



Akademie věd České republiky  
Ústav teorie informace a automatizace, v.v.i.  
Academy of Sciences of the Czech Republic  
Institute of Information Theory and Automation

## RESEARCH REPORT

P. Pecha, P. Kuča, I. Češpírová, R. Hofman

**Monitorování radiace v časně fázi nehody na jaderném  
zařízení - analýza všech typů měření použitelných pro  
korekci modelových předpovědí**

No. 2302

12. července 2011

ÚTIA AV ČR, P.O.Box 18, 182 08 Prague, Czech Republic  
Tel: +420 286892337, Fax: +420 266052068, Url: <http://www.utia.cas.cz>,  
E-mail: [pecha@utia.cas.cz](mailto:pecha@utia.cas.cz)

This report constitutes an unrefereed manuscript, which is intended to be submitted for publication. Any opinions and conclusions expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of the Institute.

## **Anotace**

Výzkumná zpráva je zaměřena na metody monitorování radioaktivního znečištění v časně fázi nehody spojené s únikem radioaktivity do životního prostředí. Cílem prováděného rozboru je určit ty metody monitorování prováděné stávajícími radiačními sítěmi, které mohou poskytovat měření z terénu pro jejich další využití v oblasti zlepšování modelových předpovědí vývoje radiační situace. Pro tyto účely byly vyvinuty speciální statistické metody bayesovské filtrace provádějící asimilaci modelových předpovědí s měřeními z terénu. Je představen programový systém HARP, který nabízí pokročilé interaktivní nástroje pro analýzu následků mimořádných úniků radioaktivity do atmosféry. Měření přicházející z terénu poskytované monitorovacími skupinami (pevná čidla SVZ, měření z výnosných stanic, měření mobilních skupin s GPS identifikací, případné letecké monitorování) budou zpracovávány jeho asimilačním subsystémem ASIM, který umožní expertně vyhodnotit všechny tyto víceméně izolovaně stojící informace a integrovat je do celkového obrazu radiologické situace v terénu a její časové predikce. Předkládaná zpráva byla vypracována v rámci řešení projektu Bezpečnostního výzkumu MV VG20102013018 řešeného v ÚTIA v.v.i a v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu MV VF20102015014 řešeného SÚRO v.v.i.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Spolupráce v oblasti zpřesňování modelových předpovědí na základě konfrontace s měřeními přicházejícími z terénu</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Popis stávající situace v oblasti monitorování prováděného v rámci RMS</b>	<b>12</b>
2.1	Legislativa	12
2.2	Monitorování	18
2.2.1	Síť včasného zjištění (SVZ)	18
2.2.1.1	Teritoriální síť	21
2.2.1.2	Teledozimetrický systém (TDS)	27
2.2.2	Síť termoluminiscenčních dozimetrů (TLD)	30
2.2.2.1	Teritoriální síť TLD	30
2.2.2.2	Lokální sítě TLD	31
2.3	Mobilní skupiny, letecká skupina	36
2.3.1	Činnost mobilních skupin	36
2.3.2	Posloupnost činností	37
2.3.3	Počet a vybavení mobilních skupin a letecké skupiny	42
2.3.4	Popis vybraných přístrojů pro mobilní skupiny a leteckou skupinu	46
2.3.5	Porovnání vybraných přístrojů pro terénní měření	49
<b>3</b>	<b>Analýza vlivu počtu a rozmístění receptorů sítě na kvalitu asimilace dat a predikce</b>	<b>54</b>
<b>4</b>	<b>Shrnutí: Co může přinést profesionální monitoring radiační situace pro modelové předpovědi a naopak</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>59</b>
	Literatura	60
	Příloha 1	63
	Použité zkratky	64



# **1 Spolupráce v oblasti zpřesňování modelových předpovědí na základě konfrontace s měřeními přicházejícími z terénu**

V tomto příspěvku se zaměřujeme na možnosti využití různých technik měření ionizujícího záření a existujících radiačních monitorovacích sítí pro jeden speciální problém, a sice na využití měření přicházejících z terénu pro zpřesňování modelových předpovědí vývoje radiologické situace po radiační nehodě. Pracovištěm se špičkovým know-how v oblasti monitoringu je Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. (SÚRO), který kromě jiného se účastní na zajištění provozu Radiační monitorovací sítě ČR (RMS) a spolupracuje na vývoji a aplikaci pokročilých monitorovacích technik jak pro průběžná měření na stálých měřicích místech, tak i pro mobilní měření (pozemní i letecké). SÚRO se v roli správce dat RMS podílí i na vytváření a činnosti celoevropské sítě EURDEP, sloužící ke vzájemné výměně dat z monitorování dávkového příkonu a objemových aktivit ovzduší národními monitorovacími sítěmi a k průběžnému zveřejňování výsledků tohoto monitorování. SÚRO se dále podílí na zajišťování havarijní připravenosti v oblasti reakce na mimořádnou událost s možnými radiačními důsledky na obyvatelstvo a životní prostředí mj. zajišťováním průběžné operativní správy Sítě včasného zjištění RMS ČR v nepřetržitém režimu (24x7), tak aby informace o případném výskytu hodnot překračujících nastavené úrovně byla včas a správně zachycena a interpretována v systému havarijní připravenosti ČR. SÚRO se věnuje i problematice využití modelování vývoje radiační situace v případech radiačních mimořádných událostí a jejich možných dopadů na obyvatelstvo a životní prostředí v oblasti radiační ochrany a havarijní připravenosti, pro tuto činnost SÚRO využívá různé modelovací nástroje včetně systému HARP (viz dále) vyvíjeného ve spolupráci s ÚTIA AV ČR.

Modelové předpovědi a popis šíření radioaktivního znečištění se v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR provádějí se záměrem zavedení pokročilých statistických asimilačních technik, jejichž cílem je zvýšení spolehlivosti matematických odhadů na základě dalších informací, z nichž nejdůležitější jsou měřené hodnoty přicházející online z terénu. V oblasti asimilace měření s modelovou předpovědí radiologické situace lze práce prováděné v ÚTIA označit jako v ČR průkopnické. Jedním z nejdůležitějších cílů je provádění asimilace v reálném čase, kdy v časových krocích odpovídajících periodám přicházejících měření je možno postupně korigovat předpovědi modelu a tím postupně zpřesňovat předpověď zasažených oblastí, kde je třeba uvažovat o zavedení neodkladných opatření.

## **Historie spolupráce při modelování transportu znečištění a jeho následků v ÚTIA a SÚRO**

Na problematice šíření radioaktivity životním prostředím se v ÚTIA pracuje již zhruba 10 let, v SÚRO ještě mnohem déle. Z nejvýznamnějších to byla například mezinárodní spolupráce v rámci EU grantů INCO COPERNICUS FI14P-CT96-0006 nebo EVANET-HYDRA projekt, která vyústila i ve společné publikace se zahraničními partnery. Spolupráce pokračovala na mezinárodní úrovni, kdy obsahem tříletých prací byla lokalizace evropského systému RODOS (Real-time Online DecisiOn Support system) na podmínky jaderných zařízení v ČR. Český RODOS tým byl složen z pracovníků SÚRO a ÚTIA a celý projekt byl úspěšně oponován koncem roku 2004. Byla vypracována řada lokalizačních reportů pro řetěz atmosférických a hydrologických modelů. V Příloze 1 uvádíme příklad online vstupů do diagnostického módu práce systému RODOS, který český lokalizační tým tehdy zprovoznil. Následovala spolupráce s ÚJV Řež a EGP Praha v rámci návazného projektu 6/2003 (poskytovatel SÚJB), jehož cílem byl vývoj vlastních metodických postupů a programových prostředků vyplývajících z požadavků Krizového a koordinačního centra SÚJB a SÚRO. Tento tříletý projekt končil závěrečnou oponenturou koncem roku 2005 a jeho výsledky dokumentuje řada reportů.

Specialisté ze SÚRO i ÚTIA se aktivně podíleli na společném česko-rakouském cvičení STEP II b „Realistic Case Studies“ (2002 a 2003). Jednalo se o komparativní analýzy těžké havárie se zdrojovým členem ST2 v rámci procesu z Melku. V ÚTIA byl proveden též srovnávací výpočty kódem COSYMA a systémem RODOS PV 4.0, který byl v té době v ústavu lokalizován.

Tyto dlouhodobé zkušenosti umožnily řešitelskému kolektivu poukázat na slabiny dosavadního výzkumu a definovat oblasti rozšíření ve směru rozvoje moderních asimilačních algoritmů. Vytyčené záměry byly podpořeny udělením grantu 102/07/1596 Grantovou agenturou ČR, což umožnilo zapojit do projektu mladé studenty z doktorandského studia na celé období řešení 2007-2009. Další rozvoj asimilačních technik v rámci tohoto grantového projektu umožnil ve spolupráci se Státním ústavem radiační ochrany ověřovat možnosti online připojení předpovědních modelů na Síť včasného zjištění přes databázový server ORACLE. V současné době je v ÚTIA (příjemce) v rámci Bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra (poskytovatel) řešen projekt č. VG20102013018 s názvem:



**„Aplikace pokročilých statistických metod asimilace modelových předpovědí s pozorováními v terénu ve formě moderního programového prostředí pro podporu rozhodování za krizových situací“**

Hlavním cílem projektu je zajistit, aby výsledky více než desetiletého výzkumu nezůstaly jen v zásuvce stolu, ale aby se dostaly k uživatelům. Během řešení projektu se výsledný produkt HARP (Schéma 1) přizpůsobí požadavkům potenciálních uživatelů s možností využívat třeba jen deterministické jádro systému a jeho bohatou interaktivní grafickou podporou nebo na druhé straně jeho plnou statistickou funkčnost včetně pravděpodobnostní nadstavby s asimilačním subsystémem ASIM. Právě pro vývoj funkčního asimilačního subsystému je nezbytná spolupráce s odborníky ze SÚRO.

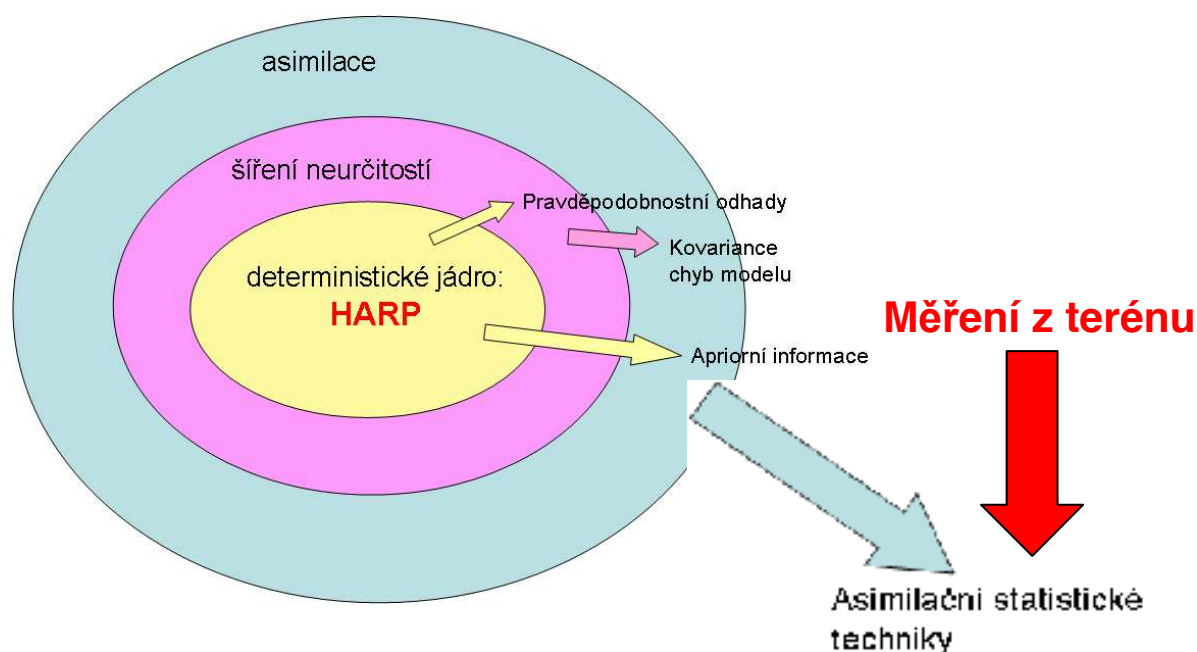


Schéma1:Rámec environmentálního modelu HARP (HAzardous Radioactivity Propagation) a napojení jeho asimilačního subsystému

**Modelovat nebo měřit – jaké je optimální východisko?**

V oblasti odhadování stavu modelovaného systému se vývoj ubírá dvěma směry. Předně, v souvislosti s prudkým rozvojem výpočetní techniky, jsou zaváděny složitější algoritmy respektující pokročilé fyzikální modely. Ukázalo se, že jednostranná víra v možnost deterministického zpřesňování fyzikálního modelu s neomezenou schopností se přibližovat k realitě je lichá. A ani to v důsledku stochastického charakteru úlohy plynoucí z inherentních

neurčitostí parametrů modelu není možné. Výsledné veličiny budou vždy zatíženy neurčitostí, kterou můžeme nástroji statistiky odhadovat. Jinou cestou jdou postupy založené na procedurách obecně zvaných *data mining*, které v krajním případě obcházejí fyzikální modelování a spoléhají se výlučně na pozorování. A tam, kde tato pozorování nejsou k dispozici, se použijí jednoduché metody matematické interpolace a extrapolace. Technika „data mining“ může být úspěšně používána v těch oblastech, pro které není k dispozici adekvátní model a je shromážděn dostatek informativních dat. V situaci, kdy jsou data zatížena velkými chybami měření či jsou málo vypovídající, vede ignorování akumulované fyzikální (oborové) znalosti k chybným predikcím.

Pesimista může označit situaci za tristní, kdy máme k dispozici špatný model a špatná měření. Ale naštěstí je naše pozice daleko lepší, protože slepě netápeme, nýbrž chyby modelu máme statisticky popsány a kvantifikovány. Také se strany pozorovaných hodnot lze očekávat pečlivou analýzu jejich chyb, která se pak obvykle prezentuje ve tvaru kovarianční matice chyb pozorování. Existuje zde tedy realistické východisko z problému představované syntézou obou přístupů, nazývané termínem **asimilace dat** s modelovou předpovědí. Ve svém obecném významu jde o korekci výsledků modelu pomocí měřených hodnot, přičemž ve schématu asimilace je současně respektována fyzikální znalost neboli apriorní informace obsažená v modelu. Pokročilé statistické metody jsou schopny brát v úvahu strukturu chyb modelu a chyb měření a výsledné optimální korekce se přiklánějí k hodnotám modelu či k pozorováním podle toho, co má menší chybu (viz Schéma 2). Metoda asimilace bere v úvahu pozitivní rysy modelování i měření. Tam, kde je měření dostatek, upraví numerický model podle těchto hodnot. V případě, že kvalitní pozorování chybějí, spolehne se na numerický model.

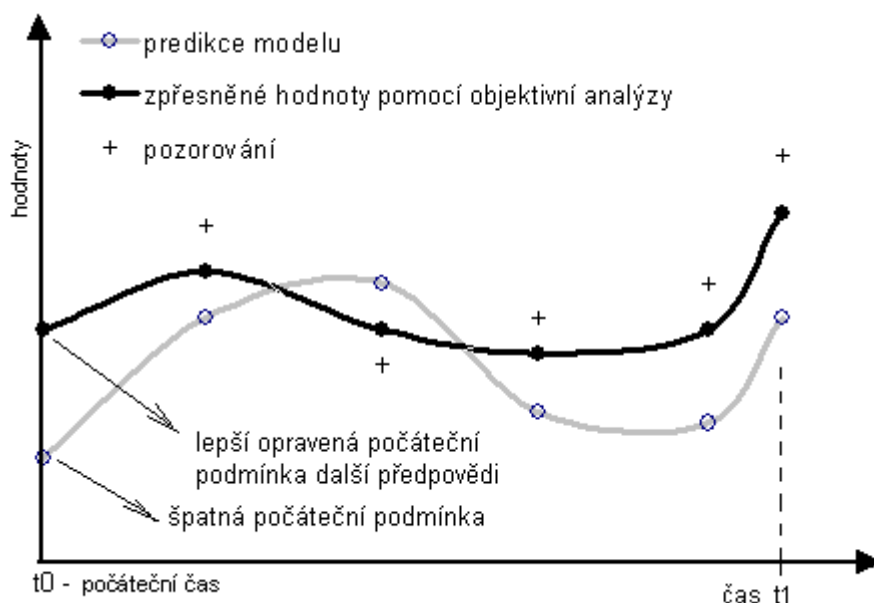


Schéma 2: Kontinuální retrospektivní asimilační schéma. Kruhový bod v obrázku ve skutečnosti představuje stavový vektor s dimenzí rovnou počtu výpočtových nódů - v našem případě jde o dimenzi 3360 (vzhledem ke stochastickému charakteru úlohy nelze tyto hodnoty vyjádřit fixním konkrétním číslem a je nutné vyšetřovat jejich distribuce s náhodným šumem).

Automatická procedura provádějící asimilaci pozorování s modelem se nazývá objektivní analýza (např. schéma 2 podle obrázku výše) a je představována v závislosti na stupni detailnosti celou škálou technik počínaje klasickou interpolací, empirickou interpolací a minimalizačními postupy až k metodám statistickým. Z posledně jmenovaných byly již získány výsledky s použitím metody optimální interpolace. Výzkum probíhal dále ve směru pokročilých asimilačních technik, jejichž metodologickým jádrem je bayesovský přístup. Je odhadován časový vývoj jak modelových předpovědí tak vývoj kovarianční struktury chyb modelu v jednotlivých cyklech bayesovské rekurze. Až na aplikační úroveň jsou dotaženy pokročilé metody složených Kalmanových filtrů a hlavně pak metody částicových filtrů [24]. Při výzkumu pomohly zkušenosti a znalosti akumulované v tomto směru v oddělení adaptivních systémů v ÚTIA, kde má rozvoj těchto moderních přístupů dlouholetou tradici.

### **Modelové předpovědi a měření v terénu při časné fázi radiační nehody**

Celou širší problematiku nastíněné výše omezíme na analýzu časné fáze radiační nehody. Specifikujeme požadavky na radiační monitoring, které lze reálně využít pro zpřesnění predikce matematického modelu šíření znečištění. Pod časnou fází radiační nehody se

obvykle míní interval od samého počátku úniku znečištění až do doby, kdy radioaktivní mrak opustí sledovanou oblast. Časová škála se může pohybovat od několika hodin do několika málo dní. Právě tato fáze je nejdůležitější z hlediska rychlé odezvy na včasné zavedení odpovídajících protiopatření (ukrytí, jódová profylaxe, evakuace) ve skutečně nejzatíženějších oblastech. Tato analýza v minulosti nebyla dostatečná, chyběly ověřené programové prostředky a cílená protiopatření nebyla adekvátně připravena. Jak již bylo řečeno, vzhledem ke složitosti a neurčitostem úlohy nemůžeme nikdy uspět s jakkoliv složitými a sofistikovanými výpočetními kódy. Pouze spojením pokročilého modelování s asimilací měřených hodnot v terénu s následující rekurzí v jednotlivých časových krocích lze generovat věrohodné odhady. Přitom lze navíc upřesňovat aktuální hodnoty dalších důležitých náhodných parametrů modelu, jako jsou intenzita úniku radioaktivity, disperze vlečky v atmosféře, vypadávání aktivity na terén nebo parametry pole větru.

Je nutné zahrnout hlavní neurčitosti parametrů stavu majících stochastický charakter, neurčitosti plynoucí ze zjednodušené parametrizace fyzikálních procesů, z nekompletně určeného scénáře úniku, ze zjednodušeného algoritmu na konečné diskrétní výpočtové síti apod. Simulace šíření neurčitostí modelem poskytuje data nejen pro následující pravděpodobnostní hodnocení radiologických důsledků, nýbrž i pro techniky zmíněné asimilace. Pokročilé programové systémy modelující průniky znečištění do životního prostředí proto nově zahrnují asimilační subsystémy.

Existuje několik důležitých zdrojů informací, které mohou zlepšit odhad vývoje stavu radiačního znečištění při nehodě. Základní fyzikální znalost je zahrnuta v apriorním odhadu stavu (časový a prostorový vývoj koncentrace radioaktivity ve vzduchu, její depozice na terénu apod.), který poskytuje matematický model. Dále, expertní odhady dávají doporučení na charakteristiky náhodných parametrů modelu. Významný efekt vyplyne z možnosti zpracování měření, která online přicházejí z terénu, může být významná i intuice podpořená zkušeností. Každý takový zdroj informací je obvykle znám jen s určitým stupněm detailnosti (například úroveň použitého algoritmu modelu, nízká resp. vyšší hustota měření v terénu, případy s nepřímými měřeními, neúplný popis kovarianční struktury chyb modelu a měření). Takové neúplné informace vedou ke špatně podmíněným úlohám s vágním scénářem, což si vynucuje techniky rozhodování za neurčitosti.

Zkušenosti a výsledky ukazují, že kombinace modelování a monitorování v pozdější fázi nehody není tak obtížná jako v časné fázi. V časné fázi je k dispozici online jen relativně

málo měření. Navíc, stav se rychle mění a odhady je možné generovat pouze při určitých zjednodušeních, specificky pro každý konkrétní případ. V pozdějších fázích se měření v terénu stávají významnějšími a jejich četnost roste. Změny jsou pomalejší a tak systém může být po částech linearizován. To přináší možnost použít metody klasické Kalmanovy filtrace.

Rozvoj radiační nehody může být od samého začátku tak variabilní a je doprovázen takovými nejistotami, že je nutné ad hoc zavést další kroky. Vcítíme-li se do role toho, kdo má odpovědně vydat příkaz ke spuštění neodkladných opatření, ten bude pod velkým psychickým a časovým tlakem. Uvědomme si, že toxický mrak se v několika hodinách (až několika málo desítkách hodin) nepochybně dostane až k hranici republiky, a tak zde bude velký tlak na co nejrychlejší, ale současně věrohodnou, předpověď zasažených lokalit a příslušné úrovně kontaminace v nich. Neurčitosti týkající se zdrojového členu úniku, počátečního tepelného vnosu vlečky, fluktuací pole proudění, aktuálních disperzních a depozičních charakteristik apod. neumožní zodpovědnému jedinci (týmu) korektně rozhodovat, pokud nedostane další doplňující relevantní informace.

Základní dílčí úlohou je interpolace a případná transformace (při nepřímých pozorováních) hodnot modelu z výpočetních uzlů do prostoru (pozic) pozorování, které jsou formálně vyjádřeny operátorem pozorování  $\hat{H}$ . V praxi bývá matice  $H$  často řídká, přičemž konstruovaná hodnota modelu v místě určitého měření je závislá hlavně na hodnotách modelu v několika málo okolních bodech. Důležitým úkolem je dále správná interpretace měřených hodnot a vyšetření kovarianční matice chyb pozorování. Vychází se obvykle z předpokladu nezávislosti měření, což vede k diagonální matici. Její prvky lze variantně měnit a ověřovat základní vlastnosti statistických asimilačních postupů (zmíněné výše), a sice že při zpřesňování měření se hodnoty analýzy přiklánějí k pozorováním (nebo naopak k modelovému odhadu při nekvalitních měřeních zatížených velkou chybou).

V této publikaci se nebudeme zabývat analýzou kovarianční struktury chyb modelu. Tato fundamentální otázka je průběžně řešena pomocí analýzy neurčitosti a při popisu šíření chyb modelem. V posledních několika letech byly publikovány práce prováděné v ÚTIA, které jsou nezbytnou podmínkou k přechodu k odhadům následků nehod na pravděpodobnostním základě a pro použití pokročilých statistických asimilačních postupů. V tomto případě se odkazujeme na reference například na webu <http://havarrp.utia.cas.cz/>

V dalších kapitolách se budeme věnovat možnostem, které může současná konfigurace RMS v časné fázi mimořádné události poskytnout matematickým modelům šíření znečištění pro asimilační účely.

## **2 Popis stávající situace v oblasti monitorování prováděného v rámci RMS**

### **2.1 Legislativa**

Právní rámec pro systém radiační ochrany v ČR, včetně systému monitorování radiační situace na území ČR, vytváří zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), v platném znění, a na něj navazující prováděcí předpisy. Radiační situace na území ČR je systémově monitorována a vyhodnocována Celostátní radiační monitorovací sítí (CRMS), jejímž řízením RMS je pověřen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). RMS je zřízena a provozována na základě vyhlášky SÚJB č. 319 /2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě, v platném znění, (vyhláška byla s účinností od 1. 2. 2006 novelizována vyhláškou č. 27/2006 Sb.) a nařízením vlády č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování, v platném znění, zajištění provozu a obnovy zařízení RMS je dále upraveno usnesením vlády ČR č. 478 ze dne 14. května 2001, v platném znění) a schválenými programy monitorování držitelů povolení. Náležitosti programů monitorování, které mimo jiné stanovují rozsah monitorování okolí jaderných zařízení zajišťovaného držiteli povolení k provozu těchto zařízení, určuje vyhláška č. 307/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

Podle uvedené vyhlášky SÚJB č. 319 /2002 Sb. je funkcí RMS:

### **§ 3 Funkce monitorovací sítě**

(1) Monitorovací síť zajišťuje monitorování radiační situace na území České republiky (dále jen "monitorování"), včetně přenosu dat a správy informačního systému pro

- a) hodnocení radiační situace pro potřeby sledování a posuzování stavu ozáření,
- b) rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo odvrácení ozáření v případě radiační havárie,
- c) mezinárodní výměnu informací a dat o radiační situaci,
- d) zveřejňování a poskytování informací a dat o radiační situaci na území České republiky.

příčemž RMS je tvořena (viz Organizace monitorovací sítě - § 4 a § 5)

Monitorovací síť tvoří stálé složky monitorovací sítě, které pracují nepřetržitě za obvyklé radiační situace a za radiační mimořádné situace, a pohotovostní složky monitorovací sítě, které se aktivují při podezření na vznik nebo při vzniku radiační mimořádné situace. Pohotovostní složky monitorovací sítě nemohou být současně zařazeny mezi stálé složky monitorovací sítě.

(2) Stálé složky monitorovací sítě tvoří:

- a) síť včasného zjištění, kterou tvoří systém měřicích míst provádějících nepřetržitě měření dávkového příkonu na území České republiky a neprodlené informování o případném zvýšení příkonu nad obvyklé hodnoty; součástí sítě včasného zjištění je teledozimetrický systém, kterým jsou prostředky pro soustavné nepřetržitě měření dávek, dávkových příkonů, aktivity radionuklidů a jejich časového integrálu v prostorách jaderného zařízení s cílem při radiační mimořádné situaci nebo podezření na ni zaznamenat a vyhodnotit únik do ovzduší a do vodotečí,
- b) síť termoluminiscenčních dozimetrů, kterou je systém pro měření dávky záření gama na území České republiky,
- c) měřicí místa kontaminace ovzduší, kterými jsou prostředky pro měření dávkového příkonu a pro zajištění odběrů vzorků aerosolů a spadů a pro jednoduché stanovení aktivity radionuklidů v těchto vzorcích,
- d) měřicí místa kontaminace potravin, kterými jsou prostředky pro zajištění odběru vzorků z článků potravních řetězců a pro stanovení aktivity radionuklidů v těchto vzorcích,
- e) měřicí místa kontaminace vody, kterými jsou prostředky pro zajištění odběru vzorků vody, říčních sedimentů a ryb a pro stanovení aktivity radionuklidů v těchto vzorcích,
- f) měřicí místa na hraničních přechodech, kterými jsou prostředky pro získávání údajů o radionuklidové kontaminaci osob, dopravních prostředků, zboží, předmětů a materiálů na hraničních přechodech,
- g) mobilní skupiny, které provádějí monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů v terénu, odběry vzorků složek životního prostředí a rozmístění a výměnu dozimetrů v sítích termoluminiscenčních dozimetrů,
- h) letecké skupiny, které provádějí monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů v terénu,

- i) laboratorní skupiny, které zajišťují odběry vzorků z životního prostředí, provádějí spektrometrické, popř. radiochemické analýzy vzorků životního prostředí s cílem stanovit v nich aktivity radionuklidů,
- j) centrální laboratoř monitorovací sítě, která koordinuje měření vzorků odebraných laboratorními a mobilními skupinami a zajišťuje vybraná měření těchto vzorků a dále zajišťuje hodnocení výsledků těchto měření s cílem poskytnout podklady pro rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo odvrácení ozáření osob a která koordinuje a zajišťuje měření vnitřní kontaminace osob,
- k) meteorologická služba, která získává meteorologické údaje nezbytné k tomu, aby bylo možno s použitím modelů šíření uniklých radionuklidů v ovzduší provádět vyhodnocení a prognózu vývoje radiační situace.

(3) Pohotovostní složky monitorovací sítě tvoří:

- a) mobilní skupiny, které provádějí monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů v terénu, odběry vzorků složek životního prostředí a rozmístění a výměnu dozimetřů v sítích termoluminiscenčních dozimetřů,
- b) laboratorní skupiny, které zajišťují odběry vzorků z životního prostředí, provádějí spektrometrické, popř. radiochemické analýzy vzorků životního prostředí s cílem stanovit v nich aktivity radionuklidů,
- c) letecké prostředky průzkumu pro monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů v terénu,
- d) měřicí místa kontaminace vody, kterými jsou prostředky pro stanovení aktivity radionuklidů ve vodě, v říčních sedimentech, ve vodních makrofytech a vzorcích ryb,
- e) měřicí místa kontaminace potravin, kterými jsou prostředky pro stanovení aktivity radionuklidů v člancích potravních řetězců,
- f) měřicí místa na hraničních přechodech, kterými jsou prostředky pro získávání údajů o dávkových příkonech, radionuklidové kontaminaci osob, dopravních prostředků, zboží, předmětů a materiálů,
- g) měřicí místa na uzavěrách, kterými jsou prostředky pro získání údajů o dávkových příkonech a o radionuklidové kontaminaci osob, dopravních prostředků, předmětů a materiálů na hranicích uzavřených oblastí a v okolí místa radiační havárie.

(4) Úřad zajišťuje informační systém a zajišťuje nebo se podílí v rozsahu a způsobem stanoveným svým krizovým plánem na systému přenosu dat a na činnosti



- a) síť včasného zjišťování,
- b) síť termoluminiscenčních dozimetrů,
- c) měřicích míst kontaminace ovzduší,
- d) mobilních skupin,
- e) leteckých skupin,
- f) laboratorních skupin pro monitorování,
- g) centrální laboratoře monitorovací sítě.

(5) Ministerstvo financí, Ministerstvo obrany, Ministerstvo vnitra, Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí zajišťují nebo se podílejí na systému přenosu dat a na činnosti složek monitorovací sítě v souladu se zákonem v rozsahu a způsobem stanovenými smlouvou.

(6) Držitelé povolení k provozu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie se v rozsahu a způsobem stanoveným v programu monitorování a ve vnitřním havarijním plánu schválených Úřadem podílejí na systému přenosu dat a zajišťují činnost

- a) síť včasného zjišťování,
- b) síť termoluminiscenčních dozimetrů,
- c) měřicích míst kontaminace ovzduší,
- d) mobilní skupiny,
- e) laboratorní skupiny.

(7) Smluvní osoby zajišťují nebo se podílejí v rozsahu a způsobem stanoveným ve smlouvě o zajištění plnění úkolů vyplývajících z krizového plánu Úřadu na systému přenosu dat a na činnosti

- a) měřicích míst kontaminace vody,
- b) měřicích míst kontaminace potravin,
- c) laboratorních skupin,
- d) mobilních skupin.

## § 5

(1) Monitorovací síť pracuje v normálním režimu a v havarijním režimu.

(2) Normální režim je monitorováním za obvyklé radiační situace a

- a) podílejí se na něm stálé složky monitorovací sítě,

b) monitorování je zaměřeno zejména na sledování časové a prostorové distribuce dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů ve složkách životního prostředí za účelem stanovení dlouhodobých trendů a včasného zjištění odchylek od nich a slouží zároveň k udržování organizační, technické a personální připravenosti složek monitorovací sítě k monitorování v havarijním režimu,

c) monitorování provádějí složky monitorovací sítě

1. v působnosti Úřadu podle tabulky č. 1 části A přílohy této vyhlášky v rozsahu a způsobem stanoveným krizovým plánem Úřadu,
2. v působnosti Ministerstva financí, Ministerstva vnitra, Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí podle tabulky č. 1 části A přílohy této vyhlášky v rozsahu a způsoby stanovenými smlouvou,
3. v působnosti držitele povolení k provozu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie v rozsahu a způsobem stanoveným zvláštním právním předpisem a v programu monitorování a ve vnitřním havarijním plánu schválených Úřadem a
4. v působnosti smluvních osob podle tabulky č. 1 části A přílohy této vyhlášky v rozsahu a způsobem stanoveným smlouvou o zajištění plnění úkolů vyplývajících z krizového plánu Úřadu,

d) monitorování v normálním režimu v období po radiační havárii slouží též k hodnocení jejích dlouhodobých vlivů.

(3) Havarijní režim je monitorováním **za radiační mimořádné situacenebo při podezření na její vznik a**

a) podílejí se na něm stálé i pohotovostní složky monitorovací sítě,

b) monitorování v havarijním režimu zahajují složky monitorovací sítě

1. v působnosti Úřadu podle krizového plánu Úřadu,
2. v působnosti Ministerstva financí, Ministerstva obrany, Ministerstva vnitra, Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí na základě smlouvy a podle pokynů Úřadu,
3. v působnosti držitele povolení k provozu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie, na němž nastala radiační mimořádná situace, v závislosti na klasifikaci stavu zařízení a v rozsahu a způsobem podle programu monitorování a vnitřního havarijního plánu,
4. v působnosti smluvních osob na základě smlouvy o zajištění plnění úkolů vyplývajících z krizového plánu Úřadu a podle pokynů Úřadu,

c) monitorování v havarijním režimu je zaměřeno zejména na:

1. potvrzení vzniku radiační mimořádné situace; jedná-li se o radiační mimořádnou situaci vzniklou na území České republiky, i na odhad dalšího vývoje radiační havárie a šíření radionuklidů v okolí jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie, na němž k radiační havárii došlo,
2. identifikaci a charakterizaci nastalého úniku,
3. odhad dávek osob,
4. hodnocení vzniklé radiační situace a přípravu podkladů pro rozhodování o opatřeních vedoucích ke snížení nebo k odvrácení ozáření osob, včetně určení území, kde jsou tato opatření z hlediska vzniklé radiační mimořádné situace doporučována,
5. hodnocení účinnosti realizovaných ochranných opatření,
6. předpověď vývoje radiační situace,

d) monitorování v havarijním režimu probíhá ve dvou fázích

1. v první fázi, která zahrnuje období před únikem radionuklidů do životního prostředí, období, kdy radionuklidy unikají do životního prostředí, a období těsně po ukončení úniku a používají se především jednodušší metody monitorování, zejména měření dávkových příkonů a dávek; monitorování je zaměřeno na rychlé získání podkladů pro rozhodování o neodkladných ochranných opatřeních a
2. ve druhé fázi, která zahrnuje období po ukončení úniku, a používají se náročnější a citlivé metody zaměřené na stanovení aktivit radionuklidů ve složkách životního prostředí, monitorování je zaměřeno na získání podkladů pro rozhodování o následných ochranných opatřeních,

e) monitorování v havarijním režimu provádějí složky

1. v působnosti Úřadu podle tabulky č. 2 části A přílohy této vyhlášky v rozsahu a způsobem stanovenými krizovým plánem Úřadu a podle pokynů Úřadu,
2. v působnosti Ministerstva financí, Ministerstva obrany, Ministerstva vnitra, Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí podle tabulky č. 2 části A přílohy k této vyhlášce v rozsahu a způsobem stanovenými smlouvou a podle pokynů Úřadu,
3. v působnosti držitele povolení k provozu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie v rozsahu a způsobem stanovenými zvláštním právním předpisem a v programu monitorování a ve vnitřním havarijním plánu schválených Úřadem a podle pokynů Úřadu,

4. v působnosti smluvních osob podle tabulky č. 2 části A přílohy této vyhlášky v rozsahu a způsobem stanoveným smlouvou o zajištění plnění úkolů vyplývajících z krizového plánu Úřadu a podle pokynů Úřadu.

(4) Složky monitorovací sítě

- a) v působnosti Úřadu používají metody a postupy a předávají výsledky monitorování v rozsahu a způsobem určeným v krizovém plánu Úřadu,
- b) v působnosti Ministerstva financí, Ministerstva obrany, Ministerstva vnitra, Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí používají k monitorování metody a postupy a předávají Úřadu výsledky monitorování v rozsahu a způsobem určeným ve smlouvě,
- c) v působnosti držitele povolení k provozu jaderného zařízení nebo pracoviště IV. kategorie používají k monitorování metody, postupy a předávají Úřadu výsledky monitorování v rozsahu a způsobem určeným v programech monitorování a zabezpečování jakosti a ve vnitřním havarijním plánu schválených Úřadem,
- d) v působnosti smluvních osob používají k monitorování metody a postupy a předávají Úřadu výsledky monitorování v rozsahu a způsobem určeným ve smlouvě o zajištění plnění úkolů vyplývajících z krizového plánu Úřadu.

(5) Přístroje používané v rámci činnosti monitorovací sítě a určené Úřadem jsou podrobovány pravidelné kalibraci, a vyžaduje-li to zvláštní předpis, také ověřování.

## **2.2 Monitorování**

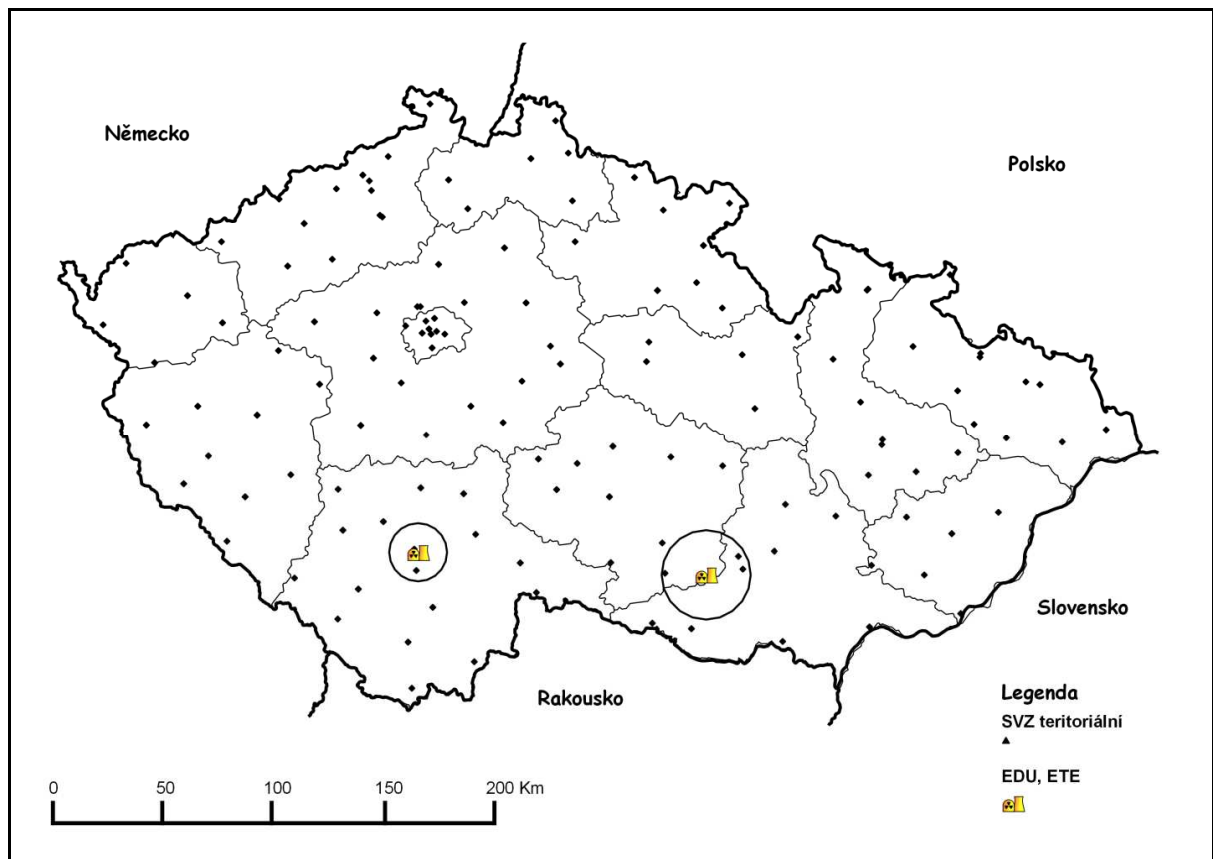
Pro účely této práce je významná zejména činnost RMS v zóně havarijního plánování (viz Nařízení vlády č. 11/1999 Sb.), v časné fázi úniku, kterou se budeme dále blíže zabývat, tzn:

- síť včasného zjištění,
- síť termoluminiscenčních dozimetřů,
- činností mobilních skupin a letecké skupiny.

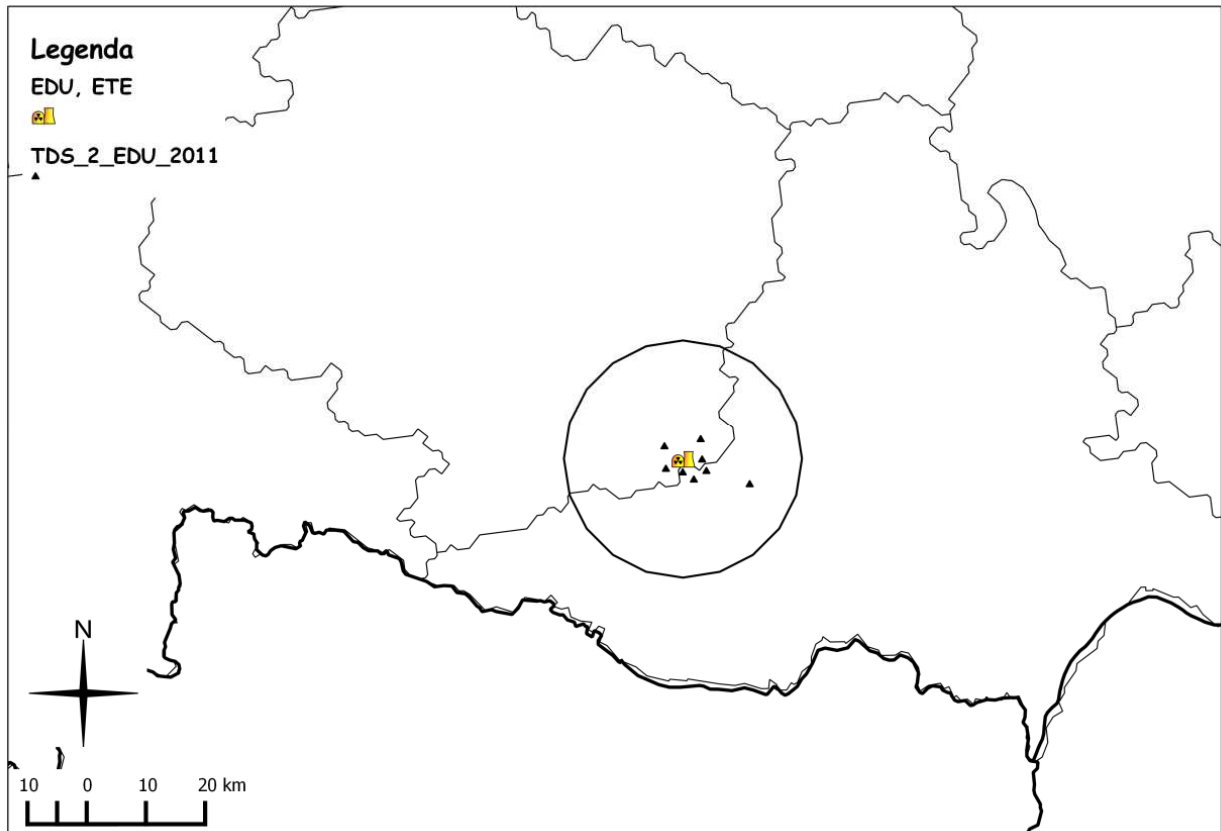
### **2.2.1 Síť včasného zjištění (SVZ)**

SVZ je tvořena:

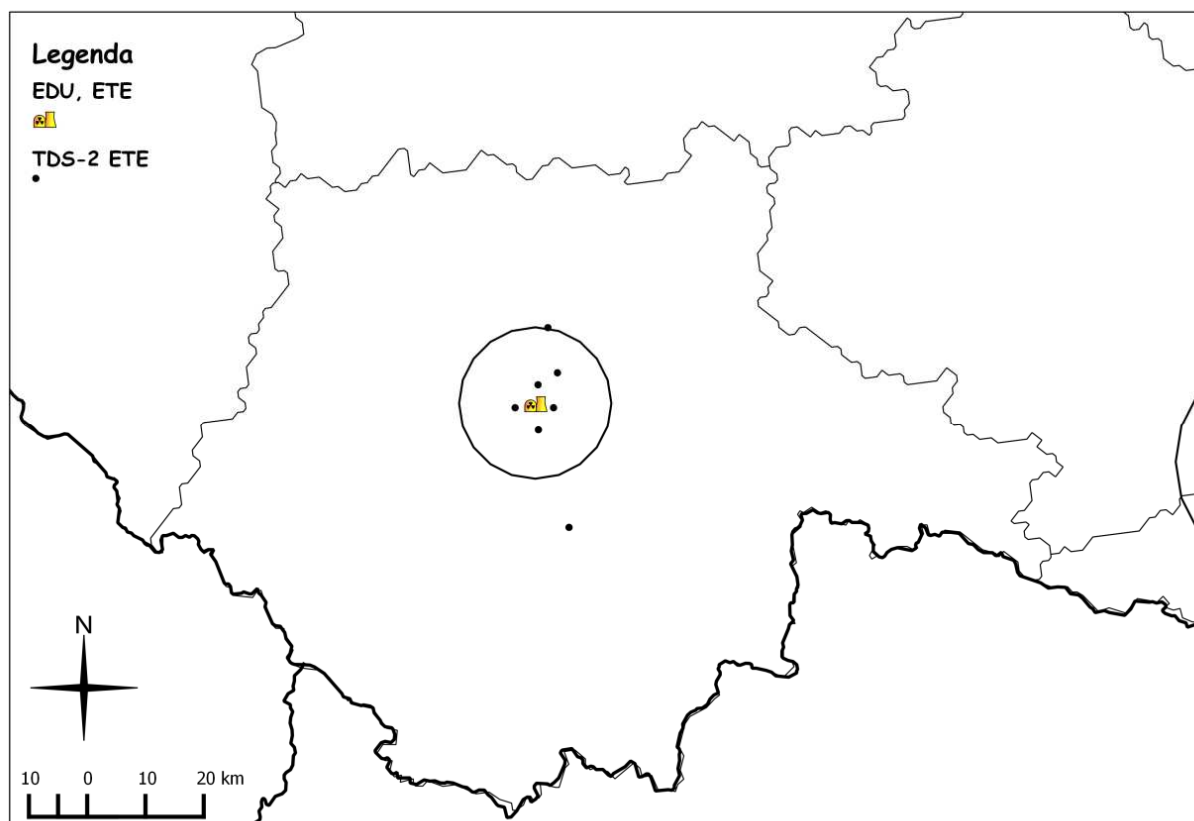
- teritoriální síť, pokrývající celé území státu (viz obr. 1)
- teledozimetrickými systémy JE Dukovany a JE Temelín (viz obr. 2a,2b).



Obr. 1 Síť včasného zjištění - Teritoriální část



Obr. 2a Síť včasného zjištění - Teledozimetrický systém JE Dukovany - 2. okruh



Obr. 2b Síť včasného zjištění - Teledozimetrický systém JE Temelín - 2. okruh

### 2.2.1.1 Teritoriální síť

Teritoriální síť sestává z 54 měřicích míst, umístěných na pracovištích ČHMÚ (28 na observatořích a 10 na stanicích automatizovaného imisního monitoringu(AIM)), 8 na pracovištích SÚJB (RC), 1 v SÚRO a 7 na pracovištích HZS. Všechna měřicí místa jsou jednotně vybavena detekčními systémy pro měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu s rozsahem měřených hodnot od cca 50nSv/h do 1Sv/h, měřenou veličinou je průměrná hodnota příkonu za 10-minutový měřicí interval (viz obr. 3a, 3b).



Obr. 3a Měřicí místo SVZ - teritoriální síť - lokalita Dukovany (ČHMÚ)





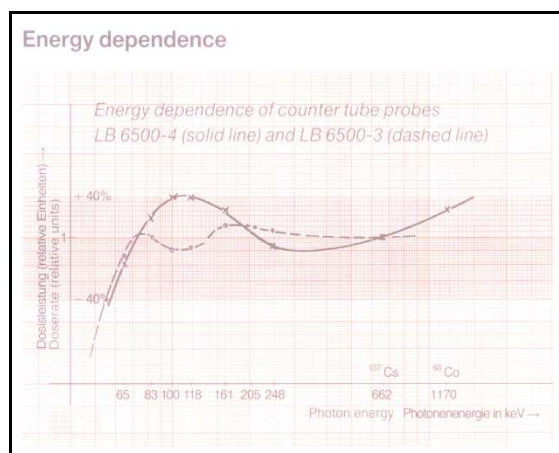
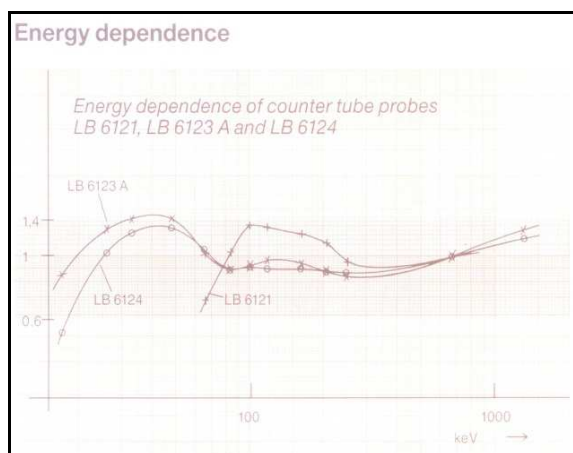
Obr. 3b Měřicí místo SVZ - teritoriální síť - lokalita Temelín (ČHMÚ)

Výsledky měření jsou průběžně předávány do centrální databáze RMS, a to

- z měřicích míst provozovaných ČHMÚ: za obvyklé radiační situace (ORaS) 1x za hodinu (vždy šestice 10-minutových hodnot za uplynulou hodinu), data jsou v centrální databázi k dispozici cca mezi 10-15. minutou následující hodiny; za radiační mimořádné situace (RaMS) se frekvence předávání hodnot zvyšuje na 2x za hodinu, data jsou v centrální databázi k dispozici cca mezi 10-15. minutou následující půlhodiny;
- z měřicích míst provozovaných SÚJB (RC), SÚRO a HZS po ukončení každého 10-minutového měřicího intervalu, data jsou v centrální databázi k dispozici do cca 5. minuty po ukončení 10-minutového měřicího intervalu.

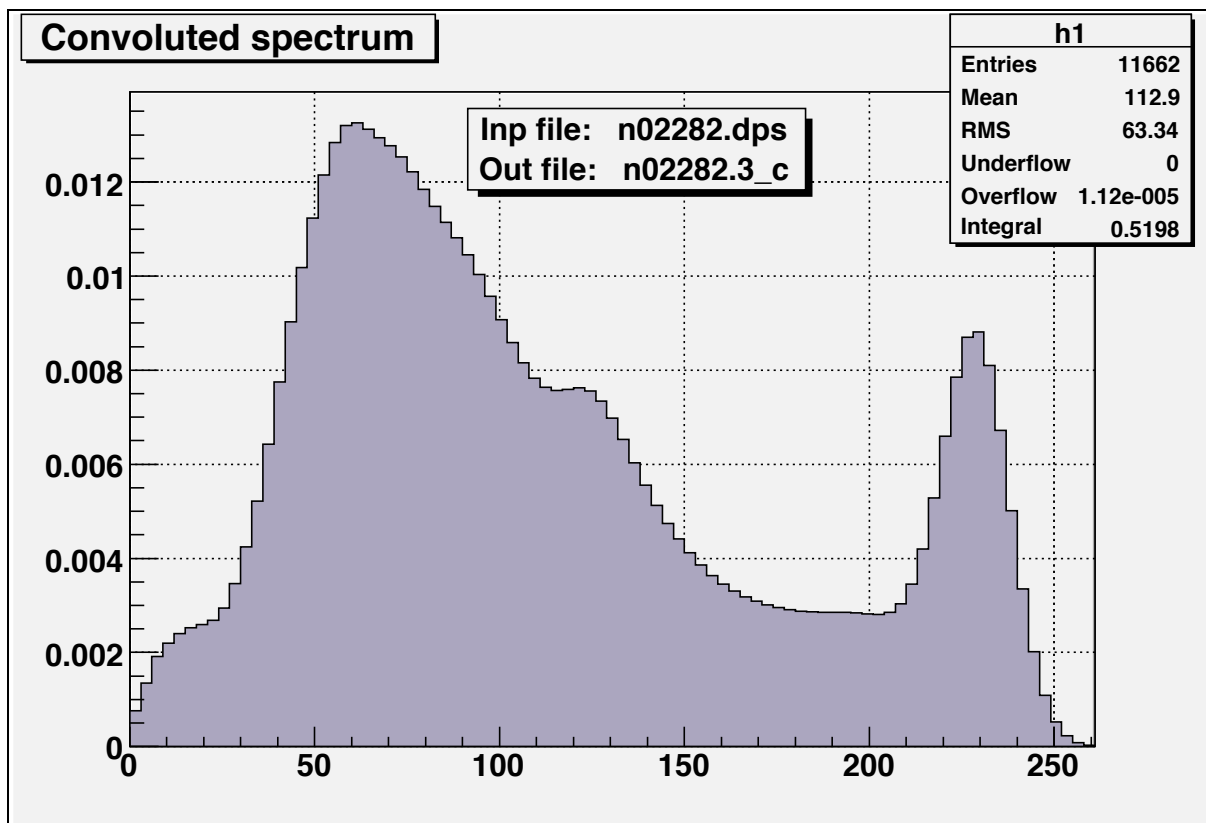
Měřicí systém je tvořen centrální jednotkou Berthold LB-111 se sondami LB-6500-3 (Geiger-Müllerův počítač pro měření vyšších hodnot příkonu od cca 100 $\mu$ Sv/h do 1Sv/h) a LB-6360 (proporcionální počítač s rozsahem od 50nSv/h do 1mSv/h), umístěnými standardně ve výšce 1m nad zemí ve volném terénu na neobdělávané půdě bez přítomnosti vyšších objektů (budovy, stromy apod.) v blízkosti měřicího zařízení (kromě případů, kdy místní podmínky neumožňují tato kritéria v plném rozsahu dodržet).

Přesnost měření lze s přihlédnutím k energetické a směrové závislosti detektorů odhadnout na +/- 25% v celém rozsahu měřených energií (cca 60-2000keV- viz obr. X1) a příkonů (cca 50nSv/h-1Sv/h).

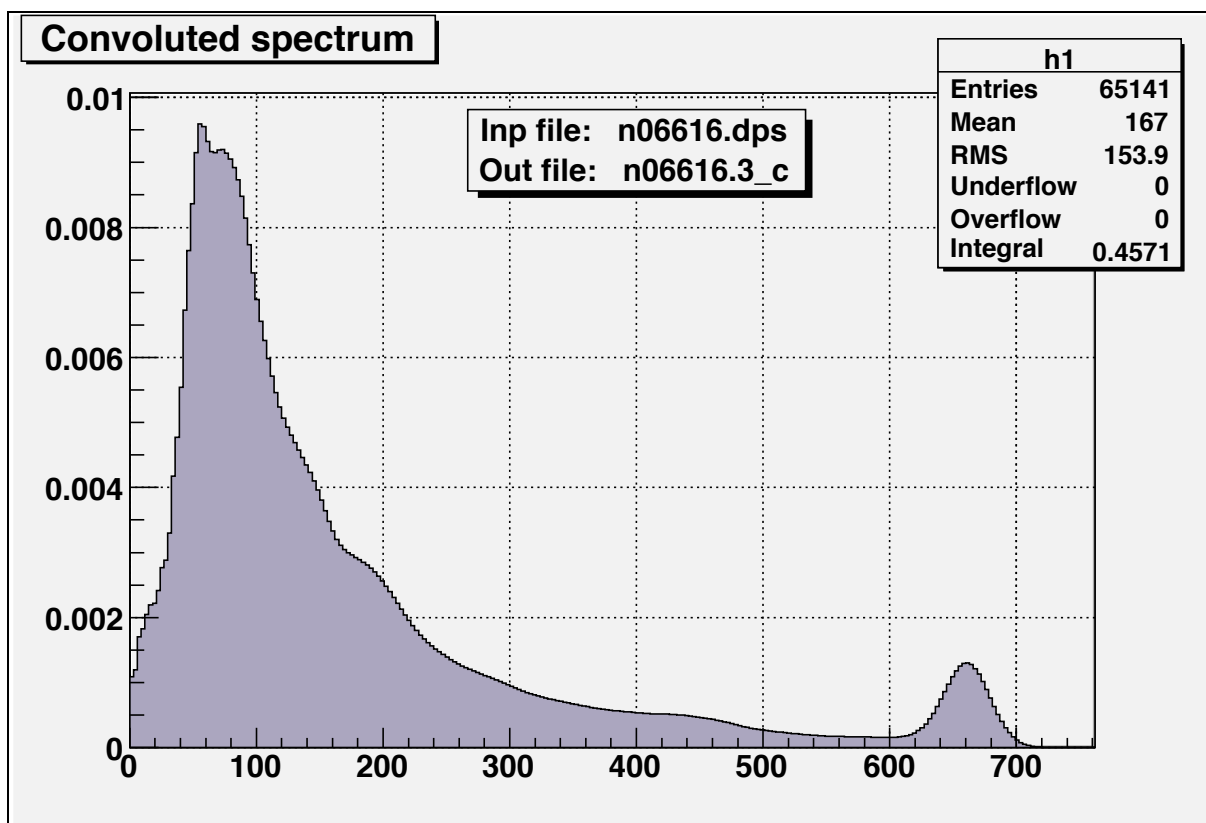


Obr. X1 - Energetická závislost detektorů LB 6123A (vlevo) a LB-6300-3 (vpravo)

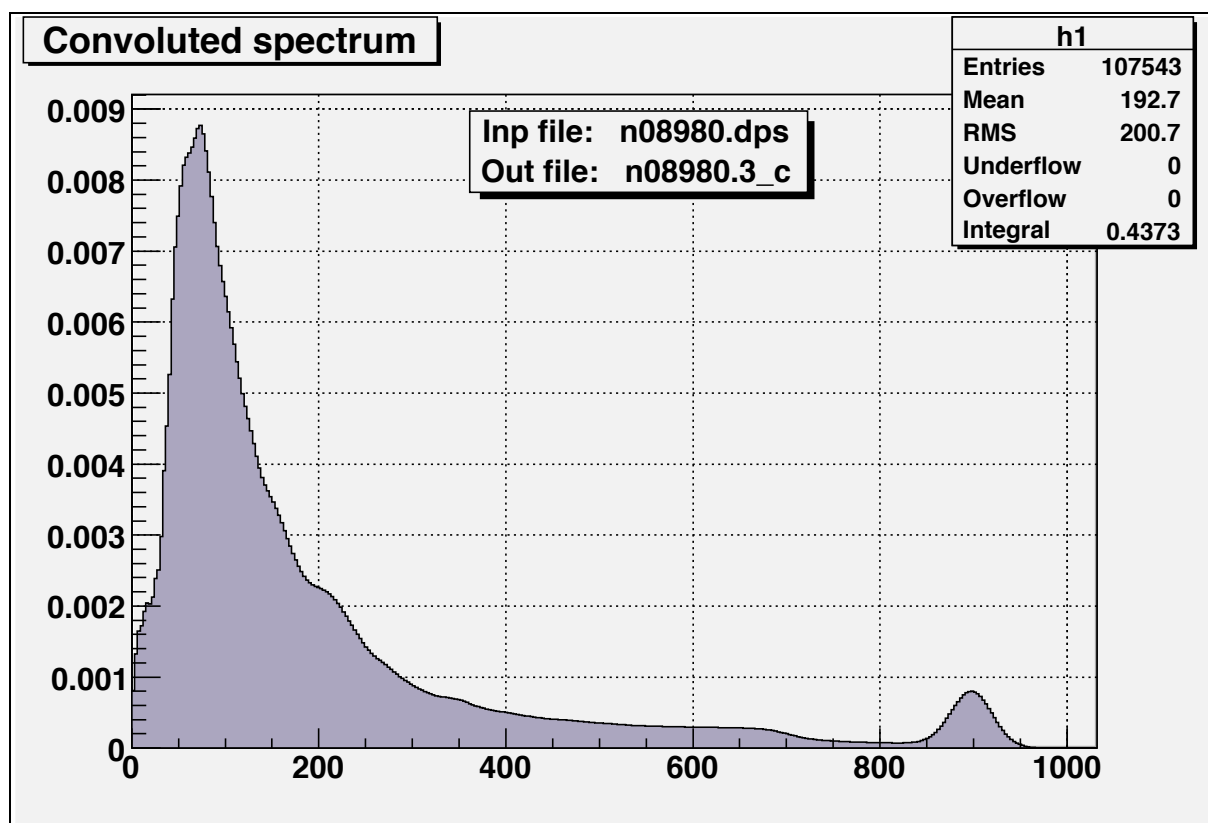
Poznámka: Vzhledem k deformaci energetického spektra v místě detektoru oproti primárnímu spektru radionuklidového zdroje při předpokladu rovnoměrného rozložení objemové aktivity radionuklidu v ovzduší (velikost oblasti významně přispívající k měřenému příkonu v místě detektoru je několik málo stovek metrů), vedoucí k posunu původního spektra směrem k nižším energiím (viz obr. X2), lze uvažovaný energetický rozsah považovat za postačující [9].



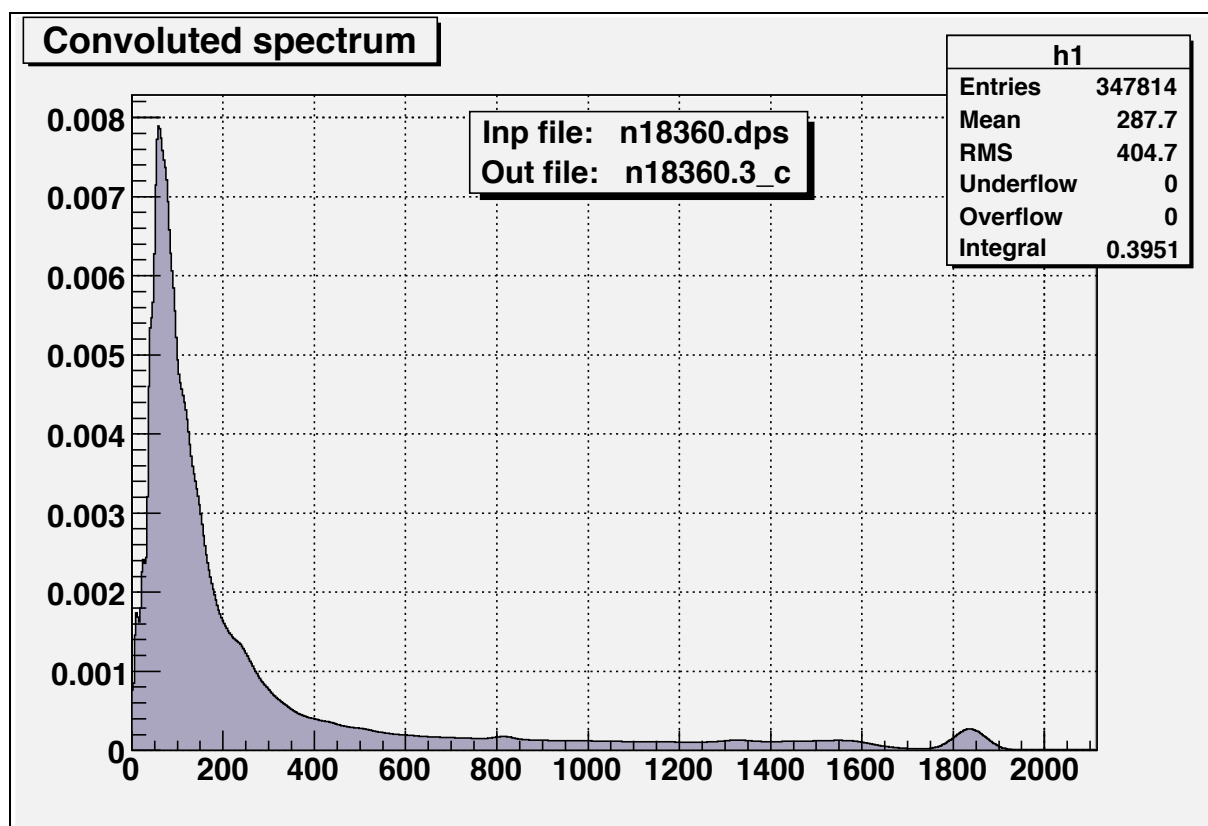
Obr. X2a - Spektrum v místě detektoru pro energii 228,2 keV



Obr. X2b - Spektrum v místě detektoru pro energii 616,6 keV



Obr. X2c- Spektrum v místě detektoru pro energii 898,0 keV



Obr. X2d- Spektrum v místě detektoru pro energii 1836,0 keV

Teritoriální síť je primárně zaměřena za detekci dopadů událostí, ke kterým došlo mimo území ČR, na území našeho státu, a tomu odpovídá i rozložení měřicích míst, pokrývajících území státu se vzdáleností mezi jednotlivými měřicími místy obecně desítky km - což znamená, že pro detekci mimořádných úniků z JE Dukovany a JE Temelín je její využití jen omezené, vesměs pouze na údaje z měřicích míst na observatořích ČHMÚ při JE Dukovany a Temelín.

Pozn.: V roce 2010 byla uvedena do provozu Síť včasného zjištění Armády ČR, tvořená 17 měřicími místy pokrývající území státu vybavenými obdobně jako měřicí místa celostátní SVZ a pracující v obdobném režimu, integrace výsledků, předávaných za SVZ AČR do RMS resp. celostátní SVZ, probíhá od r. 2011.

### 2.2.1.2 Teledozimetrický systém (TDS)

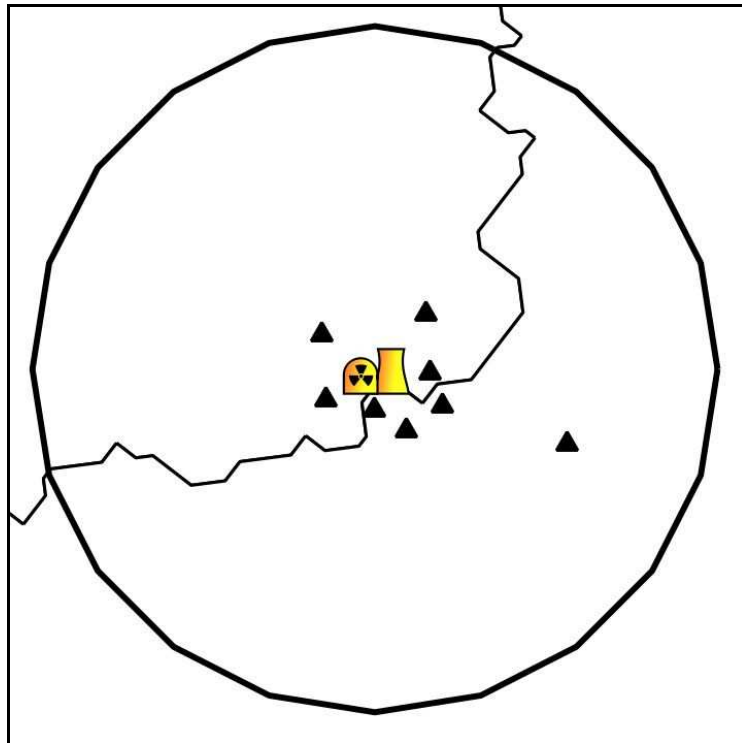
Základním detekčním systémem, monitorujícím případný únik radioaktivních látek z JE Dukovany a Temelín mimo areál JE do životního prostředí, je teledozimetrický systém (TDS - viz §3 odst.2a výše) provozovaný držitelem povolení (ČEZ a.s.), tvořený dvěma okruhy

detektorů - vnitřním okruhem (TDS-1) s detektory umístěnými na hranici areálu JE, avnějším okruhem (TDS-2) s detektory umístěnými v obcích v okolí JE.

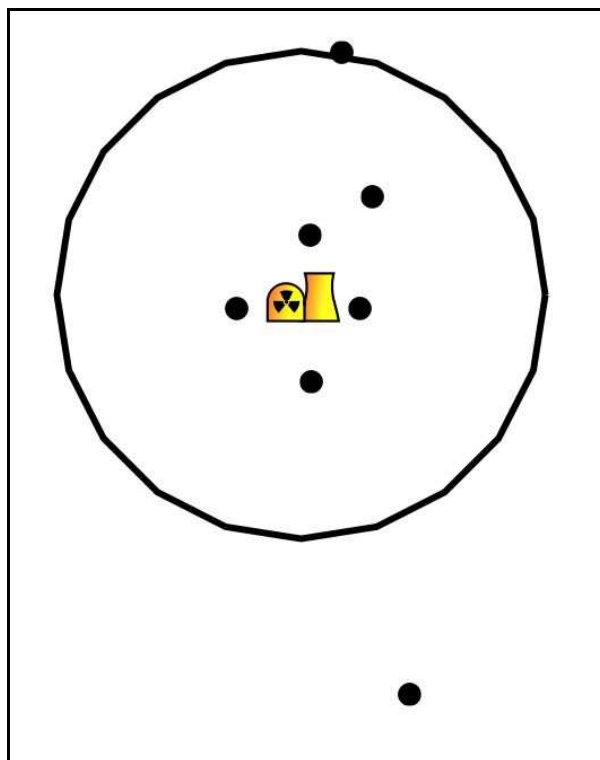
TDS provádí kontinuální měření dávkového příkonu s on-line předáváním dat na centrální datové úložiště příslušné JE, odkud jsou výsledky měření dále průběžně předávány do centrální databáze RMS, kde se ukládají - ve stejné časové matici jako výsledky měření teritoriální sítě - jako průměrné hodnoty příkonu za 10-minutový měřicí interval. Data jsou v centrální databázi k dispozici do cca 5. minuty každého 10-minutového intervalu.

Teledozimetrický systém JE Dukovany je tvořen 27 měřicími místy 1. okruhu (TDS-1) umístěnými na hranici areálu JE, a 8 měřicími místy 2. okruhu (TDS-) umístěnými v obcích v okolí JE (viz obr.4a). Oba okruhy TDS jsou vybaveny měřicími systémy Bitt RS-03/X, vybavenými proporcionálními detektory s měřicím rozsahem příkonů od 10nSv/h do jednotek Sv/h, detektory jsou umístěny ve výšce 2,5 metru nad zemí.

Teledozimetrický systém JE Temelín je tvořen 24 měřicími místy 1. okruhu (TDS-1) umístěnými na hranici areálu JE (na oplocení), a 7 měřicími místy 2. okruhu (TDS-2) umístěnými v obcích v okolí JE (viz obr.4b). Okruh TDS-1 je vybaven měřicími systémy Rados RD-02, používající Geiger-Müllerovy počítače s měřicím rozsahem příkonů od 10nSv/h do až 10Sv/h, detektory jsou umístěny ve výšce 1,5 metru nad zemí. Okruh TDS-2 je vybaven měřicími systémy Eberline FHZ-621, používající proporcionální detektory s měřicím rozsahem příkonů od 10nSv/h, detektory jsou umístěny ve výšce 2,5 metru nad zemí.



Obr. 4a Síť včasného zjištění - Teledozimetrický systém JE Dukovany - 2. okruh - detail



Obr. 4b Síť včasného zjištění - Teledozimetrický systém JE Temelín - 2. okruh - detail

Součástí monitorování příkonu v ZHP jsou i mobilní měřicí systémy pro monitorování dávkového příkonu vybavené i komunikační jednotkou, za normální situace uložené v JE,

kteřé by v pŕípadě úniku radionuklidů z JE do životního prostředí byly operativně rozmístěny v ZHP v pŕedem vytipovaných lokalitách v ohrožených sektorech (po směru větru od zdroje šíření) a doplnily bytak TDS-2 o několik (jednotky ks) dalších měřicích míst.

Přesnost měření TDS lze s přihlédnutím k energetické a směrové závislosti detektorů odhadnout na +/- 25% v celém rozsahu měřených energií a příkonů.

### **2.2.2 Sít' termoluminiscenčních dozimetrů (TLD)**

Sít' TLD je - obdobně jako SVZ - tvořena:

- teritoriální sítí, pokrývající celé území státu,
- lokálními sítěmi, rozmístěnými v okolí JE Dukovany a JE Temelín.

#### **2.2.2.1 Teritoriální sít' TLD**

Teritoriální sít' je tvořena 184 měřicími body, pokrývajícími víceméně rovnoměrně území státu (viz obr. 5), pŕičemž cca 1/3 detektorů bodů je umístěna v budovách paralelně s detektory umístěnými v téže lokalitě na volném prostranství, pro možnost odhadu stínícího faktoru budov. Detektory jsou umístěny ve výšce 1 metr nad zemí.

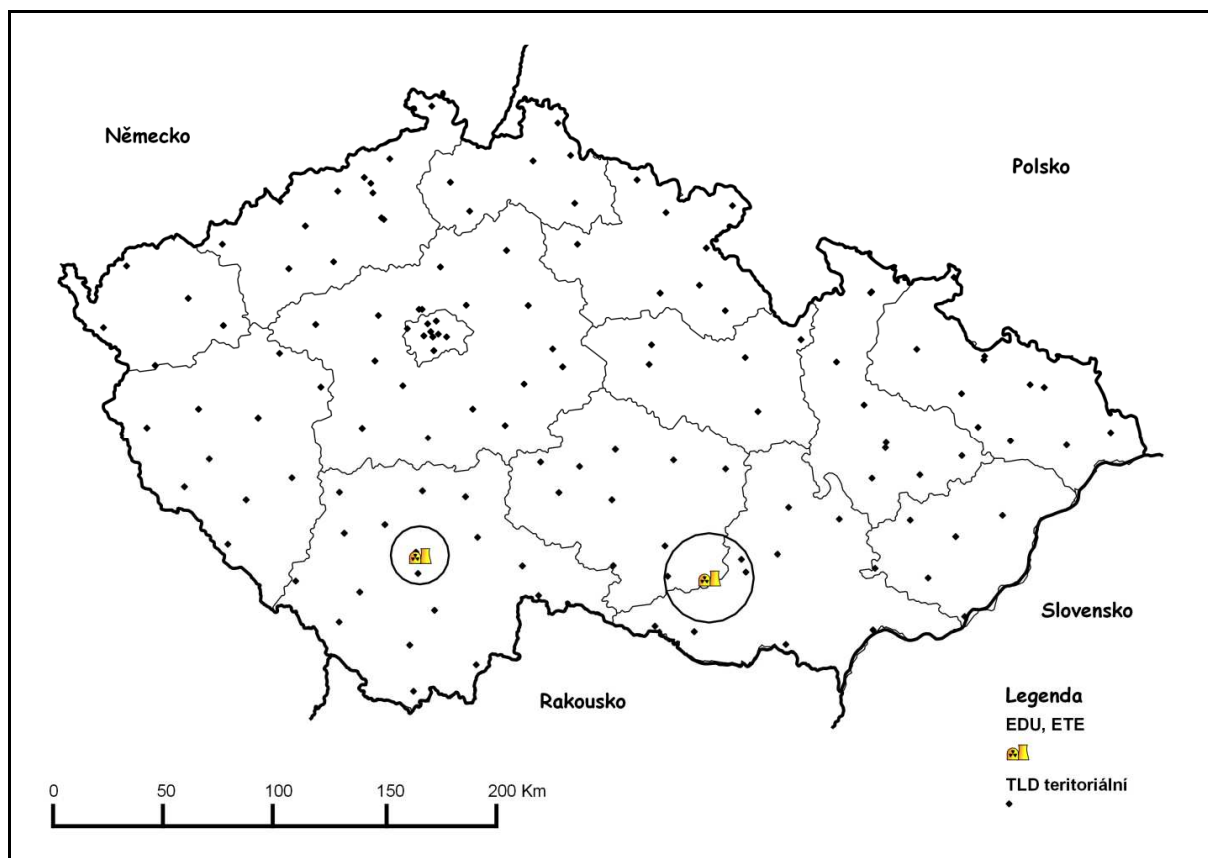
Detektory z měřicích míst jsou pro vyhodnocení sváženy do centrální laboratoře TLD v SÚRO vybavené pŕíslušným vyhodnocovacím zařízením, kde jsou rovněž pŕipravovány „vynulované“ detektory pro rozmístění na měřicích bodech v dalším monitorovacím období.

Výsledky monitorování jsou pŕedávány do centrální databáze RMS ve formě hodnoty pŕůměrného příkonu za monitorovací období

Monitorovací období za ORaS je tři měsíce (kalendářní čtvrtletí), za RaMS můž e být monitorovací období podle potřeby zkráceno.

Měřicí rozsah detektorů je od cca 25 $\mu$ Sv za monitorovací období.





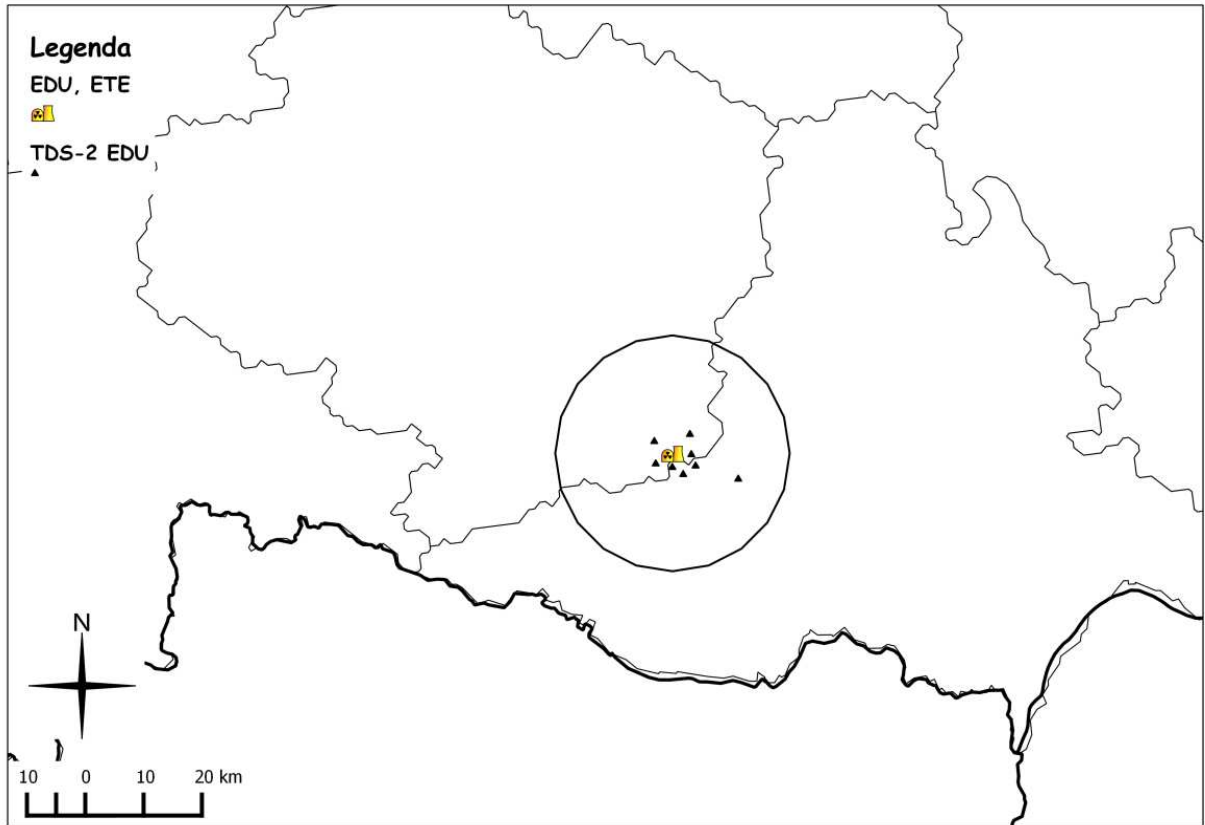
Obr. 5 Síť termoluminiscenčních dozimetrů - teritoriální část

### 2.2.2.2 Lokální sítě TLD

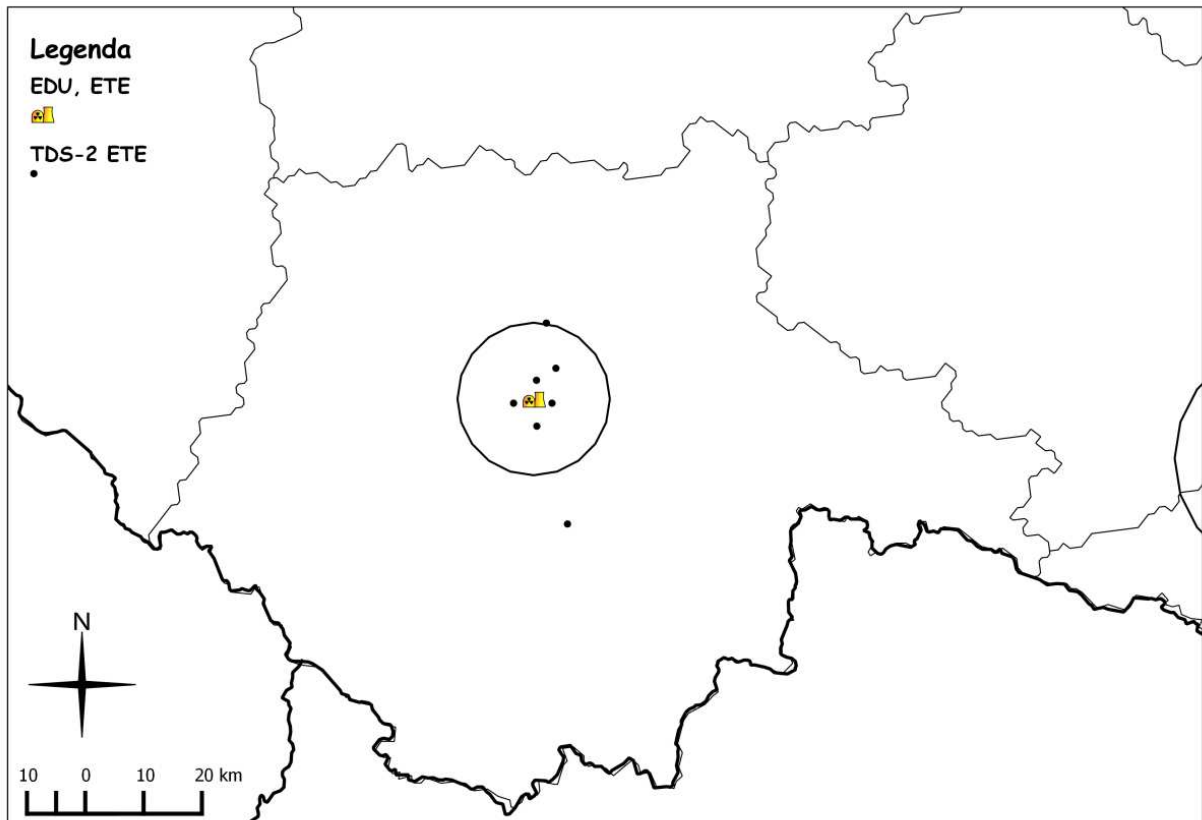
Lokální sítě, umístěné v ZHP JE Dukovany a JE Temelín, jsou provozovány jednak SÚJB (RC) a SÚRO, jednak držitelem povolení (ČEZ a.s.).

#### Lokální sítě provozované SÚJB (RC) a SÚRO

jsou tvořeny 12 měřicími místy v ZHP EDU (viz obr. 6a) a 9 měřicími místy v ZHP ETE (viz obr. 6b), detektory jsou umístěny ve výšce 1 metr nad zemí. Monitorovací období jsou obdobná jako v teritoriální síti TLD.



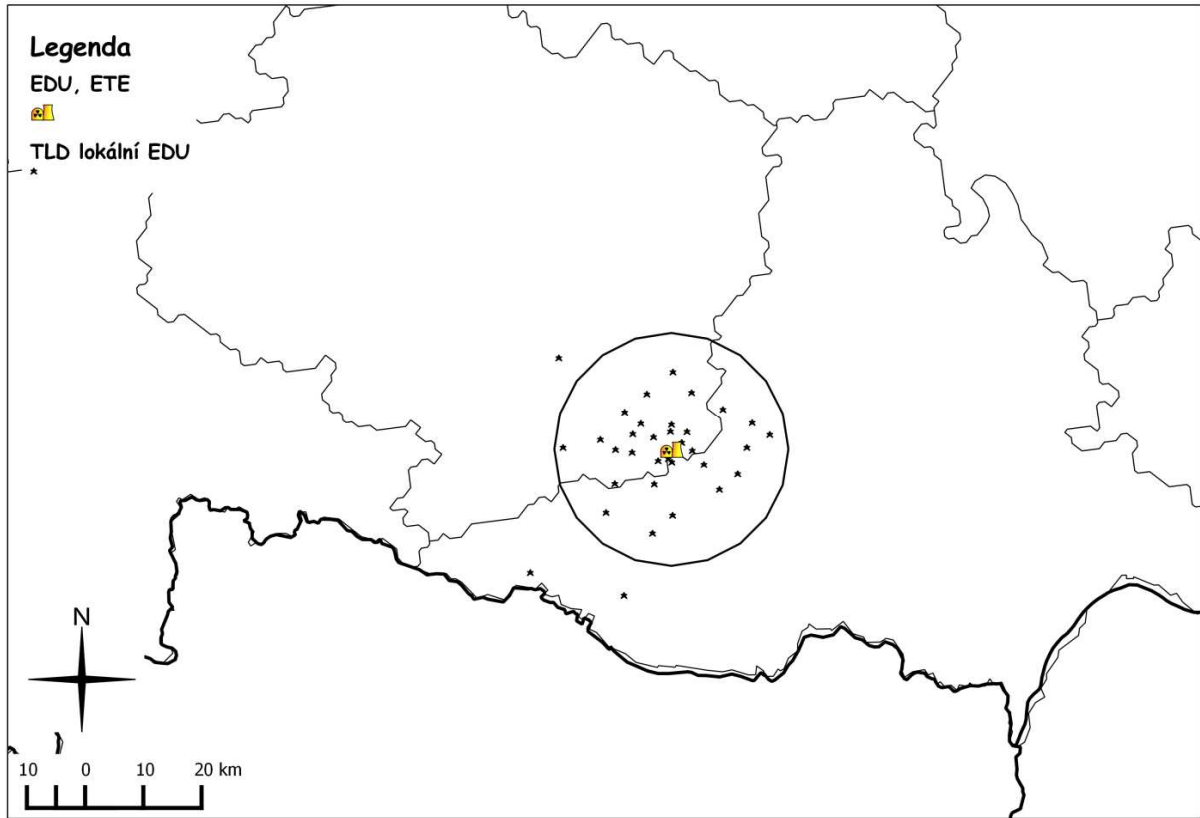
Obr. 6a Síť termoluminiscenčních dozimetrů - lokální síť SÚJB (RC) a SÚRO - JE Dukovany



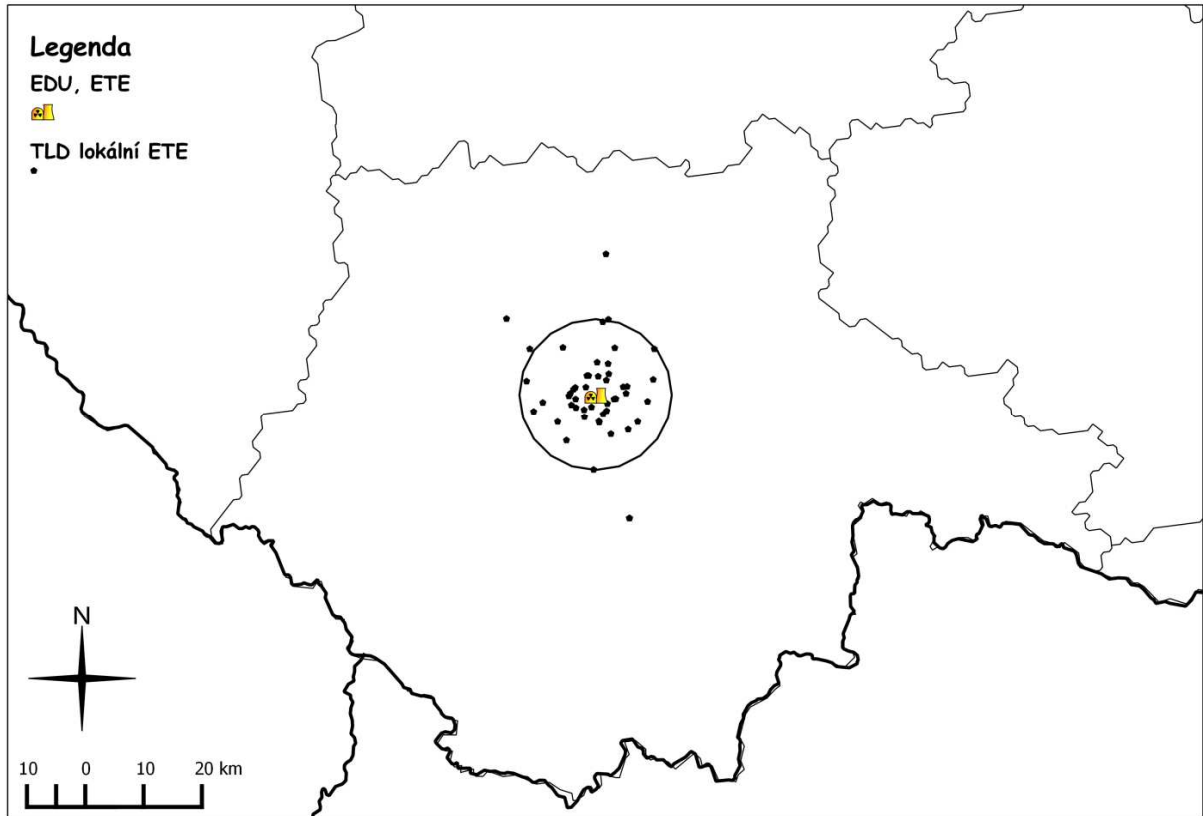
Obr. 6b Síť termoluminiscenčních dozimetřů - lokální síť SÚJB (RC) a SÚRO - JE Temelín  
Lokální síť provozovaná držitelem povolení (ČEZ, a.s.)

jsou tvořeny 36 měřicími místy v ZHP EDU (viz obr. 7a) a 52 měřicími místy v ZHP ETE (viz obr. 7b), detektory jsou umístěny v ZHP EDU ve výšce 3 metry nad zemí, v ZHP ETE ve výšce 1 metr nad zemí. Vyhodnocování detektoru probíhá v laboratořích radiační kontroly okolí (LRKO) držitele povolení. Monitorovací období jsou obdobná jako v teritoriální síti TLD.

Vzhledem k nutnosti provádět vyhodnocování detektorů v laboratořích TLD jsou výsledky z monitorování sítěmi TLD dostupné až s určitým časovým odstupem (v řádu dnů).



Obr. 7a Sít' termoluminiscenčních dozimetrů - lokální sít' držitele povolení - JE Dukovany



Obr. 7a Síť termoluminiscenčních dozimetrů - lokální síť držitele povolení - JE Temelín

## 2.3 Mobilní skupiny, letecká skupina

Nedílnou součástí RMS jsou i:

- **Mobilní skupiny (MS)**, které provádějí monitorování dávek, dávkových příkonů a aktivity radionuklidů v terénu, odběry vzorků složek životního prostředí a rozmístění a výměnu dozimetrů v sítích termoluminiscenčních dozimetrů.
- **Letecká skupina (LeS)**, která provádí v případě potřeby monitorování velkoplošných území (měření dávkových příkonů; plošných resp. hmotnostních aktivit umělých resp. přírodních radionuklidů). Její činnost je zajišťovaná resortem SÚJB (SÚRO) ve spolupráci s resortem Ministerstva obrany (AČR).

### 2.3.1. Činnost mobilních skupin

Pro případ radiační havárie mají obě naše jaderné elektrárny (JE) vypracovány vnitřní havarijní plány na základě analýz možných havarijních sekvencí (v ČR mají JE povinnost analyzovat dopady všech potenciálních radiačních havárií, které mají pravděpodobnost vzniku vyšší než  $10^{-7}$ ). Tyto plány jsou provázány s vnějšími havarijními plány, kde kromě jiného jsou uvedeny i postupy pro plánování a zavádění ochranných opatření v okolí jaderné elektrárny v tzv. Zóně havarijního plánování (ZHP) s cílem zmírnit eventuální následky vzniklé radiační havárie.

ZHP jsou stanoveny do vzdálenosti 20 km u JE Dukovany a 13 km JE Temelín. V případě podezření na možný únik radioaktivních látek do okolí JE je obyvatelstvu v ZHP vydán signál k ukrytí, jodové profylaxi a k vyčkání dalších informací pro případ nutné evakuace. Pro některé havarijní sekvence, které předpokládají počátek úniku radioaktivních látek do okolí nejdříve po 10 hodinách od počátku havárie, je teoreticky možná evakuace obyvatelstva ještě před příchodem kontaminovaného mraku, ale při náročnosti takovéto akce je vhodnější obyvatelstvo ukryt (alespoň ty, co nemohou provést řízenou samoevakuaci) a vyčkat dalších informací. Předpokládá se, že ukrytí by nemělo trvat déle než 2 dny. Další instrukce/pokyny tj. rozhodnutí o ukončení, resp. prodloužení či rozšíření ukrytí a o eventuálním provedení evakuace ukrytých obyvatel by již byly vydány na základě dalších informací založených na znalosti reálné situace, tj. velikost úniku, meteorologických podmínkách na daném území a hlavně výsledků **měření prováděných přímo v terénu**.

V časné fázi radiační havárie je tedy nutné urychleně provést taková měření, která budou sloužit jako podklad pro rozhodnutí o těchto neodkladných ochranných opatřeních. Důležitými informacemi, které má systém krizového řízení v ČR k dispozici před vlastním únikem radionuklidů, jsou modelové prognózy vznikající radiační události na JE získané na základě reálných technologických údajů, reálné meteo-situace a dopředu napočítaných havarijních sekvencí. Další významnou informací již během úniku jsou hodnoty dávkových příkonů z teledozimetrické sítě dozimetrů rozmístěných kolem havarované elektrárny (více než 25 detektorů). Tyto informace mohou napomoci identifikovat směr úniku a spolu s predikčními modely pak nasměrovat trasy zasahujících mobilních skupin na počátku měření.

V další (střední a pozdní) fázi je pak nutné rozhodnout o následných ochranných opatřeních, tj. o regulaci/zákazu resp. uvolnění prodeje potravin ze zasaženého území, o opatřeních v zemědělství, vodním hospodářství, atp.

Činnost každé MS se v případě radiační havárie vždy řídí příkazy krizového managementu, nicméně obzvláště pro časnou fázi je třeba mít připravené a nacvičené postupy a předpřipravené pojezdové trasy, dokumentaci, apod.

### **2.3.2 Posloupnost činností**

#### **a) Časná fáze:**

Pro rozhodování v časné (únikové a podnikové) fázi radiační havárie je nutné co nejrychleji zmapovat kontaminované území. Ideální by bylo mapování pomocí bezpilotních prostředků, ty ale v současné době k dispozici nejsou a v nejbližší době ani nebudou mezi jiným díky legislativním problémům, takže je třeba, aby měření dávkových příkonů (DP) provedly mobilní skupiny a letecká skupina.

Současná strategie vychází z předpokladu, že monitorování MS a LeS bude zpravidla zahájeno po skončení úniku radionuklidů. (Pozn.: V závislosti na typu události a reálných meteo-podmínkách může dojít k situaci, kdy některá měření by se musela zahájit již v průběhu úniku. Tato eventualita by ale přicházela v úvahu jen v případech, kdy délka úniku by znemožnila včasné měření pro rozhodnutí o nutnosti ukrytí resp. evakuaci obyvatelstva a hlavně by probíhající únik nesměl významně kontaminovat posádku (z důvodu ochrany členů MS a LeS) ani přístrojové vybavení monitorujících skupin (z důvodu interpretovatelnosti výsledných měření.) Měřené hodnoty dávkových příkonů v daném místě a čase pomohou upřesnit výše uvedenou modelovou prognózu s cílem získat co nejdříve podklad pro

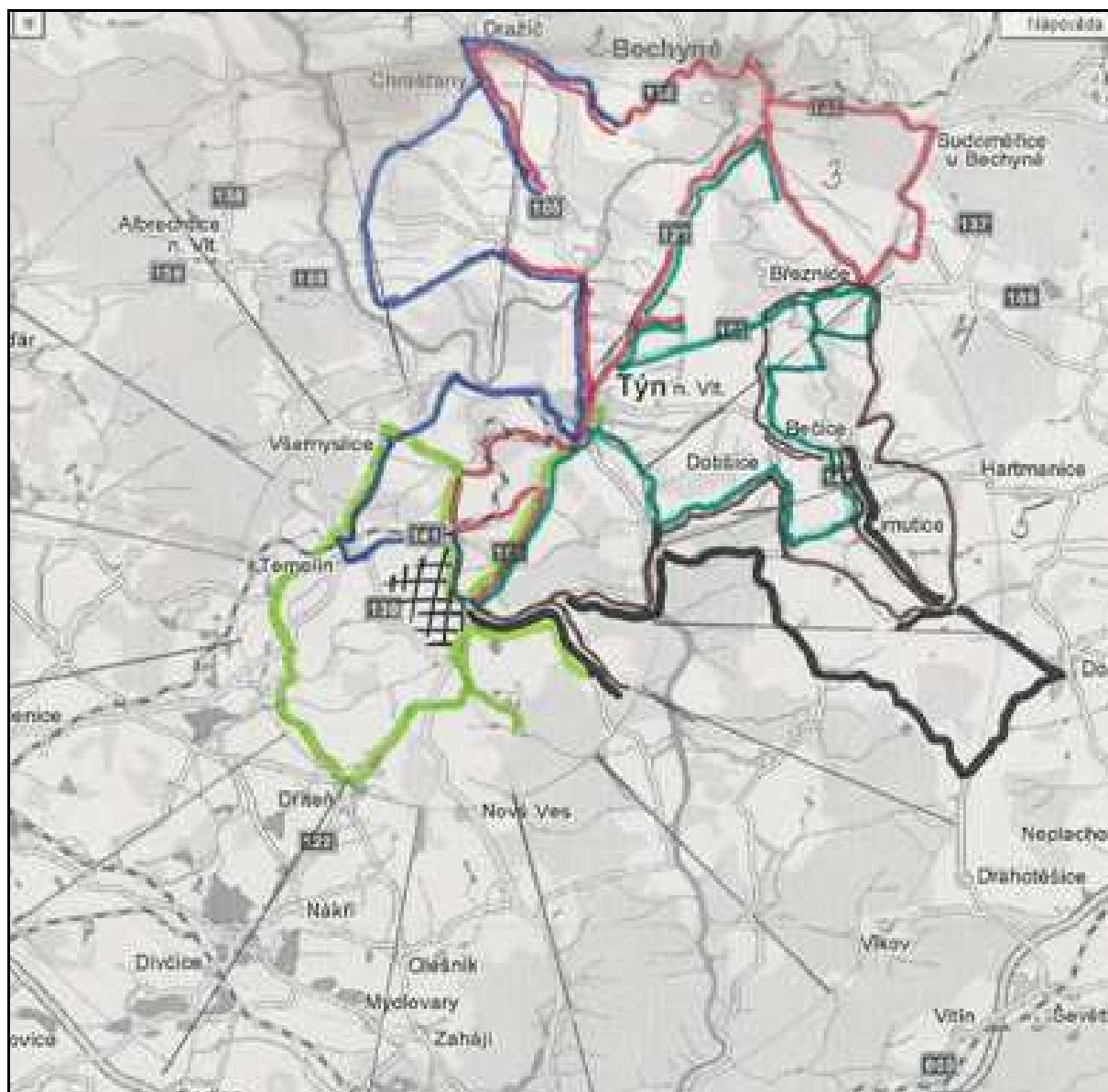
rozhodování - zda provést evakuaci, a pokud ano, kdy a kde. Upřesněná prognóza dovolí upravit strategii monitorování „uvnitř“ zasaženého území.

Území, které pokrývá ZHP kolem obou JE, je podle směru větru rozděleno na 16 sektorů. Pro první etapu měření v případě radiační havárie je v okolí JE naplánováno 17 pojezdových tras. Každá trasa pokrývá 3 sousední sektory, poslední 17. trasa je vedena po blízkém okolí JE. Dle výše zmíněných predikčních modelů a reálné meteorologické situace se odhadne počet zasažených sektorů a provede jejich výběr. Na počátku měření po přechodu kontaminovaného mraku je nutné proměřit všechny zasažené sektory a sousední sektory z každé strany zasažených, 1 MS by projížděla 17 trasu, tedy trasu po okolí havarované JE. Úkolem mobilních skupin je projet po předem připravených trasách v ZHP ve vybraných sektorech v obou směrech za současného měření dávkového příkonu (odhad dávky za daný časový interval). Dle výsledků z měření tras a korigovaných predikčních modelů pak Krizový štáb (KŠ) resp. Regionální krizový štáb (RKŠ) rozhodne o další činnosti MS: buď opakovaně projíždět předdefinované trasy a měřit dávkový příkon nebo měřit dávkový příkon přímo ve vytipovaných vesnicích s ukrytým obyvatelstvem (Obr. 7a, 7b).

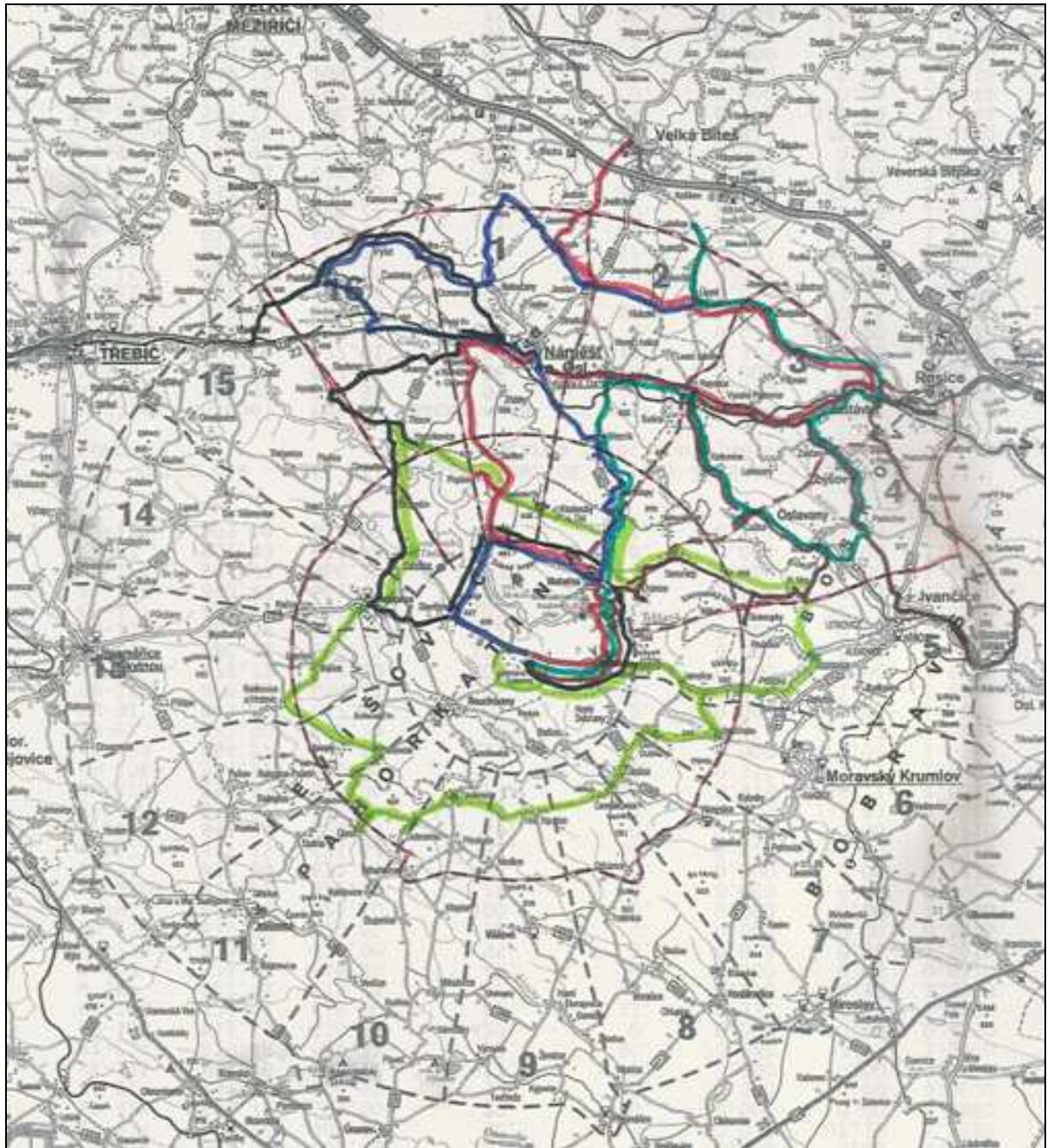
Za hranicí ZHP již monitorovací trasy nejsou předem stanoveny, avšak může nastat situace, kdy bude nutné i tuto oblast pečlivě a rychle proměřit, neboť zde nebudou a priori obyvatelé ukryti a bude nutné rychle rozhodnout, zda a pakliže ano, kde a jaká neodkladná opatření je třeba zavést. Proto i tady je třeba počítat se MS na provedení rychlého mapování dávek a eventuálně rozvézt dozimetry. Trasy těchto skupin by byly zadány KŠ resp. RKŠ pomocí průjezdních bodů v závislosti na stávající situaci.

Za hranicí ZHP již monitorovací trasy nejsou předem stanoveny, avšak může nastat situace, kdy bude nutné i tuto oblast pečlivě a rychle proměřit, neboť zde nebudou a priori obyvatelé ukryti a bude nutné rychle rozhodnout, zda a pakliže ano, kde a jaká neodkladná opatření je třeba zavést. Proto i tady je třeba počítat se MS na provedení rychlého mapování dávek. Trasy těchto skupin by byly zadány KŠ resp. RKŠ pomocí průjezdních bodů v závislosti na stávající situaci.





Obr. 7a - Trasy v ZHP JE Temelín v sektorech 1 -5 a trasa 17 (světle zelená)



Obr. 7b - Trasy v ZHP JE Dukovany v sektorech 1 - 4, 16 a trasa 17 (světle zelená)

Součástí CRMS je i systém termoluminiscenčních dozimetrů rozmístěných po území ČR s vyšší hustotou v okolí JE. V závislosti na reálné situaci by MS na základě pokynu KŠ měly též za úkol provést výměnu detektorů v této síti.

Významným pomocníkem při monitorování kontaminovaného území v první fázi po havárii může být letecká skupina [8]. Během leteckého měření lze za relativně krátkou dobu

proměřit velké území. Je zřejmé, že v první fázi není nutné proměřit potenciálně kontaminované území s vysokou citlivostí, úkolem LeS je provést „kontrolu“ výsledků predikčních modelů. Vrtulník s posádkou by létal nad zasaženým územím (polygonem) po rovnoběžných linkách, kdy směr linek by byl dán terénem (např. v případě údolí je vhodnější létat ve směru údolí) a tvarem vytipovaného polygonu (velké časové ztráty nastávají při otáčkách a přechodu z jedné linky na druhou, proto je vhodnější nenavrhovat linky příliš krátké). Rozestup linek je nutný zadat s ohledem na nutnost rychlého odhadu kontaminace na polygonu. Rozestupy mezi linkami je možné pro první fázi zvolit tak, aby monitorovaný polygon byl změřen co nejdříve, zároveň však s dostatečnou informací o hranicích kontaminovaného území, tedy 1 -2 km, jak tomu bylo např. při havarijním cvičení Zóna 2010 [9]. Výsledky měření je nutné zpracovat do map tak, aby bylo možné potvrdit a upřesnit hranice kontaminace. Pro tuto fázi je dostačující měření dávkových příkonů (pokud možno přepočtených na 1m nad povrchem země). Výsledky takovéhoto měření budou mít poměrně velkou chybou, ale pro první odhady, obzvláště s následným proměřením kritických bodů pozemními skupinami, budou dostačující.

Upřesňující měření musí proběhnout nejpozději do 48 hodin od vyhlášení ukrytí. Tato doba je ještě zkrácena o dobu, po kterou unikaly radioaktivní látky z reaktoru a MS a LeS nemohly monitorovat.

Využití leteckých měření v první fázi havárie závisí na možnostech vrtulníku, neboť - podobně jako u MS - je potřeba začít monitorovat co nejdříve po přejití mraku. Zde může hrát důležitou roli denní i roční období, počasí, ale taktéž doba potřebná ke vzletu vrtulníku - u AČR činí 12 hodin, u PČR je doba kratší. Proto je pro první fázi nutná spolupráce s PČR, pro pozdní fázi, kde čas již nehraje takovou roli, lze využít vrtulník AČR.

#### b) **Střední a pozdní fáze**

Veškerá měření ve **střední a pozdní fázi** mají za cíl získat podklady pro zavádění následných, příp. dlouhodobých opatření - ukončení evakuace, vyloučení potřeby relokace, regulaci potravních řetězců apod., a tím odvrátit následné nezdůvodněné ozáření obyvatelstva.

V této fázi MS a LeS by prováděly již více specializované monitorování - plošně detailnější měření dávek, kontaminace půdy pomocí gama spektrometrie, sběr/rozvoz termoluminiscenčních dozimetrů, odebírání a analýzy vzorků potravních řetězců, životního prostředí, pod.

Úkolem **letecké skupiny** by bylo podrobné mapování zasažených (i potenciálně zasažených) území s důrazem na ohraničení kontaminovaného území a na vyhledávání tzv. „horkých míst“ - relativně malých ploch s výrazně zvýšenou kontaminací oproti okolí. Podobně jako při první fázi probíhá měření na předem definovaných rovnoběžných linkách. Vzhledem k tomu, že tato měření nejsou již omezena časově tak, jako při první fázi, je zde možné (a z důvodu přesnosti i nutné) zvolit rozestup linek podstatně menší: 50 -250 m. Výsledkem monitorování jsou opět dávkové příkony přepočtené na 1m nad zemí, ale pokud není kontaminant složitá směs (což po několika dnech od havárie již většinou není), je možné provést odhady plošných aktivit nejdůležitějších (umělých) radionuklidů -  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{131}\text{I}$ .

MS by na lokalitách vytipovaných leteckou skupinou (horká místa) upřesňovaly výsledky na zemi

- měření dávkových příkonů a to jak na místě, tak za jízdy v automobilu,
- spektrometrickými měřeními na místě a
- prováděly by sběr vzorků životního prostředí s jejich následným proměřením ve spektrometrické laboratoři.

Pro střední a pozdní fázi čas již není tak kritický, monitorování lze provádět s ohledem na místo, rozsah a úroveň kontaminace, roční období, apod.

### **2.3.3 Počet a vybavení mobilních skupin a letecké skupiny**

#### **Mobilní skupiny**

V ČR v rámci CRMSv současnosti pracuje 36 mobilních skupin z rezortů SÚJB (18 MS), MO (2 MS), MV (1 MS PČRa 5 MS GŘ HZS), MF (8 MS) a 2 MS držitele povolení (Je Dukovany a Temelín), Řízením CRMS byl pověřen SÚJB, v jeho kompetenci je tedy i zabezpečení přípravy a řízení činnosti MS. Na metodickém vedení MS se spolu se SÚJB podílí SÚRO.

**Vybavení** jednotlivých mobilních skupin vychází z jejich postavení v systému a prováděných činností (viz tab. 1); pro každou fázi nehody je nutné trochu jiné vybavení:

- **časná fáze** - pro měření a mapování dávek musí být všechny MS vybaveny detektory dávkového příkonu gama a měřícími systémy pro pojezdová měření, GPS pro přesné stanovení polohy a některé MS i sadou příslušných termoluminiscenčních nebo elektronických dozimetrů. Samozřejmostí jsou osobní signální elektronické dozimetry.

- **střední a pozdní fáze** - MS musí být vybaveny přístroji používanými v časně fázi, navíc je třeba mít pro spektrometrická měření scintilační detektor, resp. polovodičový detektor (plus spektrometrickou trasu není-li součástí detektoru), nástroje pro odběr vzorků životního prostředí, včetně přenosného odběrového zařízení na odběr aerosolů, ev. jódu (jódomé patry na toto zařízení).

Dle přístrojových požadavků lze MS rozdělit do tří skupin (tab. 1) - skupiny s nejjednodušším vybavením - základní skupiny A, skupiny schopné provést i jednoduchá spektrometrická měření - základní skupiny B a speciální skupiny - mobilní spektrometrická laboratoř zaměřená zejména na komplexní monitorování ve střední a pozdní fázi přímo v terénu. Mimo tyto skupiny pak stojí letecká skupina. To znamená, že v časně fázi by vyjížděly pouze základní skupiny typu A a B, speciální skupina by vyjížděla až později, ve střední a pozdní fázi.

Do budoucna je možné uvažovat o navýšení počtu základních skupin A, kde by se předpokládalo využití osob seznámených s rizikem - ne specialistů na radiační monitoring. Vybavení by představoval jednoduchý přístroj pro automatické měření dávek svázané s geografickými souřadnicemi. S těmito skupinami by se počítalo zejména pro méně kontaminované oblasti pro potvrzení modelových prognóz a volbu další strategie monitorování těchto oblastí s ohledem na zavádění následných dlouhodobých ochranných opatření.

Tabulka 1: rozdělení MS dle jejich činnosti a vybavení

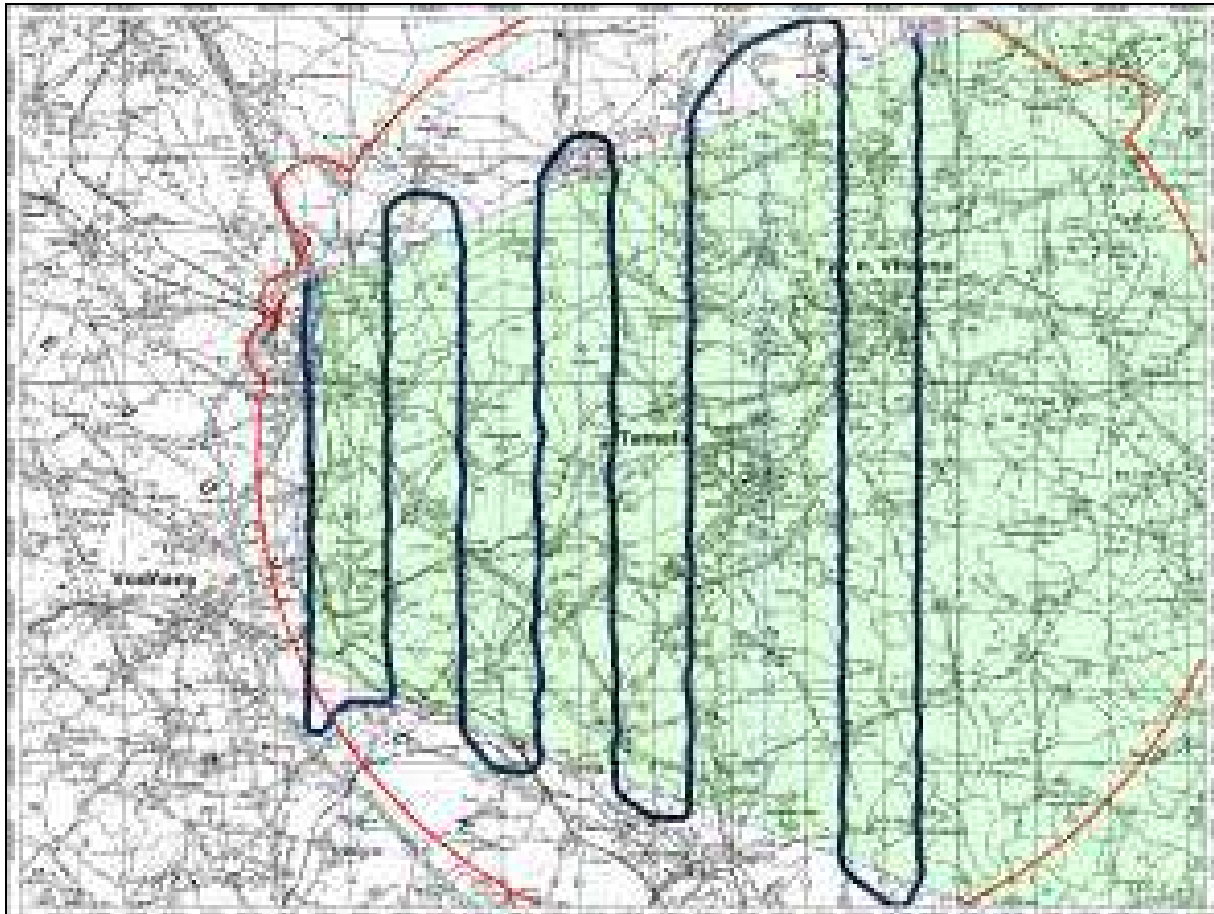
Skupina	činnost	přístrojové vybavení	personální obsazení	doba dojezdu [h]	Počet skupin
základní A	<ul style="list-style-type: none"> <li>•měření dávkového příkonu,</li> <li>•svoz/rozvoz TLD/ELD, načítání dat z ELD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•osobní elektronický dozimetr,</li> <li>•mobilní měřicí systém,</li> <li>•detektor na měření dávkového příkonu, GPS; TLD, ELD, čtečka ELD</li> </ul>	2 + 2 (řidič + operátor)	6 h + doba dojezdu nebo 2 h pohotovost	6 RC SÚJB 8 GŘC
základní B	<ul style="list-style-type: none"> <li>•scintilační spektrometrie,</li> <li>•měření povrchové kontaminace,</li> <li>•odběr vzorků ŽP,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•spektrometr (GR135),</li> <li>•detektor povrchové kontaminace,</li> <li>•detektor neutronů (signalizační),</li> <li>•sada nástrojů na odběr vzorků</li> </ul>	2 + 2 (řidič + operátor)	2 h pohotovost + doba dojezdu	5 HZS 2 RC SÚJB 1 SÚRO (1 PČR)
speciální	<ul style="list-style-type: none"> <li>•polovodičová spektrometrie,</li> <li>•odběr aerosolů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•přenosný HPGe detektor se spektrometrickou trasou,</li> <li>•přístroj na odběr aerosolů,</li> <li>•detektor neutronů (dávk)</li> </ul>	1 + 2 (řidič + 2 operátoři)	6 h + doba dojezdu	1 SÚRO
letecká	letecká spektrometrie	letecký spektrometrický systém doplněný HPGe detektorem.	2 operátoři + 1 hodnotitel + řidič + posádka vrtulníku	24h a více (v závislosti na vrtulníku)	1 SÚRO AČR/PČR

### Letecká skupina

Činnost letecké skupiny zabezpečuje letecká skupina SÚRO ve spolupráci s Armádou ČR resp. Policií ČR, která poskytují vrtulník s posádkou.

Postup při monitorování je následující: na vytipované ploše - polygonu se nalétávají rovnoběžné linky, kdy směr linek je dán terénem (např. v případě údolí je vhodnější létat ve směru údolí) a tvarem vytipovaného polygonu (velké časové ztráty nastávají při otáčkách a přechodu z jedné linky na druhou, proto je vhodnější nenavrhovat linky příliš krátké). Dalším důležitým parametrem monitorování je rozestup linek, kdy je nutno provést kompromis mezi časem a přesností (čím jsou linky blíže k sobě, tím je vyšší pravděpodobnost nalezení bodového zářiče i o menší aktivitě či tzv. „hot spot“ - horkého místa, kde je prudký nárůst

dávkového příkonu na relativně malé ploše). Rozestupy mezi linkami se volí běžně mezi 50 - 500m, ale je-li potřeba, může být např. i 2km, jak tomu bylo při cvičení Zóna 2010, viz obr. 8 [10, 20].



Obr. 8 - Letecké monitorování - výsledek monitorování během cvičení Zóna 2010 (dávkové příkony přepočtené na 1m nad zemí; všechny naměřené hodnoty byly na úrovni pozadí)

Pro letecká měření v rámci CRMS sítě se využívá spektrometrickým IRIS (Integrated Radiation Information System, PicoEnvirotec). Systém IRIS je vysoce účinný spektrometrický systém pro letecká monitorování, což je výhoda pro monitorování i území s relativně nízkou kontaminací (např. ještě dnes lze s ním měřit kontaminaci půdy  $^{137}\text{Cs}$  na většině území ČR jakožto důsledek havárie JE v Černobylu). Na druhou stranu tato vysoká detekční účinnost může působit problémy při měření v první fázi havárie JE, kde dávkové příkony mohou být vysoké. Detektor se pak může zahřít a nepomůže ani přechod na vyšší vzdálenosti od země (běžně se létá ve výškách 50 - 200m). Proto je vhodné využití i dalších - jednodušších - přístrojů. Takovým příkladem může být systém pro měření dávkových příkonů

PDOSE (PicoEnvirotec). Je určen jak pro stacionární měření, tak pro měření v automobilu nebo vrtulníku.

Pro upřesnění složení kontaminantu je vhodné použít polovodičový detektor (např. spektrometrická trasa s detektorem).

### 2.3.4 Popis vybraných přístrojů pro mobilní skupiny a leteckou skupinu

#### Mobilní skupiny

##### a) Měření dávkových příkonů

Základním měřením prováděné mobilními skupinami je měření dávkového příkonu. Mobilní skupiny v současnosti disponují několika přístroji pro měření dávkového příkonu, jejichž vlastnosti jsou shrnuté v tab. 2 [10]. Využití jednotlivých přístrojů se liší dle jejich rozsahů a to jak schopnosti měřit různé úrovně dávkových příkonů tak schopnost zaznamenat např. radionuklidy vyzařující fotony o nízké energii. Veškeré přístroje jsou ověřovány dle zákona o metrologii, chyby měření se pohybují do 25%.

Tab. 2. Přístroje pro měření fotonových dávkových příkonů používané na MS; jejich základní parametry

Přístroj	Rozsah měření dávkových příkonů	Detektor	Energetický rozsah [keV]
DC-3E-98	do 10 mGy/h	GM	50 - 1500
FH 40 G	100 nSv/h-1 Sv/h	proporcionální	50 - 1300
NB 3201	40 nGy/h - 100 mGy/h	plastický scintilátor	35 - 1500
GR-130/135	GM: 0,01-100 mSv/h NaI(Tl): 0,01-50 $\mu$ Sv/h	NaI(Tl)+GM	50 - 3000
RP 2000	0,1 $\mu$ Gy/h-10 mGy/h	GM	50 - 1500

Vysvětlivky: GM - Geiger-Müllerova trubice

NaI(Tl) -scintilační detektor



b) Měření dávkových příkonů za jízdy

Pro tato měření se využívá mobilní systém MK. Systém se skládá z detektoru dávkového příkonu GR 130 resp. GR 135, protože je schopný nahrávat měřená data do paměti připojeného notebooku. Součástí systému je i GPS, které zjišťuje a do notebooku nahrává příslušné souřadnice ke každému měření. K systému ještě patří notebook se SW PDE+, který je schopný nejen všechna data zaznamenat do paměti notebooku, ale i zakreslit je pro větší přehlednost do mapových podkladů. Chyby měření jsou zde samozřejmě vyšší než při stacionárním měření dávkových příkonů, důležitou roli zde hraje mnoho faktorů - typ automobilu, ve kterém je systém převážen, uložení v automobilu, ale i rychlost a prostředí, ve kterém se automobil pohybuje (rovina, údolí...).

c) Osobní signální elektronické dozimetry

Pro jednoduchá (nouzová) měření lze využít osobních elektronických dozimetrů, které jsou povinni mít u sebe všechny MS. Je ovšem zřejmé, že tato měření by byla zatížena velkou chybou a měření by byla možná považovat pouze za orientační.

## **Letecká skupina**

a) IRIS

Systém IRIS obsahuje 4 scintilační krystaly o objemu 4litry (celkem 16litrů), zařízení pro detekci pozice, výškoměr, navigační zařízení zajišťující přesné navádění po letových profilech a odolný notebook. Během leteckého monitorování se do paměti notebooku zaznamenávají naměřená spektra a údaje o pozici a výšce nad terénem, ze kterých je později pomocí software stanoven dávkový příkon a plošná aktivita vybraných umělých radionuklidů resp. hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů. Údajů o výšce letu nad terénem se využívají pro korekce výsledných veličin. Rychlá jednoduchá vyhodnocení naměřených spekter se provádí pomocí programů PEIView (součást systému IRIS) a pro detailní vyhodnocení měření se používá komerční SW PRAGA. Délku jednotlivých měření lze nastavit v intervalu jednotek až desítek sekund, běžně se používá 1s. IRIS měří dávkové příkony ve vrtulník (pomocí SW je přepočítává na referenční výšku 1m nad zemí) a díky svým spektrometrickým vlastnostem je schopný též provádět kvalitativní a kvantitativní analýzu kontaminantu pro vybrané umělé radionuklidy (např.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{88}\text{Kr}$ ).

Podobným přístrojovým vybavením (IRIS) v současnosti disponuje i Armáda ČR, ale není zatím zapojena do struktury CRMS. Letecké prostředky průzkumu zatím nejsou realizovány.

b) PDOSE

PDOSE je detektor dávkového příkonu, jehož součástí je i GPS, takže je schopený zaznamenávat nejen dávkové příkony, ale i poziční data ke každému měření a je tedy možné na základě těchto údajů provádět i rychlé zakreslení naměřených dávkových příkonů do přehledných map.

Vlastní detekci zajišťují dva Geiger-Müllerovy detektory (malý a velký), jež se automaticky přepínají dle registrovaného počtu impulzů. Pracuje v rozsahu 20 nGy/h - 300 mGy/h. Obsahuje bezdrátovou komunikaci a vlastní GPS přijímač. Měřená data (radiační i poziční pro následné zakreslení naměřených dat do přehledných map) se zaznamenávají do Mobile Data Acquisition System, který se skládá z malého počítače, bezdrátové komunikace Bluetooth a GPS přijímače. Soubory dat jsou následně vyhodnoceny pomocí SW PEIView (pro rychlá jednoduchá vyhodnocení) resp. PRAGA Ground (pro precizní vyhodnocení). Délka vzorkování může být od 1s až do několika minut, pro letecká měření je vhodné použít délku vzorkování 1s. Je nutné si uvědomit, že přístroj měří dávkový příkon na palubě vrtulníku, neboť nemá integrovaný přístroj pro měření výšky nad terénem a není tudíž schopný provádět korekce na změny výšky, což by v případě jednoduchých terénů nemuselo být na závadu- vrtulníky jsou schopny dodržovat letové výšky s poměrně velkou spolehlivostí (obvyklá výška  $100 \pm 20\%$ , v případě havárie by výška byla vyšší). I tak naměřené hodnoty s velice dobrou spolehlivostí vypovídají o situaci na zemi [21].

c) Spektrometrická trasa; detektor Falcon

LeS SÚRO používá při leteckém monitorování spektrometrickou trasu s polovodičovým detektorem HPGe firmy ORTEC o relativní účinnosti 25% a FWHM 1.9 keV pro  $^{60}\text{Co}$ , 1.33 MeV, analyzátozem DigiDart (4096 kanálů) a notebooku s programem Maestro nebo kompaktní detektor určený pro terénní měření Falcon 5000® Portable HPGe-Based Nuclear Identifier. Tyto detektory mají malou účinnost, ale v případě vysoké úrovně kontaminace terénu je možné tyto detektory využít i k jednoduchému mapování s omezením podobným jako u PDOSE.

### 2.3.5 Porovnání vybraných přístrojů pro terénní měření

V letech 2006 - 2007 proběhlo rámci dvouletého projektu [9] v SÚRO porovnání měřících metod a kompatibility dat měřených vybranými systémy a přístroji používaných v Radiační monitorování síti ČR. Jednalo se o:

- letecké prostředky - systém IRIS testován pro dva typy používaných vrtulníků
  - BELL 412 ve spolupráci s Policií ČR,
  - Mi 17 ve spolupráci s Armádou ČR
- pozemní prostředky
  - měření dávkového příkonu za jízdy automobilem (systém MK),
  - „bodové“ měření dávkového příkonu (GR 130 a GR 135),
  - měření in-situ (spektrometrická „bodová“ měření)
  - odběr vzorků a následná laboratorní spektrometrická měření.

Parametry systému IRIS a MK a detektoru GR130/135 jsou popsány výše. Na vytipovaných lokalitách byla provedena spektrometrická měření pomocí spektrometrické trasy (Obr.9). Systém se skládá z polovodičového detektoru (ORTEC) s relativní účinností 25%, FWHM 1,9 keV ( $^{60}\text{Co}$ , 1,33 MeV) a analyzátoru DigiDart (4096 kanálů; ORTEC). Naměřená spektra byla vyhodnocena pomocí programu Maestro (ORTEC). Detektor byl umístěn na stojanu 1m nad zemí. Délka nabírání spektra byla 1800s a mrtvá doba činila 2 - 3%. Chyby měření se pohybovaly mezi 10 - 20 %.



Obr. 9: Spektrometrická in situ měření

Na několika lokalitách měření in situ byl proveden odběr povrchové vrstvy půdy. Půda se odebírala dle postupů pro mobilní skupiny, tj. ohraničila se plocha  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  a postupně se na této ploše odebral porost, vrstva zeminy do hloubky 5 cm a nakonec vrstva zeminy do hloubky 20 cm. Takto odebrané 3 vzorky byly předány do spektrometrické laboratoře SÚRO, kde byl následně stanoven obsah umělých ( $^{137}\text{Cs}$ ) a přírodních radionuklidů ( $^{40}\text{K}$ , U-řada a Th-řada).

Pro testování bylo využito území (polygon) o ploše přibližně  $10 \times 10 \text{ km}^2$  v centrální části Čech, jihovýchodně od Prahy poblíž městečka Vlašim (Obr.10). Území polygonu je mírně zvlněný, nadmořská výška se pohybuje mezi 250 až 520 m.n.m., z porostu převažují louky a pole, lesy jsou přibližně na 20% území. Na území se vyskytují přírodní radionuklidy v koncentracích běžných na území ČR ( $^{40}\text{K}$ , Ra-řada a Th-řada) a v důsledku havárie v Černobylu se vyskytuje i  $^{137}\text{Cs}$  ( $1\text{-}20 \text{ kBq/m}^2$ ).



Obr. 10- Mapa polygonu

Podrobné výsledky porovnání jsou uvedeny v [9], zde uvádíme pouze nejdůležitější poznatky.

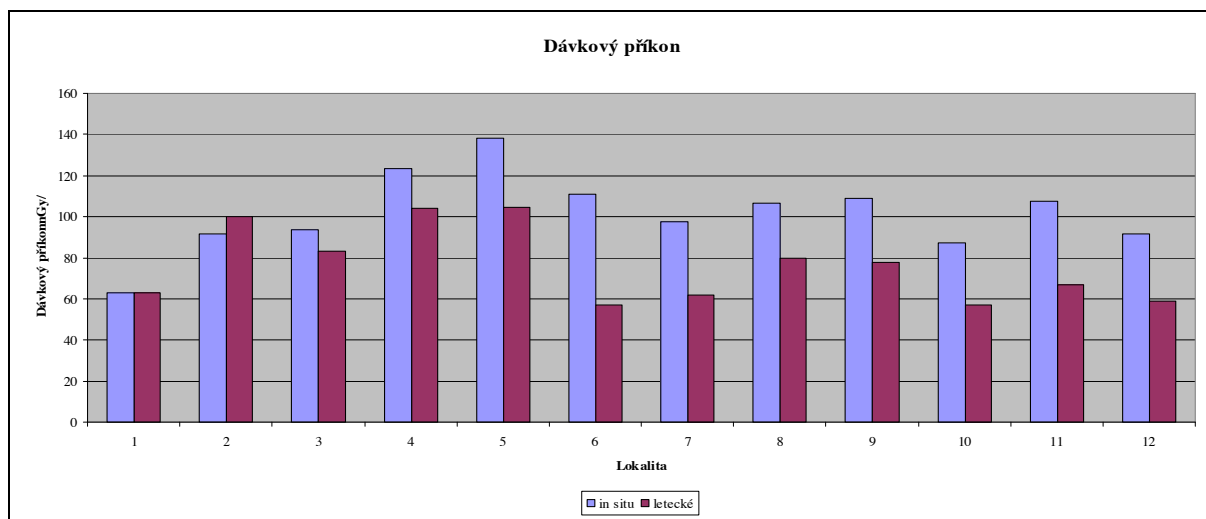
Z výsledných obrázků a tabulek je zřejmé, že veškerá porovnávaná měření jsou kompatibilní i přes to, že odběr a měření vzorku půdy „mapuje“ pouze plochu  $400 \text{ cm}^2$ , in situ měření průměruje hodnoty z plochy přibližně  $10 \text{ m}^2$  a letecká měření plochu minimálně  $100 \text{ m}^2$  (v závislosti na výšce letu), tedy neporovnávají se zcela stejné „vzorky“, neboť oblast polygonu není natolik homogenní. Letecká měření (při výšce letu 100 m nad zemí) se od pozemních liší maximálně do 40% (Tab. 3, Tab. 4), při nižších letových hladinách byly výsledky ještě lepší - do 20%.

Tab. 3- Shrnutí leteckých a in situ měření na vybraných lokalitách - dávkové příkony a plošné aktivity  $^{137}\text{Cs}$

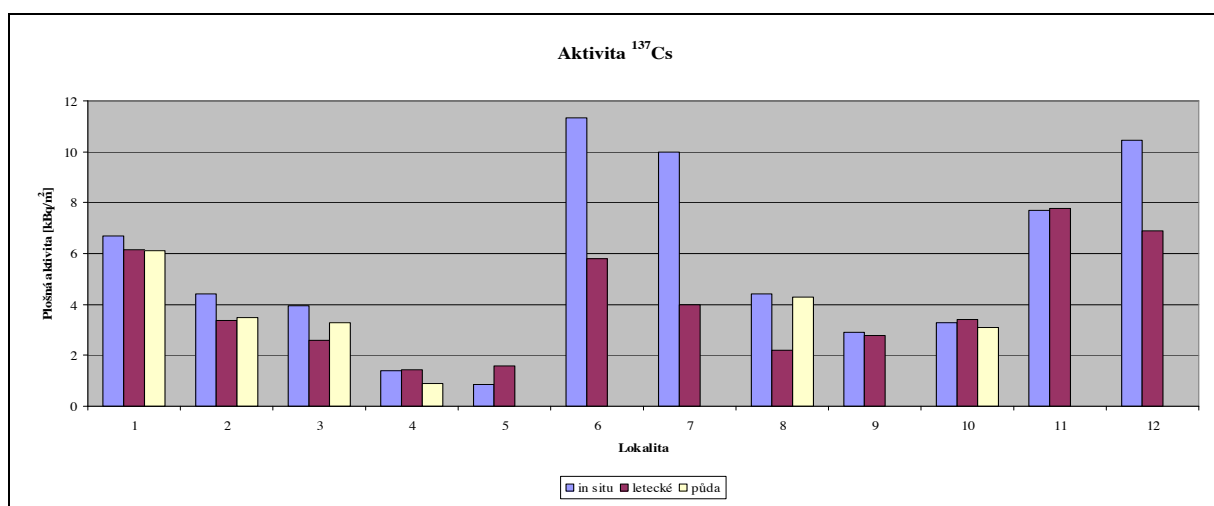
Lokalita	D [nGy/h]		<sup>137</sup> Cs [kBq/m <sup>2</sup> ]		
	in situ	letecké	in situ	letecké	půda
Domašín - letiště	63	63	6,7	6,2	6,1
Onšovice1	92	100	4,4	3,4	3,5
Onšovice2	93	83	4,0	2,6	3,3
Onšovice3	123	104	1,4	1,4	0,9
Onšovice4	138	105	0,9	1,6	
Ctiboř1	111	57	11,4	5,8	
Ctiboř2	98	62	10,0	4,0	
Takonín	107	80	4,4	2,2	4,3
Chotýšany	109	78	2,9	2,8	
Bílovice	87	57	3,3	3,4	3,1
Psáře	107	67	7,7	7,8	
Nemíž	92	59	10,5	6,9	

Tab. 4- Shrnutí leteckých a in situ měření na vybraných lokalitách - hmotnostní aktivity přírodních radionuklidů (<sup>40</sup>K, radionuklidy uranové a thoriové řady)

Lokalita	<sup>40</sup> K [Bq/kg]			U [Bq/kg]			Th [Bq/kg]		
	in situ	letecké	půda	in situ	letecké	půda	in situ	letecké	půda
Domašín - letiště	480	400	530	41	36	40	37	28	38
Onšovice1	830	744	890	50	57	71	39	40	51
Onšovice2	990	619	1200	73	51	88	34	28	43
Onšovice3	1040	775	1200	62	49	77	90	56	60
Onšovice4	1160	780		63	49		95	57	
Ctiboř1	660	310		57	33		44	26	
Ctiboř2	570	340		49	39		42	29	
Takonín	730	400	720	55	46	73	73	44	54
Chotýšany	580	510		73	36		60	43	
Bílovice	640	360	640	51	29	83	45	28	44
Psáře	630	390		46	37		51	27	
Nemíž	470	290		43	26		34	24	



Obr. 12- Porovnání naměřených dávkových příkonů na vybraných lokalitách (modře - in situ měření; červeně - letecká měření) [nGy/h]



Obr. 13- Porovnání naměřených plošných aktivit <sup>137</sup>Cs [kBq/m²] na vybraných lokalitách (modře - in situ měření; červeně - letecká měření; žlutě - laboratorní měření vzorků půdy)

V roce 2009 byly testovány další přístroje vhodné pro eventuální měření na palubě vrtulníku [21]. V rámci porovnání byly testovány systém IRIS, přístroje PDOSE (oba od firmy PicoEnviroTec) a polovodičová trasa s detektorem ORTEC (parametry viz výše). Přístroje byly umístěny na palubě vrtulníku během cvičného monitorování území poblíž Příbrami (vhodná pro velkou nehomogenitu přírodních radionuklidů obsažených v půdě).

Spektrometrická trasa se ukázala jako použitelná, byť je třeba počítat s velkou časovou náročností na vyhodnocení. Vzhledem k malé účinnosti detektoru je zřejmé, že chyba

takovýchto měření je velká a nejspíš v této podobě pro účely kódu HARP nepoužitelná (nikoli však pro vlastní havarijní měření, kde malá účinnost detektoru by pravděpodobně byla přínosem).

Systém PDOSE je vhodný pro situace, kdy IRIS nelze použít. Za takovýchto okolností je ale nutné si být vědom, že přístroj měří dávkový příkon na palubě vrtulníku a že tato hodnota je sice úměrná dávce na zemi resp. v 1m nad zemí, ale je ovlivněna výškou, ve které se v daný okamžik vrtulník nacházel. Přesto tuto hodnotu lze jako indikátor dávkového příkonu ve většině případů přijmout. I zde ovšem je velké omezení pro účely kódu HARP.

### **3 Analýza vlivu počtu a rozmístění receptorů sítě na kvalitu asimilace dat a predikce**

Vliv počtu a rozmístění receptorů sítě (měřicích míst SVZ) na přesnost asimilace v časné fázi radiační nehody lze demonstrovat na jednoduchém příkladu, kdy uvažujeme hypotetický únik z jaderného zařízení, při kterém se utvoří radioaktivní mrak putující nad terénem, a předpokládáme, že receptory sítě už od počátku poskytují měřené hodnoty v pravidelných časových intervalech. Cílem asimilace je zde kontinuálně upřesňovat odhad časové a prostorové distribuce zvolené radiologické veličiny (např. objemové aktivity vzduchu) a co nejvíce se přibližovat nastalé fyzikální realitě.

Pro jednoduchost se soustředíme pouze na ozáření z mraku, tj. neuvažujeme ozáření způsobené radioaktivním materiálem deponovaným na terénu vlivem mokré a suché depozice. V tomto příkladu asimilujeme koncentraci aktivity ve vzduchu, danou předpovědním modelem šíření, s měřeními dávkového příkonu z mraku poskytovanými receptory sítě. Uvažovaný skutečný únik simulujeme pomocí atmosférického disperzního modelu, tj. jedná se o tzv. “twin” experiment, kdy měření jsou simulována disperzním modelem inicializovaným nějakými referenčními hodnotami a perturbována náhodným šumem simulujícím chyby měření. Tato běžně používaná technika má tři základní výhody. Jednak obejdeme fakt, že skutečná data vhodná pro testování vyvíjených metod nejsou dostupná, a dále nám pak tento přístup zajišťuje transparentnost celého experimentu. Můžeme objektivně hodnotit shodu asimilovaného modelu s tím, který byl použit k simulaci skutečného úniku. Nejdůležitější je však fakt, že nám tato technika umožňuje testovat asimilační metody pro širokou škálu meteorologických a jiných podmínek a ohodnotit tak jejich robustnost.



Kumulativní hodnoty koncentrace aktivity ve vzduchu nominálního úniku použitého pro simulaci měření můžeme vidět na Obr. 16. (vpravo).

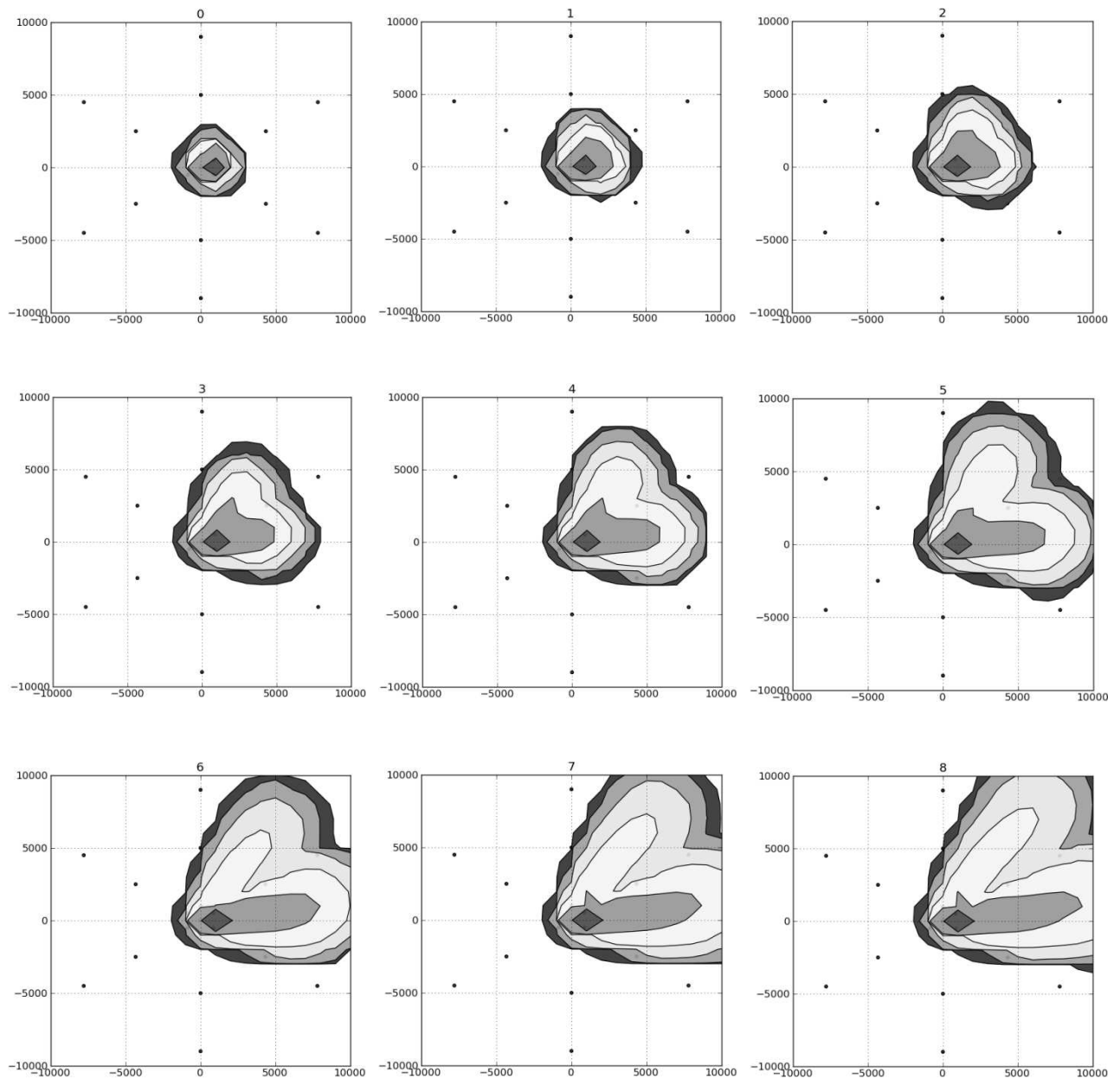
Pro porovnání vlivu hustoty receptorů na kvalitu predikce uvažujme dvě konfigurace receptorů, přibližně pokrývající čtverec o délce strany 20km, kde zdroj úniku je umístěn v jeho středu. Obě konfigurace jsou tvořeny receptory rozmístěnými do tří soustředných kruhů obklopujících zdroj. Kruh nejbližší ke zdroji představuje receptory umístěné přímo v areálu jaderného zařízení resp. na jeho hranici. Jedná se o dva poněkud extrémní případy. První konfigurace, označovaná v následujícím textu jako *řídka síť*, je tvořena šesti receptory v každém kruhu, tj. celkem osmnácti receptory. Druhá konfigurace, označovaná v následujícím textu jako *hustá síť*, je tvořena dvaceti receptory v každém kruhu, tj. celkem šedesáti receptory. Asimilace je prováděna pro prvních 90 minut po začátku okamžitého jednorázového úniku s délkou časového kroku 10 minut, tj. je provedeno celkem 9 asimilačních kroků.

Zvolená asimilační metodika, popsaná např. v [23], je vyvíjena v ÚTIA AV ČR, v.v.i., v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu MV ČR VG20102013018. Vychází ze sekvenčních metod Monte-Carlo, kdy je generováno velké množství pravděpodobných scénářů šíření kontaminace, a pomocí asimilace měření jsou statisticky vhodně kombinovány ty nejvíce pravděpodobné z nich. Jedná se o obecnou metodiku aplikovatelnou na všechny třídy parametrizovaných atmosférických disperzních modelů.

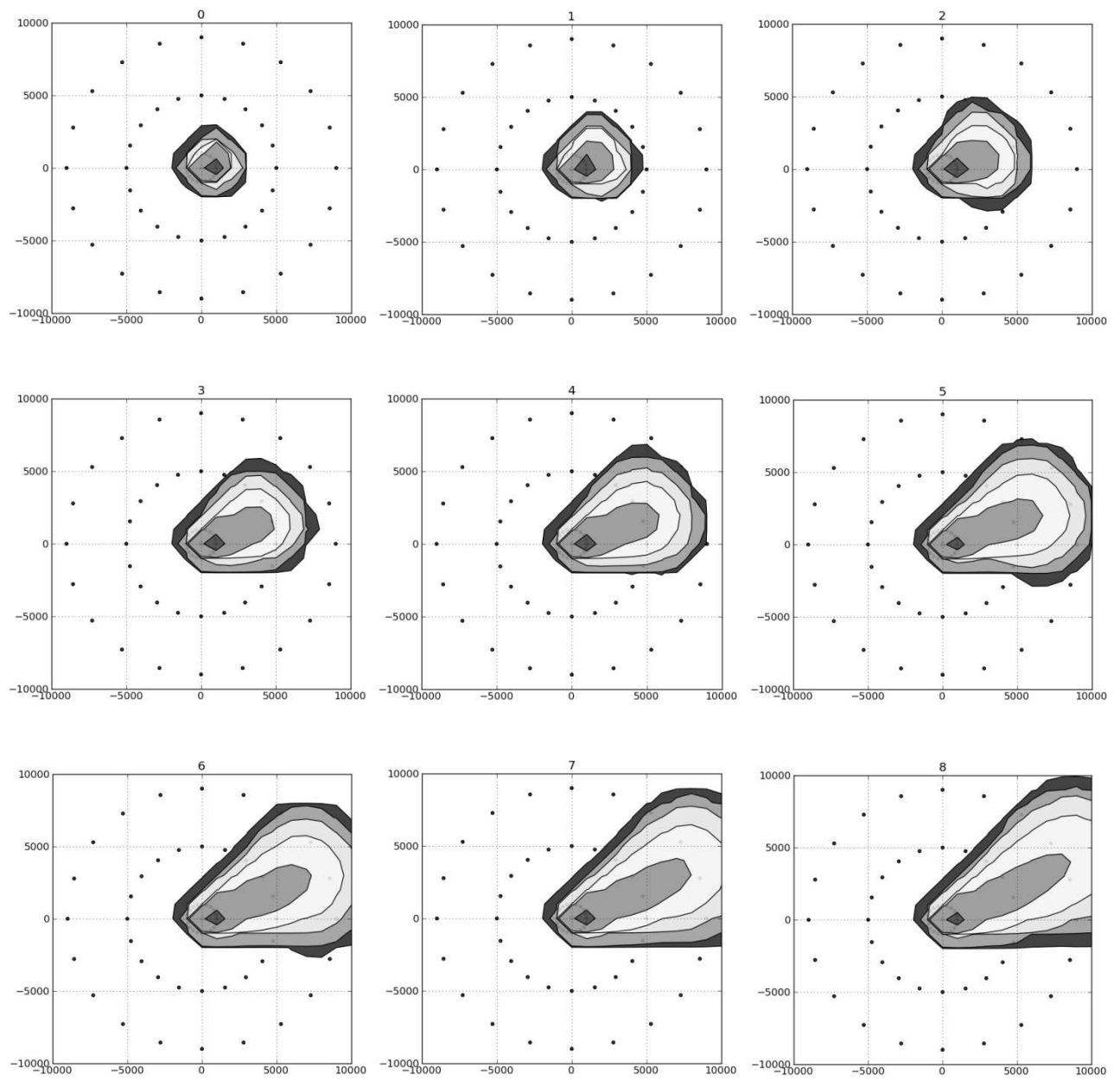
Na Obr. 14 a Obr. 15 můžeme vidět výsledky asimilace pro obě uvažované konfigurace SVZ. Receptorové body jsou znázorněny pomocí kroužků. Jsou zde znázorněny asimilované odhady po každém z devíti asimilačních kroků, kdy v  $k$ -tém kroku je nejlepší odhad prostorového rozložení koncentrace aktivity ve vzduchu proveden pomocí asimilace všech měření z časových kroků 0 až  $k$ .

Na Obr. 14 je patrné, že řídká konfigurace sítě neposkytuje dostatek informativních měření a asimilační algoritmus nemůže s dostatečnou přesností určit skutečný směr šíření úniku. Jeho pravděpodobnostní povaha nám však zaručuje, že žádná z pravděpodobných možností není vyloučena a výsledná kumulativní hodnota koncentrace aktivity pokrývá širší oblast, která ovšem zahrnuje i tu skutečně zasaženou. Z výsledků na Obr. 15 je patrné, že hustá síť poskytuje více informativní data a lokalizace skutečného úniku je přesnější ve všech časových krocích.

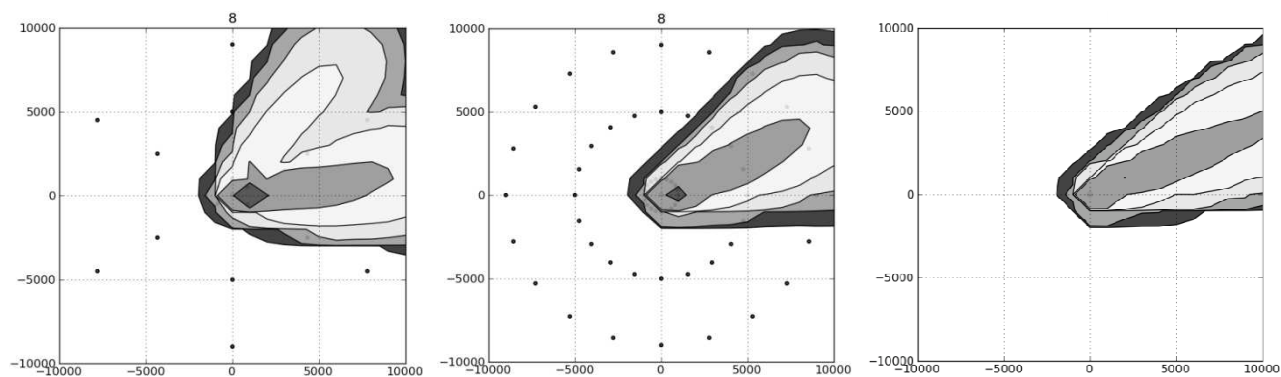
Na Obr. 16 vidíme porovnání asimilovaných odhadů pro řídkou a hustou síť s nominálním modelem. To, že ani pro hustou síť nedošlo k přesné shodě s nominálním modelem, je způsobeno neurčitostmi v celém problému (např. chybami měření) a také pravděpodobnostní povahou použitého asimilačního algoritmu, kdy výsledkem jsou pravděpodobnostní distribuce popisující odhadovanou radiologickou veličinu. Více k dané problematice lze nalézt v [22], kde jsou dokumentovány složitější asimilační scénáře.



Obr. 14: Časový průběh asimilace pro řídkou síť.



Obr. 15: Časový průběh asimilace pro hustou síť.



Obr. 16: Porovnání skutečné stopy mraku (vpravo) s výsledky asimilace pro řídkou síť (vlevo) a hustou síť (uprostřed).

#### 4 Shrnutí: Co může přinést profesionální monitoring radiační situace pro modelové předpovědi a naopak

Metody asimilace modelových předpovědí a měřených dat jsou schopny poskytnout krizovému štábu syntézu všech dostupných údajů a to včetně informace o neurčitosti. Z těchto údajů je možné dále odvodit automatické, či polo-automatické rady pro krizové rozhodování, jako například mapy očekávaného zamoření, či mapy oblastí, v nichž je nutné provést neodkladná opatření. My se zmíníme o další důležité aplikaci, kterou je vývoj softwarových prostředků pro **návrh a prověřování konfigurace monitorovacích sítí**.

Na jednoduchém příkladu dvou možných konfigurací sítě jsme demonstrovali, jak důležitou roli hraje hustota měřicích stanic při redukci neurčitosti v předpovědích kontaminace. Stávající síť měřicích stanic se blíží scénáři s řídkou sítí a následným výzkumným cílem je vytvoření metodiky pro návrh topologie receptorů pro doplnění a zahuštění stávající sítě. Techniky stochastické asimilace umožňují vyhodnotit kritéria kvality pro různé předložené konfigurace sítě a tím pádem vybrat tu nejvhodnější.

V demonstračním příkladu jsme uvažovali rozmístění receptorů do pravidelných kruhů, při návrhu skutečné konfigurace receptorů bude ovšem muset být zohledněno mnoho dalších faktorů, jak technických (dostupnost energie a komunikačních prostředků, ochrana před poškozením či odcizením, atd.), tak i ekonomických (cena vybudování sítě a jejího provozu a údržby), demografických (hustota osídlení s důrazem na monitoring hustě osídlených oblastí), politicko-sociálních atd., ze kterých velmi pravděpodobně vzejdou určitá omezení týkající se jak počtu navrhovaných receptorů, tak i možností jejich rozmístění.

Rovněž je nutné zohlednit lokální podmínky pro uvažovanou oblast včetně dlouhodobých povětrnostních charakteristik udávajících převládající směry větru.

Námi vyvíjené metody hodnocení by měly být schopny z dané množiny možných konfigurací receptorů, stabilních a případně i mobilních, sestavené s přihlédnutím ke všem relevantním faktorům a omezením, vybrat tu, která bude poskytovat soubor měření s největší informační hodnotou z pohledu jejich využití pro automatické či polo-automatické asimilační systémy.

## **5 Závěr**

Zvolená metoda hodnocení umožňuje z dané množiny možných konfigurací receptorů, sestavené s přihlédnutím ke všem relevantním faktorům a omezením, vybrat tu, která bude poskytovat soubor měření s největší informační hodnotou z pohledu jejich využití pro automatické či polo-automatické asimilační systémy.

Metoda umožňuje optimalizovat konfiguraci sítě receptorů ve vybrané oblasti s ohledem i na hledisko kvality asimilace terénních dat a z nich vyplývající kvality modelové prognózy. Využití uvedeného nástroje pro vývoj ucelené metodiky pro návrh topologie receptorů monitorovací sítě na základě dané množiny omezení je předmětem dalšího výzkumu v rámci shora zmíněného grantového projektu Bezpečnostního výzkumu MV VG20102013018 řešeného v ÚTIA a v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu MV VF20102015014 řešeného SÚRO.

## Literatura

- [1] Zákon č. 18/1997 Sb., ve znění platných předpisů (Atomový zákon)
- [2] Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.
- [3] Vyhláška SÚJB č. 319/2002 Sb., o funkci a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě.
- [4] Nařízení vlády č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování.
- [5] Češpírová, I., Prouza, Z.: Activity of Mobile and Aerial Groups during Radiation Emergency, Sborník - International Symposium on In Situ Nuclear Metrology As A Tool For Radioecology, 13-16 October 2008, Rabat, Morocco.
- [6] Češpírová, I., Froňka, A.: Porovnání leteckých a pozemních měření, Bezpečnost jaderné energie, 3 / 4 ročník 16 [54] 2008; ISSN 1210-7085.
- [7] Češpírová, I., Hůlka, J. Lze UAV využít pro monitorování v případě radiační nehody? In 1. Národní konference Civilní bezpilotní systémy. Praha: Odborná společnost letecká, 2008. s. 16. ISBN 978-80-902522-2-6.
- [8] Zprávy o radiační situaci na území České republiky, Státní ústav radiační ochrany, Praha, 2003 - 2007, [www.suro.cz](http://www.suro.cz).
- [9] Hůlka, J. a kol.: Závěrečná výzkumná zpráva projektu výzkumu a vývoje SÚJB č.3/2006 - „Vývoj, ověřování a zavádění nových postupů, metod a metodik monitorování radiační situace a ozáření osob se zaměřením na hodnocení výпустí radionuklidů do životního prostředí z JE a monitorování jejich okolí a na expresní metodiky”. Státní ústav radiační ochrany, 2007.
- [10] Prouza, Z.: Závěrečná výzkumná zpráva projektu výzkumu a vývoje SÚJB VAV č.2/2008. „Metody a opatření k omezení vzniku a k likvidaci následků teroristického zneužití radioaktivních látek“. Státní ústav radiační ochrany, 2010.
- [11] Hůlka, J. a kol.: Závěrečná výzkumná zpráva projektu výzkumu a vývoje SÚJB č.1/2008 „Metody hodnocení kontaminovaného území po radiační havárii - význam struktury a funkce krajinného krytu". Státní ústav radiační ochrany, 2010.
- [12] TMT Handbook -Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionizing radiation following .... , [www.tmthandbook.org](http://www.tmthandbook.org), 6th EURATOM Framework Programme for RTD, 2008.

- [13] Strobl, C., Krol, I., Hohman, C., Brummer C.: Aero-gammaspectrometry as an Important Tool after a Nuclear Accident; ALARA Issue arising for Safety and Security of Radiation Sources and Security Screening Devices; 21 - 23 October 2009, Vienna, Austria.
- [14] Sanderson, D.C.W. McLeod, J.J. (editors): Recent Applications and Developments in Mobile and Airborne Gamma Spectrometry (RADMAGS); Proceedings Papers of an International Symposium RADMAGS'98, 12-18 June 1998, Stirling, UK.
- [15] Froňka, A., Češpírová, I.: Brief description of the setup of the Czech measurement technique, with a special focus on the developments after 2002. Workshop On Aero-Gammaspectrometry, Federal Office for Radiation Protection, Berlin, 27.-28. October 2010 15.
- [16] Froňka, A., Češpírová, I.: The system of modern data acquisition - including airborne gamma measurements in case of severe NPP accident. Workshop On Aero-Gammaspectrometry, Federal Office for Radiation Protection, Berlin, 27-28. October 2010.
- [17] Manual for First Responders to a Radiological Emergency“, EPR-First RESPONDERS, IAEA, Vienna, 2006.
- [18] Prouza, Z., Švec, J.: Zásahy při radiační mimořádné události, EDICE SPEKTRUM 57, ISBN: 978-80-7385-046-3, Ostrava, 125 s.
- [19] Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency, IAEA - TecDoc - 1162, Vienna, 2000.
- [20] Češpírová, I., Pašková, Z., Matzner, J.: “Činnost letecké a mobilních skupin během cvičení Zóna 2010”; Sborník abstrakt - DRO, Třeboň, ČR. 8.-12.11.2010.
- [21] Češpírová, I., Froňka, A., Helebrant, J., Gryc, L.: “Letecká měření (IRIS, polovodičový detektor, PDOSE)”, Bezpečnost jaderné energie, vol. 18, 2010, pp. 51-54, ISSN 1210-7085.
- [22] Hofman, R.: Application of Advanced Data Assimilation Methods in Off-site Consequence Assessment, disertační práce, FJFI ČVUT, 2011.
- [23] Pecha, P., Hofman, R., Šmídl, V.: Bayesian tracking of the toxic plume spreading in the early stage of radiation accident , ESM'2009 - The 2009 European Simulation and Modelling Conference, (Leicester, GB, 26.10.2009-29.10.2009) (2009).
- [24] Pecha, P., Hofman, R., Kuča, P.: Lessons learned from former radiation accidents on development of software tools for effective decision making support , Present and

future of crisis management - 2009, 11th International Conference on Present and Future of Crisis Management 2009, (Praha, CZ, 23.11.2009-24.11.2009) (2009).



## Příloha 1

### Přijaté konvence pro formáty přenášených měření při zprovoznování automatického (diagnostického) módu práce systému RODOS (lokalizace systému RODOS na podmínky ČR prováděná v roce 2005)

Přenášená meteorologická a radiační měření (s intervalem 10 minut) byla automaticky konvertována do příslušných RODOS formátů. Filosofie byla taková, že pro každého nového poskytovatele dat ze sítě měření byly generovány nezbytné definice (sady souborů *rtdf*). Konkrétně jako poskytovatelé byly uvažovány toky měření z ETE nebo EDU. Tak například definiční soubor *rtdf.ete* měl tvar:

```
\BEGIN_RTD
#provider name, interval, country id
ete, 10, CZ
#station name, stationid, geolongitude, geo latitude, altitude, 2nd station
etetower, ete000, 14.342222, 49.197222, 500.0, UNKNOWN
#type, measurementid, height, aggregation, unit, medium, object, sampletime
temperature[f], 2, -, degC, air, meteo, 10
temperature[f], 10, -, degC, air, meteo, 10
temperature[f], 40, -, degC, air, meteo, 10
windvelocity[f], 2, -, m/s, -, meteo, 10
windvelocity[f], 4, -, m/s, -, meteo, 10
windvelocity[f], 10, -, m/s, -, meteo, 10
windvelocity[f], 20, -, m/s, -, meteo, 10
windvelocity[f], 30, -, m/s, -, meteo, 10
windvelocity[f], 40, -, m/s, -, meteo, 10
winddirection[f], 2, -, Grad, -, meteo, 10
winddirection[f], 4, -, Grad, -, meteo, 10
winddirection[f], 10, -, Grad, -, meteo, 10
winddirection[f], 20, -, Grad, -, meteo, 10
winddirection[f], 30, -, Grad, -, meteo, 10
winddirection[f], 40, -, Grad, -, meteo, 10
precipitation[f], 1, -, mm/h, -, meteo, 10
stability category[f], 1, -, -, -, meteo, 10
surf. radiation balance[f], 1, -, m, -, meteo, 10
dose rate[f], 1, -, nSv/h, -, rad, 10
\END_RTD
```

K prvním 18ti meteorologickým položkám je přidán poslední řádek, tedy s novým pořadím 19tý, který obsahuje naměřený dávkový příkon v nSv/h, odvozený z měření TDS na hranici areálu JE Temelín. Pro konkrétní lokalizaci diagnostického módu provozu systému RODOS byl dohodnut výběrový algoritmus, kdy ze všech 27 měření TDS v areálu ETE je z daného času vybrána nejvyšší hodnota zvážená se sousedními dvěma.

## Použité zkratky

RMS	Radiační monitorovací síť
MS	mobilní skupina
LeS	letecká skupina
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
KŠ	krizový štáb
RKŠ	regionální krizový štáb
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
RC SÚJB	Regionální centrum Státního úřadu pro jadernou bezpečnost
ZHP	Zóna havarijního plánování
JE	jaderná elektrárna
GPS	Global Positioning System
AČR	Armáda ČR
PČR	Policie ČR
GŘC	Generální ředitelství cel
TLD	Termoluminiscenční dozimetr
ELD	Elektronický dozimetr