

## **ABSTRAKT VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU HAVAR-DET předkádáný ke zkrácené proceduře k prodloužení jeho platnosti**

### **Název programu**

HAVAR-DET - ocenění vlivu plyných výpustí z JE na radiační situaci v okolí JE za havarijních podmínek.

**Autoři programu:** Kolektiv autorů z ÚTIA AV ČR a spolupracovníků na dokumentaci z ÚJV Řež, divize EGP a z Ústavu teorie informace a automatizace v.v.i., AV ČR

### **Poskytovatel programu**

Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i., Praha

### **Uživatel programu**

ÚJV Řež, a.s. - divize Energoprojekt Praha, odd. 2501.

### **1. Důvody pro další prodloužení platnosti produktu**

Programový produkt HAVAR-DET byl řádně validován a verifikován v roce 2011 a odborná komise SUJB č. 6 vydala souhlasné stanovisko k používání tohoto programu s platností do 22.6.2014. Program je uživatelem ÚJV-divize EGP používán pro prověřování radiologických dopadů nejrůznějších konkrétních scénářů úniku radioaktivity s cílem posuzovat způsobilost jaderného zařízení splňovat bezpečnostní kritéria. Pro tyto účely byly vyvinuty v produktu HAVAR-DET 2011 uživatelsky snadné nástroje pro vizualizaci a presentaci výsledků, které jsou podrobně popsány v Uživatelském manuálu programu HAVAR-DET [22].

Na druhé straně konstatujeme, že koncem roku 2013 proběhlo hodnocení nového produktu ASIM-HARP vyvinutého v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu MV ČR určeného pro pravděpodobnostní analýzy a asimilační procedury. Tento produkt navazoval na produkt HAVAR-DET 2011. Metodický manuál nového produktu ASIM-HARP je popsán v [ASIM2013], rozšíření nové metodiky pro pravděpodobnostní přístup a asimilační techniky je popsán v [Roz2013]. Podstatné je, že i v ASIM-HARP produktu vyvinutém v rámci projektu poskytovaného Ministerstvem vnitra ČR č. VG 20102013018 je integrováno vlastní jádro HAVAR-DET, které je však nyní mnohonásobně vyvoláváno pro jednotlivé náhodné realizace parametrů modelu. Má nyní své vlastní zobrazovací rozhraní, odlišné od podrobného zobrazování popsaného v původním Uživatelském manuálu programu HAVAR-DET [22] z roku 2011. Nové zobrazovací rozhraní plní nové požadavky vztažené k aplikaci pravděpodobnostního přístupu a asimilačních procedur a je popsáno v [Roz2013]. Oba kódy HAVAR-DET jsou však algoritmicky totožné (bez ohledu na to, že integrované jádro v ASIM-HARP počítá s jemnější výpočtovou mříží v blízkých vzdálenostech – viz [Roz2013]). Kompatibilita HAVAR-DET 2011 a nového systému HARP [ASIM2013] je doložena v nové obsáhlé validační a srovnávací studii [APL2013].

Zde tedy podáváme žádost o prodloužení platnosti souhlasného stanoviska k používání samostatného programu HAVAR-DET, verze 2011, kdy není nutno opakovat celý plný proces validace tohoto produktu nezměněného od roku 2011. Přitom není nijak ovlivněna možnost pro uživatele řešit úlohy nového typu založené na pravděpodobnostním základě, kdy by použil systém ASIM-HARP validovaný koncem roku 2013. Musel by se ovšem vzdát původních

uživatelsky přívětivých nástrojů popsaných v Uživatelském manuálu programu HAVAR-DET [22] a musel by použit jiné (ne tak podrobné) zobrazovací rozhraní nově popsané v [Roz2013], navržené k poněkud jiným účelům než je podrobné prověřování radiologických dopadů konkrétního jednoho scénáře úniku radionuklidů.

## 2. Počítač, pro který je program sestaven

Program je sestaven pro počítač minimálně PC Pentium, nyní je provozován na PC Intel Pentium IV 2,8 GHz s grafickou kartou NVIDIA GeForce FX5200, 128 MB, pod WINDOWS 2000.

## 3. Dokumentace předkládaná k hodnocení

K hodnocení se předkládá dokumentace z roku 2011, která je online k dispozici uživatelům na webu <http://asim.utia.cas.cz/>.

- 1) Popis metodiky programu HAVAR-DET [21]: online přístup na <http://asim.utia.cas.cz/> , Výstupy 2011, citace [15] : Popis metodiky - Ocenění radiační zátěže obyvatelstva v okolí jaderných elektráren po nehodách s únikem radionuklidů do ovzduší.
- 2) Uživatelský manuál programu HAVAR-DET [22]: online přístup na <http://asim.utia.cas.cz/> , Výstupy 2011, citace [16] : Uživatelský manuál, Uživatelský manuál deterministického jádra systému.
- 3) Aplikace programu HAVAR-DET v oblasti radiační ochrany [23]: online přístup na <http://asim.utia.cas.cz/> , Výstupy 2011, citace [17] : Aplikace systému v oblasti radiační ochrany - Validační úlohy a některé aplikace.

Dále jsou online v elektronické formě přiloženy další práce dokumentující podrobné řešení. Na výše jmenovaném webu (viz Výsledky 2013) je též k dispozici online podrobná dokumentace Metodický manuál nového produktu ASIM-HARP (viz též citace [ASIM2013]), rozšíření nové metodiky pro pravděpodobnostní přístup a asimilační techniky popsané v [Roz2013] a konečně validační a srovnávací studie [APL2013]. Odtud si lze udělat představu o směru vývoje od zde předkládaného produktu HAVAR-DET, verze 2011 k systém ASIM-HARP validovaného koncem roku 2013.

## 4. Popis řešeného problému

V předkládané dokumentaci je popisována deterministická verze kódu s akronymem HAVAR-DET, která umožňuje odhadovat radiologické následky úniku aktivity do atmosféry a její transport komponentami životního prostředí. Program HAVAR-DET verze 2011 je pokračováním několikaletého vývoje programových prostředků iniciovaného v EGP Praha sloužících k analýze a ocenění radiační situace v okolí JE při výskytu mimořádných událostí spojených s úniky radionuklidů do životního prostředí.

Poznamenejme, že produkt HAVAR-DET verze 2011 byl potom v období 2011 až 2013 základem obsáhlého pokračujícího vývoje nového přístupu na posuzování následků radiačních nehod spočívajícího v analýze šíření neurčitostí modelem s cílem zlepšování modelových

předpovědí na základě asimilace s pozorováními přicházejícími z terénu (projekt VG20102013018 řešený v rámci Bezpečnostního výzkumu MV ČR).

Ukazuje se však, že na některých pracovištích zůstává stále předmětem zájmu využití původní deterministické verze z roku 2011 pro potřeby odhadů radiologických důsledků jednotlivých konkrétních scénářů úniku. Jedním z hlavních důvodů je možnost využití bohatých uživatelsky pohodlných presentačních nástrojů. Produkt je navržen pro samostatné modelování průniku znečištění do životního prostředí v oblastech:

- Prověřování způsobilosti jaderného zařízení splňovat nařízená bezpečnostní kritéria ve vztahu k radiologickým dopadům na populaci, podrobné analýzy v kritických oblastech zón havarijního plánování na přesných mapových podkladech (rastrových mapách nebo vektorových vrstvách) s velkým rozlišením.
- Provádění variantních výpočtů (s minimální dobou odezvy) s nejrůznějšími scénáři pro bezpečnostní zprávy pro existující jaderné zdroje případně při bezpečnostních rozvahách u potenciálního nového zařízení.
- Prověřování vlivu anomálních meteorologických situací na výstupy, vlivu různě zadávané dynamiky úniku, možnost provádět PSA-Level 3 analýzy s dlouhodobými meteorologickými sekvencemi.
- Provádění rychlých interaktivních simulací vlivu zavádění různých protiopatření a výběru optimálních procedur na základě ušetřených dávek, to vše s využitím interaktivních vstupů a bezprostřední grafické presentace výsledků na obrazovce.
- Využití širokých interaktivních možností práce systému HAVAR-DET potenciálními uživateli pro výuku a školení (simulace s online aktuální meteorologickou předpovědí, retrospektivní analýzy s historickými meteorologickými daty, využití online archivů zdrojových členů úniku, scénářů různých předchozích běhů nebo meteorologických sekvencí).
- Provádění rychlých testů vlivu variability důležitých parametrů modelu na nejrůznější výstupy (studie senzitivity), kdy je možno efektivně využívat nejen online zadávání modifikovaných hodnot vstupů z obrazovky, nýbrž i bezprostřední opakování výpočtů s alternativními fyzikálními submodely dílčích efektů (rozptyl v atmosféře, migrační vztahy apod.).
- Stavebnicová struktura umožňuje uživatelům konstruovat vlastní návazné moduly (ekonomický, zdravotní) a nabízí rozhraní pro napojení k základnímu modelu a využití jeho interaktivních možností.
- Struktura produktu HAVAR-DET umožnila základní krok pro přechod k analýze šíření neurčitostí parametrů modelu směrem ke sledovaným výstupům. Byl umožněn přechod uživatele do moderní oblasti hodnocení následků nehod na pravděpodobnostním základě. Pravděpodobnostní systém s pracovním označením HARP validovaný koncem roku 2013 má deterministické jádro plně kompatibilní se zde předkládaným HAVAR-DET.

Programem jsou počítány efektivní dávky (resp. úvazky) a ekvivalentní dávky (a jejich úvazky) na 6 orgánů resp. tkání (gonády, červená kostní dřeň, plíce, štítná žláza, zažívací trakt a kůže), to vše pro 6 věkových kategorií. Je uvažováno pět možných cest vedoucích k ozáření osob:

- vnější ozáření z radioaktivního oblaku ( $\beta$  a  $\gamma$  záření),

- vnější ozáření od radionuklidů deponovaných na zemském povrchu ( $\beta$  a  $\gamma$  záření),
- vnitřní ozáření v důsledku inhalace radionuklidů z oblaku,
- vnitřní ozáření v důsledku inhalace vzduchu kontaminovaného resuspensí radionuklidů původně usazených na zemském povrchu (resuspenze v důsledku přírodních vlivů),
- vnitřní ozáření v důsledku požití kontaminovaných potravin.

Uživatel může využívat archivace jak na úrovni kompletních scénářů nebo dílčích ingesčních definicí, meteorologických předpovědních souborů či zdrojových členů úniku. Zobrazovací subsystém poskytuje textové výsledky i možnost interaktivního zobrazování s online spojeným výpočtovým modulem pro:

- izoplety přízemní objemové aktivity (okamžité i integrální) jednotlivých radionuklidů na mapovém pozadí,
- izoplety plošné aktivity usazených radionuklidů na mapovém pozadí,
- izodózy jak pro efektivní dávku, tak pro jednotlivé ekvivalentní dávky, pro 6 věkových skupin na mapovém pozadí,
- jednorozměrné grafy průběhu objemové aktivity, plošné aktivity a dávky v závislosti na vzdálenosti od zdroje, 1-D srovnávací grafy pro více proměnných, 1-D grafy odvrácených dávek při protiopatřeních,
- výsečové (koláčové) grafy příspěvku jednotlivých cest ozáření v časné a pozdějších fázích,
- výsečové (koláčové) grafy příspěvku jednotlivých radionuklidů.

K hodnocení se předkládá modul protiopatření bezprostředně spojený se zobrazovacím subsystémem, tak jak je popisován v uživatelském manuálu systému HAVAR-DET v kapitole 8 (ref. [22]). Těžištěm modulu protiopatření jsou odhady efektů případných následných opatření v oblasti potravních řetězců. Nicméně vlastní zobrazovací subsystém umožňuje nastavovat 2-D úroveň výsledků přímo na mapových pozadích, a proto je schopen nabídnout užitečný a přímočarý nástroj též pro podporu rozhodování o aplikaci neodkladných opatření v časné fázi nehody. Jedná se o možnosti zobrazování zasažených oblastí, v nichž je predikováno překročení kritických úrovní sledovaných veličin, jako jsou rozpětí efektivních dávek, rozpětí ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáních a směrných hodnot zásahových úrovní pro jódovou profylaxi, ukrytí nebo případnou evakuaci obyvatel.

Současná PC verze programu HAVAR-DET v sobě obsahuje další rozšíření ve srovnání s předchozími verzemi, z nichž k hlavním patří především:

- Zpřesnění mapových podkladů pro bezprostřední znázornění výsledků na obrazovce pro lokalitu Dukovany a Temelín. Získání a zpracování přesnějších rastrových map MAP11 firmy PJSOFT ve třech podrobnostech pro obě lokality. Byly získány mapové vrstvy pro bližší oblasti JZ (Vodstvo, lesy, popřípadě zemědělské plochy, komunikace, sídla, popřípadě i hranice katastrů, důležité uzly: stanice HZS, nemocnice, policejní stanice).
- Další zmenšení stupně konzervatismu prováděných odhadů ve smyslu možnosti náhrady potenciálních dávek dávkami očekávanými.
- Rozšiřování ingesčního modelu (a jeho vstupního panelu INGMODEL) pro případ lokální produkce – globální spotřeby, zahrnutí rakouského spotřebního koše do nabídky panelu INGMODEL, alternativní model výpočtu vnitřního ozáření z ingesce pro různé věkové kategorie dlouhodobě žijící v kontaminované oblasti.

- Přibližný popis nestandardní meteorologické situace – disperze při malých unášivých rychlostech větru (kalmy).
- Implementace meteorologického předpovědního 3-D modelu HIRLAM s možností zahrnout do analýzy šíření znečištění časově i prostorově závislé změny meteosituaace (ve smyslu segmentovaného modelu SGPM).
- Zkonstruování meteorologického preprocesoru systému HAVAR-DET pro nová gridová data HIRLAM.
- Konstrukce rozhraní FURT pro automatický mnohonásobný výpočet s dlouhodobými archivovanými sekvencemi meteorologických vstupů, který zahrnuje i statistický post-processing velkého objemu výstupů nejrůznějších radiologických veličin (využití pro případné budoucí PSA studie).
- Možnosti analyzovat dlouhodobé úniky a jejich vztah k modelování radiologických důsledků rutinních ročních ~~úniků~~ **výpustí** při normálním provozu jaderných elektráren.
- Vytvoření SW nástrojů pro analýzu "nejhorších případů" - prověřování následků (od časné fáze až po roční, 5ti leté a 50ti leté dopady) - postupně ve všech směrech a nalezení maxima.
- Doplnění konverzních faktorů pro výpočet ekvivalentních dávek z inhalace a ingesce podle reference [20].
- Zavedení konverzních faktorů pro výpočet dávek ze zevního ozáření od oblaku a od aktivity deponované na zemském povrchu [24].
- Podstatné rozšíření interaktivního výstupního subsystému včetně konstrukce speciální zobrazovací grafiky pro disperzní model PRIMO.

#### 4. Metoda řešení

V deterministickém běhu lze počítat buď přímočaré šíření úniků při neměnné meteorologické situaci, nebo stáčení segmentu úniku podle hodinových meteorologických sekvencí (volba popsána ve vstupních panelech HAVIN – ref. [22]). V přímočaré verzi šíření (PRIMO - viz popis v [22]) je užit model neměnného pole větru a povětrnostních charakteristik v rámci celého pohybu segmentu (segment vlečky se ve všech svých dalších fázích pohybuje ve stejném původním směru). Tento mód výpočtu je určen pro tak zvané analýzy nejhorších podmínek, pokud to je vyžadováno v bezpečnostních zprávách. Segmentovaný Gaussův model SGPM je v systému HAVAR-DET zabudován jako hlavní model šíření znečištění a umožňuje respektovat reálnější situace časově proměnných meteorologických změn v závislosti na detailnosti krátkodobých meteorologických předpovědích (buď online, nebo z archivu):

- Pro bodové předpovědi pro místo lokality jaderného zařízení schéma **časově proměnné** (mění se po hodinových skocích ve shodě s krokem krátkodobých meteopředpovědí), **prostorově konstantní** (hodinová změna předpovězená pro bod JE se aplikuje okamžitě v celém prostoru).
- Dostupnost 3-D HIRLAM předpovědí umožnila přesnější popis šíření – schéma **časově proměnné, prostorově proměnné** - meteosituaace v daném místě se bere vždy specificky pro toto místo podle podrobné 3-D předpovědi.

Bylo ověřeno a je podrobně zdokumentováno v [23], že výsledky scénáře přímočarého šíření PRIMO jsou adekvátní výsledkům segmentovaného modelu SGPM se speciálně zadanou meteorologií (předpovědi v jednotlivých hodinách se nemění a tak je simulováno přiblížení přímočarého šíření).

Stabilita atmosféry je popsána v přiblížení Pasquilla s využitím poloempirických formulí pro příslušné disperzní koeficienty a vertikální profil rychlosti větru. Na základě dalších poloempirických formulí je brán v úvahu efekt vznosu vlečky v počátku pohybu nad terénem, vliv blízkostojících objektů na rozptyl, vliv orografie terénu a jeho drsnosti. Disperzní parametry jsou počítány pomocí poloempirických Hoskerových formulí vhodných pro plochý terén nebo podle poloempirických formulí pro členitý terén odvozených z experimentálních měření prováděných v jaderných výzkumných zařízeních v Jülichu a Karlsruhe. Alternativně je zabudován model rozptylových parametrů podle SCK/CEN, které jsou používány pro hladší terén středoevropského typu. Volba alternativních modelů umožňuje provádět limitní odhady a posoudit míru konzervatismu nebo neurčitost odhadu vstupních hodnot. Obdobně i v dalších částech volby vstupních parametrů jsou uživateli nabízeny alternativní volby důležitých parametrů, což poslouží mimo jiné ke školicím a výukovým účelům a ke zvýšení vnímání a chápání problémů uživatelem.

Dlouhodobé odhady následků musí vycházet z detailní a co nejpřesnější analýzy časné fáze. V první fázi výpočtu programem HAVAR-DET je tedy podrobně počítána časná fáze úniku, která je vztažena k době  $T_{ref}$  (uživatel může interaktivně volit – např. 24 nebo 48 hodin po začátku úniku). Skutečná dynamika úniku je nahrazena ekvivalentními po částech konstantními balíky s obecně různou dobou trvání. V tomto stadiu program HAVAR-DET provádí automatickou synchronizaci úniku s hodinovými předpověďmi meteorologie, kdy ČHMÚ každých 12 hodin poskytuje krátkodobé lokální předpovědi na 48 hodin (hodinové hodnoty pro směr větru, rychlost větru, kategorii stability atmosféry, srážky a výšku směšovací vrstvy). Synchronizace spočívá ve schématu, kdy ekvivalentní úniky jsou přepočítány na fiktivní hodinové segmenty. Každý takový hodinový segment je modelován pro každý nuklid ve všech jeho následujících hodinových fázích jako gaussovská hodinová kapka. Jsou zohledňovány nejdůležitější dceřiné produkty. Výsledek je pak dán superpozicí hodnot ze všech hodinových fiktivních segmentů ve všech jejich následných hodinových fázích (dokud neopustí modelovou oblast ( $> 100$  km od zdroje)). Významným rysem produktu je podrobné řešení časné fáze úniku, kdy jsou detailně generovány 2-D predikce měrné objemové aktivity v přízemní vrstvě vzduchu, časových integrálů objemové aktivity v přízemní vrstvě vzduchu, měrné aktivity nuklidů deponované na zemském povrchu a časové integrály deponované aktivity (vztažené k  $T_{ref}$ ). Pomocí těchto čtyř základních řídicích veličin lze vypočít prakticky všechny radiologické veličiny v časné fázi a následně i v pozdějších fázích. K těmto čtyřem řídicím veličinám v časné fázi se pomocí dynamického ingesčního modelu dopočítají i normalizované měrné aktivity v produktech a normalizované ingesční roční příjmy aktivity nuklidů pro jednotlivé věkové kategorie (vztažené ke dni spadu a pak dále alternativně pouze ke kořenovému transportu). Podstatné potom je, že jednoduchými časovými integracemi a přenásobováním různými faktory lze rychle a jednoduše vypočítat i všechny ostatní radiologické veličiny v pozdějších fázích nehody a lze také online testovat vlivy aplikací různých protiopatření jak v časné fázi tak v pozdějších fázích. Výsledkem je potom možnost interaktivní konverzace výkonného modulu se zobrazovacím subsystémem, kdy nejružnější výsledky jsou na základě žádosti generované v zobrazovacím prostředí přeneseny do čekajícího výpočetního modulu, kde jsou rychle (maximálně za několik sekund) spočítány a ve formě 2-D matice (uzly výpočetní polární sítě – 80 úhlových paprsků, 35 radiálních pásem

do 100 km) přeneseny do zobrazovacího subsystému a zde zobrazeny na odpovídajícím mapovém pozadí.

V programu HAVAR-DET je zabudován rozšířený dynamický model transportu radionuklidů potravinovými řetězci, pro který byla shromážděna nezbytná data, specifická pro ČR. Kontaminace rostlinných a živočišných produktů je počítána dynamicky na základě konkrétního dne radioaktivního spadu vzhledem k vegetačním periodám rostlinných produktů. Speciální pozornost byla věnována transportu radionuklidů do mléka a mléčných produktů, což vedlo k rozšíření původní metodiky ve směru respektování kontinuálního zkrmování pícnin v rámci uvažovaných tří sečí a dále pak zahrnutí alternativní volby mezi stájovým výkrmem a volnou pastvou. Růstové křivky plodin odpovídající LAI (Leaf Area Index), které hrají rozhodující úlohu při dominantním transportu radionuklidů do rostlin listovou cestou, jsou vyjádřeny poloempirickými formullemi platnými pro typické vegetační periody českého teritoria.

Shora uvedený metodický nástin je podrobně popsán v manuálu ref.[21] a [18].

Databáze programů zahrnuje 119 radionuklidů (s možností rozšíření na 132 radionuklidů), koeficienty vymývání a suchého spadu, rozpadové konstanty, konverzní dávkové faktory pro zevní a vnitřní ozáření. V metodickém manuálu [21] je popsáno numerické schéma vzniku dceřiných produktů a dále numerické zahrnutí lokálních charakteristik typu zemského povrchu a lokálních srážek.

## 5. Omezení komplexnosti řešeného problému

- Okolí zdroje může být rozděleno na maximálně 2800 zón (80 směrů a 35 vzdáleností).
- Počet nuklidů počítaných v 1 běhu programu je max. 90 (včetně dceřiných nuklidů, přičemž počet členů rozpadových řad je omezen na 2).
- Uvažuje se pouze 1 zdroj výpustí (soustředění do 1 zdroje).
- Počet počítaných orgánů resp. tkání je max. 6 (+ výpočet efektivní dávky).
- Dávky z ozáření z mraku jsou počítány na základě polonekonečného modelu mraku s určitou zjednodušenou korekcí na konečný rozměr mraku.
- Je použita klasická parametrizace mezní vrstvy podle Pasquilla.

## 6. Typická doba výpočtu

Výpočet programem HAVAR-DET v přímočarém šíření pro 1 směr, 35 radiálních vzdáleností od zdroje, (při zvolené kategorii stability atmosféry podle Pasquilla, srážkové intenzitě a vektoru rychlosti větru) a 30 nuklidů trvá na PC Pentium 500 MHz cca 1 minutu. Odpovídající úloha řešená pomocí segmentovaného modelu s uvažováním hodinových změn meteorologických charakteristik v dalších až 43 fázích (hodinách) je zhruba třikrát delší.

## 7. Méně obvyklé znaky programu

Program HAVAR-DET je laděn a testován v prostředí Microsoft FORTRAN Power Station a může být používán ve dvou módech, a to dávkovém a interaktivním. V dávkovém módu zůstává program po odladění jako projekt v prostředí MS FORTRAN a po ruční modifikaci

vstupních dat je odtud i spouštěn. Interaktivní mód práce je zaměřen na vytvoření efektivního a příjemného prostředí pro práci uživatele. Po odladění základního projektu v MS FORTRAN je přenesen výkonný EXE modul spolu se všemi vstupními datovými soubory do WINDOWS prostředí do podadresáře, v němž je rovněž obsažen software pro komplexní interaktivní podporu. Podrobněji uživatelský manuál [22].

## 8. Návazné a pomocné programy

Při definici vstupů je uživatel veden pomocí obrazkových panelů dvěma oblastmi tzv. „horkých“ vstupů (jsou to údaje, které se mohou frekventně měnit, aby uživatel mohl posoudit vliv variability určitých důležitých vstupů a získat přehled o jejich významu), podrobně v [22]. Jedná se o subsystémy:

1. HAVIN – základní horká vstupní data rozdělená do sekcí: *Základní parametry (včetně volby poloempirické disperzní formule)*, *Parametry ochuzování vlečky*, *Blízkostojící objekty*, *Segmenty úniku a grupy nuklidů*, *Meteorologické sekvence*. Podrobný popis všech sekcí je ve 4. kapitole uživatelského manuálu, ref. [22].
2. INGMODEL – zadávání základních horkých vstupních dat dynamického ingesčního modelu rozdělené do sekcí: *Časové charakteristiky (včetně dne spadu)*, *Půdní transport*, *Dlouhodobá depozice/resuspenze*, *Listový/kořenový transport*, *Fenologie*, *Spotřební koše*, *Krmné dávky skotu (včetně alternativ pro stájový výkrm a volnou pastvu)*, *Krmné dávky (ostatní hospodářská zvířata)*. Podrobný popis všech sekcí je v 6. kapitole uživatelského manuálu, ref. [22].
3. GANMU - vizualizace a animace výsledků časné fáze. Možno zobrazovat i radiologické hodnoty, kam až znečištění dosáhne na terénu (časové skoky po hodinách od začátku úniku až po  $T_{ref}$ ).
4. Zobrazovací modul PRIMO\_2D\_GUI výsledků běhu PRIMO - popis v [22].
5. BALING51 - pomocný SW nástroj pro analýzu "nejhorších případů" - automatické prověřování následků v jednotlivých směrech kolem zdroje úniku.
6. Výstupní preprocesor LONG\_TERM pro textové a grafické zpracování výsledků dlouhodobých úniků.
7. SW nástroje pro analýzu "nejhorších případů" - prověřování následků (od časné fáze až po roční, 5ti leté a 50ti leté dopady) - postupně ve všech směrech a nalezení maxima.

Předností interaktivního přístupu je rovněž automatická archivace vstupních variant s možností vyvolat též bezprostředně předchozí běh, což podstatně usnadňuje provádění analýzy neurčitostí a studií senzitivity na variace hodnot vstupních parametrů.

Na vlastní výpočtovou část bezprostředně navazuje interaktivní grafická prezentace výsledků na obrazovce. V kapitole 8 uživatelského manuálu [22] systému HAVAR-DET jsou podrobně popsány zobrazovací možnosti grafického subsystému, který může bezprostředně zobrazovat určitou podmnožinu výstupů, které říkáme implicitní. Ostatní výsledky nejsou v tomto okamžiku k dispozici, nicméně uživatel může využít interaktivní žádosti o další typy výstupu. Tuto žádost předá zobrazovací subsystém do čekajícího výkonného modulu, který žádost zpracuje a již zmíněným rychlým výpočtem (viz popis metodiky zde) generuje požadovaný výstup, který automaticky předá do zobrazovacího subsystému.



## 9. Stav programu

Program HAVAR-DET je živý produkt, u kterého je jednak zajištěna údržba a dále pomoc uživatelům při jejich případném vlastní rozvoji systému podle jejich potřeb. Program je lokalizován pro jaderné elektrárny Temelín a Dukovany pro oblasti:

1. Všeobecné základní charakteristiky jaderného zařízení týkající se některých jeho konstrukčních a dispozičních rysů představujících důležité vstupy do modelování šíření úniků aktivity.
2. Geografické charakteristiky okolí jaderného zařízení představované mřížovými daty pro výškopis a typ zemského povrchu na výpočtové polární síti do vzdálenosti 100 kilometrů od možného zdroje úniku.
3. Demografické údaje ve formě mřížových dat na polární síti s rozlišením podle jednotlivých věkových kategorií. Jsou odvozeny ze sčítání lidu 2001. Připravována aktualizace s využitím sčítání lidu 2011.
4. Nalezení vhodných mapových pozadí pro zobrazování výsledků matematického modelování, což bylo realizováno rekonstrukcí rastrových map z produktu MAP11 firmy PJSOFT.
5. Vytvoření vnitřní databáze významných zdrojových členů s rozlišením pro VVER-440 a VVER-1000 ukládaných do archivu zdrojových členů uvnitř produktu HAVAR-DET bezprostředně přístupných pomocí interaktivního subsystému pro zadávání vstupních hodnot. Jsou zde uloženy i vlastní zdrojové členy pro úniky radionuklidů ze sekundárního okruhu JE.
6. Shromažďování lokálně specifických vstupních údajů pro ingesční model za účelem zavedení prvního zjednodušeného přístupu k zahrnutí některých rysů koncepce odlišných radioekologických zón (např. fenologie pro nížiny a vysočinu).

V metodickém manuálu jsou popsána další rozšíření týkající se zejména:

- analýzy časné fáze nehody
- charakteristik šíření radionuklidů v pozdějších fázích nehody
- doplnění vztahů pro výpočet radiační zátěže od různých cest ozáření
- subsystému pro zobrazování výsledků (implicitní výstupy a výstupy na základě interaktivní volby)
- zobrazovacího grafického modulu
- výpočtu normalizovaných měrných aktivit rostlinných a živočišných produktů
- rozšíření ingesčního modelu o další plodiny a živočišné produkty
- alternativní algoritmus pro výpočet dlouhodobých ingesčních úvazků u osob jednotlivých věkových kategorií, které by trvale žily v kontaminované oblasti.

## 10. Reference

- [ASIM2013] Systém ASIM: Metodika asimilačních technik pro zpřesnění modelové predikce pomocí měření v terénu, 2013.
- [Roz2013] Pravděpodobnostní rozšíření deterministické verze HAVAR-DET, 2013.
- [APL2013] Validace a aplikace modelu HARP v oblasti hodnocení následků radiačních nehod, 2013.
- [1] Pecha P., Pechová E.: Program HAVAR – interaktivní programový systém pro hodnocení radiační zátěže obyvatelstva při havarijních únicích z jaderných zařízení do atmosféry, arch.č.EGP 4104-9-990059, Praha, prosinec1999, revize září 2000  
Část I : Metodika  
Část II: Uživatelský manuál  
Část III: Srovnávací analýza a studie senzitivity
- [2] Metody výpočtu šíření radioaktivních látek z JEZ a ozáření okolního obyvatelstva. Bezpečnost jaderných zařízení, Požadavky a návody, č.5/1984, ČSKAE. Slovenské znění doporučení MHS Interatomenergo
- [3] Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung derStrahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992
- [4] Müller H., Prohl G. : ECOSYS 87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents, Health Physics, March 1993, Vol. 64, No. 37
- [5] Brown J., Simmonds J. R. : FARMLAND: A Dynamic Model for the Transfer of Radionuclides through Terrestrial Foodchains. NRPB-R273 (1995)
- [6] V. Kliment: Modelling of Radiocesium Foodchain Transport after the Chernobyl Accident. Jaderná energie 38, 1992, č.5 (str. 177 - 183)
- [7] PC COSYMA, National Radiological Protection Board, Kernforschungszentrum Karlsruhe, EUR 14 917 EN (NRPB - SR259)
- [8] MELCOR Accident Consequence Code System (MACCS). NUREG/CR-4691, SAND86-1562
- [9] UFOMOD: Atmospheric Dispersion and Deposition. KFK 4332, Oct. 1989
- [10] Validation of models using Chernobyl fallout data from the Central Bohemia region of the Czech Republic (Scenario CB). VAMP Multiple Pathways Assessment WG, IAEA-TECDOC-759, April 1995
- [11] Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/ 2002 Sb.zák. o radiační ochraně ve znění pozdějších předpisů
- [12] P. Pecha, E. Pechova: Application of the COSYMA code for comparative analysis of a certain accidental releases of radioactivity. In: Proceedings of 4<sup>th</sup> International conference IMUG2002, held in Monaco. BNL, Upton 2002, pages 5-15.
- [13] Special Topics Related to Level-3 PSA / Dose Calculations. Proceedings of a Tech. Comm. Meeting IAEA, August 1997

- [14] Pecha Petr, Hofman Radek, Kuča Petr: Lessons learned from former radiation accidents on development of software tools for effective decision making support, 11<sup>th</sup> In. Conf. on Present and Future of Crisis Management. (Praha, CZ, 23.11.2009 - 24.11.2009)
- [15] Pecha P., Kuča P., Pechová E.: Sensitivity Study of Influence of Input Parameters Variations for Removal Processes Calculations on Activity Depletion in the Radioactive Plume and Deposition on the Ground, 7-th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, 2001
- [16] Pecha P., Pechová E.: Risk Assessment of Radionuclide Releases during Extreme Low-Wind Atmospheric Conditions, 9-th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 11-14 June 2004
- [17] Pecha P., Hofman R., Kuča P., Zemánková K. : Development of software tools for consequence assessment of aerial radioactive discharges , *Bezpečnost jaderné energie*, p. 147-157 (2010)
- [18] Program výzkumu a vývoje č.6/2003 SÚJB, Výzkum jaderné bezpečnosti a radiační ochrany pro potřeby dozorného orgánu: Vývoj programového vybavení pro hodnocení radiologických důsledků vážných havárií, Souhrnná zpráva, arch.č.EGP 5014-F-050514, Praha, říjen 2005
- [19] Pecha Petr, Hofman Radek, Pechová E.: Training simulator for analysis of environmental consequences of accidental radioactivity releases , Proc. of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation , Eds: Zupančič Borut, Ljubljana, SI, 09.09.2007-13.09.2007
- [20] The ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public. An Extension of ICRP Publications 68 and 72, Version 2.01
- [21] Pecha P., Pechová E.: Popis metodiky programu HAVAR-DET, zpráva EGP, arch.č.EGP 5014-F-110079, Praha, březen 2011
- [22] Pecha P., Pechová E.: Uživatelský manuál programu HAVAR-DET, zpráva EGP, arch.č.EGP 5014-F-110080, Praha, březen 2011
- [23] Pecha P., Pechová E.: Aplikace programu HAVAR-DET v oblasti radiační ochrany - Srovnávací úlohy a analýzy některých scénářů úniku, zpráva EGP, arch.č.EGP 5014-F-110081, Praha, březen 2011
- [24] K. F. Eckerman, J.C. Ryman: External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil, Federal Guidance Report No. 12, EPA-402-R-93-081, Sept. 1993
- [25] Hofman Radek, Pecha Petr, Pechová E.: A Simplified Approach for Solution of Time Update Problem during Toxic Waste Plume Spreading in the Atmosphere, *Hrvatski Meterološki Časopis*, HARMO12-12th Inter. Conf. on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Paper No. H12-57, pp. 510-515, (Cavtat, HR, 06.10.2008-10.10.2008).

## **11. Požadavky na počítač**

Program nemá žádné nadstandardní požadavky na HW a je provozovatelný na běžné konfiguraci PC. Běžný uživatel v interaktivním módu nepotřebuje ani produkt FORTRAN Station.

## **12. Použitý programovací jazyk**

Program je napsán v jazyce Visual FORTRAN, Visual BORLAND, grafický interface v jazyce Python a C. Pro uživatele tato informace není podstatná.

## **13. Operační systém použitý pro výpočet**

Interaktivní verze programu je provozována pod systémem MS-WINDOWS, vývojové prostředí ve FORTRAN Power Station.

## **14. Další informace o programu a jeho využití**

Program je v ÚJV Řež, a.s. divizi EGP Praha využíván pro výpočty do bezpečnostních zpráv a dále pro analýzu speciálních deklarovaných situací (hoření bitumenu, intenzivní lokální srážky, speciální scénář umělého zavlažování, atd.). Starší deterministickou verzí byly analyzovány i scénáře definované při procesech z Melku mezi českou a rakouskou stranou.

## **15. Popis zajištění jakosti vývoje a údržby programu**

Program je podroben testování v rámci systému managementu v oboru „Projektové a inženýrské činnosti“, který ÚJV Řež, a.s. zavedl a používá v divizi ENERGOPROJEKT PRAHA. Procesy v oblasti ověřování speciálního software jsou v rámci zavedeného managementu kvality zajišťovány v souladu s instrukcemi PI 06.03, PI 06.04. Program je živý, je zajištěna kontinuální údržba, rozvoj a aktualizace a bezprostřední odezva zpracovatele programu na požadavky provozovatele.

## **16. Popis testovacího procesu**

Při svém vývoji byla pro deterministickou verzi provedena celá řada srovnávacích analýz s výsledky programů používaných ve světě (produkty COSYMA, RODOS, MACCS). Dále byl program testován v rámci přípravy na hodnotící řízení zkušebními porovnávacími výpočty definovanými Odbornou hodnotící komisí č.6 pro výpočty šíření radioaktivních produktů. Tyto výsledky obou validačních úloh byly přiloženy k základní dokumentaci [1], podrobné srovnání modifikované validační úlohy č. 1 s výsledky podle PC COSYMA je provedeno též v části 3 reference [1]. Posléze tamtéž je v kapitole 5 uvedeno srovnání dílčích výsledků validační úlohy č. 1 s výstupem podle produktu RODOS. Další výsledky testů a ověřovacích úloh jsou podrobně a obsáhle dokumentovány v manuálu o aplikaci systému HAVAR-DET v oblasti radiační ochrany [23]. jsou jako samostatné kapitoly uvedeny nejnovější výsledky srovnání:

- Periodický proces srovnávání kódů HAVAR a HAVAR-DET: zde ověřena kompatibilita aktuálního kódu s předchozími verzemi a provedeno srovnání s evropskými kódy COSYMA a RODOS.
- Programový systém HAVAR-DET: Srovnání algoritmů PRIMO (přímočaré šíření) a SGPM („stáčení“).
- Vliv lokálních charakteristik typu zemského povrchu na průběh radiologických hodnot, dále způsoby zahrnutí lokálních srážek.
- Nové alternativní schéma výpočtu úvazku dávky z dlouhodobé ingesce pro děti a dospělé.
- Roční výpusti ETE při normálním provozu za rok 2008 byly simulovány dlouhodobým ekvivalentním únikem za 8 760 hodin (počet hodin v roce). Proběhlo dílčí srovnání dlouhodobých difúzních odhadů časového integrálu H3 podle kódu NORMAL se superpozicí 8 760-ti dílčích hodinových "havarijních" úniků H3. Byla prokázána velmi dobrá shoda.
- Numerický algoritmus vzniku a transportu dceřiných nuklidů je ilustrován na procesu zanášení I-132A do větších vzdáleností (z jednoduchého rozpadu Te132 → I132A ).

Pro úplnost uvádíme, že v [APL2013] jsou uvedena nejnovější srovnání a je zde dokumentována kompatibilita deterministického jádra HAVAR-DET ver. 2011 a deterministického jádra integrovaného v roce 2013 do nejnovějšího produktu HARP [ASIM2013, Rozsir2013].

## 17. Popis zajištění jakosti vstupních údajů a popis výstupních údajů

- a) Data pořízená (zakoupená) od externích dodavatelů: při převěze jsou aplikovány postupy managementu kvality zavedeného v divizi ENERGOPROJEKT PRAHA ÚJV Řež, a.s.
- b) Mapové podklady: zvoleny a zakoupeny rastrové podklady MAP11 od firmy PJSOFT.
- c) Parametry modelu (fyzikální, fyz.-chemické, konverzní, atd.) jsou sladěny s vyhláškou SÚJB č.307/2002 [11].

## 18. Předpokládané další úpravy

Programový systém HAVAR - DET je živý produkt, jehož vývoj může pokračovat ve směru rozšiřování funkcí podle potřeb uživatele (na smluvním základě s uživatelem). Dále, v ÚTIA je řešen projekt MV VG20202013018 (2010-2013), jehož cílem je programový produkt HARP skládající se z deterministického jádra, pravděpodobnostního shellu (hodnocení následků nehod na pravděpodobnostním základě) a asimilačního subsystému. Jeho deterministické jádro je totožné se zde popsaným programem HAVAR-DET, jehož finální verze byla v roce 2013 rozšířena o další možnosti, konkrétně v [ASIM2013, Rozsir2013]. Uživatel může případně přejít i k této nové verzi, pokud se vzdá pestré palety uživatelsky snadných presentačních a zobrazovacích nástrojů produktu HAVAR-DET, verze 2011.