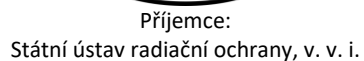


 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 1/43
---	---	----------------------------

Schválená metodika			
Letecké monitorování v různých fázích radiační havárie			
Název projektu: Posílení a rozvoj nástrojů, schopností a dovedností pro zajištění efektivního řízení odezvy na radiační havárii ve všech fázích včetně zohlednění požadavků Národního radiačního havarijního plánu ČR			
Název programu: Program bezpečnostního výzkumu pro potřeby státu 2022-2027 (SecPro)			
Číslo projektu: Identifikační číslo: VC20232025007			
Hlavní řešitel:	Ing. Irena Češpírová		
Další řešitelé:	RNDr. Marcel Ohera Ing. Lubomír Gryc Mgr. Jan Helebrant		
Rok vzniku:	2025	Rok účinnosti metodiky:	2025
Číslo revize:	0		
Interval ověření schopnosti danou metodiku používat	1x za rok		
Interval ověření platnosti metodiky	1x za 2 roky		



strana/počet stran
2/43

HISTORIE REVIZÍ

[illegible]

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 3/43
---	---	----------------------------

OBSAH

1. CÍL METODIKY.....	4
2. POPIS METODIKY.....	4
3. POJMY, ZKRATKY, SYMBOLY.....	5
4. ČINNOST LeS.....	6
4.1. Obecné principy leteckého monitorování.....	7
4.2. Postup činností LeS v případě havárie na jaderné elektrárně.....	9
4.2.1. Informace o aktuální mimořádné radiační situaci.....	11
4.2.2. Oblast monitorování.....	11
4.2.3. Kdy bude monitorování zahájeno a plánovaný čas ukončení.....	11
4.2.4. Použitý detekční systém.....	13
4.2.5. Parametry a způsob monitorování.....	13
4.2.6. Omezení pro letecká měření.....	14
4.3. Letecké radiační monitorovací systémy a jejich doplňky.....	18
4.3.1. Letecké spektrometry.....	19
4.3.2. Příslušenství.....	23
4.4. Logistika leteckého monitorování.....	25
4.4.1. Výkonnost LeS při monitorování ZHP JE.....	26
4.4.2. Letiště pro tankování leteckého paliva.....	26
4.4.3. Volba monitorovacího systému.....	27
4.5. Postup při leteckém radiačním monitorování.....	28
4.6. Optimalizace letu.....	31
4.6.1. Bezpečnostní opatření s důrazem na radiační ochranu.....	32
4.7. Zpracování dat novými přístupy.....	33
4.7.1. Předání dat do vyhodnocovacího centra.....	33
4.7.2. Poletové vyhodnocení dat.....	33
4.8. Validace.....	40
5. NOVOST POSTUPŮ.....	41
6. UPLATNĚNÍ METODIKY.....	41
7. SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY A NORMY.....	41
8. Literatura.....	42

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 4/43
---	---	----------------------------

1. CÍL METODIKY

Metodika popisuje činnost letecké skupiny v rámci monitorování radiační situace na území ČR. Účelem tohoto dokumentu je zpřesnit postupy a metody letecké spektrometrie ve všech fázích radiační havárie, zejména však v poúnikové fázi při vysokých dávkových příkonech a složitém spektru radionuklidů, vč. logistiky letu, tankování, kalibrací v měnící se kontaminaci.

2. POPIS METODIKY

Letecká měření jsou určena pro monitorování velkých (potenciálně) kontaminovaných ploch. Metodika leteckého měření vychází z geofyzikálních aplikací pro stanovení aktivit přírodních nuklidů. Letecké (geofyzikální) skupiny jsou běžně vybaveny velkoobjemovými detektory (spektrometry) s vysokou citlivostí, což by v první fázi havárie mohlo způsobit zahlcení přístroje (vysoká mrtvá doba) a absenci relevantních dat. Na základě těchto znalostí a zkušeností se postupně budovalo i letecké monitorování pro případ radiační havárie. Metoda oken (WND) byla rozšířena o stanovení aktivit ^{137}Cs , přidaly se vyhodnocovací metody s možností stanovení dalších umělých radionuklidů s možným výskytem v první fázi radiační havárie (^{134}Cs , ^{131}I) a pro monitorování se využívají také systémy s nižšími účinnostmi a tudíž schopné měřit i ve vyšších dávkových příkonech (aniž by tyto dávky ohrozily posádku a operátory přístrojů).

Principy leteckého monitorování radiační situace lze v budoucnosti aplikovat i na monitorování pomocí bezpilotních prostředků (dronů), ale vzhledem k odlišným legislativním problémům se tato metodika bezpilotními prostředky nezabývá.

V metodice jsou uvedeny obecné principy leteckého radiačního monitorování, rovněž jsou uvedeny a popsány doporučené měřicí systémy a detektory pro různé radiační situace, kalibrace, validace datových výstupů, logistika přípravy a vlastního průběhu monitorování, předání naměřených dat do vyhodnocovacího centra, jejich vyhodnocení a následné předání podkladů s vyhodnocenými daty krizovému štábu. Metodika uvádí odhady ozáření posádek a operátorů ve vrtulníku na základě simulací.

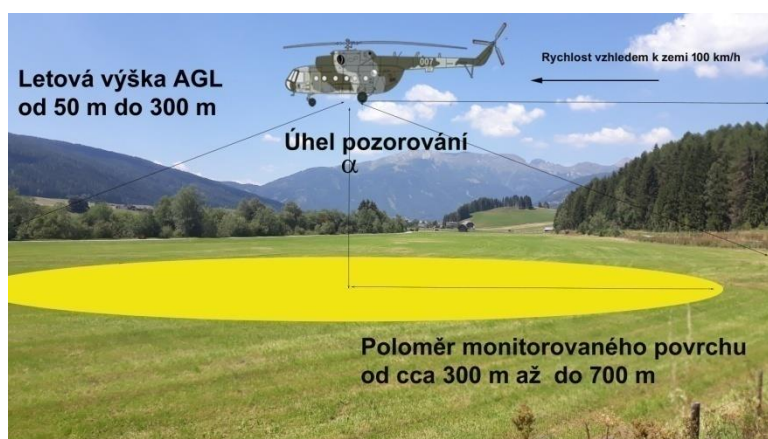
3. POJMY, ZKRATKY, SYMBOLY

AČR	Armáda České republiky
AGL	Above Ground Level (letová výška nad zemí)
AIRIS	Letecký spektrometr
ASL	Výška nad mořem
DP (ADR)	Dávkový příkon ve vzduchu v $\mu\text{Gy/h}$ (anglicky Air Dose Rate)
EES	Existující expoziční situace
Epoch	Časová jednotka v sekundách od 1. ledna 1970 v 00:00:00 UTC
FWHM	Full Width at Half Maximum – šířka píku v polovině maximální výšky
GIS	Geografický Informační Systém
HPGe	vysoce čistý germaniový detektor (High Purity Germanium detector)
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IRIS	Integrated Radiation Information System
IRIS	Letecký spektrometr
JAAT	Joint Aviation Authorities Transition - organizace zodpovědná za vývoj a implementaci bezpečnostních předpisů v civilním letectví
KŠ	Krizový štáb
LeS	Letecká skupina
LIS	Letecká informační služba
LSQ	Metoda nejmenších čtverců
MDA	Minimální detekovatelná aktivita
MonRaS	Softwarový prostředek pro centrální shromažďování, zveřejňování a archivaci dat
NES	Nehodová expoziční situace
NN-LSQ	Metoda nejmenších čtverců s nezápornými koeficienty
OSM	OpenStreetMap
PČR	Policie České republiky
PES	Plánovaná expoziční situace
RadPatrol2	Letecký spektrometr
ŘLP ČR	Řízení letového provozu České republiky
SM SÚJB	Styčné místo Státního úřadu pro jadernou bezpečnost
SM SÚRO	Styčné místo Státního ústavu radiační ochrany
SOC MO	Stálé operační centrum Ministerstva obrany
UAV	Uncrewed Aerial Vehicle (dron)
WND	Metoda oken používaná k vyhodnocení aktivit ze spekter záření gama
ZHP	Zóna havarijního plánování
ZHP JEDU	Zóna havarijního plánování jaderné elektrárny Dukovany
ZHP JETE	Zóna havarijního plánování jaderné elektrárny Temelín

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 6/43
---	---	----------------------------

4. ČINNOST LeS

Letecká gamaspektrometrie je jednou z efektivních metod monitorování radiační situace na velkých plochách. Vrtulník nebo letadlo s leteckým monitorovacím systémem se pohybuje ve výšce 50 až 300 m nad zemí, s rychlostí vůči zemi 80 až 200 km.h⁻¹. Detektor umístěný na palubě detekuje záření gama přicházející z povrchu země, a to z hloubky půdy až do cca 50 cm z plochy zhruba o poloměru až 700 m podle výšky letu (obr.1) a energie záření gama. Výsledkem monitorování je stanovení dávkového příkonu na palubě leteckého prostředku, identifikace radionuklidů a odhad hmotnostní aktivity pro přírodní a plošné (resp. i hmotnostní) aktivity pro vybrané umělé radionuklidy podle typu použitého detektoru. Je nutné si uvědomit, že měření oproti měřením na zemi je sice mnohem rychlejší (a v určitých případech i bezpečnější), ale přesnost měření a prostorové rozlišení aktivit se snižuje se zvyšující se rychlostí vrtulníku a výškou nad zemí.



Obr. 1 Princip leteckého monitorování

Původně byla letecká gamaspektrometrie navržena k monitorování přírodních nuklidů v geofyzikálních aplikacích a vyhledávání přírodních anomálií (za normální radiační situace), kdy primárním zdrojem radioaktivního záření jsou přírodní nuklidy, tj. radionuklid ⁴⁰K, ²²⁶Ra (U-řada) a ²³²Th (Th-řada) [1], [2], [3], [4], [5]. Teprve po havárii jaderné elektrárny v Černobylu začaly být výrazněji letecké spektrometry využívány pro havarijní monitorování a byly přizpůsobeny tomuto účelu. Nezanedbatelné využití je i při dohledávání ztracených či nelegálně převážených zdrojů ionizujícího záření. Využití pro havarijní monitorování vyžadovalo změnu v přístupu měření a vyhodnocování. Bylo nutné dávkový příkon ve vzduchu změřený na palubě vrtulníku přepočítat na dávkový příkon ve vzduchu ve výšce 1 m nad zemí a rovněž rozšířit a upravit metody měření a výpočtů. Jednou z možností je rozšíření metody oken běžně využívané v geofyzikálních aplikacích na další nuklidy a to ¹³⁷Cs, popř. ¹³⁴Cs a ¹³¹I. Rovněž využití modelových matic odezev na základě výpočtů simulace Monte Carlo

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 7/43
---	---	----------------------------

s aplikováním metody nejmenších čtverců (LSQ) [6] a použití metody stanovení dávkového příkonu v 1 m nad zemí pomocí tzv. powerspektra [7] nebo spektrálního dávkového indexu (spectral dose index) [8] jsou další možnosti pro využití při odezvě na RMÚ a havarijním monitorování.

Do dnešní doby se využívají letecké gamaspektrometry, které byly používány při geologických průzkumech s velkoobjemovými detektory NaI(Tl) 40 cm x 10 cm x 10 cm, jejichž citlivost je nenahraditelná při normální radiační situaci. Letecký gamaspektrometr na této bázi má však určitá omezení detekce, a proto pro havarijní monitorování musí být letecký spektrometr se 4 x 4 litrovými detektory NaI(Tl) doplněn nebo nahrazen některými jinými detektory a měřicími systémy, např. systémem s malými detektory NaI(Tl) 2“ x 2“, NaI(Tl) 3“ x 3“, CeBr₃, LaBr, plastovými detektory, popř. systémem pro letecké měření s polovodičovým detektorem HPGe nebo prostým detektorem dávkového příkonu, např. detektorem s GM trubicí. Letecká radiační monitorovací skupina je z důvodu měřicích limitů detektorů vybavena různými monitorovacími systémy, které lze využít během odezvy na RMÚ a v různých fázích radiační havárie.

4.1. Obecné principy leteckého monitorování

Letecké skupiny během letu monitorují dávkový příkon, plošné a hmotnostní aktivity vybraných radionuklidů pomocí měřicích systémů pro leteckou gamaspektrometrii s použitím různých detektorů ionizujícího záření. Veškerá letecká měření jsou založena na měření záření gama a to v energetickém rozsahu od cca 35 keV do 3000 keV.

Na činnosti LeS se v ČR podílejí pracovníci SÚRO a příslušníci AČR, resp. PČR (posádka vrtulníku). Poskytnutí vrtulníku AČR, resp. PČR, pro účely leteckého monitorování je zajištěno smluvně.

Letecké skupiny provádějí pravidelné činnosti při monitorování normální radiační situace podle tabulky č. 2 přílohy č. 3 k vyhlášce č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace. Další činnosti jsou procvičovány v rámci havarijních cvičení na území České republiky a v rámci mezinárodních cvičení leteckých skupin působících na území EU. Leteckou skupinu tvoří posádka vrtulníku (PČR, AČR) a minimálně 2 operátoři u každé letecké skupiny (AČR a nebo SÚRO).

V rámci nehodové expoziční situace při havarijním monitorování by letecké skupiny prováděly monitorování zasaženého území ČR podle tabulky č. 5 přílohy č. 3 k vyhlášce č.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 8/43
---	---	----------------------------

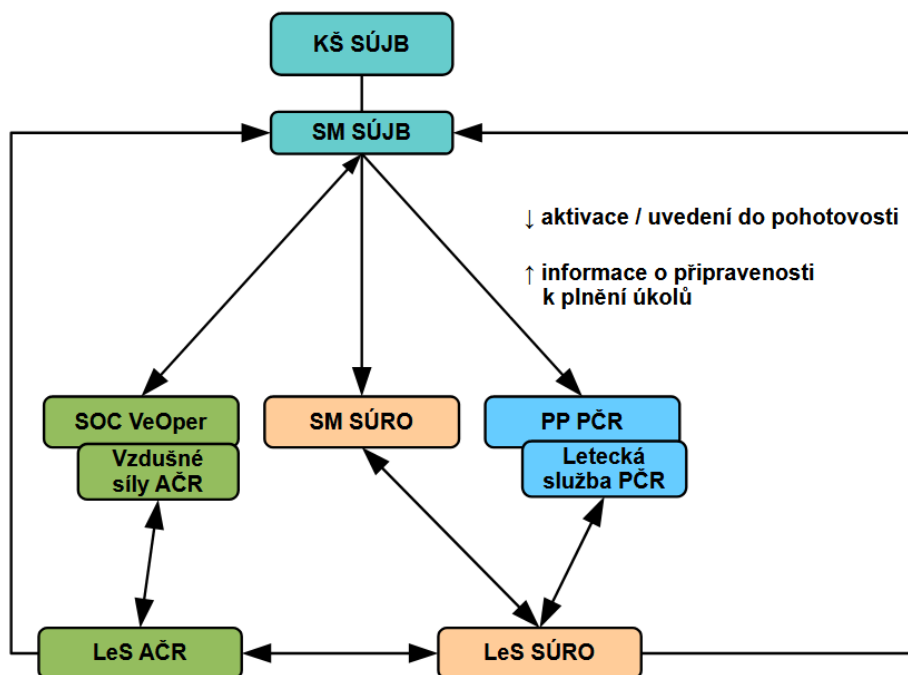
360/2016 Sb., po určení rozsahu a způsobu jejich zapojení na pokyn KŠ SÚJB podle VDS 019.

Cvičení leteckých skupin na území ČR probíhá minimálně 2x za rok. Cílem těchto cvičení je ověření správné činnosti monitorovacích systémů, jejich validace na referenčních plochách, plánování průzkumu, nácvik součinnosti pilotů a operátorů leteckých systémů a vyhodnocování dat.

Mezinárodní cvičení jsou organizována zhruba jedenkrát za dva až tři roky. Cílem těchto cvičení je nácvik logistiky při společném monitorování skupin na velkém území, vzájemné předávání dat, jejich vyhodnocení a porovnání výsledků včetně vytváření kompozitních map dozimetrických údajů pro rozlehlá území na základě dat ze všech leteckých monitorovacích skupin [8]. Rovněž tato cvičení slouží k ověření správných kalibrací leteckých spektrometrů. Na těchto cvičeních [viz Příloha 1] se podílí letecké skupiny především z České republiky, Německa, Švýcarska, Francie. Postupně se mohou přidat další letecké skupiny jiných států, které jsou vybaveny leteckými radiačními monitorovacími systémy.

Doba zahájení vlastního leteckého monitorování v souvislosti s aktuální radiační situací je popsána v kapitole 4.2.3.

Při havarijním monitorování je LeS uvedena do pohotovosti (obr. 2) KŠ SÚJB cestou styčného místa SÚRO, SOC MO a operačního střediska policejního prezidia PČR. O připravenosti k plnění úkolů vedoucí LeS zpětně informuje KŠ SÚJB. Termín dosažení pohotovosti je 24 hodin. Podle vývoje nehodové expoziční situace je následně LeS aktivována a vyslána k provádění činností na zasaženém území v souladu s pokyny KŠ SÚJB.



Obr. 2 Schéma uvedení LeS do pohotovosti

4.2. Postup činností LeS v případě havárie na jaderné elektrárně

1. časná fáze - 1. – 10. den monitorování po ukončení úniku je zaměřeno na stanovení dávek a dávkových příkonů v 1 m nad povrchem země s cílem rychlého získání informací o rozsahu území zasaženého radiační havárií a o úrovni zasažení. Z důvodu nebezpečí kontaminace vrtulníku, přístrojů a posádky veškerá měření probíhají až po ukončení úniku z havarované jaderné elektrárny a po přechodu mraku. Zahájení leteckého monitorování je popsáno v kapitole 4.2.3, volba vhodného detektoru podle jeho rozsahu a velikosti povrchové kontaminace je uvedeno v kapitole 4.3 a obr. č. 8.
2. fáze monitorování - 11. – cca 15. den po ukončení úniku (záleží na rozsahu kontaminovaného území) je zaměřena zejména na stanovení plošných aktivit vybraných umělých radionuklidů na kontaminovaném území. Měření slouží k získání podkladů pro rozdělení kontaminovaného území do 3 zón dle NRHP a VDI 134 (viz tabulka 1) a rozhodování o následných ochranných opatřeních.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 10/43
---	---	-----------------------------

Zóna a efektivní dávka reprezentativní osobě především ze zevního záření	Referenční úroveň plošné kontaminace (pro ^{137}Cs plošně distribuované na povrchu)	Dávkový příkon ve vzduchu od ^{137}Cs v 1 m nad zemí $\text{ADR}_{\text{ground}_1\text{m}}$
Nebezpečná zóna ($>100 \text{ mSv/rok}$)	$> 1.5 \text{ MBq/m}^2$	$> 4 \text{ } \mu\text{Gy/h}$
Zóna s omezeným přístupem ($20 - 100 \text{ mSv/rok}$)	$300 \text{ kBq/m}^2 - 1.5 \text{ MBq/m}^2$	$0.8 \text{ } \mu\text{Gy/h} - 4 \text{ } \mu\text{Gy/h}$
Zóna s kontrolovaným pobytem ($<20 \text{ mSv/rok}$)	$< 300 \text{ kBq/m}^2$	$< 0.8 \text{ } \mu\text{Gy/h}$
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast I	$100 \text{ kBq/m}^2 - 300 \text{ kBq/m}^2$	$0.3 \text{ } \mu\text{Gy/h} - 0.8 \text{ } \mu\text{Gy/h}$
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast II	$30 \text{ kBq/m}^2 - 100 \text{ kBq/m}^2$	$0.08 \text{ } \mu\text{Gy/h} - 0.3 \text{ } \mu\text{Gy/h}$
Zóna s kontrolovaným pobytem - Oblast III	$< 30 \text{ kBq/m}^2$	$< 0.08 \text{ } \mu\text{Gy/h}$

Tabulka 1: Referenční úrovně pro prvotní vymezení zón a oblastí dle [VDI 134] a dávkový příkon ve vzduchu v 1 m nad zemí [17] způsobený kontaminací ^{137}Cs . První 2 sloupce níže uvedené Tabulky 1 jsou převzaty z VDI 134, třetí sloupec uvádí příspěvek dávkového příkonu ve vzduchu v 1 m nad zemí způsobený kontaminací plošně distribuovaného nuklidu ^{137}Cs , viz [17].)

3. fáze monitorování - od 16. dne po ukončení úniku je zaměřena na stanovení aktivit vybraných radionuklidů na kontrolu radiační situace na území, kde se kontaminace nepředpokládá. Měření slouží k ověření radiační situace a k případnému nalezení míst, kde může být lokální kontaminace z havarované jaderné elektrárny.
4. fáze monitorování - je zaměřena na kontrolu účinnosti nápravných opatření. V případě dekontaminace území (budovy, městská zeleň, lesy, pole, silnice) a předmětů (auta, stroje atd.) je nutné provést kontrolu účinnosti dekontaminace, zda povrchová kontaminace klesla pod požadované hodnoty. Pro rychlé odhady lze využít na rozsáhlých územích leteckou gamaspektrometrie. Využití leteckého monitorování je blíže specifikováno ve VDI 133 a není předmětem této metodiky.

Při monitorování na kontaminovaném území dodržuje LeS režimová opatření sloužící k minimalizaci rizika kontaminace členů LeS a techniky. Po ukončení činnosti LeS provede kontrolu kontaminace osob a techniky a případnou dekontaminaci na určeném stanovišti.

Činnost LeS je ukončena oznámením KŠ SÚJB o ukončení aktivace, resp. pohotovosti, a předáním výsledků monitorování do MonRaS.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 11/43
---	---	-----------------------------

Letecké monitorování stejně jako jakékoli činnosti v oblasti krizového řízení musí být řádně plánovány a koordinovány. Důsledné plánování pak směřuje k tomu, aby činnost byla provedena efektivně, bezpečně, kvalitně a včas. Základní plánovací proces musí probíhat již při přípravě letového plánu (tj. naplánování letu, vymezení oblasti leteckého radiačního průzkumu, určení způsobu a parametrů monitorovacího letu, volby monitorovacího systému, apod.), ve kterém se jednoznačně zvažují veškeré informace a faktory uvedené v kapitolách 5.1.1 až 5.1.6. Plánovacího procesu se musí účastnit obě strany: SÚJB jakožto zadavatel, letecká skupina (SÚRO, AČR). LeS vypracuje na základě požadavku zadavatele projekt a předá jej zadavateli ke schválení. Po schválení projektu jej zadavatel nebo LeS předá provozovateli leteckého prostředku (AČR, PČR).

4.2.1. Informace o aktuální mimořádné radiační situaci

Před vytvářením projektu, výběru parametrů letu, způsobu monitorování a volbou leteckého monitorovacího systému je nutné mít k dispozici veškeré odhady a doposud naměřené hodnoty úniků radionuklidů, aby bylo možné zvolit vhodný detekční systém, nastavit parametry monitorování, způsob monitorování a rovněž vzít v úvahu bezpečnostní opatření s důrazem na radiační ochranu.

4.2.2. Oblast monitorování

Oblast monitorování je obvykle specifikována Krizovým štábem. LeS pak ve specifikované oblasti vytvoří, popřípadě zpřesní polygon, určí hlavní a svazovací linky monitorování (dále jen linky), nastaví paralelní rozestup linek (spacing) a azimut linek (heading).

4.2.3. Kdy bude monitorování zahájeno a plánovaný čas ukončení

Uvedení letecké skupiny do pohotovosti závisí na složení uniklého kontaminantu popřípadě úniku „hot particles“. Aktivace je obvykle v době po přechodu mraku v rámci havarijní situace (NES), Tabulka 3, kdy se měří pouze dávkový příkon. Měření spekter a odhady aktivity nuklidů s dlouhým poločasem přeměny, NES/EES, Tabulka 3, (především ^{131}I , ^{134}Cs a ^{137}Cs) může být zahájeno v době, kdy nuklidy s krátkým poločasem přeměny (například některé izotopy jódu, izotopy teluru, ^{88}Rb , apod.) se rozpadnou a detekční systémy jsou již

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 12/43
---	---	-----------------------------

schopny rozlišit jednotlivé nuklidy ve spektrech a tak v této fázi lze odhadnout jejich aktivity. V závislosti na charakteru úniku může být letecká skupina aktivována v této fázi na měření spekter a odhady aktivit kontaminantu často až 14 dnů po ukončení úniku. Druhá podmínka pro zahájení monitorování je doba, kdy je k dispozici / přistaven vrtulník (AČR nebo PČR). Je nutné vzít v úvahu instalaci leteckého spektrometru nebo jiného radiačního monitorovacího systému podle dané radiační situace. Instalace leteckého spektrometru s NaI(Tl) krystaly včetně doplňků nutných pro správné nabírání dat a zajištění letu podle letového plánu (GPS přijímač, pilotní displej v kokpitu, radarový (nebo jiný) výškoměr, kamera, baterie, apod.) trvá obvykle jednu až dvě hodiny, v závislosti na typu letového prostředku a jeho daného vnitřního vybavení. Popis a umístění leteckého měřicího systému viz kapitola 5.2.1. Plánovaný čas ukončení monitorování je odhadnutý na základě zvolené lokality (vzdálenost k lokalitě) a doletu leteckého prostředku podle množství paliva, popřípadě podle možnosti doplnění paliva na základním letišti.

$$\text{Celková odhadnutá doba mise (h)} = 2 \cdot \text{Zakl-Pol(km)} / 200(\text{km/h}) + \text{Monit(h)} + (2 \cdot \text{Pocet}) \cdot \text{Pol-Refuel(km)} / 200(\text{km/h}) + \text{Pocet} \cdot \text{Tank(h)},$$

kde **Zakl-Pol(km)** je vzdálenost letecké základny od měřicího polygonu, **200(km/h)** je průměrná cestovní rychlost vrtulníku, **Monit(h)** doba monitorování na polygonu, **Pocet** je počet dotankování, **Pol-Refuel(km)** je vzdálenost polygonu od místa dotankování a **Tank(h)** je doba potřebná pro dotankování.

Na základě informací o odhadnuté době monitorování **posádka vrtulníku (obvykle pilot)** určuje nutnost a místo dotankování. Obvykle pro PČR to jsou mezinárodní letiště jako Praha Ruzyně, Karlovy Vary, Pardubice, České Budějovice, Ostrava a Brno a pro AČR letiště Praha Kbely, Prostějov, Pardubice, Ostrava a Náměšť nad Oslavou.

Časové charakteristiky LeS:

- Výdrž vrtulníku ve vzduchu: cca 2,5h
- Vytvoření projektu s přihlédnutím na místo dotankování, parametry monitoringu, překážky v oblasti, atd.: 1h.
- Přejezd na místo přistavení vrtulníku: dle lokace, (např. 1-1,5h Ruzyně/Kbely)
- Předletová příprava s posádkou vrtulníku: 1h
- Instalace přístrojů do vrtulníku: 2h
- Předletová příprava systému: 0,5h

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 13/43
---	---	-----------------------------

- Celkem od vytvoření projektu, přesun k vrtulníku, instalaci, .. až po vzlet: 5-6h

V případě provedení všech příprav den předem jsou nutné v den měření dva kroky:

- Předletová příprava s posádkou vrtulníku: 1h
- Předletová příprava systému: 0,5h

$$\text{MaxMonit(h)} = (1 + \text{Pocet}) * 2,5(h) - 2 * \text{Zakl-Pol(km)} / 200(\text{km/h}) - (2 * \text{Pocet}) * \text{Pol-Refuel(km)} / 200(\text{km/h}),$$

kde **MaxMonit(h)** je teoretická maximální doba monitorování na polygonu, **Pocet** je počet dotankování, **2,5(h)** je obvyklá výdrž vrtulníku, **Zakl-Pol(km)** je vzdálenost letecké základny od měřicího polygonu, **200(km/h)** je průměrná cestovní rychlost vrtulníku a **Pol-Refuel(km)** je vzdálenost polygonu od místa dotankování.

4.2.4. Použitý detekční systém

Použitý měřicí letecký systém (nebo i více systémů) je vybrán operátory na základě informací o aktuální mimořádné radiační situaci. Detailně viz kapitola 5.2.

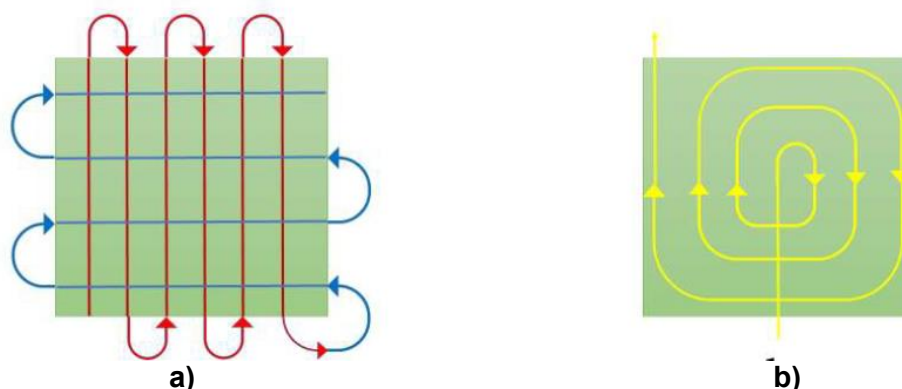
4.2.5. Parametry a způsob monitorování

Parametry monitorování, tj. výška letu, rychlost letu vůči zemi, vzdálenosti mezi linkami tzv. spacing, typ leteckého průzkumu (hlavní linky, svazovací linky, spirála, či jiný typ monitorování) se volí na základě informace o mimořádné radiační situaci, jejím rozsahu, možnostech logistiky (dolet, doplňování paliva, možnost rotace osádek vrtulníku (z důvodu odpočinku) a operátorů leteckých měřicích přístrojů).

V praxi jsou nejčastěji používány dvě varianty způsobu letu při provádění monitorování, viz obr. 3. Varianta A, po letových linkách, je jednodušší na plánování, snazší pro orientaci pilotů a operátora. Protože je anténa radarového výškoměru detekčního zařízení namontována fixně k trupu vrtulníku, dochází při jeho obratech nebo zvětšení náklonu k nárůstu nepřesnosti v údajích o výšce nad terénem. Rovněž samotný detektor je připevněn k podlaze vrtulníku a tak při změně náklonu dochází ke změně geometrie měření, což mírně

 Příjemce: Státní ústav radiální ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 14/43
---	---	-----------------------------

ovlivňuje přesnost měření při obrazech. Proto jsou u tohoto způsobu letu obraty vrtulníku, při kterých jsou výšková data a data z měření zatížena nepřesností, prováděny až mimo monitorovaný polygon. U varianty B (spirály) je z principu zásadním přínosem kratší dráha letu, avšak data jsou zatížena nepřesností při točivých pohybech letového prostředku z důvodů uvedených výše. Na druhou stranu tento způsob je vhodný do míst, kde není dostatek prostoru pro otáčky vrtulníku – např. v příhraniční oblasti s nemožností přeletět hranice nebo v případě nutnosti proměření celé ZHP.



Obr. 3 Typy leteckého radiálního průzkumu A) polygon (hlavní linky-červené, svazovací linky-modré); B) spirála; převzato z [9]

4.2.6. Omezení pro letecká měření

Různá omezení vychází zejména ze zkušeností z dlouholetého využívání letecké spektrometrie v České republice, především na Státním ústavu radiální ochrany a u 314. centra výstrahy ZHN Armády České republiky.

4.2.6.1. Omezení z hlediska vrtulníku

4.2.6.1.1. Letecké předpisy

Letecké předpisy jsou v České republice uveřejňovány Ministerstvem dopravy ČR prostřednictvím státního podniku Řízení letového provozu ČR (ŘLP ČR, s.p.) cestou Letecké informační služby (LIS). Úřad pro civilní letectví připravuje návrhy jejich znění, a to převážně na základě standardů a doporučených postupů ICAO nebo na základě dokumentů uveřejňovaných Sdruženými leteckými úřady JAAT. Konkrétní závazná ustanovení leteckých předpisů jsou svázána s použitým leteckým prostředkem. Jiná omezení jsou při použití

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 15/43
---	---	-----------------------------

vrtníku s posádkou, UAV, nebo při použití aerologické sondy. V případě krizových situací, jako je mimořádná radiační situace, je řada omezení zrušena nebo dočasně pozastavena - tyto informace mají k dispozici piloti leteckých prostředků obvykle prostřednictvím veřejných stránek (<https://aim.rlp.cz>) ŘLP ČR.

4.2.6.1.2. *Vliv počasí apod.*

Počasí významně ovlivňuje monitorování. Na základě špatné meteorologické předpovědi počasí, především nízké oblačnosti, kdy je zhoršená viditelnost, může dojít k odložení letu, popřípadě jeho úplného zrušení. Konečné rozhodnutí náleží pilotům. Vrtulníky, jež jsou v současné době určeny u PČR a AČR pro radiační monitorování, v souladu s platnými leteckými předpisy, neumožňují provádění leteckého monitorování za podmínek snížené viditelnosti (noc, přízemní oblačnost apod.).

4.2.6.2. *Omezení z hlediska detekce*

4.2.6.2.1. *Omezení dané typem detekovaného záření*

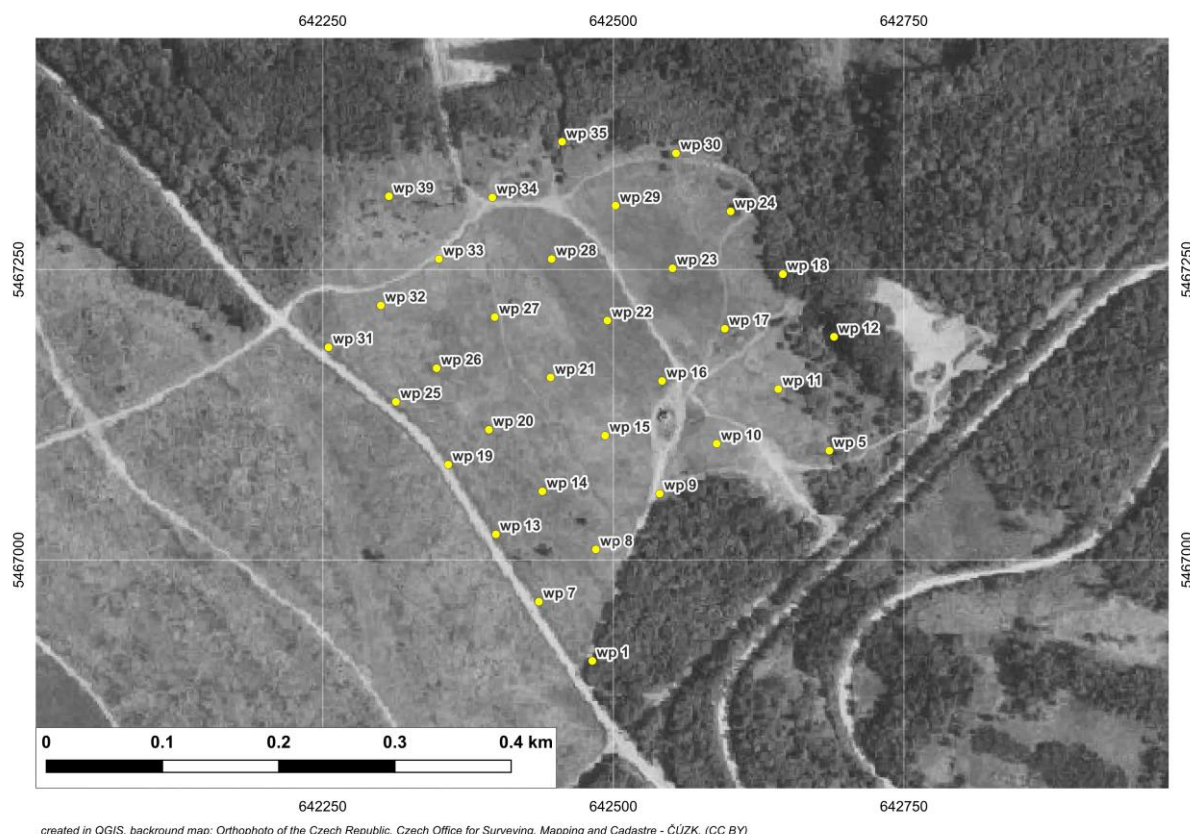
Letecké monitorovací systémy (letecké spektrometry nebo měřidla dávkového příkonu ve vzduchu) vzhledem ke vzdálenosti zdroje (povrch země) měří pouze záření gama. U leteckých spektrometrů je to obvykle v rozsahu energií od 35 keV do 3000 keV. Měřicí systémy, GM trubice apod. stanovující dávkové příkony ve vzduchu, popř. příkony prostorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ rovněž měří pouze záření gama ve stejném nebo i menším energetickém rozsahu podle typu detektoru.

4.2.6.2.2. *Kalibrace*

Všechny letecké monitorovací systémy musí být správně kalibrovány jak na stanovení dávkového příkonu ve vzduchu, tak na stanovení plošných aktivit.

Kalibrace na dávkový příkon lze provést různými způsoby. Kalibrace malých válcově symetrických detektorů NaI(Tl) 3" x 3", CeBr₃ 1.5" x 1.5", LaBr, HPGe a plastových detektorů je prováděna např. podle postupu popsaného v [7] nebo [8]. V případě kalibrace NaI(Tl) s rozměry 40 cm x 10 cm x 10 cm je kalibrace popsána v [10]. Tento způsob kalibrace dávkového příkonu je využíván u všech leteckých spektrometrů a leteckých měřicích systémů dávkového příkonu ve vzduchu používaných v ČR a lze jej zahrnout mezi nové přístupy především pro vyšší dávkové příkony ve vzduchu.

Pro stanovení aktivit vybraných umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy se běžně používá metoda oken (WND) s využitím stripping faktorů s rozšířením na ^{137}Cs , popř. ^{134}Cs . Kalibrace se provádí pomocí reálných kalibračních desek [11] doplněných simulovanými plošnými deskami vytvořených v transportním kódu Monte Carlo. Vlastní nastavení citlivostí leteckého spektrometru pro jednotlivá okna se pak provádí nad referenčními plochami. Referenční plochy jsou místa, kde nedochází k pohybu svrchní vrstvy půdy (například zemědělská orba), lokalita je podrobně proměřena *in-situ* měřením s polovodičovými HPGe detektory ve vytvořené síti bodů vzdálených od sebe 50 - 100 m. Referenční plocha by měla mít velikost alespoň 500 m x 500 m. V ČR jsou pro kalibraci leteckých spektrometrů vybrány celkem tři lokality – a) veřejné letiště Vlašim [12], b) veřejné letiště Vyškov [13], c) vojenské cvičiště TPC3 ve vojenském výcvikovém prostoru Březina u Vyškova [14] (obr. 4).



Obr. 4 Referenční plocha ve vojenském výcvikovém prostoru Březina. (značky okrajů mapy - souřadnicový systém WGS 84 / UTM zone 33N - EPSG:32633)

Metoda stanovení plošných aktivit na základě metody nejmenších čtverců (LSQ) nebo metody nejmenších čtverců s nezápornými koeficienty (NN-LSQ) je založena na simulaci Monte Carlo a výpočtu matic odezev, tj. vytvoření jednotkových spekter v $[\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{kg}]$ nebo $[\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^2]$ (spektrum vytvořené jednotkovým množstvím, tzn. například simulované spektrum

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 17/43
---	---	-----------------------------

^{137}Cs vytvořené 1 Bq.m^{-2}). To je ideální přístup právě pro vyhodnocení složitějších spekter. Pro letecké spektrometry používané SÚRO a AČR byly vypočteny matice odezev pro krystaly NaI(Tl) 40 cm x 10 cm x 10 cm pro nuklidy ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{103}Ru , tedy takové, které budou s velkou pravděpodobností detekovány tímto leteckým spektrometrem v pozdní fázi radiační havárie.

4.2.6.2.3. Parametry letu

Používaná letová rychlost je 90 km.h^{-1} až 150 km.h^{-1} . Vyšší rychlosti mají vliv na vyšší spotřebu paliva i snížení prostorového rozlišení ev. anomálií, proto tyto rychlosti jsou optimální i pro monitorování při vyšších dávkových příkonech.

Letové výšky se pohybují při vysokých dávkových příkonech cca od 80 m do 300 m a to podle hodnoty dávkových příkonů ve vzduchu a velikosti povrchové kontaminace půdy. Ideální výšky jsou při vysokých kontaminacích mezi 100 m až 300 m nad zemí. V těchto výškách budou převažovat ve spektrech příspěvky umělých nuklidů nad příspěvky přírodních nuklidů.

Při využití hlavních letových linek (tzv. survey lines) na polygonu se doporučuje spacing (vzdálenost mezi linkami) od 200 m až po 800 m v závislosti na požadavcích komplexnosti monitorování. Při větších vzdálenostech hlavních letových linek se mohou vytvořit mezi linkami "slepá místa", tedy místa, z nichž nebudou fotony detekovány.

Frekvence detekce je obvykle 1 sekunda. Frekvencí detekce se rozumí zaznamenávání veškerých dat s intervalem 1 s, tedy jednosekundové spektrum, poloha GPS, letová výška, nadmořská výška a další parametry. Veškerá data jsou ukládána do datového souboru pro poletové vyhodnocení dat.

4.2.6.2.4. Zeslabení vrtulníkem

V České republice jsou letecké spektrometry a letecké monitorovací systémy umístěny v kabině vrtulníků. Trup vrtulníku zeslabuje záření gama a při zpracování leteckých dat v komerčních programech by tato skutečnost měla být korigována. Zeslabení trupem u používaných vrtulníků se pohybuje cca od 10 - 20 % a ovlivňuje tak stanovení dávkového příkonu ve vzduchu a stanovení aktivit radionuklidů v půdě a na povrchu půdy (čerstvý spad). V rámci havarijního monitorování však nemá tato odchylka zásadní význam. Korekce se provádí jen při monitorování za normální radiační situaci.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 18/43
---	---	-----------------------------

4.2.6.2.5. *Poloha palivových nádrží*

Při instalaci leteckého spektrometru do vrtulníku je nutné zjistit, zda se pod instalovaným zařízením nenachází palivové nádrže. Letecké palivo se během letu spotřebovává a tím se během letu zmenšuje zeslabení, které ovlivňuje vypočtené hodnoty. V případě, že není k dispozici jiný vhodnější letový prostředek, lze takový vrtulník využít, je však nutno brát v úvahu, že během letu se může zeslabení měnit klesajícím množstvím paliva. Tím se vnáší do výpočtů nejistota. V současné době je umístění přístrojů ve vrtulníku Mi-17 bez problémů, neboť tento vrtulník má palivové nádrže po stranách. Policejní vrtulník Bell 412 má nádrže u vstupů z obou stran, doporučuje se tedy umístit přístroje do střední části vrtulníku. Nevhodně umístěné nádrže má vrtulník PZL W-3A Sokol, který má nádrže pod celou podlahou. Rovněž policejní vrtulníky EC 135 mají prostor pro instalaci přístrojů v zadním nákladovém prostoru, pod nímž se rovněž nachází nádrž s palivem. Za mimořádné radiační situace lze využít všechny typy uvedených vrtulníků. Nejistota způsobená zeslabením záření gama měnícím se množstvím paliva je sice z hlediska měření nezanedbatelná, ale z hlediska rozhodování o radiační situaci budou naměřené hodnoty i s takovou nejistotou akceptovatelné.

4.3. **Letecké radiační monitorovací systémy a jejich doplňky**

Informace o leteckých radiačních monitorovacích systémech uvedené v této kapitole vycházejí ze zkušeností s leteckými monitorovacími systémy doposud používanými v České republice v době přípravy této metodiky.

LeS při monitorování na pilotovaných leteckých prostředcích používá k monitorování radiační situace několik různých systémů a detektorů, které lze instalovat na palubu vrtulníku včetně nutných doplňků pro správné vyhodnocení dat a posouzení radiační situace. Všechny systémy jsou nezávislé na palubních zdrojích napětí.

Manipulovat a obsluhovat veškeré letecké spektrometry mohou pouze kvalifikované osoby patřičně zaškolené pro manipulaci, instalaci a obsluhu přístrojů.

Opravy a jakékoliv zásahy ve vnitřních částech smí provádět pouze servisní technik dodavatelské firmy.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 19/43
---	---	-----------------------------

4.3.1. Letecké spektrometry

Letecký spektrometr se 4 x 4 litry NaI(Tl) (rozměry krystalů 40.6 cm x 10.2 cm x 10.2 cm)

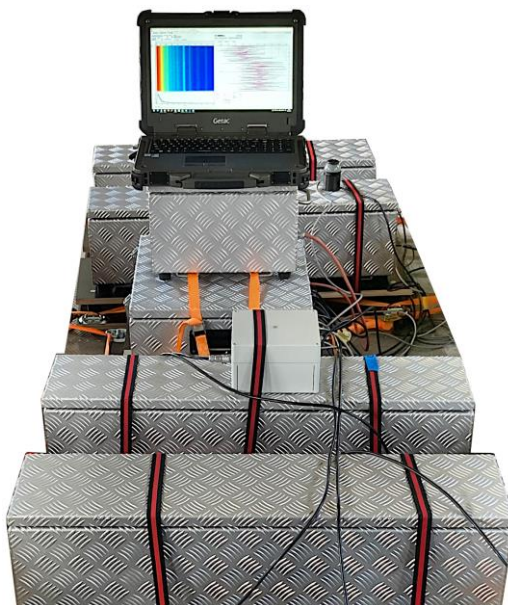
Letecký spektrometr IRIS - 4 scintilační detektory NaI(Tl) krystaly (každý krystal o objemu cca 4 litry) uložené ve 2 boxech (obr. 5); výrobce PicoEnvirotec, Inc. Canada. Tento spektrometr vlastní SÚRO, v.v.i. a v novější podobě (tzv. AIRIS) i AČR.



Obr. 5 Letecký spektrometr IRIS (výrobce Pico Envirotec, Canada), 2 boxy, 4 detektory NaI(Tl) s rozměry krystalů 40.6 cm x 10.2 cm x 10.2 cm

Letecký spektrometr je vhodný pro monitorování v pozdní fázi po úniku nuklidů z jaderně-energetického zařízení pro stanovení dávkových příkonů v 1 m nad zemí od desítek $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ do $10\ \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ a stanovení plošných aktivit ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{104}Ru řádově vyšších stovek $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Přístroj nemá korekci na mrtvou dobu. Naměřená data se ukládají do datového binárního souboru PEI. Využívá se rovněž pro monitorování za normální radiační situace pro přírodní nuklidy a exponenciálně distribuované ^{137}Cs zhruba do hodnot $50\ \text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Způsob instalace v Mi-17, Mi-171Š a W-AA Sokol je popsán v [15], pro další vrtulníky předpisy neexistují.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 20/43
---	---	-----------------------------



Obr. 6 Letecký spektrometr RadPatrol2 (NUVIA, a.s. CZ), 2 boxy, 4 detektory NaI (TI) rozměry krystalů 40.6 cm x 10.2 cm x 10.2 cm

Letecký spektrometr RadPatrol2 – Na obr. č. 6 je zobrazen letecký spektrometr RadPatrol2 se 4 scintilační detektory NaI(Tl) krystaly (každý o objemu cca 4 litry) uložené v samostatných boxech; výrobce NUVIA, a.s. Letecký spektrometr RadPatrol2, který vlastní SÚRO, v.v.i., je vhodný pro monitorování v různých fázích po úniku z jaderně-energetického zařízení pro stanovení dávkových příkonů v 1 m nad zemí od přírodního pozadí do hodnoty cca $4 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ a stanovení plošných aktivit ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{103}Ru řádově do vyšších stovek $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$. Přístroj má korekci na mrtvou dobu. Naměřená data se ukládají do datového binárního souboru PEI. Spektrometr se rovněž využívá pro monitorování přírodních nuklidů a nuklidu ^{137}Cs exponenciálně distribuovaného v půdě zhruba do hodnot $50 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ za normální radiační situace. Způsob instalace v Mi-17, Mi-171Š je popsán v [16], pro další vrtulníky předpisy neexistují.

Letecký spektrometr s polovodičovým detektorem HPGe – Na obr. 7 je zobrazen letecký spektrometr s polovodičovým detektorem HPGe. Pro tento spektrometr byly využity komerčně dostupné prvky, tj. běžný přenosný detektor HPGe s účinností 25 %, mnohokanálový analyzátor MCA – dSPEC Pro, GPS přijímač, radarový výškoměr. Navržený software zajišťuje synchronizaci ukládaných dat, tj. jednosekundového spektra, polohy GPS a letové výšky z výškoměru v intervalu 1 s, včetně dalších parametrů. Spektrometr měří dávkový příkon ve vzduchu na palubě vrtulníku, který je při zpracování dat přepočten na výšku 1 m nad zemí až do cca $4 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ při vysokých dávkových příkonech způsobených kontaminací povrchu. Tento

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 21/43
---	---	-----------------------------

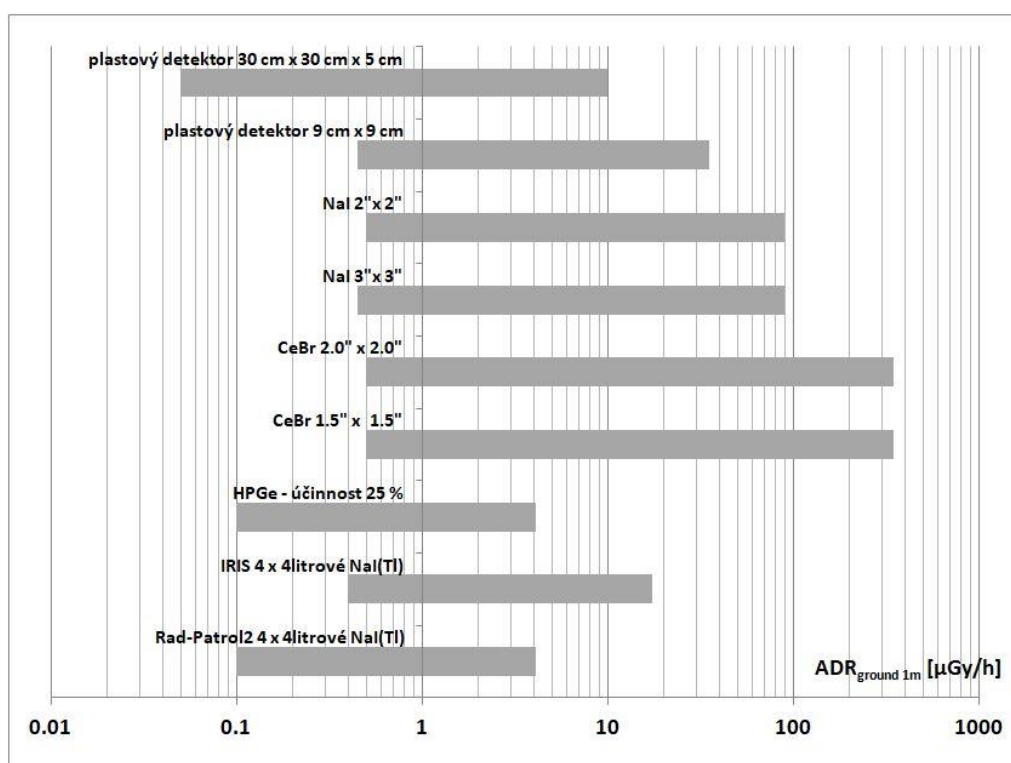
letecký spektrometr je rovněž nakalibrován na stanovení plošných aktivit následujících nuklidů ^{132}Te , ^{131}I , ^{103}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{134}I , ^{135}I , ^{88}Rb v energetickém rozsahu do 3000 keV. S použitím simulace Monte Carlo lze dopočítat účinnosti i pro další nuklidy. Detektor lze výhodně použít pro monitorování v poúnikové fázi z důvodů vysokého energetického rozlišení ve srovnání se scintilačním krystalem NaI(Tl) především pro kvalitativní analýzu. V rámci normální radiační situace je polovodičový detektor schopen měřit pouze dávkový příkon ve vzduchu, který lze pak přepočítat na dávkový příkon ve vzduchu v 1 m nad zemí.



Obr. 7 Letecký spektrometr s polovodičovým detektorem HPGe Ortec, účinnost 25 %

- Letecký spektrometr s malými scintilačními detektory** – Tyto detektory jsou ovládány řídicí jednotkou RadPatrol2. Jedná se o scintilační detektory NaI(Tl) 3" x 3", CeBr 1.5" x 1.5", popř. detektor LaBr 1.5" x 1.5" nebo plastové detektory. Všechny detektory se používají pro stanovení dávkového příkonu ve vzduchu na palubě vrtulníku a přepočítávají se na dávkový příkon ve vzduchu v 1 m nad zemí. Energeticky jsou detektory nastaveny na rozsah od cca 35 keV do 3000 keV. Rozsahy dávkových příkonů ve vzduchu jednotlivých testovaných a v praxi používaných detektorů jsou uvedeny v následujícím obr. 8. Malé detektory jsou určeny především pro stanovení dávkového příkonu a nejsou primárně uvažovány pro stanovení aktivit umělých nuklidů. Detektory NaI(Tl) 3x3, CeBr 1.5" x 1.5", popř. detektor LaBr lze využít při jednodušších spektrech ke kvalitativní analýze. Plastové detektory se v leteckém monitorování vzhledem k jejich fyzikálním vlastnostem využívají jako detektory dávkového příkonu. Pro spektrometrické účely v rámci letecké gamaspektrometrie nejsou vhodné. Výhodou těchto detektorů je jejich nízká cena.

Součástí gamaspektrometru je sonda pro měření vysokých dávkových příkonů (např. MDG-03) se standardním GM detektorem (pouze ve výbavě spektrometru AČR), který rozsahem měření až do 10 Gy/h, poskytuje systému zachování možnosti měření dávkového příkonu. Energetický rozsah GM je 80 – 1500 keV.



Obr. 8 Rozsahy měřitelných dávkových příkonů $ADR_{ground\ 1m}$ v 1 m nad zemí pro letovou výšku 100 m

Detektory uvedené na obr.č. 8 byly kalibrovány na lokální dávkový příkon ADR_{loc} , tj. dávkový příkon v místě detektoru (na palubě vrtulníku). Na základě simulací Monte Carlo byly stanoveny přepočty lokálního dávkového příkonu na dávkový příkon v 1 m nad zemí. Na obr. č. 8 jsou uvedeny přepočtené rozsahy dávkového příkonu $ADR_{ground\ 1m}$ v 1 m z ADR_{loc} v letové výšce 100 m. Pokud bude potřeba měřit větší rozsahy dávkových příkonů v 1 m, je nutné monitorovat z větší výšky. Popřípadě použít kombinaci změny detektor a změny letové výšky. Pak lze v prvním přiblížení použít následující přepočet na dávkový příkon v 1 m nad zemí v případě kontaminace nuklidy ^{137}Cs , ^{134}Cs a ^{131}I :

$$ADR_{ground\ 1m} \sim 5 \times ADR_{loc} \text{ pro letovou výšku 100 m}$$

$$ADR_{ground\ 1m} \sim 15 \times ADR_{loc} \text{ pro letovou výšku 200m}$$

$$ADR_{ground\ 1m} \sim 25 \times ADR_{loc} \text{ pro letovou výšku 300m}$$

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 23/43
---	---	-----------------------------

Nicméně tyto přepočty je nutné brát jako velmi orientační hodnoty, protože přepočty závisí na poměru jednotlivých přítomných nuklidů v kontaminantu a i na velikosti jejich aktivit. Navíc se s rostoucí letovou výškou ztrácí prostorové rozlišení.

4.3.2. Příslušenství

Letecký spektrometr musí být vybaven dalšími nezbytnými prvky. Jsou to:

- **Výškoměr** (radarový, laserový, apod.). Každý z typů výškoměru má své výhody a nevýhody. Výškoměr musí být umístěn vně vrtulníku a nesmí být stíněn (obr. 9), nejlépe na stabilizátoru tzv. gimbal zajišťující kolmý směr vysílaného signálu k zemi. Používaný radarový výškoměr měří výšku v rozsahu cca 10 m až 500 m AGL,



Obr. 9 Umístění radarového výškoměru v zadních "krovkách" vrtulníku Mi-17

- **GPS přijímač.** Ten musí být umístěn ve vrtulníku tak, aby byl zajištěn nejlepší signál ze satelitů. Opět buď pevně uchycen na některé části leteckého prostředku, nejlépe v proskleném kokpitu nebo na některém z oken,
- **Navigační pilotní displej.** Zařízení, jenž umožňuje navigovat pilota při leteckém průzkumu podle vytvořeného projektu monitorování. Displej musí být v kokpitu bezpečně umístěn tak, aby na něj pilot za každé situace viděl. Na obr. 10 je tablet se zobrazením vyvinutého softwaru pro navigaci pilotů při monitorování.

Dále mohou být instalovány prvky zefektivňující celkový proces; jsou to:

- **Měřidlo tlaku, teploty a vlhkosti.** Měřidlo je umístěno společně s radarovým výškoměrem. Používá se především při geofyzikálních měřeních, v případě havarijního monitorování má využití pouze ve speciálních měřeních. U havarijního

 Příjemce: Státní ústav radiální ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 24/43
---	---	-----------------------------

monitorování se toto zařízení běžně nepoužívá. Měřidlo je umístěno vedle radarového výškoměru.

- **Modem.** Toto zařízení vysílá veškerá měřená data na pozemní stanice (1 nebo i více). Výhodou tohoto zařízení je to, že jsou na pozemní stanici k dispozici data uložená v datovém souboru a lze ihned provést poletové vyhodnocení dat.



Obr. 10 Navigační pilotní displej umístěný na palubní desce v kokpitu

- **Gimbal** – stabilizátor zvoleného prvku; doporučeno v případě používání kamery na snímkování terénu pod vrtulníkem,
- **Kamera na snímkování terénu** – pro vytváření snímků terénu za letu. Vhodné pro speciální účely (např. orientaci v terénu při dohledávání ztraceného zdroje),

Instalace vně trupu letového prostředku může vyžadovat speciální konstrukci a v některých případech i zásahy do konstrukce letového prostředku. Jakýkoliv zásah do konstrukce letového prostředku nebo umístění externích komponent vyžaduje schválení úpravy letového prostředku pro letový provoz Úřadem pro civilní letectví (pro vrtulníky AČR také Odborem pro dohled nad vojenským letectvím). V současné době, jak již bylo prezentováno dříve, jsou detektory letového spektrometru umísťovány uvnitř na podlahu

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 25/43
---	---	-----------------------------

vtulníků a do výpočtu by mělo být zahrnuto stínění trupem vrtulníku. Umístění jednotlivých prvků je popsáno na obr. 11.



Obr. 11 Umístění leteckého spektrometru a dalšího příslušenství na vrtulníku Mi-17

4.4. Logistika leteckého monitorování

Letecké monitorování radiace je metoda vhodná pro rychlé a efektivní pokrytí rozsáhlých oblastí, kde by pozemní měření bylo časově a logisticky náročné. Pomáhá identifikovat zóny se zvýšenou úrovní radiace. V časně fázi havárie (doba od počátku mimořádné události do jednoho až dvou dnů po ukončení úniku radionuklidů z havarované JE) je nutné co nejdříve zmapovat dávkové příkony na zasaženém území. V první fázi leteckého monitorování se vymezují oblasti kontaminace a z těchto důvodů lze používat i větší rozestupy mezi linkami (tzv. spacing) (viz kapitola 5.1.4.) až do 1 km. O tom, kde konkrétně měřit a v jakých časových intervalech rozhodne KŠ přímo nebo prostřednictvím regionálního KŠ (RKŠ). V této fázi se obvykle měří jen dávkový příkon. Po vymezení kontaminovaných prostorů se na základě požadavků krizového štábu obvykle začne provádět podrobnější měření v určených oblastech. Při těchto měřeních se již zmenšuje rozestup mezi jednotlivými linkami. V této fázi lze podle radiační situace již plně využívat přístroje umožňující měřit gama spektra a zahájit

kvalitativní popřípadě kvantitativní analýzu. Z výše uvedeného je zřejmé, že letecké monitorování v této fázi pomocí bezpilotních prostředků bude potenciálně vyžadovat výkonné bezpilotní prostředky s dostatečnou letovou výdrží v kombinaci s dostatečnou nosností pro vhodný detekční systém.

4.4.1. Výkonnost LeS při monitorování ZHP JE

V ČR jsou k dispozici 2 monitorovací skupiny LeS SÚRO a LeS AČR. Pro obsluhu leteckých měřících systémů jsou potřeba 2 operátoři, pro vyhodnocení dat a jejich zpracování do map jsou potřeba nejméně dva specialisté.

V následující rozvaze budou použity konzervativní odhady. Vrtulníky AČR a PČR jsou obvykle schopny 2,5h letu, poté musí přistát a dotankovat palivo. Vzhledem k poloze jaderných elektráren Temelín a Dukovany pro přilet a odlet z polygonu na letiště je obvyklý čas 30 min., tzn. čistá doba na polygonu tak vychází 1,5h. Za tuto dobu s rozestupem linek 500 m a rychlosti 150 km/h lze zmonitorovat cca 100 km². Při každodenním monitorování lze předpokládat únavu obsluhující posádky měřících přístrojů, tudíž je zvolen jeden let denně v rozsahu 6 dní v týdnu. Z tohoto vyplývá průměrná denní mise jednou osádkou cca 85 km². Celkem tak pro dvě LeS průměrná zmonitorovaná denní plocha je 170 km². Pro ZHP JETE to odpovídá 6-7 dní a pro ZHP JEDU 16-17 dní. Výše průměrná zmonitorovaná denní plocha se může měnit v závislosti na vzdálenosti místa tankování, počasí, denního světla, kdy se může létat, aj. Krátkodobě lze dobu monitorování zvýšit, např. s přihlédnutím na nadcházející předpověď počasí a tak zvýšit průměrnou denní zmonitorovanou plochu.

LeS	Operátoři /specialisté	Doba letu	Na polygonu	Spacing/ Rychlost	Denní oblast	ZHP ETE	ZHP EDU
SÚRO	2	2,5 h	1,5 h	500 m	85 km ²	6 až 7 dnů	16 - 17 dnů
	2			150 km/h			
AČR	2	2,5 h	1,5 h	500 m	85 km ²		
	2			150 km/h			

Tabulka 2: Parametry monitorování pro kompletní ZHP JE Temelín a JE Dukovany

4.4.2. Letiště pro tankování leteckého paliva

Místa pro doplňování leteckého paliva do armádních vrtulníků během monitorovací mise je dedikováno AČR. Zpravidla probíhá v blízkosti monitorované lokality. Využití cisteren pro doplnění paliva je spíše záložní řešení.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 27/43
---	---	-----------------------------

Tankování v případě vrtulníků PČR bude pravděpodobně možné na všech civilních letištích umožňujících tuto aktivitu. Otázkou je, do jaké míry budou vytíženy vrtulníky při krizové situaci pro jiné úkoly.

4.4.3. Volba monitorovacího systému

Volba monitorovacího systému se odvíjí od radiační situace, rozsahu havárie, typu úniku, apod.

V **časné fázi** bude volba monitorovacího systému zaměřena na stanovení dávkového příkonu ve výšce 1 m nad zemí.

Doporučené měřicí systémy s ohledem na odhady hodnot dávkového příkonu:

Pokud odhady hodnot DP v 1 m nad zemí $> 5 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, tak je vhodné použít:

1. měřicí systém s GM trubicí nebo
2. měřicí systém s CeBr nebo plastovým detektorem. V časně fázi nebude pravděpodobně tímto detektorem možné určit složení a aktivity nuklidů s ohledem na předpokládané složité spektrum štěpných látek.

Pokud odhady hodnot DP v 1 m nad zemí $< 5 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, tak je vhodné použít:

1. letecký spektrometr alespoň se dvěma krystaly 40.6 cm x 10.2 cm x 10.2 cm (např. IRIS, RadPatrol2) pro stanovení DP v 1 m nad zemí. V časně fázi nebude pravděpodobně tímto detektorem možné určit složení a aktivity nuklidů s ohledem na předpokládané složité spektrum štěpných látek.
2. letecký měřicí systém s malým detektorem, tj. NaI(Tl) 3" x 3", CeBr 1,5" x 1,5", LaBr 1,5" x 1,5" nebo plastový detektor pro stanovení DP v 1 m nad zemí. V časně fázi nebude pravděpodobně tímto detektorem možné určit složení a aktivity nuklidů s ohledem na předpokládané složité spektrum štěpných látek,
3. Jsou-li odhady DP nižší než $1 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, lze použít monitorovací systém s HPGe detektorem a stanovit DP v 1 m nad zemí včetně složení a aktivity vybraných nuklidů.

Ve **střední a pozdní fázi** (doba následující po časně fázi, může trvat týdny i roky) bude volba monitorovacího systému zaměřena na stanovení dávkového příkonu ve výšce 1 m nad zemí a kvalitativní a kvantitativní složení kontaminantu.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 28/43
---	---	-----------------------------

Doporučené spektrometrické systémy:

1. Letecký spektrometr se 2 až se 4 krystaly 40.6 cm x 10.2 cm x 10.2 cm (např. IRIS, RadPatrol2) pro stanovení DP v 1 m nad zemí. Pokud jsou ve spektru jen nuklidy s delším poločasem přeměny, např. ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs lze provést odhad aktivity nuklidů s tímto detektorem.
2. Lze použít monitorovací systém s HPGe detektorem a stanovit DP v 1 m nad zemí včetně složení a aktivity vybraných nuklidů např. ^{132}Te , ^{131}I , ^{103}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{134}I , ^{135}I , ^{88}Rb .

4.5. Postup při leteckém radiačním monitorování

Při měření se postupuje dle technické dokumentace (návodů) k přístroji. Letecké monitorovací systémy obsluhují operátoři, kteří jsou zaškoleni a mají odbornou kvalifikaci pro ovládání těchto systémů.

Postup činností je následující:

a) **Předletová příprava 1** (časová náročnost: 1-2h) – vytvoření letového plánu (projektu) v oblasti průzkumu na základě požadavku KŠ:

- zadání výšky letu (za radiační situace v rozmezí od 100 m do 300 m AGL, za normální situace 100 m AGL)
- typ průzkumu: polygon (s rovnoběžnými linkami a kolmými linkami), spirála, speciální linky nebo waypoints, či jiné předem nespecifikované
- zadání vzdálenosti mezi linkami, tzv. spacing (minimum 200 m, maximum na základě informací o radiační situaci), popř. volba spirály
- zadání rychlosti letu (100 km/h až 200 km/h)
- frekvence záznamu dat ($T = 1\text{s}$) je obvykle dána automaticky
- podle radiační situace a fáze havárie navrhuje operátor výběr leteckého spektrometru.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 29/43
---	---	-----------------------------

-	Normální situace (PES)	Havarijní situace (NES)	Pozdní fáze havarijní situace (NES/EES)
Požadovaná veličina	dávkový příkon plošná/hmotnostní aktivita	dávkový příkon plošná/hmotnostní aktivita	dávkový příkon plošná/hmotnostní aktivita
Radionuklidy	přírodní i umělé	nespecifikováno	Umělé
Měřicí systém	IRIS/AIRIS, RadPatrol2	RadPatrol2 (pouze GM+CeBr), AIRIS	IRIS/AIRIS, RadPatrol2, HPGe,....
Výška letu [m]	100 - 150	100 - 300	100 - 300

Tabulka 3: Přehled požadavků na monitorování v různých situacích

b) **Přejezd na místo přistavení vrtulníku** (časová náročnost: dle lokace, např. 1-1,5h Ruzyně/Kbely)

c) **Předletová příprava s posádkou vrtulníku** (časová náročnost: 1 h) – předání plánovacích podkladů monitorované lokality a požadavků na výšku a rychlost letu během měření. Piloti mohou požadovat upravit letový plán podle povětrnostních podmínek a jiných faktorů ohrožující bezpečnost letu.

d) **Instalace systému do vrtulníku** (časová náročnost: 2 h) – probíhá na zemi před vzletem vrtulníku

- uchycení antény GPS
- uchycení výškové antény
- umístění a upevnění detekčních jednotek a řídicích modulů, propojení jednotek kabely

e) **Předletová příprava 2** (časová náročnost: 0,5 h) – test systému

- start systému
- ověření, zda systém a veškerá příslušenství systému pracují správně
- ověření, zda spektrometrické systémy jsou stabilizovány a energetická kalibrace na odpovídajících kanálech
- ověření ukládání dat
- podle potřeby spustit odesílání dat on-line na pozemní stanici a ověřit příjem dat
- ověření komunikace mezi operátorem leteckého spektrometru a piloty

f) Po instalaci a kontrole funkčnosti systému nahlášení připravenosti ke vzletu pilotovi

g) Přelet na monitorovanou lokalitu a zahájit letecký průzkum nad požadovanou oblastí

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 30/43
--	--	-------------------------------------

h) Ověřit ukládání dat z měření

i) Během letu sledovat data (např. stabilita energetického spektra, data z výškoměru, data z GPS, dávkový příkon na palubě, mrtvá doba spektrometru, ..)

j) Během letu sledování a případné upozornění posádky na potřebu korekce odchylek:

- dodržování výšky nad terénem
- dodržování rychlosti
- dodržování letové linky

k) Na konci letové linky:

- přepnutí na další linku
- upozornění pilota na dokončení letové linky
- navedení pilota na další linku (je-li potřeba, např. ústně přes interkom)

l) Po průletu poslední linky

- informovat pilota o ukončení poslední linky
- pokud je to možné, tak odeslat naměřená data do vyhodnocovacího centra
- návrat na leteckou základnu

m) Po přenesení naměřených dat do vyhodnocovacího centra provést detailní zpracování a vyhodnocení dat a to:

- archivace dat
- vyhodnocení dávkového příkonu, popřípadě aktivit umožňují-li to použité v současné době používané vyhodnocovací softwary (AGAMA, PRAGA4), podrobněji viz kapitola 4.7.2
- po zpracování dat přenést výsledky do MonRaS, popřípadě na určené místo KŠ SÚJB
- zpracování pomocí mapového software do mapových podkladů (protože používané vyhodnocovací programy neumožňují vytvoření mapového výstupu, který by vyhovoval účelům KŠ, výsledná mapa se vytváří v GIS aplikaci, např. QGIS. Pro zobrazení dat v aplikaci GIS je potřeba specialista, který je dobře seznámen s takovou aplikací.)

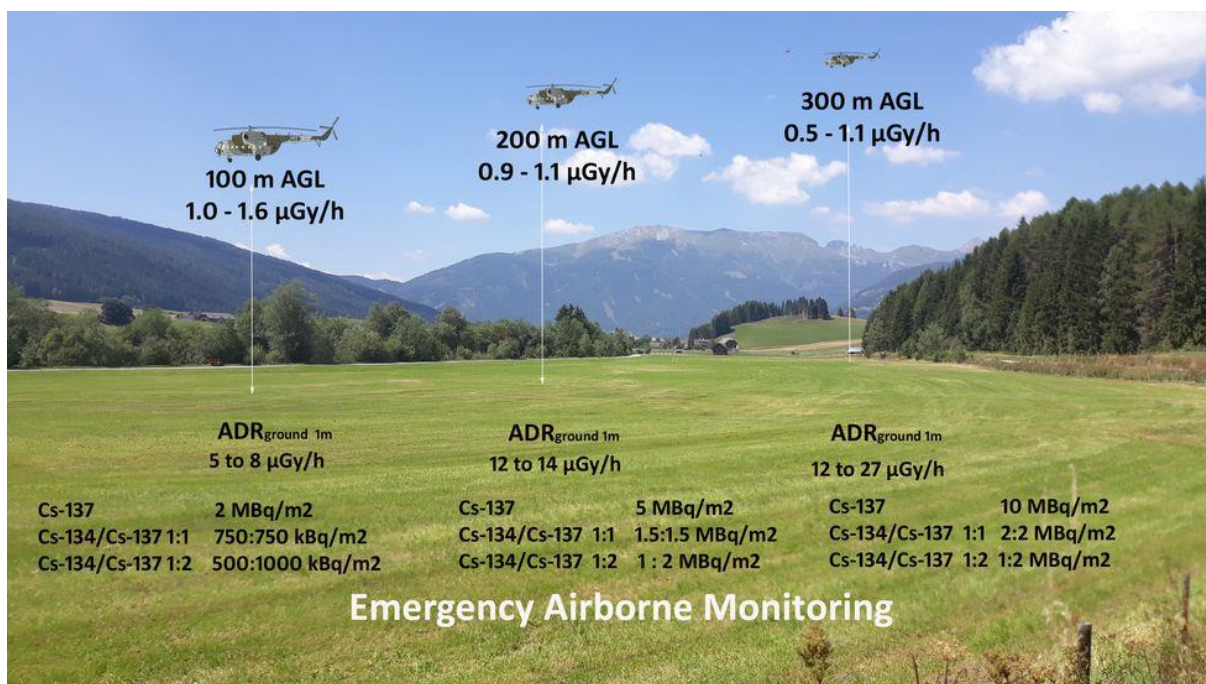
4.6. Optimalizace letu

Každá činnost vedoucí k ozáření musí být zdůvodněna, což znamená, že přínosy musí převyšovat rizika spojená s ozářením. Optimalizace radiačních dávek je proces, jehož cílem je minimalizovat ozáření lidí při zachování potřebné úrovně ochrany a bezpečnosti. V případě osádky letadla lze jejich ozáření v průběhu letu snížit výškou letu.

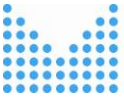
V případě požadavku nepřekročení dávkového příkonu na palubě vrtulníku $1 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ byly odhadnuty letové hladiny pro tři různé typy kontaminace (viz Obr. 12):

- ^{134}Cs / ^{137}Cs s poměrem aktivit 1:1, tyto poměry odpovídají poměrům naměřených při havárii jaderné elektrárny ve Fukušimě (2011).
- ^{134}Cs / ^{137}Cs s poměrem aktivit 1:2, tyto poměry odpovídají poměrům naměřených při havárii jaderné elektrárny v Černobylu (1986).
- samotné ^{137}Cs

Hodnoty byly stanoveny na základě simulace Monte Carlo. Výpočty dále vychází z údajů publikace [17] a výpočtů zeslabení dávkového příkonu vypočteného na základě simulací Monte Carlo v závislosti na letové výšce [18].



Obr. 12 Dávkové příkony ve vzduchu v 1 m nad zemí $\text{ADR}_{\text{ground 1m}}$ a odhady dávkových příkonů na palubě vrtulníku pro 3 letové hladiny 100m, 200 m a 300 m

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 32/43
---	---	-----------------------------

	Letová výška (AGL) 100 m	Letová výška (AGL) 200 m	Letová výška (AGL) 300 m
^{137}Cs	až do 2 MBq.m ⁻²	5 MBq.m ⁻²	10 MBq.m ⁻²
$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 1:1	až do 750:750 kBq.m ⁻²	1.5:1.5 MBq.m ⁻²	2:2 MBq.m ⁻²
$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 1:2	až do 500:1000 kBq.m ⁻²	1:2 MBq.m ⁻²	1:2 MBq.m ⁻²
ADR _{ground 1m}	5-8 µGy.h ⁻¹	12-14 µGy.h ⁻¹	12–27 µGy.h ⁻¹

Tabulka 4 Odpovídající dávkové příkony ve vzduchu v 1 m nad zemí ADR_{ground 1m} a plošné kontaminace na zemi pro tři letové hladiny (100 m, 200 m a 300 m) v případě požadavku nepřekročení dávkového příkonu na palubě vrtulníku 1 µGy.h⁻¹. Tučně zvýrazněné jsou parametry nejbližší odpovídajícím pro případ havárie JE Dukovany nebo Temelín.

Hodnoty aktivit a dávkových příkonů v Tabulce 4 ve sloupci pro letovou výšku 100 m odpovídají radiačním událostem menšího rozsahu. Vybrané hodnoty aktivit v dalších sloupcích odpovídají poměrně vysoké kontaminaci povrchu. Lze tedy hlediska optimalizace radiační ochrany osádky vrtulníku a přesnosti naměřených hodnot předpokládat, že optimální letové výšky se budou pohybovat mezi 100 m a 200 m nad terénem při méně rozsáhlých radiačních událostí, výjimečně do 300 m. Při letových výškách kolem 300 m je měření zatíženo sníženým prostorovým rozlišením, neboť každému jednosekundovému měření v letové výšce 100 m AGL odpovídá menší pixel na výsledné mapě oproti letu ve výšce 200 m až 300 m.

Hodnoty uvedené v Tabulce 4 a na obr. č. 12 je nutné brát jako orientační hodnoty stanovené na základě simulací Monte Carlo. Hodnoty dávkových příkonů se můžou měnit v závislosti na poměru jednotlivých nuklidů přítomných v kontaminantu a i na velikosti jejich aktivit.

4.6.1. Bezpečnostní opatření s důrazem na radiační ochranu

Oblast radiační ochrany je obsahem vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. V té je například stanovena povinnost zasahujících osob, jejíž vyslání k zásahu se předem předpokládá, v rámci svého pravidelného vzdělávání obdržet obecné a pravidelně aktualizované informace o účincích ionizujícího záření a s tím spojených možných zdravotních rizicích a preventivních opatřeních radiační ochrany k odvrácení nebo snížení ozáření. Dále je zde i povinnost pro osoby vysílající zasahující osobu k zásahu, že ji musí před zásahem informovat o aktuální radiační situaci a odhadech efektivní dávky, kterou může zasahující osoba během zásahu obdržet, a o všech ochranných opatřeních, která je v průběhu zásahu nutné dodržet.

 Příjemce: Státní ústav radiální ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 33/43
---	---	-----------------------------

4.7. Zpracování dat novými přístupy

Tato kapitola navazuje na kapitolu 4.5. Zpracování leteckých dat musí provádět osoba, jež má kvalifikaci v oboru gamaspektrometrie, je plně seznámena se všemi funkcemi programů a má zkušenosti s vyhodnocováním gama spekter, grafickým zpracováním a interpretací výsledků.

4.7.1. Předání dat do vyhodnocovacího centra

Data jsou ve všech měřících systémech používaných pro letecké monitorování SÚRO a AČR ukládána do binárních datových souborů PEI. V případě leteckého spektrometru IRIS jsou data fyzicky předána nebo elektronicky přeposlána do vyhodnocovacího centra, protože systém IRIS nemá zpracování dat on-line, ani přenos naměřených dat během letu na pozemní stanici. U všech leteckých monitorovacích systémů využívajících řídicí jednotku leteckého spektrometru RadPatrol2 (4 x 4L NaI(Tl) detektory, malé detektory CeBr₃, NaI(Tl) 3" x 3", plastové detektory a polovodičové detektory) lze využít možnost přenosu dat prostřednictvím mobilního datového připojení. Systém RadPatrol2 zpracovává data on-line během letu a může díky vestavěnému modemu zpracovaná data včetně surových dat přenášet během letu na pozemní stanici. Tato automaticky vyhodnocená data během letu jsou ale vhodná jen pro rychlé zhodnocení situace - pro přesnější výsledky je potřeba provést poletové vyhodnocení v programu AGAMA.

4.7.2. Poletové vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat z leteckých monitorovacích systémů se provádí v programech poletového vyhodnocení PRAGA4 (spektrum max. 512 kanálů) a nebo AGAMA (spektrum max. 1024 kanálů).

4.7.2.1. Poletové vyhodnocení v programu PRAGA4

PRAGA4 je starší sofistikovaný program pro poletové vyhodnocení spekter z leteckého gamaspektrometru IRIS vyvinutý firmou Pico Envirotec, Inc. Obsahuje tři základní komponenty důležité z hlediska havarijního monitorování.

- Prohlížeč spekter s nástroji pro identifikaci píků a přípravu na vyhodnocení spekter a identifikaci píků

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 34/43
---	---	-----------------------------

- Zpracování spekter pomocí metody nejmenších čtverců (LSQ)
První z metod LSQ je plně dostačující pro stanovení aktivit ve spektrech u výše uvedených nuklidů (tj. ^{134}Cs , ^{137}Cs a ^{131}I). Pro odhalení přítomnosti dalších některých nuklidů ve spektru je vhodné použít dekonvoluci (funkce PeakDeco). Jejich kvantitativní množství je možné určit, pokud se jedná o nuklidy uvedené v seznamu 12 nuklidů v PRAGA4 [19]. Rovněž, pokud by to bylo vhodné v některých případech, lze odstranit šum ve spektrech pomocí metod NASVD/MNF a provést korekci na přítomnost radonu, resp. dceřiných produktů radonu.
- Odstranění šumu metodou hlavních komponent (PCA) a rekonstrukce spekter (NASVD / MNF). Tyto metody jsou určeny především pro oblast geofyziky, kdy stanovení uranu je ovlivněno přítomností vzdušného radonu. Vyžaduje velké množství záznamů (>100000), ale v některých případech je vhodné použít pro odstranění šumu i u spekter v rámci havarijního monitorování [19].

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 35/43
---	---	-----------------------------

Důležitá poznámka 1:

Import dat podporuje, původní Pico Envirotec (PEI) binární formát a soubory ASCII. Data lze definovat interaktivně. Radiometrická spektra mohou mít rozlišení buď 256 nebo 512 kanálů. Vyšší rozlišení **nelze** používat, např. data z RadPatrol2, pokud je nastaveno na 1024k. Nutno převést na 512k spektrum včetně veškerých dalších operací.

Důležitá poznámka 2:

PRAGA4 může pracovat pouze s maximálně 85 kanály (míní se tím vstupní parametry, nikoliv radiometrická spektra), tzn. pokud binární soubor PEI obsahuje více než 85 kanálů (např. REC, LON, LAT, K, U, apod.), je nutné před zahájením zpracování v PRAGA4, vytvořit soubor .seg v AGAMA (nebo PEIDATAViewer) a odstranit ze souboru kanály, které nejsou potřebné pro vyhodnocení v PRAGA4 (např. kanály TA..., TL...) a dosáhnout tak nižšího počtu kanálů než je 85. Program PRAGA4 však **nelze již aktualizovat** a není garantována jeho funkcionality v nových verzích OS Windows.

Praga 4 v metodě zpracování úplného spektra obsahuje **korekci na pozadí** letadla + kosmiky. Pomocí kalibračních konstant může uživatel samostatně nastavit experimentální kalibrační konstanty k provedení odečtu pozadí, viz [19].

4.7.2.2. Poletové vyhodnocení dat v programovém balíku AGAMA

Pro vyhodnocení dat z leteckého monitorování byl ve spolupráci SÚRO a NUVIA a.s. vyvinut program AGAMA v letech 2017-2020, který především sjednotil funkce všech samostatných programů (PEIConverter, PEIDATAViewer, PRAGA4) používaných dříve při přípravě a zpracování dat. Kromě toho program AGAMA obsahuje řadu nových přístupů, funkcí a sofistikovaných výpočtů. Navíc probíhají neustále aktualizace programu podle požadavků uživatelů.

Program AGAMA slouží ke zpracování a rychlému zobrazení dat z letecké spektrometrie (IRIS, Rad-Patrol2 – velkoobjemové NaI(Tl), CeBr, NaI(Tl) 3" x 3" (2"x 2"), plastové detektory, HPGe) formou grafů nebo přímo na mapovém podkladu. V programu lze vytvořit letové plány (polygon, spirála) nad georeferencovaným OpenStreetMap (OSM) podkladem, ukládat a modifikovat vyhodnocené projekty, nad kterými lze provést dílčí operace (energetická kalibrace, vytvoření pozadí leteckého prostředí a příspěvku kosmického záření, vyhodnocení dávkových příkonů a aktivit). K výpočtu se používají následující metody:

- Metoda nejmenších čtverců (LSQ) pro stanovení hmotnostní aktivity ^{40}K , prvků U-řady (^{214}Bi) a Th-řady (^{208}Tl) v Bq.kg^{-1} a plošné aktivity ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I a ^{103}Ru v Bq.m^{-2} . Tato

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 36/43
---	---	-----------------------------

metoda vyžaduje použití matic odezev pro jednotlivé nuklidy stanovené pomocí simulace Monte Carlo pro letové výšky (AGL) do 500 m.

- Metoda nejmenších čtverců s nezápornými regresními koeficienty (NN-LSQ) pro stanovení hmotnostní aktivity ^{40}K , prvků U-řady (^{214}Bi) a Th-řady (^{208}Tl) v Bq.kg^{-1} a plošné aktivity ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I a ^{103}Ru v Bq.m^{-2} . Metoda rovněž vyžaduje použití stejných matic odezev pro jednotlivé nuklidy stanovené pomocí simulace Monte Carlo pro letové výšky (AGL) do 500 m. Metoda NN-LSQ dává pouze kladné a nulové hodnoty na rozdíl od standardní LSQ, kde se můžou vyskytovat i záporné hodnoty.
- Dávkový příkon na palubě leteckého prostředku a v 1 m nad zemí v nGy.h^{-1} vypočtený z celého energetického spektra (do 3 MeV) – tzv. „Power spectrum“
- Výpočet dávkového příkonu ve vzduchu v nGy.h^{-1} jako příspěvek kosmického záření (všech částic do energií 100 MeV) v závislosti na nadmořské výšce na palubě leteckého prostředku a v 1 m nad zemí.
- Celkový dávkový příkon ve vzduchu v 1 m nad zemí, který je součtem dávkového příkonu terestriální složky, antropogenní složky (nuklidy vzniklé činností člověka) a kosmické složky dávkového příkonu) v nGy.h^{-1} . Tento údaj představuje celkovou radiační zátěž jednotlivce v nGy.h^{-1}
- Výpočet minimálních významných aktivit (MVA) a minimálních detekovatelných aktivit (MDA) metodou Currie [20]
- Výpočet minimálních významných aktivit (MVA) a minimálních detekovatelných aktivit (MDA) podle doporučení ISO-IEC 11929-2010 [21], zahrnuje kromě statistiky počtu detekovaných pulsů i další vlivy (např. nejistotu letové výšky, FWHM, apod.)

Program AGAMA umožňuje následující důležité činnosti při přípravě a zpracování projektu

- Vytvoření projektu na georeferencované mapě (polygon, survey a tie lines, waypoints, special lines, spirála) do souboru formátu .xyz a .gpx
- Zobrazení volně dostupných georeferencovaných map (Basic OSM a Satellite)
- Zobrazení geografických souřadnic na mapách
- Automatický přepočet mezi geografickými systémy WGS84 a UTM
- Zobrazení naměřených a vypočtených dat nad mapovým podkladem
- Vytvoření interpolovaných plošných map nad mapovým podkladem, tzv. “heat maps”
- Vkládání dalších kanálů do datového souboru pomocí funkce PEICreator
- Export jednoduché mapy se zobrazením naměřených dat do standardního souboru obrázku JPG/PNG, popřípadě pro zobrazení v Google Earth, Google Maps jako soubor .kml.

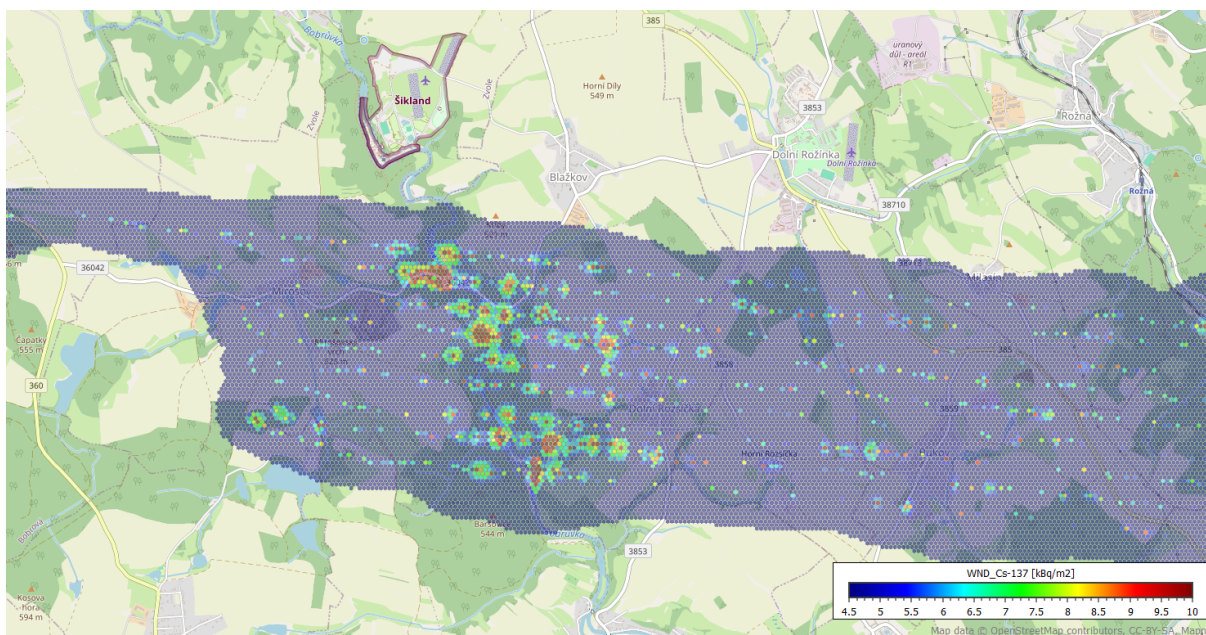
- Uložení projektu

Program AGAMA pracuje s následujícími vstupními a výstupními soubory:

- PEI binary - proprietární binární formát Pico Envirotec / NUVIA (vstup/výstup)
- ERS 1.0 (European Radiometric and Spectrometry format)(vstup/výstup) – textový formát pro předávání dat v tomto formátu v rámci evropských leteckých skupin
- ERS 2.0 (European Radiometric and Spectrometry format) (vstup/výstup) – textový formát pro předávání dat v tomto formátu v rámci evropských leteckých skupin
- ASCII (vstup/výstup) - standardní textový formát (CSV ap.)
- KMZ/KML (Keyhole Markup Language)(výstup) - formát využívaný převážně produkty firmy Google (Google Earth, Google Maps)

4.7.2.3. Zpracování do mapových podkladů a předávání dat KŠ

Program AGAMA umožňuje zobrazit data na mapovém podkladu pro jednotlivé dozimetrické veličiny jako jednotlivé body nebo jako tzv. heat mapu, která umožňuje lepší přehled o tzv. hot spots. Slouží jako rychlý podklad pro posouzení radiační situace. Příklad heat mapy je na následujícím obr. 13.



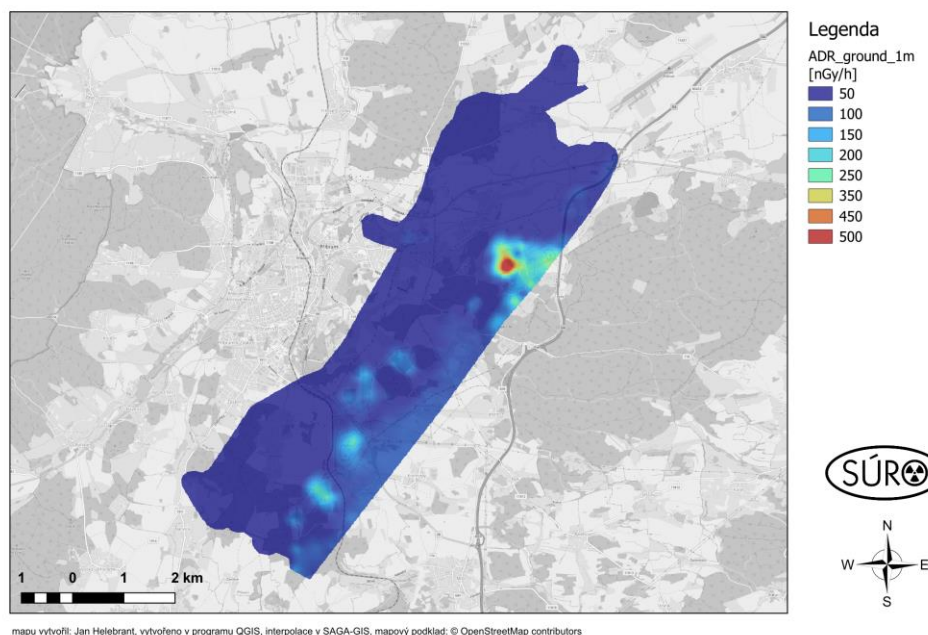
Obr. 13 Heat mapa plošné aktivity ^{137}Cs vytvořená programem AGAMA z dat leteckého monitorování

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 38/43
---	---	-----------------------------

Detailnější a kvalitnější zobrazení v mapách se pro jednotlivé dozimetrické veličiny doporučuje provádět v jiných programech, např. ve volně dostupném programu QGIS a SAGA GIS. Tento software je využíván oběma LeS v ČR. Postup zpracování je popsán v dokumentu [22]. Zpracování data v AGAMA z havarijního monitorování:

1. V programu AGAMA jsou uloženy zpracované výstupy do binárního datového souboru PEI.
2. AGAMA umožní vytvořit speciální soubor PEI, který obsahuje výstupní veličiny požadované v MONRAS.
3. Vstupní i výstupní veličiny v souboru PEI lze převést na soubory CSV
4. Datový soubor musí obsahovat hodnoty dávkového příkonu v 1 m nad zemí a dále veškeré aktivity umělých nuklidů vypočtené ze surových dat příslušného leteckého monitorovacího systému (IRIS, RadPatrol, HPGe) včetně pěti údajů ukládaných automaticky (RECS, LON, LAT, Galt, Epoch), tj. číslo záznamu, souřadnice WGS84, nadmořská výška, Epoch.
5. Datový soubor je vložen do systému MonRaS, údaje v tomto systému jsou k dispozici KŠ
6. Souběžně se zpracovávají vyhodnocené výstupy do mapových podkladů.
7. Pro vytvoření mapových podkladů se používá bezplatně dostupný mapovací (GIS) program QGIS a SAGA GIS (obr. 14). Pro zpracování do mapových podkladů lze použít i jiné aplikace - např. komerční MapInfo, ArcGIS apod.

2021-05-06 - Příbram - LeS SÚRO + AČR



Obr. 14 Dávkový příkon ve vzduchu 1 m nad zemí $ADR_{ground\ 1m}$ [nGy/h] - zobrazení formou splíne v programu QGIS

4.7.2.4. GIS aplikace pro tvorbu mapových výstupů

Protože aplikace jako AGAMA či MonRaS disponují pouze omezenými možnostmi tvorby mapových výstupů a slouží především pro rychlý náhled naměřených dat, nemohou uspokojit všechny požadavky na mapové výstupy ze strany KŠ apod. Proto se k tomuto účelu využívají specializované GIS aplikace.

Specialisté LeS SÚRO i AČR používají bezplatně dostupný open-source program QGIS (licence GNU-GPL). Díky licenci není omezeno množství instalací a lze tedy snadno zajistit náhradní pracovní stanice v terénu i na pracovišti vč. možnosti využití i soukromých počítačů v případě nouze. Součástí instalace QGIS je i nástroj SAGA GIS pro pokročilé zpracování dat zahrnující různé metody interpolace, geostatistiku apod.

Alternativně lze využít komerční GIS aplikace - např. MapInfo nebo Esri ArcGIS.

Ze zmíněných aplikací má přímou podporu pro formát PEI a ERS zatím jen QGIS formou pluginu, pro ostatní programy je nutné data nejdříve exportovat např. do formátu CSV.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 40/43
---	---	-----------------------------

4.8. Validace

Správné nastavení parametrů spektrometrů a leteckých systémů se každoročně ověřují v laboratoři. Ověřuje se především:

1. Stabilizace spektra
2. Četnost v cps v definovaných energetických oknech
3. Pozadí v cps v celém energetickém rozsahu (od cca 35 keV do 3 MeV)
4. Četnost v cps v posledním kanále, tj. kanál s celkovým příspěvkem cps kosmického záření gama
5. Rozlišení na picích totální absorpce (především ^{137}Cs)

Pokud se tyto údaje nemění při jednotlivých kontrolách, resp. jsou v toleranci $\pm 10 \%$, lze konstatovat, že letecký spektrometr je správně nastaven. Kontroly správného nastavení jsou prováděny pravidelně.

Správnost měření letecké skupiny se rovněž potvrzuje v rámci havarijních cvičení porovnáním s pozemními měřeními prováděnými mobilními skupinami na vybraných referenčních plochách v rámci havarijní připravenosti během každoročních cvičení s AČR a PČR.

Při těchto kontrolách se ověřuje shoda naměřených aktivit (obvykle hmotnostní aktivity ^{40}K , ^{238}U a ^{232}Th v Bq.kg^{-1}) a dávkového příkonu v 1 m nad zemí v nGy.h^{-1} s hodnotami naměřenými pozemními měřeními na referenčních plochách. Pozemní měření se obvykle provádí polovodičovou gammaspektrometrií. Toleranční rozsah je do 25 %.

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 41/43
---	---	-----------------------------

5. NOVOST POSTUPŮ

Metodika zohledňuje změny, které nastaly v přístrojovém a programovém vybavení LeS, včetně formátu a přenosu dat do programového prostředku MonRaS. V metodice byly sjednoceny a doplněny stávající postupy a propracován proces od pohotovosti, aktivace a ukončení činnosti LeS.

6. UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika je určena pro pracovníky a osoby, kteří se podílejí na činnosti letecké skupiny SÚRO a AČR. Slouží ke sjednocení postupů měření z důvodů potřeby kompatibility měřených dat. Metodika bude sloužit jako ucelený soubor veškerých postupů používaných LeS v rámci MRS.

7. SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTY A NORMY

- [i] Vyhláška č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace.
- [ii] Národní program monitorování.
- [iv] VDS 049 Monitorování radiační situace.
- [v] VDS 019 Pravidla činnosti Krizového štábu
- [vi] VDI 130 Činnost mobilních skupin při monitorování radiační situace na území ČR
- [vii] VDI 131 Činnost letecké skupiny při monitorování radiační situace na území ČR
- [viii] VDI 133 Postupy měření kontaminovaného území před obnovou a po obnově
- [ix] VDI 134 Postup stanovení referenčních úrovní kontaminace území (kritéria pro rozhodování o vymezení oblastí určených k obnově s použitím principu optimalizace)
- [x] Příručky pro obsluhu leteckých spektrometrů
- [xi] Hůlka, J. a kol.: Závěrečná výzkumná zpráva projektu VaV SÚJB č.3/2006 „Vývoj, ověřování a zavádění nových postupů, metod pro monitorování radiační situace a ozáření osob se zaměřením na hodnocení výпустů radionuklidů do životního prostředí z JE a monitorování jejich okolí a na expresní metodiky“; SÚRO Praha, 2007
- [xii] Hůlka, J., Češpírová, I., Froňka, A., Gryc, L.: Metodika pro rychlé měření kontaminovaného krajinného krytu moderními technologiemi; Certifikovaná metodika; Praha; 2015
- [xiii] Hůlka, J. a kol.: Kritéria pro stanovování referenčních úrovní při rozhodování o vymezení oblastí určených k obnově s použitím principu optimalizace. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola D), Praha, SÚRO, 2020

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 42/43
---	---	-----------------------------

- [xiv] Národní program monitorování; SÚJB; Monitorování radiační situace na území České republiky; 2018
- [xv] NRHP Národní radiační havarijný plán
- [xvi] Češpírová, I., Šindelková, (garant SÚJB): Činnost mobilních skupin při monitorování radiační situace na území ČR; VDI 130
- [xvii] Češpírová, I., Šindelková, (garant SÚJB): VDI 133 Postupy měření kontaminovaného území před obnovou a po obnově
- [xviii] Zpráva 25/2019: Češpírová, I., Gryc, L., Ohera, M., Helebrant, J., Selivanová, A., Šik, V., Drahokoupil, M.: Analýza problematiky terénních měření. Měření kontaminace odpadů, techniky a osob.

8. Literatura

- [1] R.L. Grasty, B.R.S. Minty, A Guide to the Technical Specifications for Airborne Gamma-Ray Surveys, Australian Geological Survey Organisation. Record 1995/60. ISSN: 1039-0073 ISBN: 0 642 22366 1.
- [2] B.R.S. Minty, A.P.J. Luyendyk, R.C. Brodie, Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry, AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 17 (No. 2) (1997) 51–66.
- [3] B.R.S. Minty, Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry, AGSO J. Aust. Geol. Geophys. 17 (No. 2) (1997) 39–50.
- [4] IAEA, Airborne Gamma-Ray Spectrometer Surveying, Technical Report Series No. 322, IAEA, 1991.
- [5] IAEA, Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma-Ray Spectrometry Data, July 2003. IAEA-TEC DOC-1363, IAEA.
- [6] J. Klusoň, Environmental monitoring and in situspectrometry, Radiat. Phys. Chem. 61 (2001) 209–216
- [7] Ohera, M., Sas, D., Sládek, P. Calibration of spectrometric detectors for air kerma rates in environmental monitoring. Nucl. Technol. Radiat. Protect. 35 (4), 323–330. <https://doi.org/10.2298/NTRP2004323O>.
- [8] G. Butterweck, et al., International intercomparison exercise of airborne gamma-spectrometric systems of the Czech Republic, France, Germany and Switzerland in the framework of the Swiss exercise ARM17, report number, 18-04, PSI Bericht Nr. (2018).

 Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.	 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra	strana/počet stran 43/43
---	---	-----------------------------

- [9] Kojzar. L: Využití prostředků leteckého monitorování radiační situace při řešení radiačních událostí v ČR. Bakalářská práce, Fakulta biomedicínského inženýrství, Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva. ČVUT. Kladno 2017
- [10] Základní principy pro poletové vyhodnocení dat u programu AGAMA. Zpráva SÚRO č. 6/2023
- [11] Matolín M., Křest'an P., Stoj'e V., Veselý P.: Přestěhování kalibrační základny pro terénní spektrometrii gama z Bratkovice do Stráže pod Ralskem. Diamo, s.p. a Přírodovědecká fakulta UK, 2010
- [12] Pozemní měření na letišti Vlašim. Zpráva SÚRO č. 5/2022
- [13] Kalibrace pozemní trasy pro leteckou gamaspektrometrii na nuklidy 40K, 232Th, 238U a 137Cs s využitím systémů PGIS a ISO-CART. Dílčí část projektu obranného výzkumu IN-SITU. VOP-026 Šternberk, 2009
- [14] Gamaspektrometrická charakterizace terénu. Universita obrany, č. zakázky: 18325/2018-SE. Ministerstvo obrany ČR
- [15] Provozní bulletin č. 1851121083, 1911121073, 1912121073. Sekce správy a řízení organizace MO, odbor dohledu nad vojenským letectvem, vydáno 15.7.2021
- [16] Závěrečná zpráva o výsledcích zkušebního létání zařízení Scintibox. Velitelství vzdušných sil MO,č.j. MO 431762/2023-3031, vydáno 15.7.2021
- [17] ICRU, Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ICRU Report 53, International Commission on Radiation Units and Measurement, 1994.
- [18] Výšková korekce pro přepočet dávkového příkonu ve vzduchu v 1 m nad zemí pro leteckou gamaspektrometrii. Zpráva SÚRO č. 4/2021
- [19] PRAGA4 Tutorial and User Guide, version 1.2, May 2013
- [20] Currie L.A.: Limits for Quantitative Detection and Quantitative Determination. Analytical Chemistry, vol. 40, No. 3, March 1968
- [21] ISO, 2010. ISO 11929. Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation. Fundamentals and Application. International Organization for Standardization, Geneva.
- [22] Metodika využití programu QGIS verze 3,x pro účely zpracování a mapové vizualizace dat mobilní a letecké skupiny SÚRO
- [23] Poletové vyhodnocení dat ARM17, Zpráva SÚRO č.11/2020
- [24] Mezinárodní cvičení leteckých skupin AGC19, Zpráva SÚRO č. 10/2020