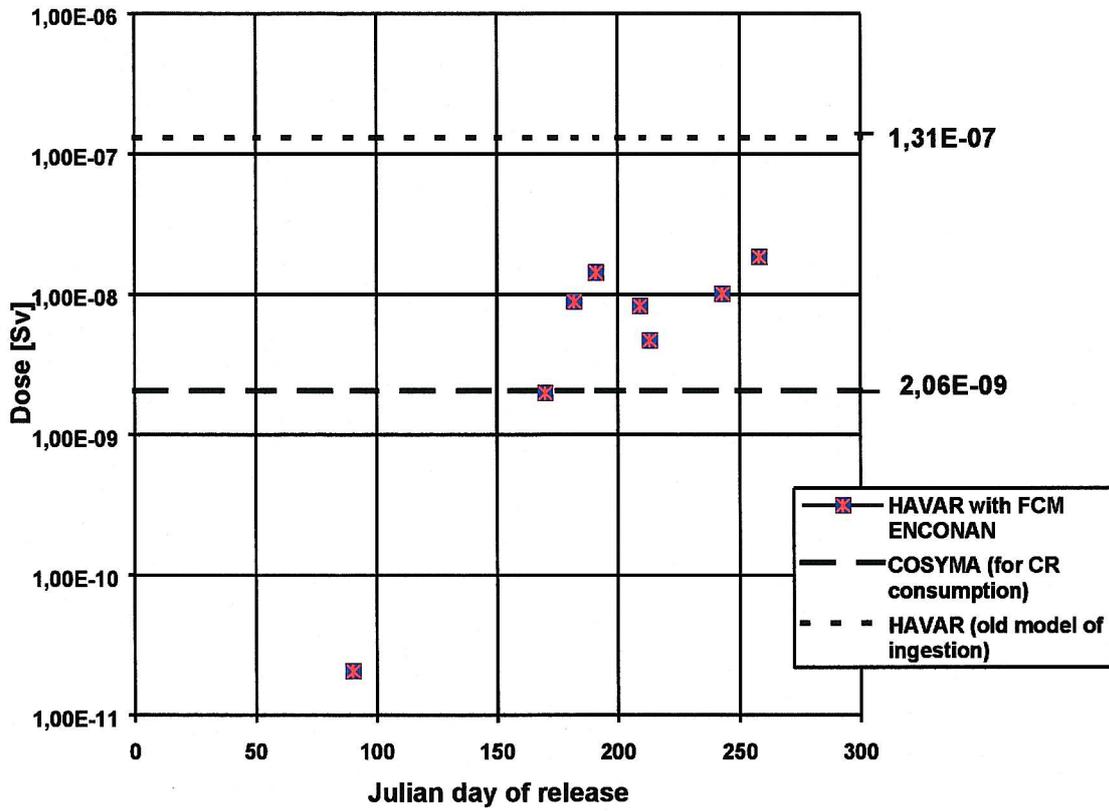
Day of release in a year		Committed effective dose [Sv]	Committed equivalent dose to thyroid [Sv]
date	Julian day		
1. 4.	91	6,03 E-13	2,08E-11
19. 6.	170	5,83E-11	2,00E-9
1. 7.	182	2,60E-10	8,92E-9
15. 7.	196	4,35E-10	1,49E-8
28. 7.	209	2,43E-10	8,34E-9
2. 8.	214	1,38E-10	4.72E-9
30. 8.	240	2,98E-10	1,02E-8
15. 9.	257	5,38E-10	1,84E-8

The first row stands for Julian day 91, it means the fallout occurs before first vegetation period of grass. Then the corresponding low values relate to the root uptake only.

The most important role in this simplified case has a scenario for consumption of forage (grass, hay) for cows. For conditions in Czech region we suppose 3 consecutive vegetation periods [10]. Flexible model for harvest time was built-in which enables to simulate possible scenarios between two marginal cases (one time harvest, continuous harvest). Consumption rates for milk products are taken also from [10].

The results on the following picture correspond with values according to COSYMA for rough terrain, summer season and FARMLAND model of ingestion (constant value 2.06 E-09 Sv). Constant value of 1.31 E-07 Sv stands for static calculations according to old ingestion model of HAVAR. From this figure we can see the level of unacceptable conservatism of the old model.

Individual 50A Dose for Organ Thyroid [Sv] for Adults



References

- [1] PC COSYMA
National Radiological Protection Board, Kernforschungszentrum Karlsruhe,
EUR 16240 EN (NRPB - SR280).
- [2] C. Steinhauer: COSYMA: Ingestion Pathways and Foodbans
INR , KfK 4334 (1992)
- [3] C. Steinhauer: UFOING - A Program for Assessing the Off-site Consequences from
Ingestion of Accidentally Released Radionuclides
KfK 4475 (1988)
- [4] J. Pasler-Sauer: Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric
Dispersion Models
Kfk 4164 (1986)
- [5] H.-J. Panitz, C. Matzerath, J. Pasler-Sauer: UFOMOD: Atmospheric Dispersion and
Deposition.
KfK 4332, Oct. 1989.
- [6] Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der
Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser
zum Nachweis der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV.
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992.
- [7] HAVAR: Interactive System for Accident Consequences Assessment of Radiation
Exposition of Population during Release of Radionuclides to Atmosphere - part I,
part II (User Manual)
EGP / Pecha, July, 97
- [8] NORMAL: Interactive System for Assessment of Radiation Exposition of Population
due to Routine Releases of Radionuclides to Atmosphere - part I,
part II (User Manual)
EGP / Pecha, October, 96
- [9] V. Kliment: Modeling of Radiocesium Foodchain Transport after the
Chernobyl Accident (Food Chain Model ENCONAN)
Jaderná energie 38, 1992, No.5 (page 177 - 183)
- [10] Application of Dynamic Food Chain Model ENCONAN in System HAVAR
EGP / Pecha, October, 96
- [11] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation
and for the Safety of Radiation sources.
IAEA, GOV/2715, April 1994.

Appendix I - cont.

XE135M	1.73E+11
XE135	2.56E+12
XE138	7.92E+10
CS134	2.05E+03
CS137	4.68E+03
BA140	4.32E-01
LA140	5.04E-02
CE141	2.77E-02
END	

Other necessary data follows (see [7]):

HAVLOK.DAT	local characteristics of NPP
SUROING.DAT	FCM data for ENCONAN (data for Czech Rep.)
HAVDB.DAT	database of physical constants, chemical constants, conversion factors, ...

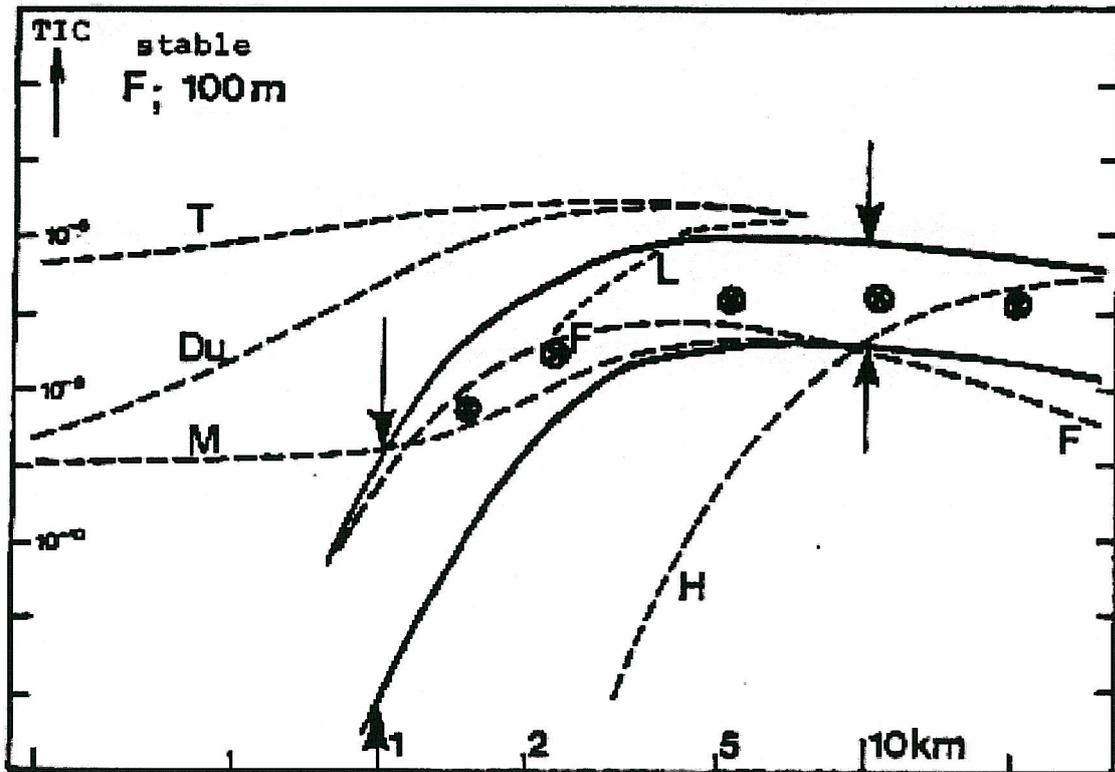
Appendix II

J. Pasler-Sauer: Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models (KfK 4164)

Du ... Eulerian grid model	Fat lines: Gaussian region:
HHuang model	ADMARC, DOSI (G. plume m.),
F Semi- Gaussian strata model	RIMPUFF(G. puff m.),
L Lagrangian random-walk model	MUSEMET (G. vol-source m.)
M MUSEMET model	
T TRANSLOC - Eulerian grid	

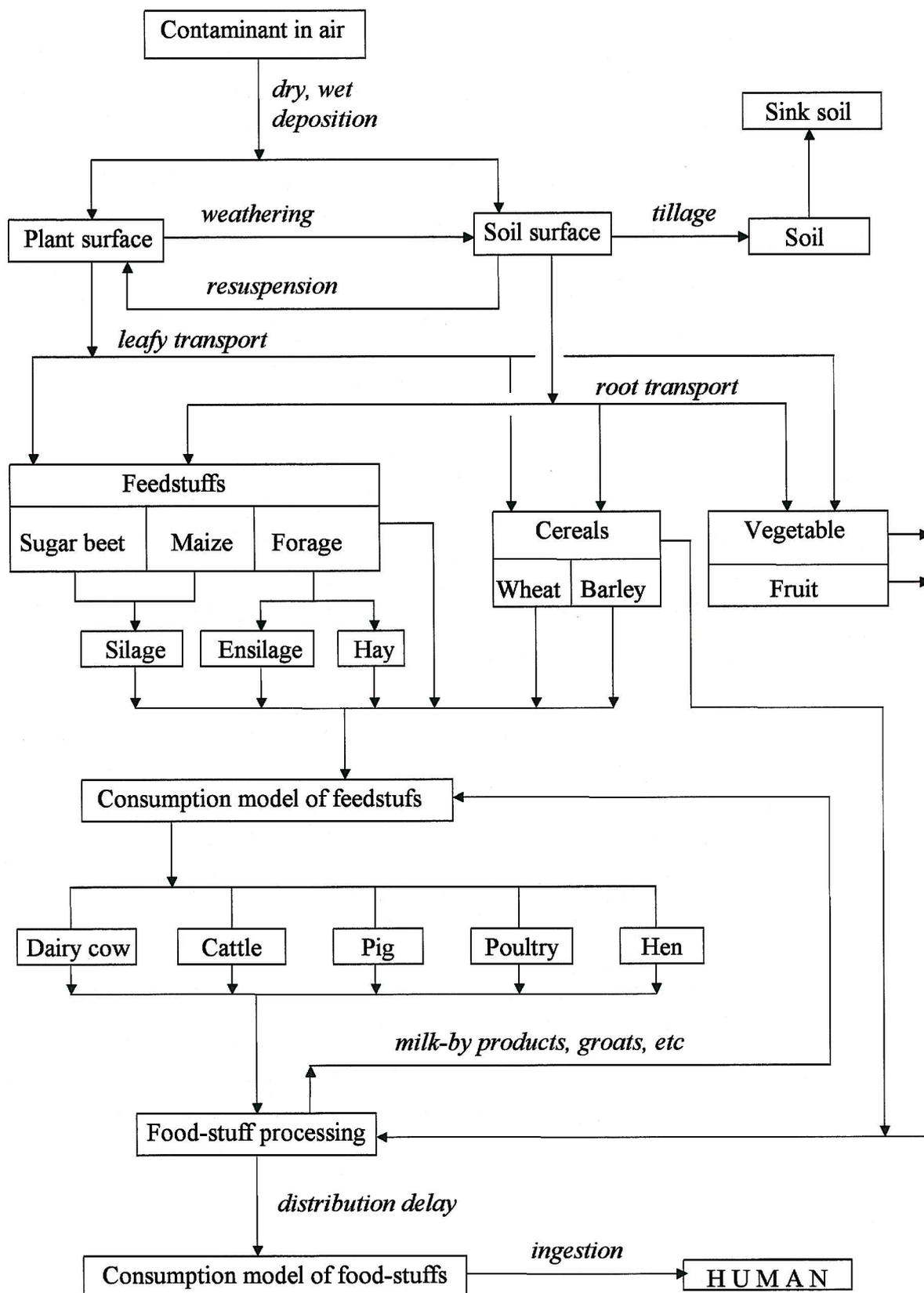
Batch I problem: partial case: $u_{10} = 2 \text{ m/s}$; Pasq. stability class=F; source height=100m
 $\delta \dots K/J$

⊗⊗⊗ Results of HAVAR for batch I problem data and $u_{10} = 2 \text{ m/s}$ (see table in par. 2.1.1)



TIC below the plume axis; batch I.

Appendix III : Dynamic food chain model ENCONAN [9] – corresponding suroing.dat - Input data stands for Czech Republic



PŘÍLOHA 2

Srovnání výsledků při výskytu srážek podle HAVAR a COSYMA

Za účelem přehlednějšího srovnávání se vyšlo ze zadání úlohy 1 a přidaly se srážky podle zadání úlohy 2. Jestliže se uvažuje výskyt srážek v celém rozsahu o intenzitě 2 mm/hod, pak výsledky podle programu HAVAR jsou v 1. části přílohy 2, odpovídající výsledky podle COSYMA pak ve druhé části přílohy 2. , kdy příslušné konstanty pro vymývání byly nastaveny podle implicitních hodnot systému HAVAR. Ve 3. části přílohy 2 jsou pak výsledky podle COSYMA s touž intenzitou srážek, ale s původními implicitními COSYMA hodnotami. V příloze 2 jsou uvedeny jak hodnoty přízemních koncentrací resp. jejich integrálů, tak depozice.

Numerické výsledky jsou archivovány elektronicky na

C:\havdoc\srov2000\Priloha2.doc

PŘÍLOHA 3

Srovnání výsledků při současném výskytu srážek a respektování vlivu blízkostojících objektů

Numerické výsledky jsou archivovány elektronicky na

C:\havdoc\srov2000\Priloha3.doc
