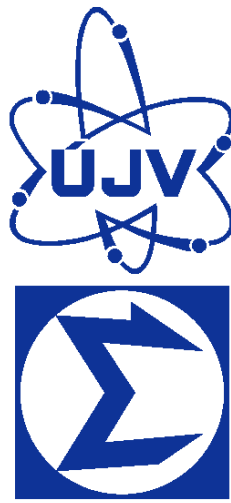




ADAPTACE PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ PRO HODNOCENÍ RADIOLOGICKÝCH DŮSLEDKŮ MIMOŘÁDNÝCH ÚNIKŮ RADIONUKLIDŮ ZE SKLADŮ VYHOŘELÉHO JADERNÉHO PALIVA



Petr Pecha¹, Emilie Pechová²

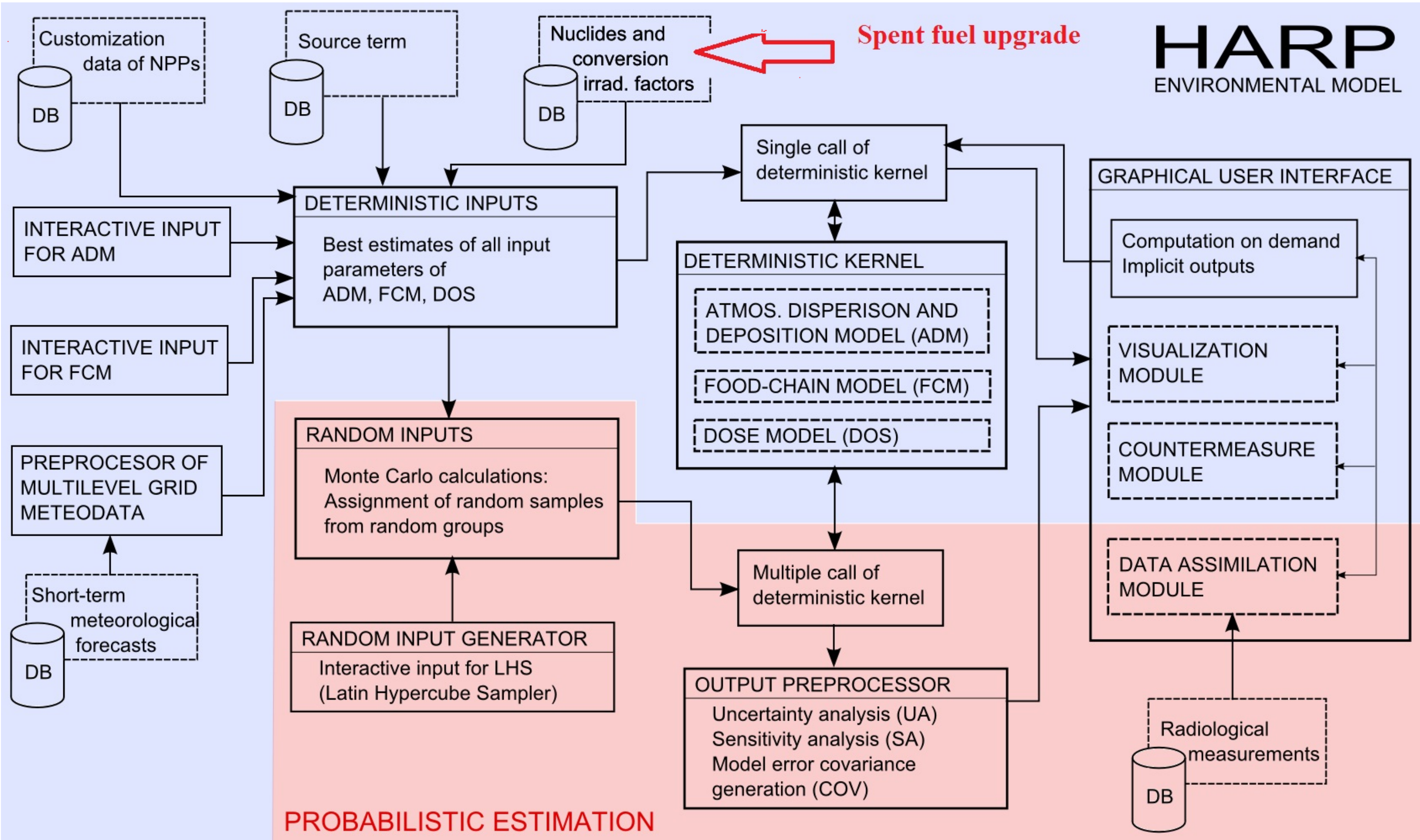
¹Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, 182 08 Praha 8, Pod vodárenskou věží 4, ČR

²Externí spolupráce

Rozšíření systému HARP (HAzardous Radioactivity Propagation)

Pro analýzu radiologických důsledků hypotetických mimořádných úniků radioaktivity z přechodných skladů případně z hlubinných úložišť vyhořelého jaderného paliva je nutné revidovat implicitní grupy radionuklidů a rozšířit je o typické zdrojové členy. Na významu nabývají nuklidy s dlouhým poločasem rozpadu, které jsou sice nevýznamné v časných fázích nehody, ale jejich relativní důležitost roste s časem. Do systému HARP jsou proto zaváděna rozšíření

databáze zdrojových členů se spektry nuklidů v horizontu desítek či stovek let od skončení řetězové reakce. Je nutné identifikovat potenciální mimořádné zdroje úniku škodlivin z hlediska různých časových intervalů v kampani jaderného paliva od jeho zavážení, regulérního vyhřívání až po ukládání vyhořelého paliva do přechodných skladů s výhledem transportu do hlubinných úložišť.



Obrázek 1: Diagram produktu HARP - rozšíření databáze o typické radionuklidy z vyhořelého paliva

Význam zahrnutí izotopů s dlouhými poločasy rozpadu

Dose coefficients for important nuclides in spent nuclear fuel given for intake by ingestion and for inhalation in adult humans					
Transuranic elements			Fission products		
Nuclide	Dose coefficient (nSv/Bq)		Nuclide	Dose coefficient (nSv/Bq)	
	Ingestion	Inhalation		Ingestion	Inhalation
²³⁷ Np	110	23 000	⁷⁹ Se	2.9	2.6
²³⁸ Pu	230	46 000	⁹⁰ Sr	28	36
²³⁹ Pu	250	50 000	⁹² Zr	1.1	10
²⁴⁰ Pu	250	50 000	⁹⁹ Tc	0.64	4
²⁴¹ Pu	4.8	900	¹⁰⁷ Pd	0.037	0.085
²⁴² Pu	240	48 000	¹²⁶ Sn	4.7	28
²⁴¹ Am	200	42 000	¹²⁹ I	110	15
^{242m} Am	190	37 000	¹³⁵ Cs	2	3.1
²⁴³ Am	200	41 000	¹³⁷ Cs	13	9.7
²⁴² Cm	12	5200			
²⁴³ Cm	150	31 000			
²⁴⁴ Cm	120	27 000			
²⁴⁵ Cm	210	42 000			

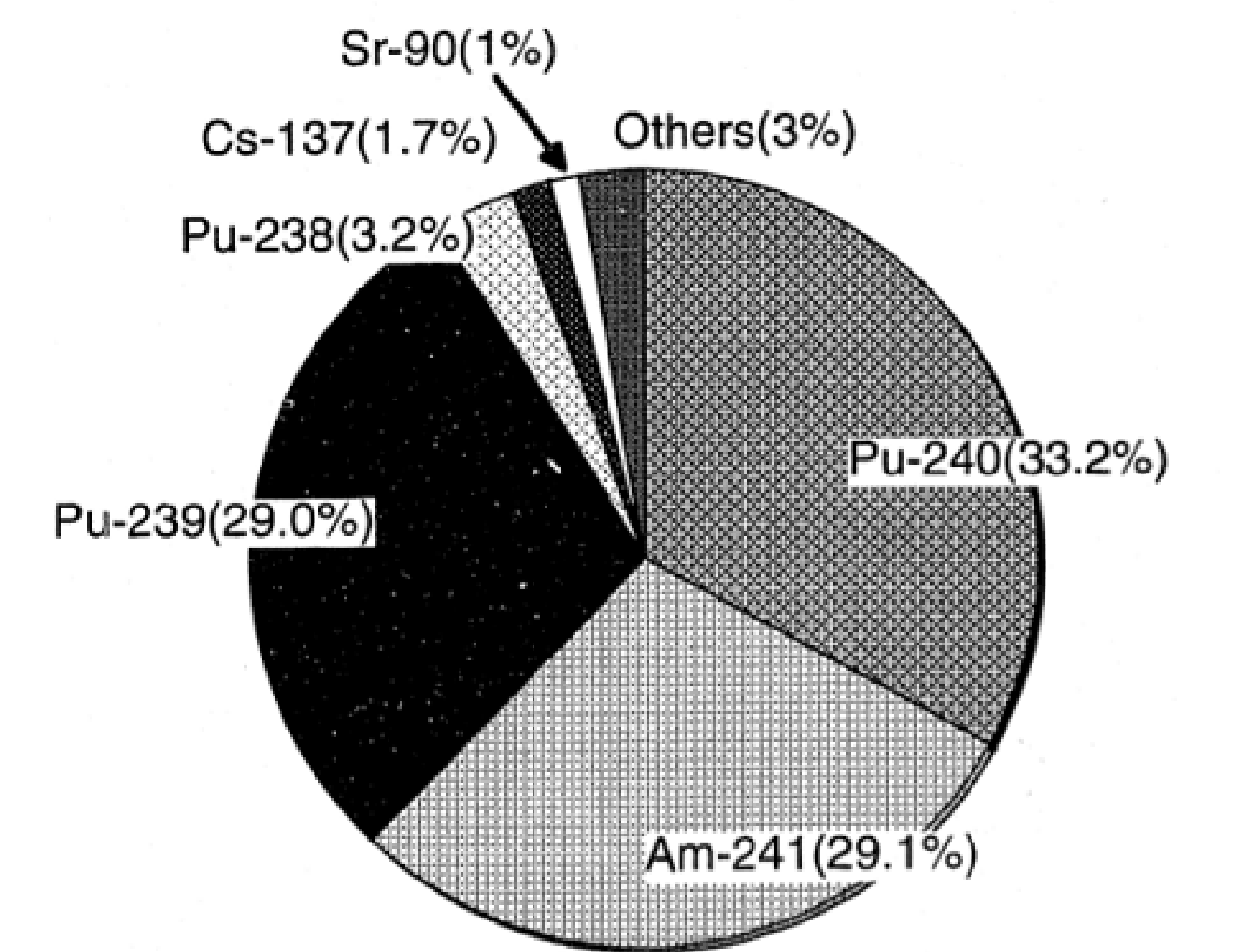
The inhalation data are given for a moderate uptake rate. Data from ICRP 72 (1996) was used.

Tabulka 1: Radiologické dopady ozáření některými dlouhodobými radionuklidy (Schwenk-Ferrero, 2013). Znázorněny vysoké hodnoty konverzních faktorů pro inhalaci u transuranů.

Implicitní grupy radionuklidů se rozšiřují o typické mimořádné úniky ze skladů vyhořelého paliva. K unikům aktivity může hypoteticky dojít již ve fázi překládání horkého paliva do přechodné cladičí nádrže. K iniciační události může dojít v důsledku nejružnějších příčin jako ztráta chlazení vyhořelé kazety s obnažením pokrytí paliva a s rychlou oxidací zirkonového povrchu, pádu kontejneru s palivem při přepravě, deformaci konstrukčních struktur až po málo pravděpodobné seizmické události. V literatuře jsou definovány například standardní zdrojové členy pro vyhořelé palivo starší než 10 let od skončení jaderné reakce (od odstavení resp. kampaňové výměny). Postupně se ve scénářích vynořuje nová významná grupa dlouhodobých nuklidů. Na různých pracovištích jsou prováděna třídění (screening testy) s cílem odhalit parciální příspěvky jednotlivých radionuklidů k totálnímu dávkám. Relevantní nuklidy pak pocházejí ze skupin štěpných a aktivačních produktů a transuranů (s podgrupou aktinidů). Lze nalézt různá doporučení na volbu relevantní grupy dlouhodobých nuklidů s možnými závažnými účinky na populaci. SPA Project (EUR 19132 EN) vybírá 10 štěpných a aktivačních nuklidů: C14, Cl36, Sr90, Mo93, Nb94, Tc99, Pd107, Sn126, I129, Cs135 a 13 aktinidů z řad: U236 → Th232; Np237 → U233 → Th229; Pu242 → U238 → U234 → Th230 → Ra226

Obdobný výběr použil japonský projekt (JNC, 2000) s podrobnější skupinou 23 aktinidů. V TEC DOC-1519 je popsán transport vyhořelého paliva v meziskladech ve formě transportních košů posléze ukládaných do kontejnerů CASTOR RBMK a transportovaných do

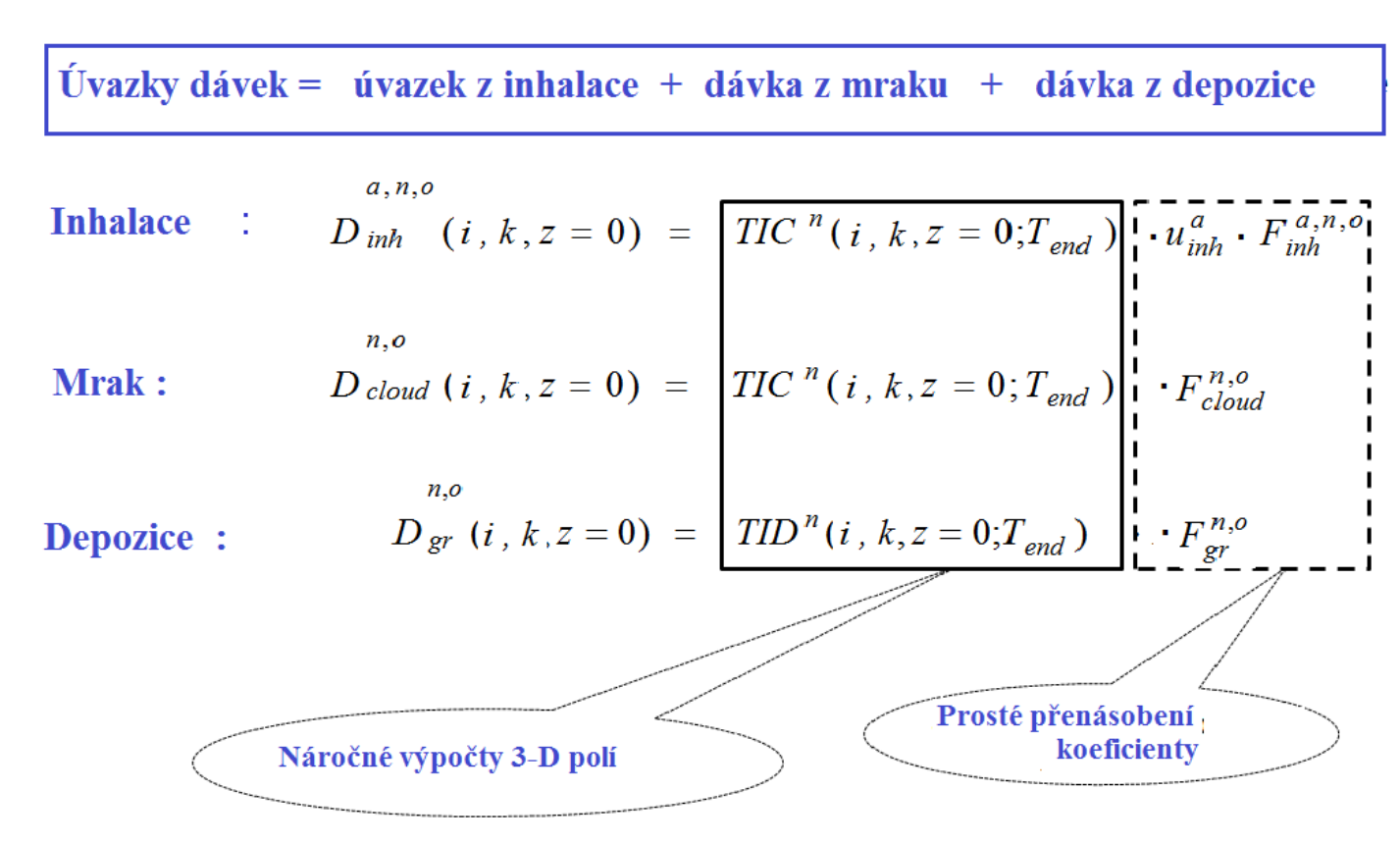
hlubinného uložistiště. Je zde publikován údaj o inventáři radioaktivity v transportním koši ID 009. Výpočty prováděné ve společnosti Škoda JS na projektu pro NPP Dukovany uvažovaly vyhořelé palivo uložené v suchých kontejnerech CASTOR 440/84. Je počítán inventář pro 19 vytipoovaných radionuklidů: H3, Kr85, Sr90, Ru106, I129, Cs134, Cs137, Ce144, U235, U236, U238, Pu238, Pu239, Pu240, Pu241, Pu242, Am241, Cm242, Cm244. Odhady spektra unikajících nuklidů při nehodách s vyhořelým palivem mohou být různě detailní, kdy v úvahu se berou tak zvané EPA limity. Nicméně zjednodušování by se mělo zastavit u minimální grupy. Obrázek 2 převzatý z (Barnard, 1993) ukazuje takovou minimální grupu radionuklidů, nejvíce zastoupených v případném úniku (střední hodnoty za 10000 roků).



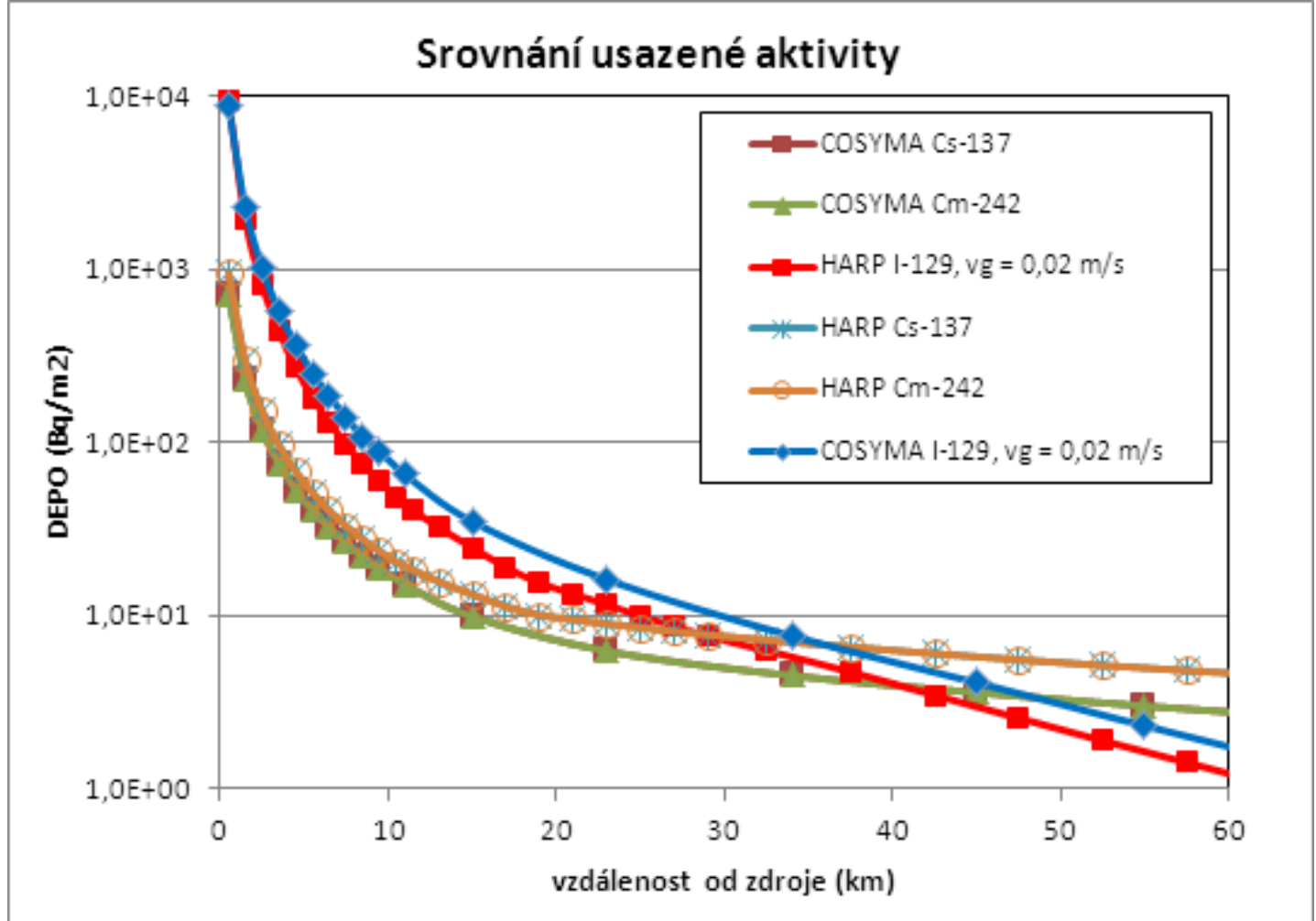
Obrázek 2: Zastoupení radionuklidů v hypotetickém úniku - střední hodnoty za 10 000 roků (podle (Barnard, 1993))

Srovnání HARP s evropským kódem COSYMA pro úniky z úložišť

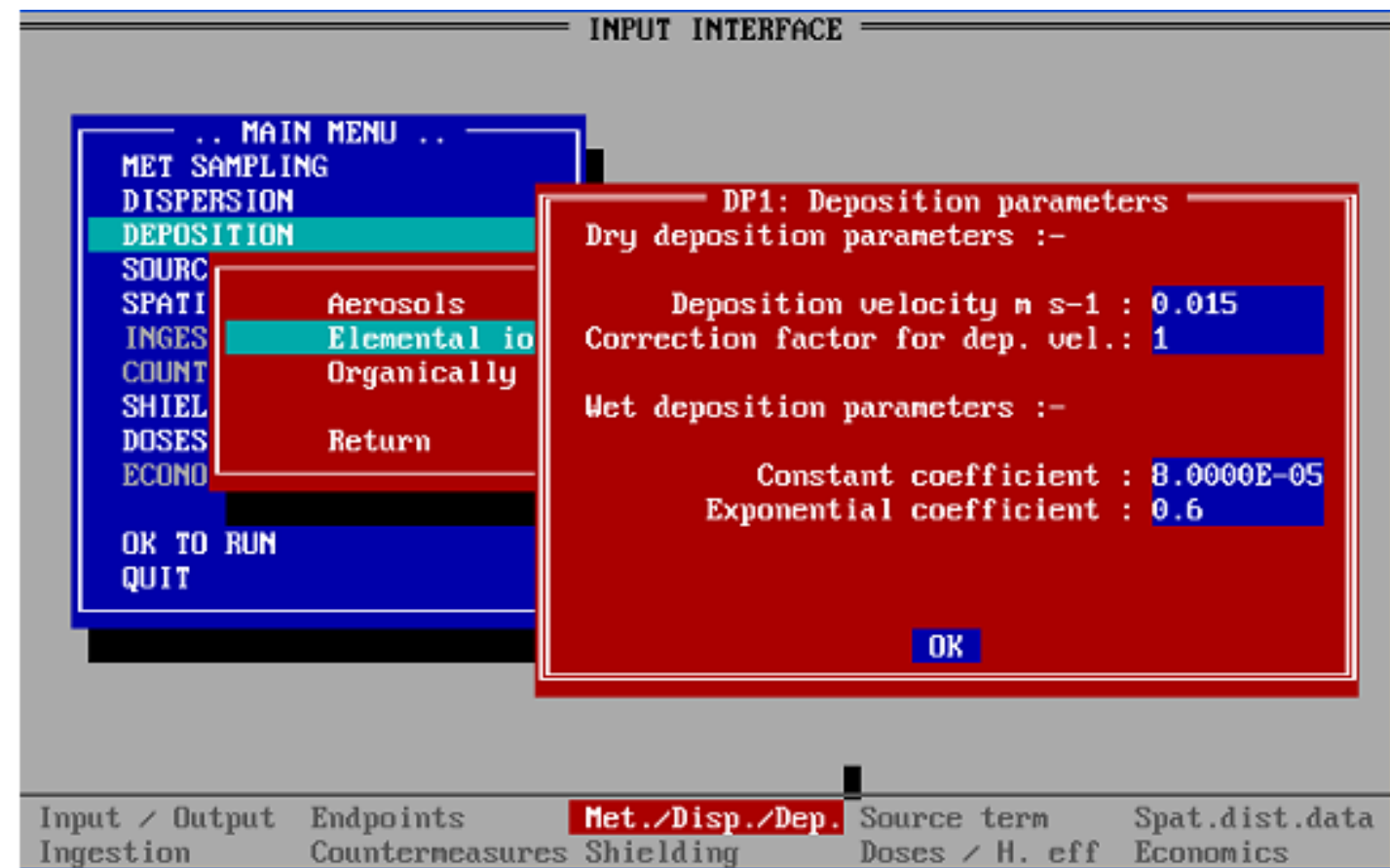
V metodice HARP je rozvinuta koncepce generování výsledků ve dvou krocích. V prvním kroku jsou numericky počítány čtyři základní veličiny pro časnou fázi úniku. Pro každý nuklid n z úniku jsou detailně generovány pole čtyř základních řídicích veličin v uzlech výpočtové polární sítě (i, k). Jde o měrné aktivity ve vzduchu, časový integrál objemové aktivity TIC v přízemní vrstvě vzduchu, usazené aktivity a jejich časový integrál. Ve druhém kroku jsou radiologické výstupy pro pozdější fázi určovány jednoduchým postupem, kdy elementárními časovými integracemi a přenásobováním různými faktory lze rychle a jednoduše vypočítat prostorové průběhy všech ostatních radiologických veličin pro různé fáze nehody. Situace je naznačena na obrázku 3. Touto separací se lépe odhalí skryté nástrahy a záludnosti ve srovnávacích testech (podrobněji v Pecha P., Pechová E., 2015).



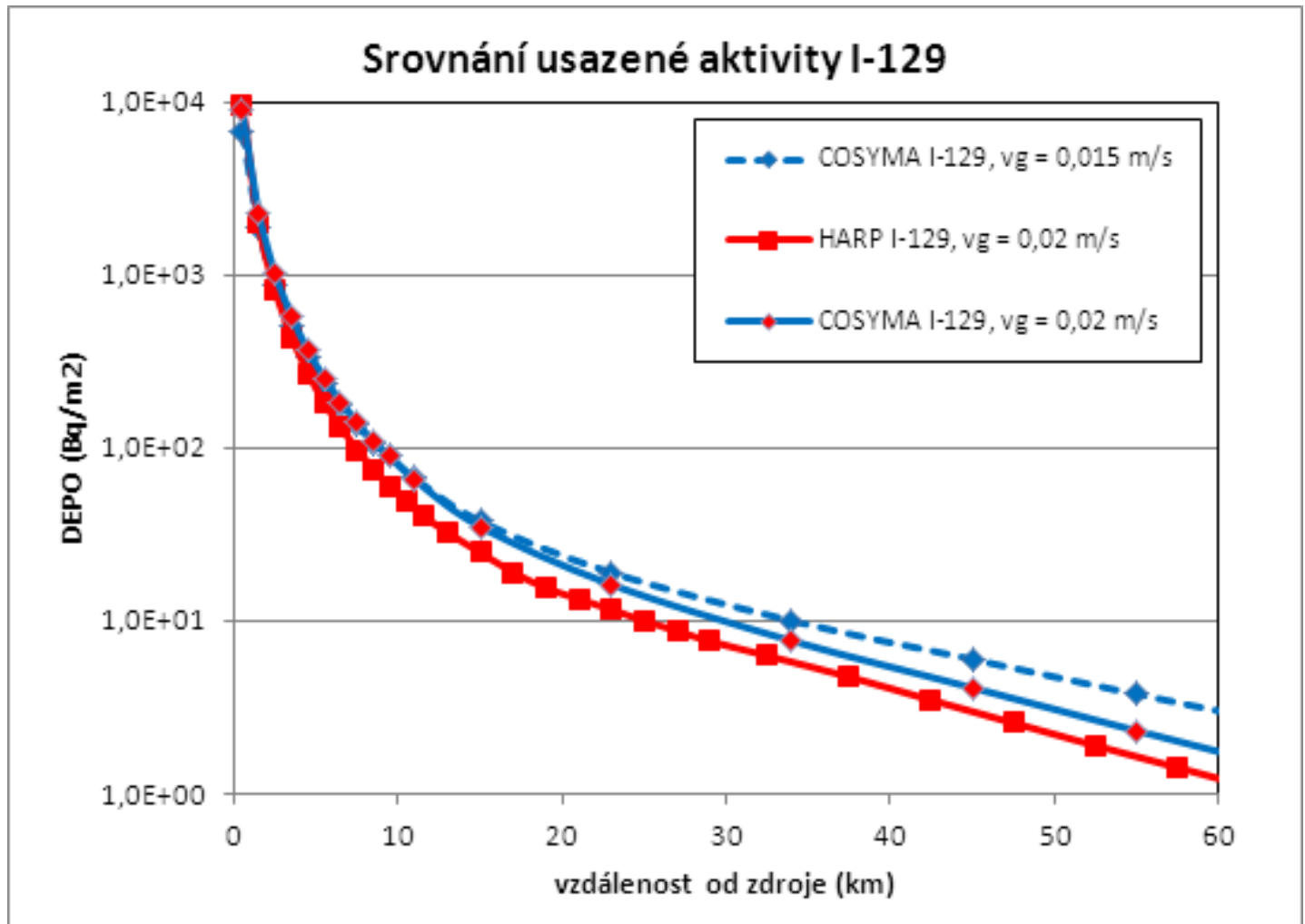
Obrázek 3: Separace výpočtů do dvou kroků.



Obrázek 6: Výsledky srovnání prostorového průběhu hodnot DEPO pod osou postupujícího mraku podle HARP a COSYMA.



Obrázek 4: COSYMA vstupní panel „DEPOSITION“ s implicitní hodnotou rychlosti suché depozice I-129 vg = 0.015m/s (travnatý povrch).



Obrázek 7: Citlivostní studie - Detailnější rozbor difference hodnot obou kódů pro I-129.

Transurany uvažované v databázi nuklidů v HARP: U235, U236, U238, NP239, Pu238, Pu239, Pu240, Pu241, Cm242, Cm243, Cm244, Cm245

Transurany - konverzní faktory pro inhalaci (Sv/Bq) pro příjem vdechnutím radioaktivních aerosolů jednotlivcem z obyvatelstva podle Vyhlášky č. 422 / 2016. Pro každý nuklid je užit jeden z doporučených typů absorpce radionuklidu v plicích (F- fast, M-medium, S- slow)

Transurany - konverzní faktory pro ingestci (Sv/Bq) pro příjem požitím radioaktivních aerosolů jednotlivcem z obyvatelstva podle Vyhlášky č. 422 / 2016.

Acknowledgment

Práce rozšířily oblastí použití systému HARP, který byl vyvinutý díky podpoře grantu MV ČR č. VG20102013018.

Literatura

Barnard, R. W., 1993: Review of Radionuclide Source Terms Used for Performance Assessment Analysis. SAND 92-2431.
Schwenk-Ferrero, A. 2013: German Spent Nuclear Fuel Legacy: Characteristics and High-Level-Waste Management Issues. Science and Technology of Nuclear Instalations, Volume 2013 (2013), Research article ID 293792.
Westlen, D., 2007: Reducing radiotoxicity in the long run. Progress in Nuclear Energy 49 (2007) 597 - 605.
Pecha P., Pechová E., 2015 : Pitfalls Associated with the Estimation of Radiological Burdens on Population Caused by Radiation Accidents , IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 1, p. 222-227, MATHMOD 2015 - 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, (Vienna, AT, 18.02.2015-20.02.2015) [2015]
Pechová E., 2003: Výpočty šíření radionuklidů pro společné česko-rakouské cvičení STEP II b : Realistic Case Studies, zpráva EGP arch.č. 5014-L-030152, Praha, březen 2003
Pechová E., 2005 : Rozšíření databáze HAVDB00.DAT programu HAVAR-RP. Dokumentace pro Hodnotící komisi č. 6 - SUJB , říjen 2005. web: havarrp.utia.cas.cz : Rozšíření databáze nuklidů a konverzních faktorů.
Pecha P., 2015 : Informace o stavu vývoje programového systému HARP pro odhady radiologických důsledků mimořádných atmosférických úniků radioaktivity do životního prostředí / Bezpečnost jaderné energie, p. 86-97 [2015].
Pecha P., Nedoma P., Kárný M., Kuča P., 1999 : FDMT Customisation for its Use in the Czech Republic, ÚTIA AV ČR, (Praha 1999) Research Report WG3-TN(98)-14 [1999]. INCO: Documentation on the two INCO working programs: 'Review of the adequacy of the present foodchain and dose calculations' and 'Collection of the data required for each radioecological region and their integration into RODOS', RODOS research report WG3-TN-99-40.
Pecha P., Nedoma P., Kárný M. : Preparation of RODOS System for the Accreditation Procedure for its Use in the Czech Republic, ÚTIA AV ČR, (Praha 1998) Research Report WG1 [1998].
HARP(2013): HARP - HAZardous Radioactivity Propagation: A Software Tool for Fast Assessment of Radiological Consequences of Radiation Accident URL: http://havarrp.utia.cas.cz/harp/
IAEA-TECDOC-151 Data Requirements and Maintenance of Records for Spent Fuel Management: A Review IAEA. EUROPEAN UNION, Spent Fuel Disposal Performance Assessment (SPA Project), EUR 19132 EN, 2000.
JAPAN NUCLEAR FUEL CYCLE INSTITUTE Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan, JNC, 2000.
IAEA-TECDOC-1519 : Data Requirements and Maintenance of Records for Spent Fuel Management: A Review, 2006.
Pecha P., Pechová E., 2013: Validace a aplikace environmentálního modelu HARP, verze 2013. UTIA research report 2335. URL : http://havarrp.utia.cas.cz/harp/reportypDF/2013/ValidaceAplikace2013.pdf.