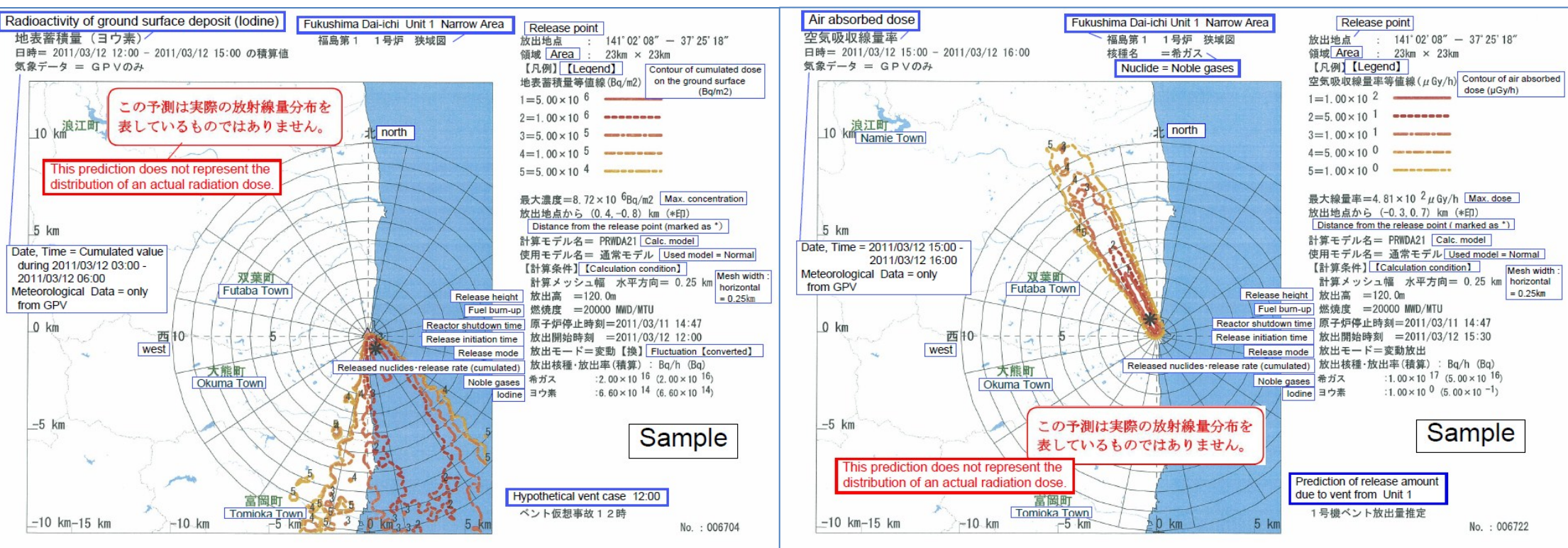


Modelování dopadů úniků na příkladu události v JE Fukušima

Petr Kuča, Zdeněk Prouza, Petr Pecha, Irena Češpírová, Barbora Marešová, Jan Helebrant
SÚRO, v.v.i.

Události z 11. března 2011, kdy v japonské Fukušimě po zemětřesení a následném zaplavení pobřeží vlnou cunami došlo na JE Fukushima Dai-ichi k havárii spojené s únikem radioaktivních látek do životního prostředí, soustředily znovu pozornost na problematiku modelování šíření kontaminace. Fukušimský scénář události se ale svým charakterem současného zasažení více reaktorových bloků současně a opakovaných úniků v rozmezí řady dnů v podmínkách víceméně kompletního rozpadu jak energetické tak i dopravní infrastruktury výrazně odlišuje od dosud téměř výhradně uvažovaných scénářů vycházejících z postižení jediného bloku v podmínkách alespoň částečného zachování funkcí alespoň části měřících a monitorovacích systémů a alespoň základně fungující infrastruktury umožňující i přímou technickou podporu zvládnutí havárie z nepostižených částí země. V případě Fukušimy právě vzhledem k vyřazení z činnosti téměř všech monitorovacích systémů se ukazuje zásadní význam modelování pro alespoň orientační odhad možného rozsahu a úrovně kontaminace postiženého území.



Obr. 1. Příklad modelových výpočtů provedených NISA/METI

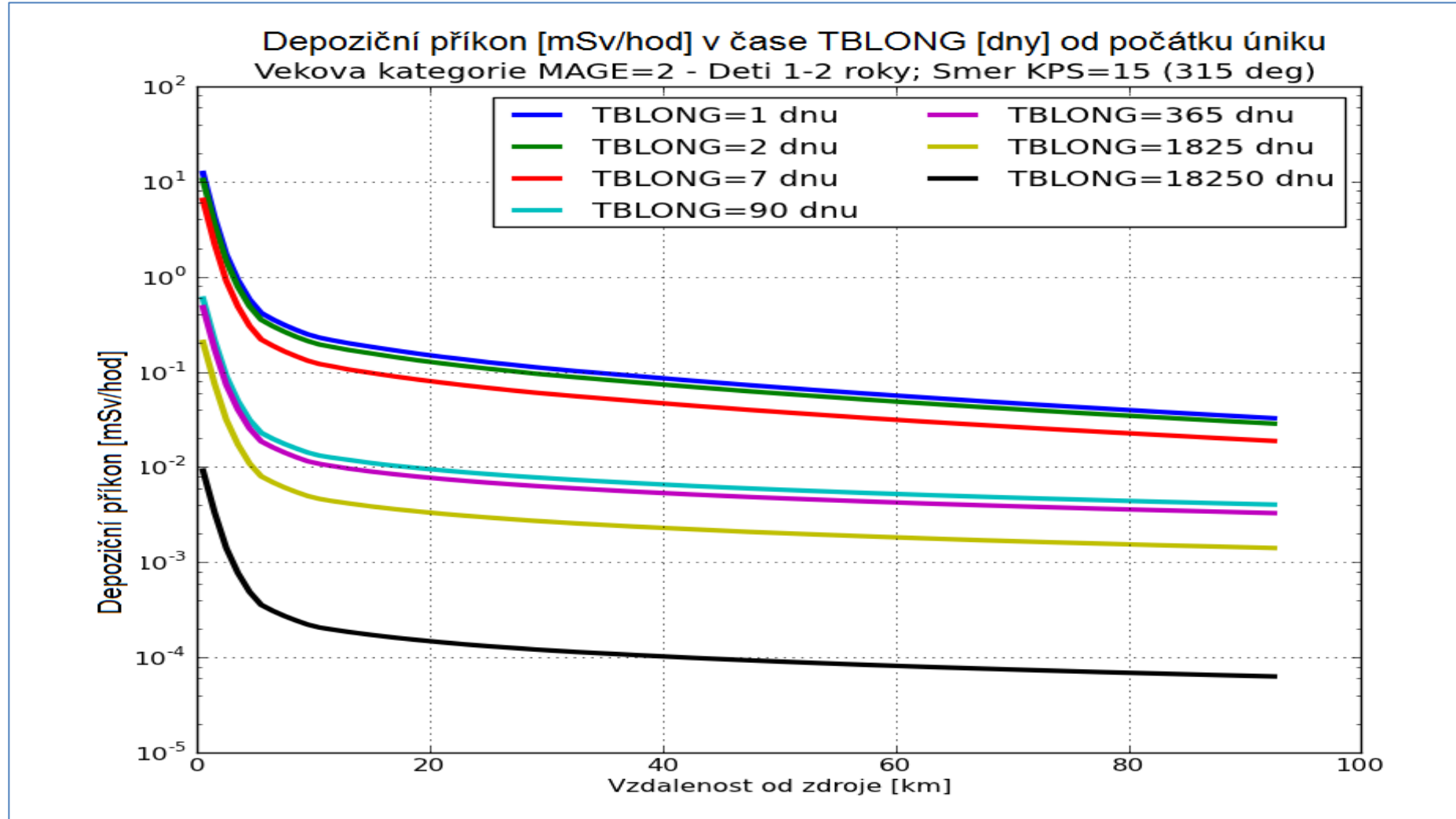
Zcela krucální podmínkou pro použití modelových prognóz je dostupnost alespoň základních meteorologických informací (směr a rychlost větru, srážky) - a to jak v místě resp. blízkosti zdroje, tak i v širší oblasti, kde lze ještě předpokládat možný dopad havárie. V případě Fukušimy provedl japonský NISA/METI modelové výpočty možného rozsahu a lokalizace kontaminovaného území s využitím meteorologických předpovědních informací modelu GPV (viz <http://weather-gpv.info/>) [1], ve kterých pro více než 40 hypotetických úniků (zdrojový člen s vydatností úniku uvažovaných radionuklidů 1Bq/h) - viz obr. 1. Na základě analýzy vypočtených prognóz pak bylo možné vytipovat oblasti, na které je s vysokou pravděpodobností potřeba soustředit pozornost při terénním monitorování a zvažování/plánování ochranných opatření včetně preventivních.

Program HARP, vyvíjený ÚTIA ČAV ve spolupráci se SÚRO, využívá asimilačních technik pro inverzní modelování parametrů systému, což umožňuje vyvozovat závěry o hodnotách těchto parametrů a provádět jejich upřesňování na základě aktuálních měření.

Přitom se vychází ze znalosti struktury chyb jak měření tak i modelu. Asimilační subsystém produktu HARP umožňuje generovat časový vývoj dávkového příkonu od depozice na terénu a odhaduje chyby těchto predikcí (viz příklad na obr. 2).

Pro upřesnění modelových prognóz s cílem jejich přiblížení reálné situaci po úniku je pak vhodné využít programů umožňujících na základě asimilace výsledků terénních měření zpětnou analýzu vedoucí k upřesnění odhadu zdrojového členu odpovídajícího v terénu naměřeným hodnotám (tzv. data assimilation methods for inverse modeling), a následně pak pro tento upřesněný zdrojový člen spočítat odpovídající modelovou prognózu. Ukazuje se, že k základnímu orientačnímu upřesnění odhadu rozsahu zasažených oblastí a úrovně dopadů v nich stačí jen poměrně nevelký soubor hodnot z terénních měření, přičemž použitelné jsou (v závislosti na vlastnostech použitého asimilačního programu) jak hodnoty dávkových příkonů, tak i hodnoty povrchových aktivit radionuklidů z depozice identifikované v čase a prostoru.

S rostoucím počtem terénních měření dostupných pro asimilaci a jejich kvalitou se přesnost počítaných prognóz významně zvyšuje.



Obr. 2: Zjednodušené 1-D zobrazení modelových předpovědí časového vývoje dávkového příkonu z depozice na terénu kolem JE Fukušima ve směru 315°, odhad zdrojového členu z [2]

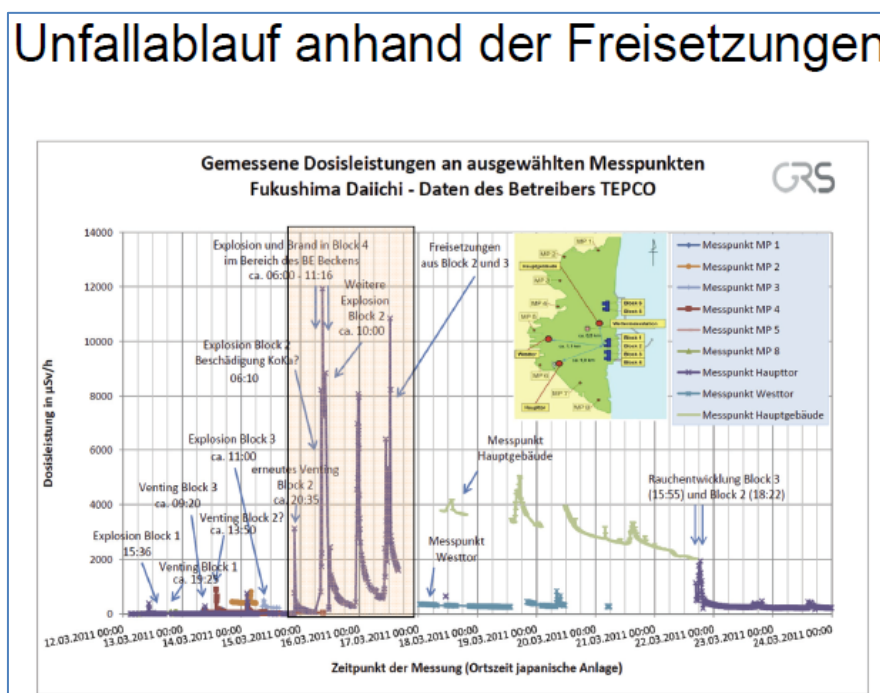
Porovnání výsledků modelování dopadu úniků z JE Fukušima

získaných pomocí programu ESTE-EU, vyvinutého firmou ABmerit, Trnava, Slovensko [3], a programu HARP, vyvinutého ÚTIA ČAV, Praha, ČR, [4], s výsledky publikovanými v práci [5].

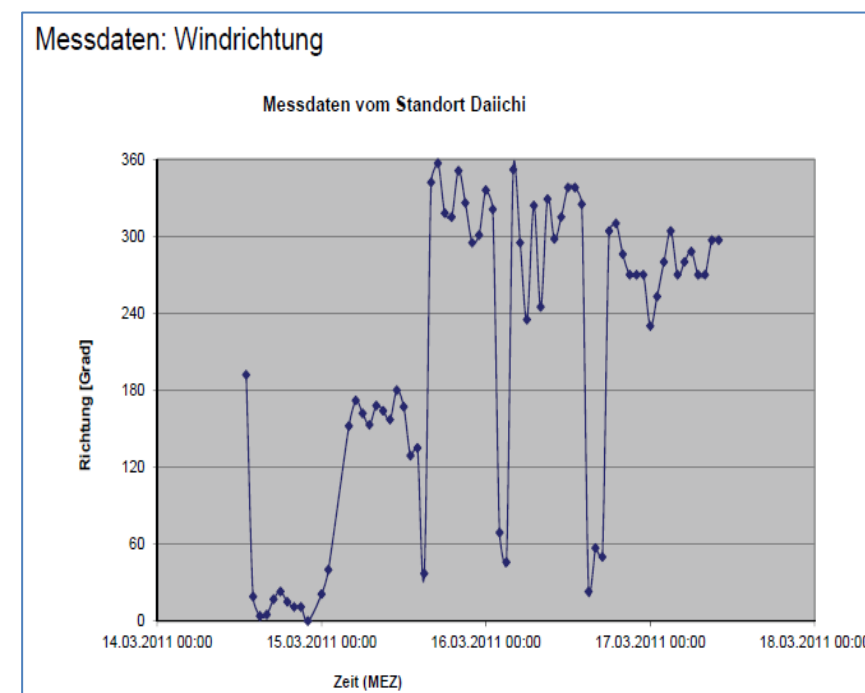
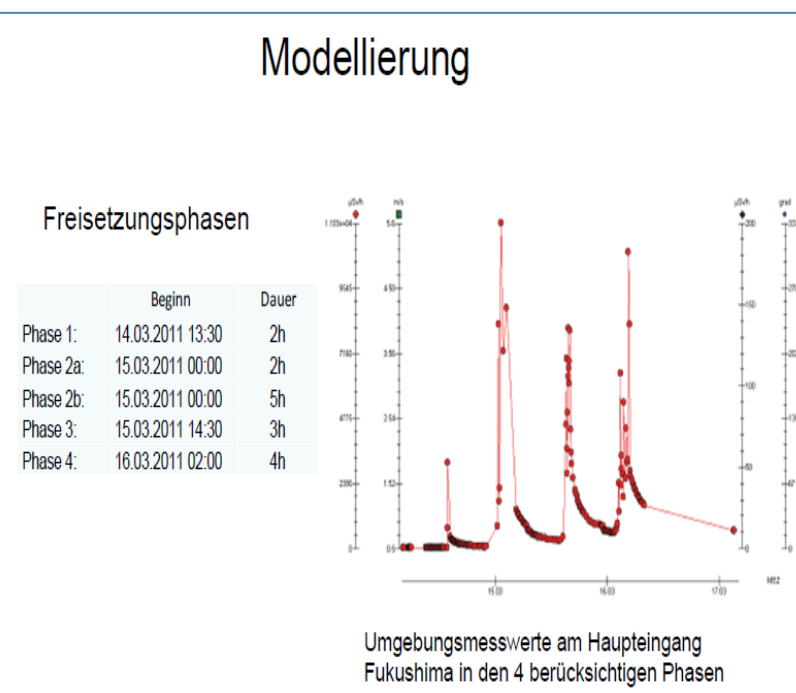
Jako výchozí byly pro modelování použity zdrojové členy z práce [8], ve které autoři při nedostupnosti údajů měřených přímo na jednotlivých blocích JE Fukušima odhadli parametry možných zdrojových členů na základě údajů z měřících bodů dávkového příkonu vzdálených cca 5-10km od JE - viz obr. 3, s použitím údajů o směru a rychlosti větru z meteo-stanice Dai-ichi - viz obr. 4.

Zdrojové členy (ve formě série několika jednotlivých časově omezených úniků) odpovídají jednak konzervativním předpokladům, tj. že dominantní složkou úniku tvoří z hlediska závažnosti dlouhodobých důsledků nejvýznamnější aerosoly (zejména cesia) a že podíl jódů a vzácných plynů je nižší - případ „worst-case“ (QT_V1), a dále předpokladu očekávaného reálného složení úniku, tj. s dominantním podílem vzácných plynů - případ „optimalizovaný odhad“ (QT_V2).

Pozn.: z technických důvodů byly výpočty programem ESTE-EU provedeny pro lokalitu Dukovany, ovlivnění výpočtu volbou této lokality lze považovat za akceptovatelně nízké.

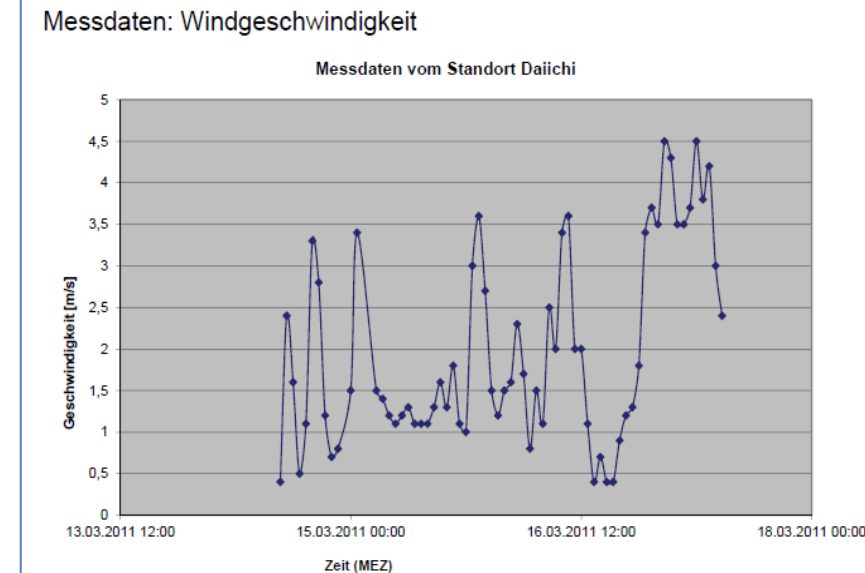


Obr. 3 Časový průběh dávkového příkonu v měřicím místě v okolí JE Fukušima



Modellierung					
Für „worst-case“-Rechnungen unterstellte Freisetzungen in Bq					
Der hohe Aerosolanteil resultiert aus der unterstellten ungefilterten Freisetzung aus den BE-Containern; diese Annahme dürfte aufgrund der mittlervielle vorliegenden Messdaten nicht zutreffen; insbesondere der Edelgasanteil ist zu niedrig (Abschätzung vom 17.03.2011)					
Quellterm QT_V1 (Angaben für Nuklidgruppen):					
Dauer [h]	Edelgas [Bq]	Iod [Bq]	Aerosole [Bq]		
Phase 1	1	2,6 E+16	1,1 E+16	1,1 E+16	
Phase 2	5	5,1 E+16	2,7 E+16	1,2 E+17	
Phase 3	2	2,4 E+16	1,6 E+16	1,0 E+17	
Phase 4	3	7,1 E+16	5,0 E+16	5,8 E+16	

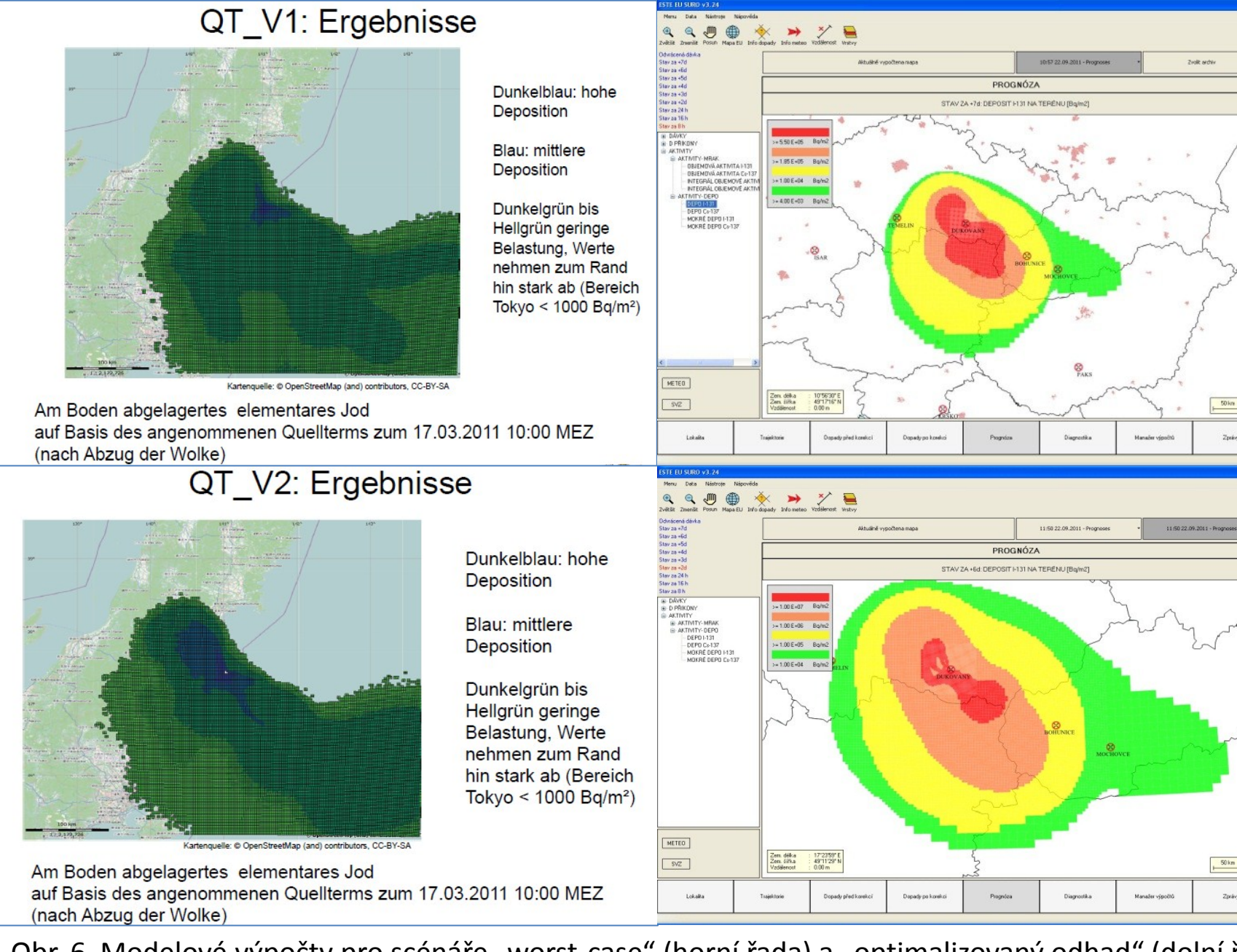
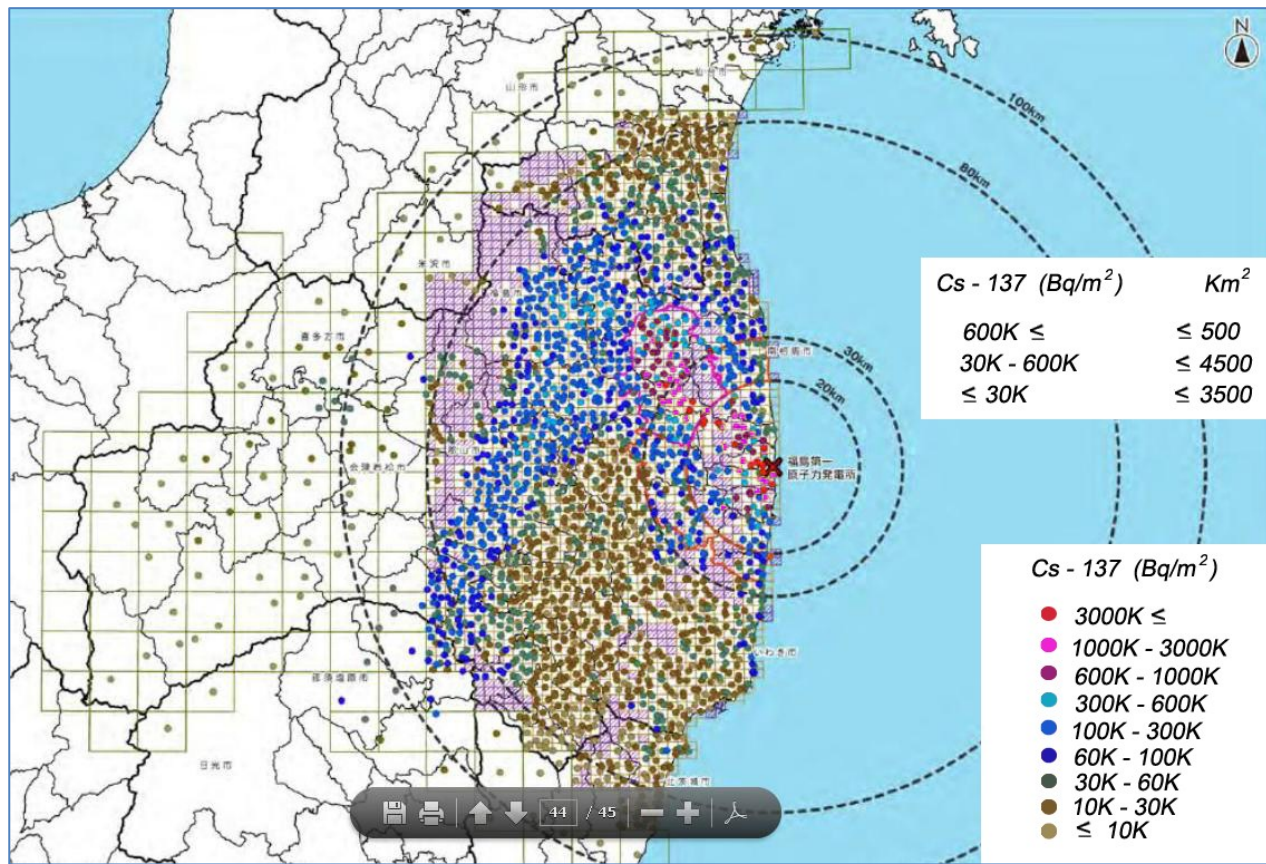
Modellierung - 2					
Quelltermbestimmung					
• Grobe Anpassung an Angaben der NISA vom 12.04.2011					
• Meteorologie leicht verändert					
Quellterm QT_V2 (Angaben für Nuklidgruppen):					
Dauer [h]	Edelgas [Bq]	Iod [Bq]	Aerosole [Bq]		
Phase 1	1	1,0 E+18	4,0 E+14	6,0 E+13	
Phase 2	5	1,0 E+18	1,5 E+17	1,0 E+17	
Phase 3	2	5,0 E+17	5,0 E+16	3,0 E+16	
Phase 4	3	1,8 E+18	1,0 E+17	5,0 E+16	



Obr. 5 Přehled zdrojových členů pro případy „worst-case“ (vlevo), „optimalizovaný odhad“ (vpravo)

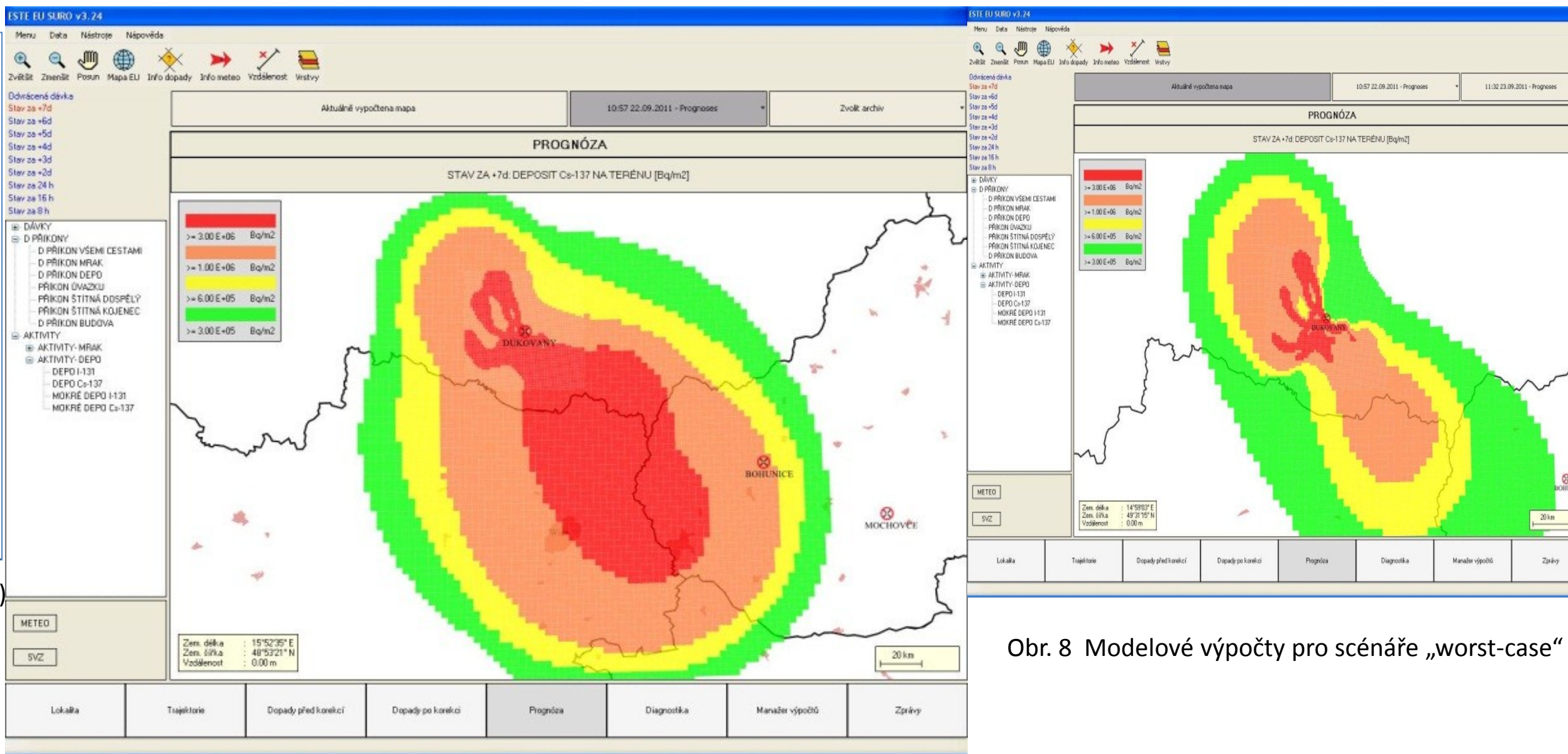
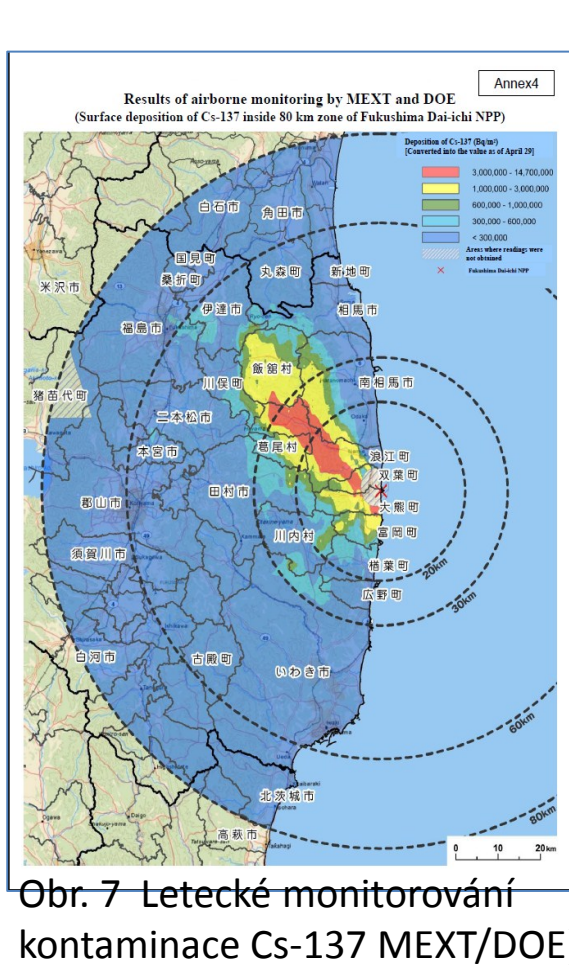
Výsledky modelových výpočtů depozice jódu na terénu provedených v [5] - obr. [QT-V1] a [QT-V2], a v SÚRO programy ESTE-EU a HARP ukazují na akceptovatelnou shodu jak z hlediska lokalizace a rozsahu zasažené oblasti, tak i co do úrovně kontaminace - viz obr. 6.

Pro ilustraci rozsahu skutečně zasažených oblastí v okolí JE Fukušima a úrovně jejich kontaminace Cs-137 uvádíme mapku publikovanou v [2]



Obr. 6 Modelové výpočty pro scénáře „worst-case“ (horní řada) a „optimalizovaný odhad“ (dolní řada)

Porovnání modelových prognóz pro depozici Cs-137 vypočtených v SÚRO aplikacemi ESTE-EU a HARP s výsledky leteckého monitorování okolí JE Fukušima provedeného MEXT/DOE [6] (viz obr. 7 a obr. 8) ukazuje akceptovatelnou shodu prognóz s výsledky terénních měření.



Obr. 8 Modelové výpočty pro scénáře „worst-case“ (vlevo) a „optimalizovaný odhad“ (vpravo)

Diskuse

Prezentované výsledky modelování ukazují zcela zásadní závislost odhadu možného rozsahu zasaženého území a úrovně jeho kontaminace, nezbytného pro zvažování, plánování a implementaci ochranných opatření, na dostupnosti alespoň základních informací o meteorologických podmínkách v době úniku a následného šíření radioaktivních látek. Ukazuje se, že pro získání základního nezbytného přehledu o situaci lze použít v případě nedostupnosti dat přímo z lokality úniku i data z meteorologických předpovědních modelů pro danou oblast v kombinaci s meteo-daty ze vzdálenějších oblastí.

Dále se ukazuje, že při použití techniky asimilace terénních dat a zpětné analýzy stačí k základnímu orientačnímu upřesnění odhadu rozsahu zasažených oblastí a úrovně dopadů v nich jen poměrně nevelký soubor hodnot z terénních měření, přičemž použitelné jsou (v závislosti na vlastnostech použitého asimilačního programu) jak hodnoty dávkových příkonů, tak i hodnoty povrchových aktivit radionuklidů z depozice, identifikované v čase a prostoru. S rostoucím počtem terénních měření dostupných pro asimilaci a jejich kvalitou se přesnost/věrohodnost počítaných prognóz samozřejmě významně zvyšuje.

Z hlediska zvažování ochranných opatření je v prvých fázích havárie, pokud jsou dostupné pouze údaje o dávkovém příkonu, nutné uvažovat tzv. „worst-case“ - tzn. složení úniku s dominancí aerosolů a jódů vůči vzácným plynům (viz obr. 5 - vlevo), jakmile jsou dostupné údaje o alespoň orientačním radionuklidovém složení úniku (spektrometrická měření, časové řady dávkového příkonu) lze postupně odhad složení zdrojového členu optimalizovat tak, aby lépe odpovídal realitě (viz obr. 5 - vpravo).

Zdrojový člen získaný zpětnou analýzou terénních měření programem HARP, reprezentující pouze část úniku směřující do sledované oblasti, je srovnatelný s některými uváděnými zdrojovými členy reprezentujícími celý únik včetně částí úniku směřujících mimo pevninu, což ukazuje na možnost podcenění celkového úniku z JE Fukušima.

Závěr

Ukazuje se, že i v případě totálního zničení a kolapsu infrastruktury v havarované lokalitě a jejím relativně rozsáhlém okolí lze stále při vhodném využití dostupných meteorologických údajů a programových prostředků v kombinaci s postupně získávanými údaji z terénních měření poskytovat krizovému managementu potřebné informace pro podporu jeho rozhodování - a to jak základní orientační odhady situace už v prvých fázích události, kdy jsou k dispozici data jen ve velmi omezeném rozsahu, tak i postupně zpřesňované prognózy na základě dalších přicházejících dat.

Při aplikaci hodnocení důsledků havárie JE Fukušima na situaci při hypotetické události na JE v jiných zemích je třeba zohlednit i to, že vzhledem k poloze JE na mořském břehu důsledky havárie byly výrazně nižší ve srovnání s možnými důsledky havárie obdobného rozsahu na JE ve vnitrozemí.

Literatura

- [1] Realtime radiation data collected via the System for Prediction of Environment Emergency Dose Information (SPEEDI), Nuclear Safety Division, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, <http://www.bousai.go.jp/eng/>
- [2] Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations,
- [3] ABmerit - Nuclear source code software: Program ESTE EU, http://www.abmerit.sk/SK/ESTE_EU.aspx
- [4] HARP - Hazardous Radioactivity Propagation, <http://havarrp.utia.cas.cz/harp/>
- [5] C. Krass, T. Wilbois, Y. Ren, W. Scheuermann, A. Piater, A. Lurk, T. IonescuDei: ABR in der Kernreaktor-Fernüberwachung: Anwendung auf den Unfall im Kernkraftwerk Fukushima (Japan) im Zeitraum 14.3.-17.3.2011, Stuttgart, den 15.04.2011, Institut für Kernenergie und Energiesysteme Universität Stuttgart
- [6] Results of Airborne Monitoring by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology and the U.S. Department of Energy, Ministry of Education, Culture, Sports, Science & Technology, http://radioactivity.mext.go.jp/en/1280/2011/05/1304797_0506.pdf