

		 MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY
Příjemci: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. ENKI, o.p.s.		Poskytovatel: Ministerstvo vnitra - Česká republika

Projekt s názvem: **Strategie řízení nápravy území po radiační havárii**
s identifikačním kódem: **VH20172020015**

Název předkládaného výsledku:

Metody stanovení úrovně kontaminace zasaženého území před a po provedení nápravy vč. leteckého i pozemního monitorování, měření kontaminace odpadů, techniky a zasahujících osob a obyvatel zasaženého území (kontrola externího ozáření a vnitřní kontaminace) vč. rozboru měřících kapacit a návrhu budování potřebných kapacit pro tato měření

Typ výsledku dle UV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
(Vsouhrn) Souhrnná výzkumná zpráva	54/2020	2020
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno
	bude vyvěšena na: https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/strategie-rizeni-naprawy-uzemi-po-radiacni-havarii	Po odsouhlasení MV a SÚJB

Anotace výsledku:

Práce shrnuje výsledky výzkumu „Strategie řízení nápravy území po radiační havárii“ kapitoly B. Zabývá se nejnovějšími poznatky v oblasti monitorování životního prostředí a osob s důrazem na monitorování v pozdní fázi radiační havárie.

V oblasti monitorování životního prostředí (kapitola B1) je navržen způsob kontroly při nápravě území (pozdní fáze) pozemními a leteckými skupinami. Součástí zprávy je příloha, která obsahuje příklady měření pro konkrétní mise.

Kapitola B2 popisuje metodiku pro rychlé stanovení ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí pomocí extrakční chromatografie a kapalinové scintilační spektrometrie vyvinutou v rámci tohoto výzkumu.

Kapitoly B3 a B4 uvádí postupy pro sledování a hodnocení dávek ze zevního a vnitřního ozáření zasahujících osob, osob likvidujících radiační havárii a podílejících se na obnově území a obyvatel pobývajících na území zasaženém radiační havárií. Zároveň uvádí požadavky na zajištění monitorování dávek osob a souhrnnou informaci o jednotlivých metodách a možnostech osobní dozimetrie a dozimetrie prostředí, které jsou pro daný účel k dispozici.

V kapitole B5 je proveden rozbor kapacit a navržena optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama a radiochemických laboratoří začleněných do systému monitorování radiační situace. Posouzena a zdůrazněna je významnost pořádání zátěžových kapacitních cvičení. Mezi laboratořemi existuje široká a průběžně se vyvíjející mezinárodní spolupráce, a to jak v rutinních činnostech, tak v účasti na mezinárodních výzkumných projektech.

Manažer: Irena Čěspírová

Řešitelský tým: Irena Čěspírová, Alena Kelnarová, Daniela Ekendahl, Pavel Fojtík, Petr Rulík

Obsah

I.	Zkratky.....	4
II.	Úvod.....	6
III.	Kapitola B1: Terénní měření kontaminace životního prostředí.....	8
III.1.	Časná fáze	8
III.2.	Přechodná fáze	9
III.3.	Kontrola účinnosti nápravných opatření	12
III.4.	Pozdní fáze (dlouhodobá opatření)	12
III.5.	Přístrojové vybavení mobilních skupin.....	13
III.5.1.	Letecké monitorování	13
III.5.2.	Pozemní monitorování	16
IV.	Kapitola B2: Metoda stanovení ^{241}Pu	18
V.	Kapitola B3: Monitorování externích dávek	20
V.1.	Monitorování dávek z externího ozáření obyvatel	21
V.2.	Monitorování dávek z externího ozáření zasahujících osob a osob podílejících se na obnově 23	
VI.	Kapitola B4: Monitorování vnitřní kontaminace.....	25
VI.1.	Úvod.....	25
VI.2.	Postupy sledování obdržených dávek obyvatelstva a zasahujících osob	26
VI.3.	Organizace monitorování	26
VI.4.	Monitorování osob	28
VI.4.1.	Celotělové měření retence radionuklidů v těle	28
VI.4.2.	Měření exkrece radionuklidů	29
VI.4.3.	Odhad modelem	30
VI.4.4.	Odhad příjmu z poměru aktivit měřitelných a neměřitelných radionuklidů	30
VI.5.	Rozbor měřících kapacit.....	30
VII.	Kapitola B5: Optimalizace měřících kapacit	32

VII.1.	Struktura vzorků a systém jejich odběru a evidence	32
VII.2.	Rozbor kapacity a optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama ...	33
VII.2.1.	Kapacitní cvičení	34
VII.2.2.	Odhad kapacity	34
VII.2.3.	Optimalizace činností	35
VII.3.	Rozbor kapacity a optimalizace činností radiochemických laboratoří.....	36
VII.3.1.	Odhad kapacity	36
VII.3.2.	Optimalizace činností	36
VII.3.3.	Plánovaná zátěžová kapacitní cvičení	37
VII.3.4.	Lidské zdroje	37
VII.3.5.	Metody a technika	37
VII.3.6.	Odhad celkové kapacity po optimalizaci	38
VII.4.	Mezinárodní spolupráce	40
VIII.	Závěr	41
IX.	Literatura.....	43
X.	Seznam příloh	48

I. Zkratky

AGAMA	komplexní systém vyhodnocování naměřených dat (Airborne GAMmaspectrometry Analysis)
AIRIS/IRIS	monitorovací systémy pro leteckou gamaspektrometrii ((Airborne) Integrated Radiation Information Systém)
ALMERA	Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity
D	Dávkový ekvivalent
EU	Evropská unie
EURADOS	European Radiation Dosimetry Group
H _p (10)	Osobní dávkový ekvivalent (Ekendahl, 2013)
H*(10)	Prostorový dávkový ekvivalent (Ekendahl, 2013)
HERAS	polovodičový spektr. systém (High Energy Resolution Airborne Systém)
HM	havarijní monitorování
IAEA	International Atomic Energy Agency
JE	jaderná elektrárna
JODDET	přístroj pro měření ¹³¹ I ve štítné žláze
K _a	Kerma ve vzduchu
LRKO EDU/ETE	Laboratoř radiační kontroly okolí elektrárny Dukovany/Temelín
LSC	kapalinová scintilační spektrometrie
MDA	minimálně detekovatelná aktivita
MonRaS	centrální databáze výsledků monitorování
MRS	Monitorování radiační situace
NUVIA	NUVIA, a.s.
OSL	opticky stimulovaná luminiscence
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
PŘ	potravinové řetězce
QR - kód	prostředek pro automatizovaný sběr dat
RANET	Response and Assistance Network
Ro - 5	Ring of five; Sdružení evropských laboratoří
SAR	analytický protokol (Single Aliquot Regeneration)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.
SVS ČR	Státní veterinární správa ČR
SVÚ	Státní veterinární ústav
SZO	Světová zdravotní organizace (WHO - World Health Organization)
SZPI	Státní zemědělská a potravinářská inspekce
TLD	termoluminiscenční detektor
TRU	transuranový radionuklid
ÚJV	Ústav jaderného výzkumu a. s.

ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
VDI	vnitřní dokumentace SÚJB – instrukce
VÚLHM	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.
ZHP	Zóna havarijního plánování
ŽP	životní prostředí

II. Úvod

Zpráva sumarizuje stávající poznatky z problematiky monitorování zasaženého území, měření kontaminace odpadů, techniky a zasahujících osob a obyvatel zasaženého území (kontrola externího ozáření a vnitřní kontaminace) vč. rozboru měřících kapacit a návrhu budování potřebných kapacit pro tato měření.

Úkol se skládá z 5 podkapitol, každá podkapitola je zde popsána samostatně. Podklady pro vypracování této zprávy jsou uvedeny v přílohách (vnitřní zprávy SÚRO), certifikovaná metodika a VDI jsou uvedeny samostatně jako požadované výstupy celého úkolu kapitoly B.

Podklady pro vypracování souhrnné zprávy jsou obsaženy v následujících dílčích dokumentech:

a) Zpráva 13/2017: Ekendahl, D., Malátová, I., Čemusová, Z., Fojtík, P.: Zahraniční zkušenosti v oblasti sledování dávek zasahujících osob i obyvatel na území zasaženém havárií jaderné elektrárny.

Rešerše je zaměřena na zkušenosti a poznatky ze závažných havárií jaderných elektráren Fukushima Daiichi a Černobyl. Využití zkušeností z havárie Fukushima Daiichi je z pohledu zevního ozáření přínosné zejména z důvodu použitých metod měření, které byly relevantní současnému stavu vyspělosti technologií pro dozimetrii ionizujícího záření. Stanovení dávek obyvatelstvu i zasahujícímu personálu pro havárii Černobylu bylo poznamenáno nepřipraveností, malou technickou vybaveností a zejména utajováním rozměrů havárie. I přes všechny tyto problémy ale byly, i když se zpožděním, dávky obyvatelstvu stanoveny dobře, což potvrdila tzv. Fact finding mission v r. 1990, které se zúčastnilo na pozvání tehdejší sovětské vlády několik zahraničních organizací (IAEA, SZO, Červený kříž a další).

b) Zpráva 17/2019: Ekendahl, D., Čemusová, Z.: Možnosti aplikací moderních dozimetrických metod v pozdní fázi havárie.

Zpráva obsahuje kritickou rešerši možností aplikací moderních dozimetrických metod a postupů s přihlédnutím ke kapacitním nárokům na zajištění tohoto monitorování.

c) Zpráva 25/2019: Češpírová, I., Gryc, L., Ohera, M., Helebrant, J., Selivanová, A., Šik, V., Drahekoupil, M.: Analýza problematiky terénních měření. Měření kontaminace odpadů, techniky a osob.

Zpráva shrnuje postupy měření kontaminovaného území terénními skupinami – leteckou skupinou a mobilními skupinami pro monitorování během všech fází radiační havárie (havarijní i pohavarijní), a to včetně jejich přístrojového vybavení. Obsahuje též možnosti využití bezpilotních prostředků (pozemních i leteckých) a nových detekčních systémů.

Součástí je i popis nově vyvinutého komplexního systému vyhodnocování naměřených dat včetně jejich přenosu do programového prostředku MonRaS (centrální databáze výsledků monitorování, databáze je provozovaná SÚJB).

d) Zpráva 28/2019: Rulík, P., Sloboda, M., Kelnarová, A.: Optimalizace měřících kapacit.

Zpráva popisuje měřící kapacity laboratoří, které jsou začleněny do monitorování radiační situace a které by byly k dispozici při řešení pozdní fáze nehodové expoziční situace.

e) Zpráva 37/2020: Fojtík, P., Malátová, I., Rovenská, V.: Měření zasahujících osob a obyvatel zasaženého území pro účely kontroly vnitřní kontaminace

Zpráva popisuje postupy monitorování vnitřního ozáření. Jsou zde rozpracovány způsoby monitorování, výpočet dávky po zpřístupnění území k užívání a měřící kapacita.

f) Certifikovaná metodika: Kelnarová, A.: Stanovení aktivity ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí.

Cílem metodiky je rychlé stanovení ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí pomocí extrakční chromatografie a kapalinové scintilační spektrometrie Metodika byla certifikována SÚJB 17. 9. 2019 (číslo osvědčení: SÚJB/RCCB/17468/2019) a je zveřejněna na webových stránkách SÚJB.

g) VDI 132 zpracovatelé: Ekendahl, D., Fojtík, P., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy monitorování osobních dávek zasahujících osob, obyvatelstva a osob podílejících se na obnově území po radiační havárii.

Dokument shrnuje postupy pro sledování a hodnocení dávek ze zevního a vnitřního ozáření zasahujících osob, osob likvidujících radiační havárii a podílejících se na obnově území a obyvatel pobývajících na území zasaženém radiační havárií. Účelem dokumentu je uvést požadavky na zajištění monitorování dávek osob a souhrnnou informaci o jednotlivých metodách a možnostech osobní dozimetrie a dozimetrie prostředí, které jsou pro daný účel k dispozici.

h) VDI 133: zpracovatelé: Češpírová, I., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy měření kontaminovaného území před obnovou a po obnově.

Dokument shrnuje postupy měření kontaminovaného území po radiační havárii terénními skupinami – leteckou skupinou a mobilními skupinami, a to včetně jejich přístrojového vybavení, pro monitorování během všech fází radiační havárie (havarijní i pohavarijní). Účelem dokumentu je souhrnně informovat o metodách, postupech a možnostech monitorování terénními skupinami.

III. Kapitola B1: Terénní měření kontaminace životního prostředí

Terénní měření kontaminace životního prostředí před a po provedení nápravy

Irena Češpírová, Lubomír Gryc, Marcel Ohera, Jan Helebrant, Anna Selivanova, Václav Šik, Miloš Drahokoupil

V případě havárie na jaderné elektrárně v ČR nebo v okolních státech základem jakéhokoli opatření na ochranu obyvatelstva je znalost kontaminace životního prostředí. V časně fázi havárie je potřeba zajistit dostatek dat k rozhodnutí o zavedení a později o odvolání neodkladných ochranných opatření (ukrytí, evakuace), v přechodné a pozdní fázi pak o nastavení pravidel chování v kontaminovaném území (spotřeba potravin, pitné vody, zákazy/povolení vstupů do vymezených oblastí atd.) a dalších nápravných opatření vedoucích k přechodu na normální způsob využívání kontaminovaného území. Kdy, kde, jak, jak rychle a co měřit závisí právě na fázi havárie a samozřejmě rozsahu kontaminace území.

Významnou roli při monitorování kontaminace životního prostředí ve všech fázích havárie by sehrály mobilní skupiny (MS), které by (téměř) od začátku prováděly v terénu požadované činnosti – odběry vzorků a měření dle požadavků krizového managementu. Členové MS jsou vycvičeni k provádění těchto činností a mají k dispozici přístrojové vybavení a postupy pro každý z požadovaných úkolů.

Tato kapitola navazuje na Zprávu 25/2019, kde jsou v přílohách uvedeny příklady konkrétních měření kontaminace. Součástí Zprávy 25/2019 je i popis nově vytvořeného komplexního systému vyhodnocování naměřených dat včetně jejich přenosu do programového prostředku MRS MonRaS.

III.1. Časná fáze

V této fázi je nutné co nejdříve změřit **příkon fotonového resp. prostorového dávkového ekvivalentu** v oblastech, kde by případná neodkladná opatření (evakuace) připadala v úvahu, tj. hlavně v zóně havarijního plánování (ZHP) a v místech za hranicemi ZHP ve směru převládajícího směru větru, který mohl kontaminované masy z havarované jaderné elektrárny na tato území přenést. Pro odhad dalšího vývoje kontaminace, je nutné znát složení kontaminantu, to znamená provést na několika místech **kvalitativní analýzu kontaminantu**, nejlépe polovodičovou spektrometrií a pro urychlení na místě, i když je zde i možnost odebrat vzorky a převést je do laboratoře. Tato metoda je samozřejmě přesnější, ale zdlouhavější.

Z výčtu potřebných dat vyplývají i odpovědi na otázky, které přístroje a metody měření použít. Jednalo by se převážně o detektory dávkových příkonů s minimálním rozsahem 1 mikroSv/h – 100 mSv/h a systémy s obdobným rozsahem, které dokáží měřit nejen dávkové příkony, ale jsou schopné tyto ukládat spolu s časem měření a zeměpisnými souřadnicemi do souborů, které je následně možné exportovat do databázových systémů (např. MonRaS) – systémy pro tzv. „pojezdová měření“. Mobilní skupiny jsou s pomocí těchto systémů schopny relativně rychle proměřit potřebné území. V případě potřeby je možné využít i leteckou skupinu vybavenou jednoduchými měřicími systémy (např. plastovým detektorem), které jsou schopny rychle, byť hrubě, odhadnout hranice oblastí, které zasluhují v dané chvíli podrobnější pozemní proměření k upřesnění dávkových příkonů pro rozhodování o doporučení týkajících se neodkladných ochranných opatření. Pro odhad složení kontaminantu je potřeba spektrometrický systém s polovodičovým detektorem, nejlépe s malým krystalem (cca 15 – 25 % účinnost; důvod – při vysokých aktivitách by se účinnější detektor zahltl). Scintilační detektor je pro tato měření nevhodný, protože krátce po havárii se předpokládá větší množství dlouhodobých a hlavně krátkodobých radionuklidů, které by ve scintilačním spektru nebyly čitelné. Z téhož důvodu není ani rozumné v časně fázi havárie využívat velkoplošné detektory pro leteckou spektrometrii, kteréžto jsou právě scintilační a díky svým rozměrům by pravděpodobně byly zahlceny i ve vyšších výškách nad terénem.

V případě potřeby mohou vybrané mobilní skupiny proměřovat i obsah ^{131}I ve štítné žláze osob (obyvatelstvo, zasahující osoby).

III.2. Přejímací fáze

Jednou z podmínek pro přechod od časně fáze k pozdní fázi radiační nehody je podrobná znalost radiační situace na celém území státu, na jejímž základě pak bude možné odvolat neodkladná ochranná opatření (pokud se tak už nestalo), a přejít na dlouhodobá opatření, která zabezpečí, že obyvatelstvo žijící na kontaminovaném území neobdrží (v součtu roční efektivní dávky a úvazku efektivní dávky) více než je referenční úroveň 20 mSv za 12 následujících měsíců.

K tomu je zapotřebí proměřit celé území republiky, nalézt kontaminovaná území, stanovit jejich hranice a tam, kde by to bylo nutné, provést činnosti vedoucí k nápravě – dekontaminaci. V místech, kde by obyvatelstvo mohlo obdržet dávky vyšší, než je referenční hodnota popř. optimalizovaná referenční hodnota, je potřeba provést dekontaminaci, zavést kontrolu potravin a vody popř. zákaz konzumace místních potravin.

Konkrétní způsob monitorování by z velké části závisel na zdrojovém členu, tj. na množství a složení úniku. Nezanedbatelným činitelem by též byly meteorologické podmínky, které určují, kam až se kontaminované masy dostaly, velký význam zde hraje to, zda přšelo a jaký byl vítr – velikost a směr.

Na rozdíl od časné fáze havárie je zřejmé, že spektrum kontaminantů již bude jednodušší, bude se jednat převážně o gama a beta zářiče: ^{137}Cs , ^{90}Sr (zpočátku může jít i o ^{134}Cs a ^{131}I) a eventuálně o alfa zářiče $^{238,239,240}\text{Pu}$ a ^{241}Am popř. o kousky paliva. Navíc v této situaci nebude již takový časový tlak, naopak půjde o přesnější a hlavně rozsáhlejší měření než v časné fázi. V závislosti právě na rozsahu a požadavku na přesnost měření je třeba volit počet monitorovacích týmů, přístrojové vybavení a výběr vhodných metodik.

Na základě výsledků měření se bude teprve rozhodovat o zavedení/ukončení dalších nápravných opatření (omezení pobytu, spotřeby potravin, dekontaminace a dalších) a na rozdělení území do zón dle NRHP (Nebezpečná zóna, Zóna s omezeným přístupem, Zóna s kontrolovaným pobytem - podrobněji v [Koc 2020](#)). Takovéto proměření je záležitost na dlouhou dobu, ovšem zavedení potřebných opatření je nutné učinit co nejdříve. Nejedná se tedy o hodiny, ale zbytečná zdržení nejsou též vhodná. Pro účely monitorování je vhodné – např. na základě výsledků z predikčních modelů - rozdělit území do tří kategorií (A, B, C – viz níže).

Ve všech třech kategoriích je potřeba provést stejné činnosti, rozdíl je ovšem v požadavku na rychlost a hustotu měření:

- měření příkonů dávkového ekvivalentu s minimálním rozsahem 100 nSv/h – 100 mSv/h, pokud možno současně se stanovením souřadnic pro zakreslení do výsledných map kontaminace;
- spektrometrická měření obsahu umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy na vybraných kontrolních lokalitách;
- měření povrchové kontaminace (přímo nebo prostřednictvím stěrů pro následné laboratorní stanovení obsahu umělých radionuklidů);
- odběr vzorků životního prostředí (pro následné laboratorní stanovení obsahu umělých radionuklidů);
- kontaminace osob (povrchová i vnitřní - obsah jódu ve štítné žláze).

Území kategorie A

Jedná se o území, kde se zvýšená kontaminace nepředpokládá nebo je na minimální úrovni ($\text{PDE} < 0,5 \text{ mikroSv/h}$). Na tomto území nebude probíhat intenzivní monitorování mobilními skupinami, spíš proběhnou kontrolní měření k ověření hlavně příkonu dávkového ekvivalentu.

Přístrojové vybavení: k měření se zde využijí převážně přístroje pro pojezdová měření - detektory dávkového příkonu se současným zaznamenáváním souřadnic - **pojezdové systémy** (např. MobDose, Safecast). Lze využít leteckou spektrometrii, ale až poté, co bude uvolněna z měření území typu B a C. Vzhledem k rozsahu území je zde vhodné uvažovat o využití občanských sítí jakožto doplňkových měření ať už z důvodů doplnění dat tak i pro uklidnění veřejnosti (Fojtíková 2020).

Území kategorie B

Do této kategorie spadá území, kde se mohou vyskytovat hodnoty $PDE > 0,5$ mikroSv/h, ale obyvatelstvo zde zůstalo - patřilo by sem celé území ZHP s výjimkou evakuovaných oblastí, ale může to být území i mimo ZHP, kde se mohou nacházet větší plochy s vyšší kontaminací, ale i malé „hot spoty“ o rozloze jednotky až desítky m^2 . V této fázi havárie se zde může vyskytovat ^{134}Cs , ^{137}Cs , (^{131}I), ^{90}Sr , ale výjimečně i částičky paliva obsahující transuranové radionuklidy. Takováto místa je třeba vyhledat co nejdříve a přikročit k dekontaminaci, bude-li to možné, a/nebo k omezení pohybu obyvatelstva.

Území je nutno relativně rychle proměřit pomocí leteckých i pozemních měření. Rychlost, ale i podrobnost měření závisí na rozloze takového území.

Na základě zkušeností je nejvhodnější nejprve využít **leteckou spektrometrii**, která je schopná poměrně rychle změřit velké území. Z výsledků lze vytipovat území, kde jsou zvýšené hodnoty povrchové kontaminace a na základě toho pak na dané lokality vyslat pozemní mobilní skupiny k podrobnému proměření s tím, že nejprve bude proměřeno území, kde obyvatelstvo nebylo evakuováno. Mobilní skupiny následně proměří dávkový příkon na daném území, přičemž na prvním místě budou obydlená území (obce). K tomu potřebují mít **detektory dávkových příkonů** s dostatečným rozsahem minimálně 100 nSv/h - 100 mSv/h s relativně rychlou odezvou na změny hodnot dávkového příkonu. Při rozsáhlejších území je též vhodné využít **přístroje k pojezdovým měřením**. Následně mobilní skupiny na vytyčeném území provedou spektrometrická měření obsahu umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy (do hloubky cca 25 cm). V těchto oblastech je nutné počítat s možností velké nehomogenity rozložení aktivit. Ke **spektrometrickým měřením** lze využít jednoduché scintilační detektory, ovšem za předpokladu složitějších spekter (^{134}Cs , transurany) je nutné použít polovodičovou spektrometrii. Pro kontrolu je třeba odebrat vzorky a odeslat je do spektrometrické laboratoře. Úkolem mobilních skupin bude též odběr vzorků životního prostředí k pozdějšímu stanovení jejich měrných aktivit ve spektrometrické laboratoři – půda, voda, vzdušný aerosol, zemědělské plodiny, houby atd. V případě nepřístupného území nebo

území s potenciálně vysokými aktivitami je možné využít bezpilotních prostředků osazených detektory – drony a roboty.

Území kategorie C

Území, kde bylo obyvatelstvo evakuované ($PDE > 1 \text{ mSv/h}$) – toto území je zhruba proměřené, nehrozí, že by zde docházelo k ohrožení zdraví obyvatelstva a na základě znalostí – byť hrubých – je možné určit i nejnutnější opatření na ochranu životního prostředí, pokud by bylo zapotřebí. Pro další akce je třeba oblast podrobně proměřit, ale měření zde není prioritou. Postup a rychlost měření bude záviset na velikosti této oblasti, pokud by byla malá, je vhodné tuto oblast pro monitorování spojit s územím kategorie B i proto, že postup měření zde bude stejný.

III.3. Kontrola účinnosti nápravných opatření

Na základě výsledků monitorování a optimalizačních studií bude v případě nutnosti přistoupeno k dekontaminaci území (budovy, zeleň městská, lesy, pole, silnice – [Fejgl 2020](#), [Hůlka 2020a](#), [Hesslerová 2020](#)), ale i auta, stroje atd. V takovém případě je nutné provést kontrolu účinnosti dekontaminace, zda dávkový příkon resp. (povrchová kontaminace) plošná aktivita klesla pod požadované hodnoty ([viz Hůlka 2020a](#)). Pro rychlé odhady lze využít měření dávkových příkonů ve vzdálenosti 1 metr od povrchu, upřesnění je pak nutné provést pomocí spektrometrických měření v případě kontaminace krajiny (letecká spektrometrie pro rozsáhlá území, pozemní spektrometrie pro vytipovaná území) resp. přímé měření dávkových příkonů a povrchové kontaminace pomocí detektorů dávkových příkonů resp. povrchové kontaminace. V případě vysokých aktivit či nepřístupnosti terénu lze využít bezpilotních prostředků. Pro měření povrchových aktivit před a po dekontaminaci kontaminovaných předmětů a odpadů se jeví jako vysoce účinné využití stacionárních (i v mobilní variantě) detektorů – „bran“, ale též robotů osazených vhodnými přístroji s dálkovou kontrolou měřených veličin. Jedná se nejen o roboty, které jsou schopny projíždět po předem určené trase, měřit (dávkové příkony) a případně manipulovat s menšími kontaminovanými předměty, ale do budoucna i roboty, které by mohly např. při třídění kontaminovaného odpadu provádět měření a selekci kontaminovaných předmětů dle předem zadaných kritérií.

III.4. Pozdní fáze (dlouhodobá opatření)

Po radiační havárii musí následovat dlouhodobé monitorování celého území republiky s postupným přechodem na normální monitorování. Větší důraz bude věnován území

s omezeným přístupem a území s kontrolovaným pobytem (viz Koc 2020) mezi jiným z důvodu sledování dávek osob pohybujících se v těchto oblastech. Úkolem mobilních skupin bude sledovat pokles kontaminace v životním prostředí prostřednictvím měření dávkových příkonů, spektrometrických měření a odběru vzorků životního prostředí s jejich následným měřením ve spektrometrických laboratořích. Přístrojové vybavení bude podobné, jako v předchozích kapitolách – detektory dávkových příkonů, letecká a pozemní spektrometrie.

III.5. Přístrojové vybavení mobilních skupin

V ČR pracuje 9 MS SÚJB (včetně MS SÚRO), 5 MS HZS, 1 MS Policie, 8 MS GŘC a 2 MS MO. Všechny MS (mimo MS AČR) jsou jednotně vybaveny:

- detektory dávkových příkonů s minimálním rozsahem 100 nSv/h – 100 mSv/h,
- detektorem povrchové kontaminace,
- detektorem pro pojezdová měření,
- scintilačním detektorem pro jednoduchá spektrometrická měření a
- soupravami pro odběr vzorků životního prostředí.

MS HZS mají k dispozici monitorovací vozy vybavené i polovodičovou spektrometrií, MS SÚJB RC České Budějovice a Brno disponují i přístrojem pro odběr aerosolů na filtr, MS SÚRO využívá plně vybaveného monitorovacího vozu (scintilační a polovodičová spektrometrie pro měření in situ, malé převozní stínění pro měření vzorků, detektor pro měření neutronů, přístroj pro odběr aerosolů na filtr a jódu), leteckou spektrometrií scintilační i polovodičovou a přístroj pro měření obsahu ¹³¹I ve štítných žlázách - JODDET.

V případě radiační havárie by se všechny MS podílely na monitorování jak v časně fázi havárie, tak i v přechodné a pozdní fázi. Jejich vybavení by odpovídalo úkolům, které je ve všech fázích potřeba plnit, to jest měření dávkových příkonů na místě i pojezdových, odběru vzorků životního prostředí a jednoduchých spektrometrických (scintilačních) měření.

III.5.1. Letecké monitorování

Pro monitorování velkých a/nebo nepřístupných území se jako nejvhodnější jeví použití leteckého prostředku – letadlo, vrtulník popř. dron, vybaveného vhodným měřicím systémem. V současnosti se využívají převážně vrtulníky AČR resp. PČR, na jejichž palubu jsou umístěny přístroje pro monitorování. Mohou to být přístroje se spektrometrickými vlastnostmi IRIS resp. AIRIS (PicoEnvirotec, Kanada), HERAS nebo běžné přístroje pro měření dávkových příkonů na palubě vrtulníku s možností dodatečného přepočtu na výšku 1 m nad zemí.

Dávkové příkony

Tyto přístroje se využijí hlavně v první fázi radiační havárie, kdy je potřeba rychle rozhodnout o neodkladných opatřeních, ale za určitých okolností je lze využít i v pozdní fázi havárie. Většinou jsou jednoduché na ovládání, ve srovnání se spektrometrickými systémy jsou levnější, takže jejich případná kontaminace by nebyl takový problém, a navíc jakékoli přístroje s vyšší účinností by mohly být zahlceny. V první fázi většinou stačí změřit dávkový příkon na palubě vrtulníku (svázaný s časem a souřadnicemi každého měření) a v případě potřeby je možné po doplnění údajů z GPS (nadmořská výška každého měření) odhadnout výšku nad terénem a následně přepočítat hodnoty dávkových příkonů na výšku 1 m nad terénem. Do této kategorie přístrojů náleží především systém **MobDose** (PicoEnvirotec).

S úspěchem lze využít i velkoplošné scintilační krystaly ve spojení s analyzátozem, které sice nemají spektrometrické vlastnosti, ale oproti výše jmenovaným mají vyšší účinnost, takže jsou využitelné v oblastech s nižší kontaminací.

Pro spektrometrická letecká měření mobilní skupiny využívají scintilační systém **IRIS** resp. jeho novější verzi **AIRIS**. Jedná se o systémy, skládající se z:

- 2 boxů se 4 scintilačními detektory – NaI(Tl) krystaly (o objemu à 4 l),
- spektrometru,
- napájecího zdroje (baterie),
- jednotky pro sběr dat,
- antény výškoměru pro stanovení letové výšky nad terénem,
- antény systému pro určení polohy (GPS; systémy pro vyhodnocení dat z GPS a výškoměru jsou zabudovány spolu se spektrometrem v jednom z boxů),
- navigačního zařízení zajišťujícího přesné navádění po letových linkách (tzv. „pilot“),
- klávesnice,
- propojovacích kabelů a
- komplexní systém vyhodnocování naměřených dat **AGAMA** (Airborne GAMmaspectrometry Analysis; pro rychlá/precizní vyhodnocení spekter, přenos naměřených dat do MonRaS, konverzi dat pro další zpracování a pro mapovou vizualizaci výsledků).

Systémy je možné umístit do libovolného vrtulníku (podmínkou je, že palivová nádrž vrtulníku není pod celým spodkem), není potřeba žádné zvláštní uchycení ani napájení, je zcela autonomní. Vrtulník je pomocí předpřipraveného projektu naváděn po letových linkách s volitelným rozestupem. Volí se v závislosti na výšce nad terénem a požadavcích na přesnost. Typické vzdálenosti v případě přechodné a pozdní fáze by byly 200 – 300 m. Letové

linky jsou pro upřesnění doplněny tzv. svazovacími linkami, jejichž rozestup bývá 10 x větší, než je rozestup letových linek (tedy 2 – 3 km).

Výsledkem měření jsou spektra (většinou o časové délce 1s), ze kterých se při znalosti výšky nad povrchem terénu vypočítají dávkové příkony 1m nad povrchem terénu, hmotnostní aktivity přírodních radionuklidů (^{40}K , U a Th řada) a plošné aktivity vybraných umělých radionuklidů (hlavně ^{137}Cs , popř. ^{131}I). Výsledné hodnoty se spolu s příslušnými souřadnicemi exportují přímo do datového systému MonRaS na SÚJB. Další možností je exportovat výsledky do mezinárodního formátu ERS v případě spolupráce s evropskými leteckými skupinami.

Výhodou leteckých měření je jejich rychlost, možnost proměření nepřístupných resp. těžko přístupných území (např. hory) a i vzdálenost od kontaminovaného území (bezpečnost posádky vrtulníku vč. členů letecké skupiny). Nevýhodou je naopak vyšší minimálně detekovatelná aktivita (desítky kBq/m^2 při níže uvedených parametrech) a nižší rozlišovací schopnost co se týče hranic kontaminovaných území (při typické rychlosti 100 km/h a výšce 150 m nad terénem uletí vrtulník za 1 s cca 28 m, tedy naměřené spektrum neodpovídá bodu, jako při odběru vzorku půdy, ale průměrnému dávkovému příkonu pásu o šíři 300 m a délce 28 m). Proto je nutné letecká měření brát jako užitečný nástroj pro rychlé vytipování podezřelých míst, kam budou následně vyslány pozemní skupiny k dohledání a doměření potřebných hodnot – dávkových příkonů a aktivit umělých radionuklidů.

K leteckým měřením lze využít i nově vyvinutý systém s polovodičovým detektorem – HERAS. HERAS je autonomní systém skládající se z polovodičového detektoru, analyzátoru, notebooku a úložného boxu. Tento systém má oproti IRIS výborné spektrometrické vlastnosti, ale bohužel mnohanásobně nižší účinnost, měření musí být proto delší, minimálně 3 - 5 s, takže i rozlišovací schopnost je mnohem horší. Na druhou stranu je možné použít oba systémy (IRIS a HERAS) najednou, kdy IRIS bude měřit přesněji, citlivěji, kdežto HERAS bude schopný rozlišit jednotlivé radionuklidy ve spektru.

Za zmínku jistě stojí i možnost monitorování pomocí bezpilotních leteckých prostředků - **dronů**. V současnosti jsou drony osazovány detekčními jednotkami, které jsou schopny měřit jak dávkové příkony tak provést i jednoduchá spektrometrická měření. Velkou výhodou dronů je rychlá aktivace, možnost monitorovat nepřístupné plochy, bezpečnost „posádky“ a možnost monitorování z relativně nízkých výšek (desítky metrů). Jako bonus pak při doplnění videokamery lze i sledovat, jak to v dané lokalitě vypadá. Nevýhodou dronů je v současnosti relativně krátká doba letu, nízká nosnost a legislativní požadavky – např. nutnost letu dronu v dohledové vzdálenosti. Je zřejmé, že toto vše se bude v budoucnosti

měnit, takže význam takovýchto bezpilotních prostředků poroste, jak naznačují mnohé výsledky ze světa i z domova.

III.5.2. Pozemní monitorování

Nejdůležitější roli měření mobilních skupin představuje pozemní měření, hlavně **stanovení dávkových příkonů** at' už na místě nebo za jízdy/chůze. K tomu jsou všechny mobilní skupiny vybaveny detektory dávkových příkonů, přičemž některé z nich lze využít i k jednoduchým spektrometrickým měřením např. GR 135 miniSpec fy Exploranium nebo RT 30 fy Georadis, pro pojezdová měření pak např. MobDose fy PicoEnvirotec.

Na základě leteckých měření mobilní skupiny proměří dávkové příkony nejprve za jízdy v automobilu, tam kde to nelze za chůze, a přesně definují hranice kontaminovaného území. K upřesnění hodnot následně proběhnou měření dávkových příkonů na vytipovaných místech (obce, hřiště, komunikace ...) a taktéž **spektrometrická měření** aktivit umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy.

Měřené hodnoty dávkových příkonů resp. specifických (plošných a hmotnostních) aktivit radionuklidů spolu s příslušnými souřadnicemi jsou předávány do centrálních databází (v současnosti MonRaS na SÚJB) a pomocí nich jsou vytvářeny mapy kontaminace.

Odběr vzorků životního prostředí

Na základě požadavků krizového štábu mobilní skupiny odeberou vzorky životního prostředí – půdu, pícniny, zemědělské plodiny, potraviny, vodu (povrchovou, pitnou), lesní plody. Vybrané MS jsou vybaveny i přístroji pro odběr aerosolů na filtry. Vybavení pro tyto odběry jsou jednoduchá, vlastní odběry nemají složitý postup, vzorky se ukládají do PE sáčků nebo lahví, jediné, na co je potřeba dávat mimořádně pozor, je vzájemná kontaminace (cross-contamination) a přesný a nezaměnitelný popis odebraného vzorku tak, aby nedošlo k záměně vzorků. K tomu může vést i nově vyvinutý systém popisu odebraných vzorků pomocí QR - kódů.

Měření povrchové kontaminace

Při kontrole povrchové kontaminace mohou mobilní skupiny využít detektory povrchové kontaminace α , β nebo γ , které mohou buď měřit počet impulsů za sekundu pro α resp. β/γ (využitelné tehdy, kdy se jedná o směs radionuklidů nebo o neznámý radionuklid) nebo přímo plošnou kontaminaci (Bq/cm^2) v případě známého radionuklidu. Další možnosti jsou stěry z přesně známé plochy s následným měřením v laboratoři. Takovéto měření je

bohužel nepřesné (není známá přesná účinnost stěru), na druhou stranu lze přesně určit složení kontaminantu.

Měření vnitřní kontaminace (obsah ^{131}I ve štítné žláze)

Tato činnost je vysoce specializovaná a předpokládá výcvik v oblasti nejen přístrojové, ale i v oblasti měření a hodnocení vnitřní kontaminace osob. Proto je k této činnosti vycvičena jedna skupina ze SÚRO, která je schopná měřit obsah jódu ve štítné žláze pomocí přístroje vyvinutého na SÚRO (JODDET) a pomocí převozného celotělového detektoru měřit i obsah ^{137}Cs v celém těle. Pro jednoduchá měření lze ale též využít přenosné spektrometrické detektory (měření mimo stínění) s jednoduchou geometrií a příslušnou kalibrací.

IV. Kapitola B2: Metoda stanovení ^{241}Pu

Alena Kelnarová

Plutonium 241 (^{241}Pu) přispívá nejvyšší měrou k aktivitě plutonia ve směsi vznikající v jaderně-energetickém zařízení a všude tam, kde proběhla štěpná reakce. Jedním z důvodů, proč je ^{241}Pu natolik významným a sledovaným radionuklidem, je jeho produkt přeměny ^{241}Am , které je z hlediska účinků ionizujícího záření významné. ^{241}Pu je β^- zářič s poločasem přeměny 14,35 let a maximální energií $E_{\text{max}} = 20,8 \text{ keV}$, jeho přeměnou vzniká ^{241}Am , které emituje alfa částice o energii 5,5 MeV s doprovodným měkkým gama zářením o energii 60 keV. Dojde-li ke kontaminaci prostředí ^{241}Pu , největším problémem je nárůst aktivity ^{241}Am , která dosáhne maxima po 73 letech. Proto stanovení aktivity ^{241}Pu přispívá k odhadu dlouhodobé dávky obyvatelstvu po jaderné havárii.

Cílem bylo vyvinutí metodiky pro rychlé stanovení ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí pomocí extrakční chromatografie a kapalinové scintilační spektrometrie (LSC). Za základ byla zvolena kombinace metod IAEA/AQ/11 a IAEA/AQ/37. Pevné vzorky se mineralizují kyselinovým rozkladem nebo alkalickým tavením. Kapalně vzorky se odpařují nebo koncentrují srážením. Mineralizace a separace vzorků byla provedena podle postupů zavedených v SÚRO pro stanovení transuranů v různých matricích (půda, voda, rostliny, exkrementy, filtry z ventilačních komínů).

Princip metody: Izotopy Pu jsou ze vzorků separovány extrakční chromatografií na silně bazickém anexu nebo TEVA resin (výrobce Triskem). Po separaci se vzorek rozdělí na dvě části. V jedné je aktivita izotopu ^{241}Pu měřena metodou LSC, v druhé části je měřena spektrometrií alfa aktivita ostatních izotopů plutonia včetně výtěžku separace. Výtěžek separace je stanoven pomocí přídatku monitoru výtěžku ^{242}Pu .

Chemická příprava 2 – 3 vzorků vod před měřením trvá jednomu analytikovi 6 hodin. Příprava 2 – 3 vzorků ostatních matric trvá 18 – 24 hodin. Doba měření aktivity ^{241}Pu na LSC je obvykle 120 minut, stanovení chemického výtěžku separace spektrometrií alfa trvá 24 hodin.

Validace metody byla provedena pro tyto typy matric: pitná a povrchová voda, aerosolové filtry ze skleněných vláken i z materiálu FPM (používaných ve ventilačních komínech jaderných elektráren), vegetaci a zeminu.

Účinnost měření LSC zjištěná pomocí přídatků etalonu ^{241}Pu byla v rozmezí 32 – 42 %, průměrná hodnota byla 36 %. Při době měření 120 minut bylo pozadí v oblasti zájmu

$0,05 \pm 0,01$ Bq. Minimální detekovatelná aktivita byla $0,05 - 1,23$ Bq/vzorek, přičemž MDA závisí především na chemickém výtěžku separace a na množství vzorku (objemu vodných vzorků, objemu prosátého vzduchu aerosolových filtrů a hmotnosti pevných vzorků).

Na závěr byla vypracována metodika: „Stanovení aktivity ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí.“ a certifikována SÚJB ([Kelnarová 2019](#)).

V. Kapitola B3: Monitorování externích dávek

Monitorování externích dávek zasahujících osob, osob likvidujících havárii a obyvatelstva

Daniela Ekendahl, Irena Malátová, Zina Čemusová

Zahraniční zkušenosti v oblasti monitorování externích dávek byly podrobně pojednány v dílčím výstupu ([Příloha 2](#)). Byly zde vyhodnoceny zejména informace, poznatky a zkušenosti z havárií jaderných elektráren ve Fukushima a v Černobyli. V oblasti monitorování dávek z externího ozáření z provedené analýzy vyplynulo:

- Dávky obyvatel z území zasaženého radiací havárií mohou být významně nadhodnoceny, pokud jsou stanoveny výhradně na podkladě monitorování prostředí. Toto nadhodnocení vyplývá jednak ze samotné definice veličiny prostorový dávkový ekvivalent a ze zanedbání reálného pohybu osob v místě a čase.
- Dávky obyvatel v zasažené oblasti by ideálně měly být kontrolovány pomocí osobních dozimetrů. K tomu mohou být využity dozimetry používané dozimetrickými službami. Otázkou je možnost zajištění dostatečného počtu dozimetrů v případě velkého množství osob. Další možností je využití jednoduchých, levných a dostupných dozimetrů. Tento systém vyžaduje přípravu včetně implementace do plánů zvládnutí RMÚ.
- Pro zasahující osoby by měl být připraven náhradní způsob monitorování osobních dávek, zvláště pokud je primární způsob spojen přímo s provozem jaderné elektrárny. Lze opět využít dozimetry ze služeb osobní dozimetrie, případně dozimetry navržené speciálně pro daný účel. Tento systém rovněž vyžaduje přípravu včetně implementace do havarijní připravenosti.

Kritická rešerše moderních metod dozimetrie záření a fyzikálních metod retrospektivní dozimetrie se zohledněním posledních poznatků z vědy a výzkumu byla předmětem dílčího výstupu ([Příloha 3](#)). V rámci této práce byla pojednána specifika externího ozáření v pozdní fázi havárie a z toho vyplývající charakter monitorování externího ozáření. Protože externí ozáření zasahujících osob i obyvatel v pozdní fázi havárie je dominantně tvořeno zářením gama z rozpadu radiocesia, byly zkoumány moderní možnosti dozimetrie záření gama pro účely stanovení veličin $H_p(10)$, $H^*(10)$, nebo alespoň K_a . V rámci studia jednotlivých

možností bylo rovněž zohledněno, že v oblasti zasažené havárií s největší pravděpodobností vznikne potřeba detailnějšího sledování dávek a vzrostou tedy požadavky na kapacitu měření.

V.1. Monitorování dávek z externího ozáření obyvatel

Monitorování dávek z externího ozáření obyvatel v rozsahu vyžadovaném radiační situací v pozdní fázi havárie lze v zásadě docílit takto:

- a) Rozšíření sítě termoluminiscenčních dozimetrů (TLD) ve smyslu instalace TLD do nových měřících míst
- b) Instalace alternativních levných pasivních detektorů do nových měřících míst
- c) Využití měření v rámci občanských sítí
- d) Osobní dozimetry pro vybrané skupiny obyvatel

Ad a) Rozšíření sítě TLD

Primární možností zvýšení kapacity monitorování je rozšíření stávající sítě TLD. Pro měření $H^*(10)$ v prostředí lze využít zbývající zásobu dozimetrů systému TLD Harshaw 6600, která je dostatečná pro vytvoření až 75 nových měřících míst. Tento systém je dlouhodobě zavedený a poskytuje kvalitní výsledky. Pořízení větší zásoby dozimetrů typu Harshaw může být nákladné, cena 1 ks TL dozimetru je přibližně 3500 Kč. Při potřebě většího množství nových měřících míst lze alternativně využít i starší systém TLD Rados, který by zvýšil kapacitu měření o cca 500 nových měřících míst; nutným předpokladem však je, že funkčnost tohoto systému pro potřeby dozimetrie prostředí bude udržována. Výhodou obou systémů je, že existují příslušné metodiky. Metodika stanovení $H^*(10)$ pro systémem TLD Harshaw 6600 je akreditovaná, metodika pro stanovení $H^*(10)$ systémem Rados vyžaduje aktualizaci s ohledem na proběhlou obnovu čtečky.

Ad b) Instalace alternativních levných pasivních detektorů do nových měřících míst

Alternativu či doplněk k měření pomocí zavedených TLD představují levné pasivní solné detektory na principu opticky stimulované luminiscence (OSL), které byly včetně příslušné metodiky vyvinuty v rámci projektu Bezpečnostního výzkumu VF20162016049. Prověření, že dozimetrické vlastnosti běžné kuchyňské soli (NaCl) vyhovují potřebám dozimetrie prostředí v oblasti dávek předpokládaných v pozdní fázi havárie, bylo provedeno v experimentální části studie ([Příloha 3](#)). Výsledky ukázaly, že je třeba počítat s větší nejistotou měření než u TLD zejména při redukci počtu vyhodnocovaných vzorků z detektoru. Nejistotu měření by bylo možné redukovat použitím analytického protokolu SAR (Single Aliquot Regeneration). Podmínkou pro aplikaci protokolu SAR však je, aby použitý TL/OSL

systém Risø DA-20 byl vybaven zdrojem záření poskytujícím hodnoty příkonu dávky odpovídající dané aplikaci, tj. v řádu maximálně několik mGy/s. Nevýhodou využití solných detektorů jsou poměrně náročné laboratorní procedury pro měření a vyhodnocení signálu. Na druhou stranu velkou výhodou je bezkonkurenčně nízká cena detektoru, která umožňuje distribuci téměř neomezeného počtu detektorů. Problémem je však časová náročnost přípravy a měření jednotlivého vzorku soli, která je 5 – 10 min, což dosti zásadně omezuje kapacitu měření. Ke zjednodušení a zkrácení laboratorních procedur by mohlo přispět, pokud by solné detektory byly využity ve formě slisovaných peletek. V současné době SÚRO zkoumá tuto možnost aplikace solných detektorů v rámci institucionálního výzkumu. V původní podobě však solný detektor v kombinaci se současnou konfigurací měřicího systému není momentálně alternativou pro velkokapacitní měření. Může být nasazen v řádu maximálně stovek kusů, pokud by zároveň nebyl požadavek, aby byly detektory vyhodnocovány najednou v tomto počtu.

Ad c) Využití měření v rámci občanských sítí

Z důvodu komerční dostupnosti detektorů záření lze předpokládat, že v případě radiační havárie si někteří obyvatelé zakoupí detektory radiace. Kromě toho se v poslední době objevují i aplikace pro měření úrovně radiace s využitím mobilních telefonů, kde je jako senzor použita kamera. Jedná se o volně dostupné aplikace pro širokou veřejnost. Při jejich použití hrozí riziko nesprávného zacházení a interpretace výsledků. Přesto výsledky z těchto občanských měření však mohou mít určitý podpůrný význam při kontrole radiační situace a mohou přispět k uklidnění vystrašených obyvatel. Nemohou však zcela nahradit měření prováděná profesionálními týmy. Dosavadní zkušenosti získané v rámci tuzemských i evropských projektů naznačují, že k orientačnímu sledování osobních dávek lze využít výsledky měření některými detektory používanými občany, např. detektor Safecast bGeigie Nano, pracující na bázi Geiger-Müllerova detektoru, nebo některé ověřené aplikace využívající jako detektor senzor kamery mobilního telefonu. Občanská měření by však měla být brána spíše jako doplňková z hlediska komunikace s veřejností a sledování vývoje radiační situace, více o těchto měření v [\(Fojtíková 2020\)](#).

Ad d) Osobní dozimetrie pro vybrané skupiny obyvatel

Vybavení obyvatel osobními dozimetrie má smysl v případě obyvatel ze zasaženého území, u nichž se dle doporučení ICRP 111 uplatňuje jako rozhodnou dávku pro setrvání na daném území hodnota 20 mSv/rok. Z hlediska dozimetrů přichází v úvahu jednoduché levnější elektronické dozimetrie s možností zobrazení údaje o dávce. Příkladem takového dozimetru je

např. systém D-Shuttle, který byl vyvinut a využit v Japonsku po havárii v JE Fukushima. Systém byl v minulosti testován v rámci řešení projektu Bezpečnostního výzkumu VG20132015105. Bylo zjištěno, že přestává správně měřit v prostředí s příkonem převyšujícím přibližně 10 mSv/h, nesrovnalosti byly zaznamenány při dodatečné laboratorní rekonstrukci rozložení dávky v čase, nicméně pro použití v prostředí se stabilními spíše nízkými hodnotami dávkového příkonu by byl však dozimetr vyhovující. Pro vybrané skupiny obyvatel lze uvažovat i o využití osobních dozimetrů poskytovaných službami osobní dozimetrie v ČR, ovšem je zde otázka jejich kapacit. V případě rozsáhlé havárie lze očekávat, že služby osobní dozimetrie by se spíše podílely na zajištění osobní dozimetrie zasahujících osob.

V.2. Monitorování dávek z externího ozáření zasahujících osob a osob podílejících se na obnově

Pro monitorování dávek z externího ozáření zasahujících osob jsou uplatnitelné běžné komerčně dostupné profesionální dozimetry záření gama a dozimetry používané službami osobní dozimetrie. Za vybavení zasahujících osob dozimetry a ochrannými pomůckami odpovídá ten, kdo je k zásahu vysílá. Týmy působící v rámci MRS disponují vlastním dozimetrickým vybavením. U zásahů v rámci dlouhodobé nápravy území by však byly nasazeny i další různé profesní skupiny osob. Dozimetry pro tyto skupiny by musely být pořízeny nebo by mohly být poskytnuty službami osobní dozimetrie v ČR. Možnosti těchto služeb osobní dozimetrie byly zjištěny dotazem a jsou podrobně uvedeny v tabulce č. 1 (Příloha 3).

Tabulka 1: Možnosti služeb osobní dozimetrie ve dvou firmách poskytující služby osobní dozimetrie - NUVIA Dosimetry s.r.o. (dříve CSOD s.r.o.) a VF a.s.)

Firma	Typ dozimetru	Počet dozimetrů	Cena za vyhodnocení 1 dozimetru (Kč)
NUVIA Dosimetry s.r.o.	Filmy	2000 (3 období)	90 - 120
	TLD	2000 (opakovaně)	
VF, a.s.	OSL	1000	100

V případě stabilních radiačních podmínek s nízkými hodnotami dávkového příkonu (maximálně desetinásobek obvyklých hodnot přírodního pozadí), kdy je vyloučeno překročení limitu pro pracovníky, postačuje použití skupinového dozimetru pro skupinu společně pracujících zasahujících osob.

Evidence osobních dávek obyvatelstva: zákon předpokládá, že dávky obyvatel budou sledovány a hodnoceny především na základě monitorování prostředí. Data z monitorování prostředí musí být přes datové rozhraní předávána SÚJB, kde jsou tato data evidována a uchovávána. Tento systém existuje a je plně funkční.

Evidence osobních dávek zasahujících osob: Osoba vysílající zasahující osobu k zásahu je povinna zajistit vedení seznamu zasahujících osob, monitorování a hodnocení velikosti ozáření při zásahu a uchovávání údajů získaných z těchto činností. Seznam všech zasahujících osob, záznamy a údaje o skutečnostech týkajících se zásahu a zasahujících osob musí vysílající osoba uchovávat po dobu 10 let od ukončení zásahu. Záznamy monitorování a hodnocení velikosti ozáření zasahující osoby musí vysílající osoba uchovávat po dobu 30 let od ukončení zásahu. Identifikační údaje zasahující osoby a jí obdrženou dávku musí osoba, která osoby k zásahu vyslala předávat SÚJB neprodleně po ukončení zásahu. Z hlediska těchto zákonných požadavků, by tedy minimální údaje předávané SÚJB měly obsahovat:

- jméno osoby,
- rodné číslo,
- osobní dávka ve formě $H_p(10)$ a
- časové období, ke kterému se hodnota $H_p(10)$ vztahuje.

Pro evidenci a uchovávání těchto dat postačuje jednoduchá databáze.

Zákon sice specificky nezmiňuje možnost osobní dozimetrie u osob z řad obyvatel, ale pokud by některé osoby z řad obyvatel byly vybaveny osobním dozimetrem, měly by být výsledky z tohoto monitorování vykazovány a předávány SÚJB stejným způsobem jako u zasahujících osob.

Výše uvedené možnosti monitorování pro obyvatele a zasahující osoby jsou dostatečné z hlediska splnění legislativních požadavků.

Poznatky a výsledky získané při řešení projektu (spolu s kapitolou B5) byly uplatněny pro vypracování organizační normy (VDI 132). Tato norma je zveřejněna na interních webových stránkách SÚJB.

VI. Kapitola B4: Monitorování vnitřní kontaminace

Monitorování vnitřní kontaminace zasahujících osob, osob likvidujících havárii a obyvatelstva

Pavel Fojtík, Irena Malátová

Podkladové údaje k této kapitole jsou uvedeny ve zprávách ([Přílohy 2 a 4](#)), kde jsou podrobně rozpracovány způsoby monitorování vnitřní kontaminace a výpočet dávky po zpřístupnění území k užívání včetně dostupných kapacit. Na základě údajů z obou zpráv vznikl výsledek projektu ([VDI 132](#)).

VI.1. Úvod

Legislativní rámec/požadavky

Na předávání území do užívání se vztahují ustanovení § 102 atomového zákona ([AZ č. 263/2016](#)) „Existující expoziční situace jako následek nehodových expozičních situací nebo jiných okolností“. Ozáření se v takovém případě reguluje „stanovením referenčních úrovní pro průměrnou efektivní dávku reprezentativní osoby¹ za kalendářní rok v rozmezí od 1 do 20 mSv“. Vyhláška 422/2016 Sb. ([Vyhláška č. 422/2016](#)) stanoví, že „Referenční úroveň k usměrnění přetrvávajícího ozáření v důsledku nehodové expoziční situace je nejvýše 20 mSv za 12 měsíců“. Tuto hodnotu není žádoucí překročit a cílem optimalizace opatření je dávka od 1 do 20 mSv. Jedná se o zbytkovou (reziduální) dávku při fungování ochranných opatření.

Předávané území z rizika vnitřní kontaminace

Ve fázi předávání území do užívání jsou z hlediska příspěvku k dávce z vnitřního ozáření významné ty radionuklidy s významným výtěžkem z reakce jaderného štěpení nebo zachytu neutronu, které mají dostatečně dlouhý poločas přeměny, tj. prakticky ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁹⁰Sr. Z uvedených časem ztrácí význam ¹³⁴Cs kvůli relativně krátkému poločasu přeměny. Dojde-li při havárii k uvolnění transuranů (²³⁷Np, ²³⁸⁻²⁴¹Pu, ²⁴¹Am, ^{242, 245}Cm) do životního prostředí, dochází navíc k nárůstu aktivity ²⁴¹Am z přeměny ²⁴¹Pu.

Dávky obyvatelstvu z vnitřního ozáření po předání území do užívání závisí kromě způsobu života na území také na zavedených opatřeních ke snížení vnitřního ozáření a na jejich dodržování. Vnitřní kontaminace je ve střední a pozdní fázi radiační havárie převážně důsledkem ingesce kontaminovaných potravin, z inhalace v důsledku resuspenze aktivity je

¹ Reprezentativní osoba: „jednotlivec z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány“.[AZ §2(3)(j)] a ICRP 101]

již zanedbatelná. Vedle přímého měření vnitřní kontaminace osob poskytuje tedy další podklad k odhadu dávek také souběžné monitorování aktivity radionuklidů v potravinách.

VI.2. Postupy sledování obdržených dávek obyvatelstva a zasahujících osob

Monitorování zasahujících osob zajišťuje vysílající osoba a pro omezení havarijního ozáření zasahující osoby v nehodové expoziční situaci použijí limity pro radiační pracovníky.

Kromě informace, zda je území zpřístupněno pro návrat obyvatelstva z hlediska dávky z vnitřního ozáření, se monitorováním získá informace o tom, zda

- fungují opatření pro nápravu území a jsou trvale udržitelná (zjištěním stavu vnitřní kontaminace před opatřením a po zavedení konkrétního opatření),
- existují skupiny nebo osoby, které obdrží na území dávku vyšší, než je referenční hodnota (tj. optimalizační mez); ověří se tak správnost optimalizace

Další úkoly při monitorování pro účely sledování dávek z vnitřního ozáření:

- a) provádění prospektivních výpočtů vývoje vnitřní kontaminace a dávky pro účely výhledu zprovoznění území,
- b) případné shromažďování dat pro epidemiologické hodnocení,
- c) stanovení individuálních dávek (není hlavním cílem monitorování).

VI.3. Organizace monitorování

Monitorování životního prostředí a potravního řetězce musí zahrnovat ty složky, které se použijí pro výpočet dávky z vnitřního ozáření za použití modelů příjmu ingescí a popřípadě inhalací. Zejména se jedná o potraviny, které tvoří součást smíšené stravy a stravy každé věkové kategorie.

Referenční úroveň stanovená k regulaci přetrvávajícího ozáření po radiační havárii se porovnává s dávkou obdrženou reprezentativní osobou. Kritérii výběru skupiny osob pro monitorování se podrobně zabývá publikace ICRP 101 a patří mezi ně:

1. rozumnost životních návyků (tzn. nevybočení z rozpětí běžného v denním životě)
2. dlouhodobá stálost návyků (tzn. dlouhodobá platnost kritéria)
3. homogenita skupiny (dána rozmezím dávek)

U monitorované skupiny osob musí být neustále ověřováno, že jsou osoby reprezentativní pro monitorovanou populaci (kritickou skupinu). Ověřování se provádí dotazníky, srovnáním chování osob v rámci monitorované skupiny, srovnáním parametrů kumulativní funkce distribuce retence s jiným výběrem osob z monitorované populace. Podle potřeby se provede jiný výběr osob. Data o životních návycích se získají statistickým

šetřením, ze statistických přehledů, dotazováním. Data pro výběr reprezentativní osoby mohou poskytnout také dotčené subjekty, tzv. *stakeholders*, tedy osoby z obyvatelstva, které je dotčeno užíváním území. Mohou napomoci získávání údajů dotazováním.

Věkové skupiny

Reprezentativní osobou může být jedinec z kterékoli věkové kategorie. Pro prospektivní stanovení dávky se doporučuje v praxi užívat k jejich reprezentaci věkové kategorie 0–5 roků („kojenec“), 6–15 let („dítě“) a 16–70 let („dospělý“) a koeficienty rizika a údaje o životních návycích pro jednoroční dítě (kojenec), desetileté dítě a dospělou osobu [ICRP 101]. To neplatí pro retrospektivní výpočty, pro něž se použijí věkově závislá data, např. věkově závislá biokinetická data.

Předvýběr osob

Předvýběr skupiny osob pro monitorování dávky reprezentativní osoby se provede na základě změřené kontaminace území, popřípadě lze využít model kontaminace území (např. členění území na zóny podle Národního radiačního havarijního plánu, prognózy kontaminace z modelových výpočtů). Reprezentativní osoba se volí z území s nejvyšší kontaminací. Dále se vybírá podle způsobu života, zejména stravovacích návyků. Výběr skupiny je tedy kombinací úrovně kontaminace a nepříznivých návyků z hlediska příjmu radionuklidů. Ve zvycích zvolené skupiny musí být zastoupeny všechny významné cesty příjmu.

Skupiny pro specifické odhady

V rámci monitorování se popřípadě identifikují také speciální skupiny osob nebo skupiny umožňující získání specifických údajů např. k distribuci nebo vývoji vnitřní kontaminace. Speciální skupinou jsou také osoby dotčené zavedením nebo zrušením regulačních opatření. Na základě modelu a prováděných měření kontaminace území se vyhledají také extrémní, tj. osoby s předpokládanou vyšší dávkou. Osoby s řádově vyššími naměřenými hodnotami vnitřní kontaminace se pak vyberou pro hodnocení individuálních dávek.

Zahájení a ukončení monitorování

Monitorování přímým měřením vnitřní kontaminace u vybrané skupiny se zahájí po jejím zformování.

Po dosažení cílů optimalizace dávky se nabízí ukončit monitorování nebo v něm pokračovat s menší intenzitou. S monitorováním je však třeba v nějakém rozsahu pokračovat i po odvolání ochranných opatření, která vedla k dosažení cíle optimalizace a nejsou již nezbytná. Je třeba potvrdit udržitelnost výsledků opatření a monitorovat důsledky jejich případného rozvolnění ([IAEA 2012](#)).

VI.4. Monitorování osob

Úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření v důsledku vnitřní kontaminace radionuklidu se stanoví výpočtem ze zjištěného příjmu radionuklidu nebo ze znalosti vývoje retence radionuklidu v těle. Příjem radionuklidu se odhadne na základě měření retence nebo exkrece radionuklidu nebo z aktivit radionuklidu ve složkách potravního řetězce nebo životního prostředí. Vývoj retence radionuklidu v těle se vypočte ze známé spotřeby složek potravního řetězce nebo změří přímým měřením nebo nepřímo z exkrece a biokinetických modelů.

Příjem se odhaduje na základě přímého měření retence radionuklidu v těle nebo měřením denní exkrece a výpočtem pomocí biokinetických modelů. Doporučuje se použít více metod a jejich výsledky porovnat. Podrobný způsob výpočtů je uveden v [Příloze 4](#).

VI.4.1. Celotělové měření retence radionuklidů v těle

Nejdůležitější a nejspolehlivější je monitorování aktivity radionuklidů v těle na celotělovém počítači v kombinaci se znalostí okolností příjmu z měření prostředí. Počet předpokladů pro měření a biokinetické chování je menší, než pro odhad z modelů potravinových řetězců, a nejistoty předpokladů jsou nižší.

Citlivost současných celotělových počítačů je dostatečná pro monitorování vnitřní kontaminace, minimální detekovatelné aktivity odpovídají nepatrnému zlomku optimalizační meze pro dávku z vnitřního ozáření. Výjimkou je případná vnitřní kontaminace transurany (např. ^{241}Am).

Postup měření celotělové aktivity radionuklidů u jednotlivých osob provádějících činnosti v rámci obnovy území a u obyvatelstva se neliší. Lišit se mohou délky měření, které se volí podle požadované meze detekce, a použité kalibrované geometrie měření pro jednotlivé věkové kategorie osob z řad obyvatelstva. Měření celotělové aktivity vyžaduje, aby byl celotělový počítač kalibrován pro měření všech monitorovaných věkových kategorií.

Pro podchycení sezónních variací je vhodné provádět přímé měření alespoň ve dvou sezónách. Jarní sezóna zachycuje konzumaci potravin z minulé sklizně. Měření na podzim je

ovlivněno konzumací potravin z nové sklizně. Retence také závisí na tom, v jakém okamžiku kontaminace je měření prováděno. Zda se jedná o akutní jednorázovou kontaminaci nebo chronický příjem. Je třeba také počítat s možným vysokým náhodným příjmem, obzvláště u dětí.

Měření retence u osob klade nároky na přítomnost osob na měření, na organizaci měření, může vyžadovat výjezd za měřenými osobami a vyhledání stabilního a co nejnižšího pozadí při výjezdovém měření. Kvůli této náročnosti je třeba stanovit nezbytný rozsah měření.

VI.4.2. Měření exkrece radionuklidů

Monitorování vnitřní kontaminace měřením denní exkrece radionuklidů v moči se volí v případě nedostatečné citlivosti přímého měření retence radionuklidu (například pro monitorování vnitřní kontaminace aktinoidy) nebo při obtížné realizaci přímého měření jednotlivců z obyvatelstva (kvůli velikosti území, velikosti skupiny osob, nedostatku měřicí kapacity). Případný sběr stolice slouží k monitorování vnitřní kontaminace nerozpustnými formami radionuklidu (zejména aktinoidů) u osob, u kterých může dominovat cesta příjmu vdechnutím.

Měření aktivity radionuklidů v exkretech se provádí buď v nativním vzorku exkret (pokud to emitované záření umožňuje), nebo častěji a s větší citlivostí po vhodném radiochemickém zkoncentrování vzorku.

Měření exkrece močí

Citlivost metod stanovení exkrece relevantních radionuklidů (^{134}Cs , ^{137}Cs) v moči je dostatečná pro příjmy vedoucí ke zlomkům optimalizované dávky [Malátová 2019]. Měření exkrece močí může díky relativně jednoduché organizaci sloužit k průzkumu vnitřní kontaminace u velkého počtu osob na rozsáhlém území.

Doporučuje se sbírat 24hodinovou (celodenní) moč podle předem připravené metodiky, která zajistí úplnost sběru a správné údaje. V průzkumu kontaminace československé populace ^{137}Cs po havárii JE v Černobylu korelovala retence s celodenní exkrecí a bylo možné odvodit vztah pro výpočet retence z výsledků rychlosti exkrece močí (ČKAЕ 1988). Jsou-li k dispozici pouze okamžité sběry (bodové sběry) močí, je třeba ověřit, zda korelují s naměřenou retencí nebo je třeba provést nějakou normalizaci.

Měření exkrece stolicí

Sběr stolice není praktické pro monitorování obyvatelstva, má své opodstatnění v případě transuranů při monitorování příjmů inhalací v důsledku jejich resuspenze do

ovzduší. Takový příjem může nastat například u zasahujících osob provádějících dekontaminaci území a může být primární metodou monitorování vnitřní kontaminace pracovníků v oblasti kontaminované transurany.

VI.4.3. Odhad modelem

Rychlý způsob stanovení dávek z příjmu radionuklidů pro obyvatelstvo je odhad pomocí modelu, který vychází z modelovaných aktivit potravin a ze spotřeby potravin. Jedná se o počítačové simulace založené na modelech šíření radionuklidů a vzorcích chování obyvatel vzhledem k příjmu. Skutečné hodnoty parametrů v těchto modelech nejsou přesně známy. Jejich nejistoty vedou k rozpětí koncentrací radionuklidů v potravinách až o tři řády [Smith 2002]. Modelové odhady mají význam především pro předpověď vývoje příjmu radionuklidů v čase. Tato metoda odhaduje příjem určitou cestou příjmu. Při absenci naměřených dat o aktivitách v potravním řetězci může být jedinou metodou poskytující první rychlou prognózu.

VI.4.4. Odhad příjmu z poměru aktivit měřitelných a neměřitelných radionuklidů

Je-li příjem některého radionuklidu obtížně stanovitelný přímým měřením osob ve sledované skupině, je možné na jeho příjem usuzovat ze znalosti příjmu dobře měřitelného radionuklidu a z jejich vzájemného poměru ve zdroji vnitřní kontaminace.

Speciálně se jedná o případ retrospektivního odhadu dávky od radionuklidu vyskytujícího se v předchozích fázích havarijní a pohavarijní expozice. Příkladem je zpětný odhad dávky od radiojodu, pokud nebyla přímá měření radiojodu ve štítné žláze provedena do doby, než se jeho aktivita snížila na neměřitelnou úroveň. V takovém případě lze na příjem usuzovat z poměru aktivity radiojodu k radiocesiu ve zdroji kontaminace (např. ve vzduchu) v době expozice, přičemž příjem radiocesia lze odhadovat na základě aktuálních měření.

VI.5. Rozbor měřících kapacit

Rozbor měřících kapacit byl zpracován v rámci projektu bezpečnostního výzkumu VF20102015014 „Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace“. V dokumentu „Doporučení ke zvládnutí rozsáhlých radiačních mimořádných událostí s velkým počtem zasažených osob, optimální třídění kontaminovaných osob s ohledem na dostupnou kapacitu měření“ [Doporučení 2015] jsou uvedeny metodiky zavedené v organizacích, které zajišťují službu osobní dozimetrie vnitřního ozáření pro své pracovníky nebo komerčně. Vzhledem k tomu, že se jedná o velké organizace vykonávající

službu pro sto a více klientů, nejsou kapacity omezeny personálním obsazením. Jedná se o kapacitu pro celotělová měření, která jsou pro monitorování obyvatel a zasahujících osob v této fázi po havárii primární.

Výjezdovou kapacitu pro celotělové měření má pouze SÚRO, v.v.i. Je možné přepravit jeho převozitelný celotělový počítač do jiné lokality. Počítá se také s dopravou monitorovaných osob do ústavu a s využitím kapacity převozitelného celotělového počítače pro posílení stacionárních zařízení v laboratoři CTP SÚRO (dvě celotělové komory).

Počet osob, které bude možné změřit při měřicí kampani v rámci jednotky času (např. v průběhu jedné hodiny) závisí na nejmenší detekovatelné aktivitě měřeného radionuklidu, kterou lze mj. snížit prodloužením měření. Vzhledem k tomu, že délka měření není jediným parametrem určujícím nejmenší detekovatelnou aktivitu, je možné pouze odhadnout hodinovou kapacitu jednoho celotělového počítače z běžných účinnostních parametrů a podmínek měření (pozadí) na cca tři až pět osob.

Kalibrovány jsou další přenosné polovodičové detektory, které mohou být pro improvizovaná celotělová měření aktivity radionuklidů používána výjezdovými skupinami.

V rámci projektu byla provedena kalibrace přenosného scintilačního detektoru LaBr (ve spojení s analyzátozem Canberra InSpector 1000) pro celotělovou geometrii měření. Účelem bylo připravit složkám, které mají tento systém ve své výbavě (např. chemické laboratoře HZS) možnost improvizovaného celotělového měření (s omezeními odpovídajícími měřidlu).

VII. Kapitola B5: Optimalizace měřících kapacit

Petr Rulík, Michal Sloboda, Alena Kelnarová

V této části úkolu jsou posouzeny měřící kapacity laboratoří, které jsou začleněny do MRS, a které by byly k dispozici při řešení pozdní fáze nehodové expoziční situace (NPM, 2018).

Kapitola se soustředí na rozbor kapacity a optimalizaci laboratoří se spektrometrií gama a radiochemických laboratoří; součástí bylo i provedení a vyhodnocení kapacitního cvičení. Rozbor terénních měřících kapacit (pozemní i letecké) je proveden v kapitole III. a rozbor měřících kapacit vnitřní kontaminace je proveden v kapitole VI.

Za pozdní fázi zde považujeme situaci, kdy mohou přicházet do laboratoří vzorky s obsahem radionuklidů (RN) v mnoha řádovém rozpětí, takže některé potravinové komodity, které budou reprezentovány vzorky s vyšší aktivitou, budou překračovat referenční úroveň (viz NPM) pro jejich distribuci. Budou analyzovány jak složky životního prostředí (ŽP) a potravních řetězců (PŘ), tak mohou být analyzovány i vzorky dalších biologických vzorků (exkřety, pot, krev, tkáň). Většina těchto vzorků bude měřena pomocí spektrometrie gama, mohou se však vyskytnout situace, kdy bude nutno měřit i větší počet vzorků pomocí spektrometrie alfa nebo měřením záření beta.

Při laboratorních analýzách vzorků musí být nastaveny podmínky analýzy tak, aby byly spolehlivě odlišitelné aktivity přesahující nejvyšší přípustné úroveň radioaktivní kontaminace (viz NPM) potravin, vody a krmiv. Při stanovení detekčních mezí (MDA - minimálně detekovatelných aktivit) lze vycházet z Vyhlášky č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace a dalších dokumentů nebo je stanovit přibližně na úrovni 1/10 nejvyšší přípustné úroveň radioaktivní kontaminace.

VII.1. Struktura vzorků a systém jejich odběru a evidence

Podrobný popis struktury vzorků a systému odběru vzorků za havarijního monitorování (HM) je popsán ve Zprávě SÚRO 25 z roku 2015. Skladba vzorků bude záviset na ročním období, radionuklidovém složení kontaminantu, očekávaných hodnotách aktivit a velikosti kontaminovaného území.

Cílem monitorování bude jednak zpřesnění hranic různě kontaminovaných území, získání dostatečného reprezentativního souboru dat pro odhad úvazku efektivní dávky obyvatelstvu, poskytnutí dostatku informací pro rozhodnutí o následných opatřeních (nakládání s rostlinnými a živočišnými produkty a půdou) a pro predikci vývoje kontaminace

na zasaženém území a také v neposlední řadě pro kontrolu trhu včetně vývozu a dovozu produktů.

Na vzorkování ŽP a PŘ se bude podílet řada organizací, především ty, které nejsou součástí resortu SÚJB, a to v oblasti vod Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV), v oblasti PŘ inspektoři Státní veterinární správy (SVS) ČR (živočišné komodity), Státní zemědělské a potravinářské inspekce (SZPI, rostlinné komodity), Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ, krmiva, krmné suroviny) a Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM, produkty lesa). Další vzorky, zejména vzorky ŽP budou odebírány mobilními skupinami a dalšími pracovníky resortu SÚJB. Zkušenosti ze zemědělské výroby ukázaly, že jsou potřebné spíše hodnoty z detailnějších částí území než zprůměrované hodnoty ze vzorkování o velkém kroku (SÚRO, 2015).

Způsob evidence vzorků není jednotný. SÚRO zavedl v roce 2018 možnost záznamu informací o odebíraném vzorku pomocí aplikace pro mobilní telefon, jejich převodu do QR-kódu, vytištění štítku s tímto QR-kódem a načtení těchto informací z QR-kódu do laboratorního systému. Ostatní výše vyjmenované složky systému informace o odebraných vzorcích zaznamenávají v písemné formě nebo pomocí čarového kódu. Pokud laboratoře musí informace o vzorcích zadávat do laboratorní databáze ručně, prodlužuje se celkový čas potřebný na analýzu jednotlivých vzorků a zvyšuje se pravděpodobnost chybovosti zápisu.

VII.2. Rozbor kapacity a optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama

Sít' laboratoří vybavených spektrometrií gama tvoří v současné době 7 stálých laboratoří, a to SÚRO Praha, Hradec Králové, Ostrava a České Budějovice a dále laboratoř SVÚ Praha a Olomouc a laboratoř VÚV Praha. Předpokládá se, že do tohoto systému se zapojí volnou kapacitou i dvě laboratoře LRKO JE a laboratoř ÚJV Řež. U laboratoří LRKO se ale předpokládá jako hlavní činnost plnění programu monitorování výpustí a okolí JE.

Celkový počet spektrometrických tras v 7 laboratořích je 37, došlo jen k mírnému nárůstu proti předchozím letům a nelze předpokládat, že by se počet tras dále zvyšoval.

Lidské kapacity jsou omezené. V současné době, a platí to již dlouhodobě, systém 7 laboratoří disponuje 17 až 20 odborníky, kteří jsou schopni verifikovat správnost výsledků a 30 až 40 osobami, které jsou schopny bez dalšího zácviku připravovat potencionálně radioaktivní vzorky. Dle informace z SVÚ by laboratoře SVÚ byly schopny využít svých lidských zdrojů v jiných činnostech a po krátkém zácviku podstatně zvýšit laboratorní kapacitu pro přípravu vzorků.

Při havarijním monitorování (HM) se předpokládá v 5 laboratořích 1 - směnný provoz v délce 10 až 12 hodin a u 2 laboratoří (SVÚ) 3 - směnný provoz. Tento režim bude v laboratořích udržitelný po dobu 14 dnů (včetně víkendů).

VII.2.1. Kapacitní cvičení

K nácvičování činnosti laboratoří při HM slouží zátěžová kapacitní cvičení, během kterých se zpracovávají a měří vzorky i uměle kontaminované vybranými radionuklidy s aktivitami v rozpětí několika řádů, a při kterých se laboratoře snaží v průběhu obvykle 10-12 hodin změřit co největší počet vzorků. Cílem těchto cvičení je kromě zjištění aktuální kapacity i identifikace problematických míst celého procesu a samozřejmě optimalizace činností. Takže o optimalizačním procesu hovoříme již od konání prvního cvičení. První cvičení proběhlo již v roce 2007 a po té v letech 2013, 2014, 2016 a 2018. Hodnocení výsledků cvičení probíhá obvykle podle 2 kritérií, a to kritéria správnosti zápisu a kritéria správnosti výsledku.

Při zátěžovém kapacitním měření v 2018 se celková správnost zápisu vzorků díky přenosu informací o vzorku z terénu do laboratorního systému pomocí QR - kódů zvýšila na více než 98 % hlavně díky bezchybnému přenosu souřadnic odběrového místa vzorku. Pokud se hodnotí jen relativní odchylka, která měla být do 30%, tak jako správných bylo možno označit 95% výsledků (necvičily ale laboratoře SVÚ a laboratoř VÚV).

VII.2.2. Odhad kapacity

Teoretický odhad kapacity systému 7 laboratoří byl proveden za předpokladu využití 32 spektrometrických tras, délky měření 1 vzorku včetně jeho výměny na detektoru 12 minut (ke spolehlivému dosažení MDA na úrovni 10 Bq/kg i na detektorech s nižší účinností), současného personálu, který je k dispozici (17 až 20 odborníků a 30 až 40 dalších osob), a za předpokladu, že v prvních dnech by byli lidé schopni pracovat až 12 hodin denně v jednosměnném provozu včetně laboratoří SVÚ na cca 1700 vzorků denně; přičemž v laboratoři SÚRO v Praze by byl využit i „gama-automat“ se 2 trasami s automatickým vyhodnocením spekter po dobu 24 h.

Reálné odhady kapacity byly provedeny po kapacitních cvičeních. Odhady vycházely z reálného počtu analyzovaných vzorků a z odhadu zvýšení kapacity, pokud se podaří odstranit chyby, které se vyskytly, optimalizovat činnosti a budou využití všichni pracovníci laboratoří. Z cvičení v roce 2014 a 2018 vyplynula reálná kapacita systému na 1400 - 1500 vzorků za den při jednosměnném provozu všech laboratoří. Tento režim by byl udržitelný po

dobu 14 dnů včetně víkendu, ale poté by musel být redukován na běžné 8 - hodinové pracovní směny včetně zajištění i dalších činností jako je příprava pracoviště na další den, takže kapacita by klesla na 1000 až 1200 vzorků za den.

VII.2.3. Optimalizace činností

Proces optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama již probíhá řadu let, stejně jako jsou již řadu let organizována zátěžová kapacitní cvičení. V rámci tohoto úkolu však došlo k vylepšením systému.

Opakovaně se ukazuje, že limitujícím faktorem v kapacitě laboratoří není přístrojové vybavení, ale omezené lidské zdroje. A i když se daří udržet v systému mladé lidi, nelze příliš počítat s navýšením počtu pracovníků laboratoří, takže reálná kapacita se již zřejmě nebude za těchto podmínek příliš zvyšovat; snaha bude spíše zaměřena na snižování chybovosti, jak v administraci vzorků, tak v samotné analýze.

Dáje jsou uvedeny návrhy optimalizace, z nichž některé již byly v průběhu výzkumu realizovány.

- Příprava prostor pro cvičení, vymezení prostor a nastavení režimu v místech práce s vyšší aktivitou. Zpracovávání vzorků s vyšší aktivitou včetně jejich počátečního třídění dle aktivity pomocí přístroje na měření dávkového příkonu nebo pomocí spektrometru. Zavedení dekontaminačních „lepivých“ podložek apod. Z cvičení vyplynulo, že příprava prostor laboratoří na měření a činnosti při HM jsou zvládnuté, a že laboratoře jsou schopné velmi rychle přejít z režimu normálního monitorování na režim HM.

- Zavedení systému záznamu informací o odebíraném vzorku pomocí aplikace pro mobilní telefon během odběru vzorku v terénu, jejich převodu do QR-kódu, vytištění štítku s tímto QR-kódem a načtení těchto informací z QR-kódu do laboratorního systému. Systém umožnil plně eliminovat poměrně vysokou chybovost v ručním přepisu souřadnic odběru vzorků.

- Pravidelné pořádání kapacitních zátěžových cvičení se ukázalo jako nezbytné a velmi prospěšné. Při každém z nich se narazilo na nějaký problém, jehož řešení v průběhu cvičení kapacitu systému snížilo. Rovněž během let se mění personál a při každém cvičení je zacvičován někdo nový.

- Pro každou laboratoř SÚRO byly pořízeny 2 čtečky QR - kódů.
- Na základě testu propustnosti dat z LabSys do MonRaS byla zvýšena možnost jednorázového přenosu dat ze 100 vzorků na 500 vzorků (provedla firma Cross Zlín).

- Pro kontrolu správnosti předání dat z LabSys do MonRaS byl přenos dat doplněn podrobným zpětným hlášením z MonRaS do LabSys.
- Systém značení vzorků pomocí QR - kódů je využíván i příležitostně během odběru vzorků v rámci normálního monitorování dle NPM.
- Byla vypracována metodika pro přípravu a realizaci kapacitních cvičení.
- Na základě zkušeností je možné doporučit vybavení všech laboratoří a odběrových týmů (tam, kde je ještě nemají) čtečkou QR - kódů a s tím související techniky a též úpravu laboratorního systému LabSys (SVÚ a VÚV). QR - kódů

VII.3. Rozbor kapacity a optimalizace činností radiochemických laboratoří

Stanovení radionuklidů pomocí radiochemických metod doplněných spektrometrickým nebo nespektrometrickým měřením záření alfa nebo beta se obvykle výrazně liší od přípravy vzorků a měření pomocí spektrometrie gama zejména svou náročností a radionuklidovou specifičností přípravy vzorků.

Síť radiochemických laboratoří tvoří laboratoře SÚRO, VÚV TGM Praha, 5 laboratoří Povodí a LRKO (ETE, EDU). Podobně jako v případě laboratoří se spektrometrií gama, budou laboratoře LRKO plnit především program monitorování výpustí a okolí JE.

Kapacitní cvičení

V roce 2018 a 2019 byla poprvé organizována kapacitní cvičení i pro radiochemické laboratoře. Analyzovány byly vzorky vody s přídavky ^{89}Sr a ^{241}Am a ^{239}Pu a vzorky moči s přídavky ^{241}Am a ^{239}Pu . Kapacita laboratoře závisí nejen na počtu měřicích a jiných technologických zařízení, počtu a schopnostech analytiků a prostorech pro analýzu, ale také hlavně na typu vzorku a požadované MDA.

VII.3.1. Odhad kapacity

Odhad denní a týdenní kapacity je podrobně rozebrán v [Příloze 5](#); protože se jedná o řadu radionuklidů a metod, nelze kapacitu odhadnout jednoznačně, ale jen v kontextu všech požadovaných analýz, neboť počet pracovníků je omezen. V tabulkové formě je odhad kapacity uveden v části „optimalizace“.

VII.3.2. Optimalizace činností

Oproti spektrometrii gama má stanovení radionuklidů pomocí radiochemických metod zakončených spektrometrií alfa a beta včetně nespektrometrických metod měření svá specifika a je často složitější díky složitě přípravě vzorku k samotnému měření. Zastupitelnost pracovníků je komplikovanější než u spektrometrie gama, protože pracovníci

radiochemických laboratoří jsou specializováni jen na některé analýzy a většinou nepokryjí celé spektrum metod; navíc část z nich doposud rychlé metody neprocvičovala.

VII.3.3. Plánovaná zátěžová kapacitní cvičení

Pro optimalizaci činností jsou nepostradatelná pravidelná kapacitní cvičení se zaměřením na ty radionuklidů a matrice, které se dosud nestanovovaly, jako je stanovení ^{90}Sr v mléku a ^3H ve vodě a v aerosolových filtrech ^{89}Sr a ^{90}Sr a transuranové radionuklidy (TRU) ^{239}Pu a ^{241}Am . Podobné cvičení by měly uspořádat i ostatní radiochemické laboratoře, aby byla ověřena a procvičena připravenost na HM, včetně ověření odhadu kapacity jednotlivých laboratoří. Prakticky se to týká jen VÚV a SÚRO České Budějovice na stanovení ^3H .

VII.3.4. Lidské zdroje

V dohledné době nelze předpokládat navýšení počtu pracovníků na odděleních radiochemie. Zvyšovat kapacitu je tedy možné jen vyšší zastupitelností stávajících pracovníků, vyšší efektivitou práce a dostatečným přístrojovým vybavením. Pro vyšší efektivitu je třeba vypracovat nový dokument pro práci v režimu HM podle (Guide, 2010).

V radiochemické laboratoři SÚRO Praha pracuje v současné době 10 pracovníků, v Hradci Králové je k dispozici pro uvedené analýzy 1 pracovník, v Ostravě a v Českých Budějovicích po 3 pracovnících. Problémem je, že jejich zastupitelnost není absolutní, každý ovládá pouze některé z metod. Zaškolením dalších pracovníků na screening, separace a vyhodnocení spekter (alfa a případně LSC, výpočty) lze zlepšit zastupitelnost a operativnost pracovníků. Ovšem kromě zaškolení by bylo potřeba k udržení znalostí i každoročně techniky procvičovat.

VII.3.5. Metody a technika

K přípravě na separaci pevných vzorků (aerosolové filtry, potraviny) se musí tyto vzorky mineralizovat buď loužením v kyselinách, nebo tavením a rozpuštěním taveniny.

Kapalné vzorky se okyselují, kromě vody pro stanovení ^3H , ta se většinou destiluje. Rychlost přípravy závisí na počtu zařízení na sušení, tavení, destilaci, vážení a na počtu pracovníků.

Vlastní separace na chromatografických kolonkách lze zrychlit zavedením vakuového boxu, případně komerčně dostupným automatickým separátorem. Vzorky musí být v kapalném stavu. Systém je vhodný zejména pro měření aktivity pomocí LSC. Automatické separační systémy jsou však cenově nákladné a v současnosti jsou spíše ve vývoji.

Oddělení spektrometrie SÚRO Praha má zavedenu metodu detekce a odhadu aktivity ^{90}Sr ve vzorcích měřením brzdného záření (Fantínová, 2015). Metodika je však poměrně složitá a vzhledem k nedostatku dostatečně aktivních vzorků i málo využívaná. Nicméně je ověřená a certifikovaná SÚJB.

Stanovení ^3H

Pro navýšení kapacity by bylo nutné pořízení nových destilačních kolon a LSC.

Rychlé stanovení celkové aktivity beta

Kapacita se zvýší zprovozněním již zakoupeného alfa/beta automatu.

Stanovení TRU (^{239}Pu a ^{241}Am)

Pro měření aktivity alfa je třeba ze vzorku po separaci připravit terčík na měření, např. elektrodepozicí (^{241}Am) nebo srážením (Pu). Kapacitu lze navýšit počtem zařízení pro elektrodepozici (minimálně ze 2 stávajících na 3). Pro stanovení izotopů Pu lze použít srážení s CeF_3 ; kapacita laboratoře závisí na počtu filtračních zařízení, která jsou potřeba na stanovení Sr i TRU

Vlastní měření aktivity alfa je možné při současném vybavení alfa spektrometrické laboratoře provádět paralelně pro 12 vzorků s obsahem TRU.

Screeningový systém

Je nutné mít ve všech laboratořích zaveden kvalitní screeningový systém, který alespoň řádově odhadne aktivitu ve vzorku, aby bylo možné vybrat vhodnou metodu pro stanovení, velikost analyzovaného vzorku a měřící zařízení. Při HM bude vhodné, i když je to na úkor měřící kapacity, některá zařízení vyčlenit pro stanovení nízkých aktivit, případně je „zakonzervovat“ a v době HM je vůbec nepoužívat.

Zavedení rychlých metod v celé síti laboratoří

Rovněž by bylo vhodné zavedení tzv. „rychlých metod“ stanovení radionuklidů tam, kde je možnost měření. V laboratořích SÚRO jsou v současnosti dva LSC spektrometry v Českých Budějovicích, ale rychlá metoda na stanovení aktivity ^{90}Sr a ^{89}Sr není v ČB zavedena a stejně tak není zavedena v laboratořích VÚV.

VII.3.6. Odhad celkové kapacity po optimalizaci

Celkovou kapacitu radiochemických laboratoří nelze udat jedním číslem, ale je nutno ji charakterizovat sestavou hodnot v kontextu všech požadovaných stanovení (sestava analyzovaných RN), matricích a požadovaných hodnotách MDA.

Odhad je proveden za předpokladu stávajících lidských zdrojů, ale při optimalizaci jejich práce a při pořízení další techniky a její začlenění do systému. Další technikou je

myšleno následující: 3 destilační kolony (rozšíření celkem na 6 kusů), LSC, automatický tavicí systém, α/β automat (již zakoupen), zařízení pro elektrodpozici. Odhad kapacity všech laboratoří po optimalizaci je uveden v tabulce 1. Všechna uvedená stanovení by byla proveditelná během 1 dne, resp. týdne kromě stanovení ^3H s destilací; pokud bude stanovení ^3H s destilací prováděno, je potřeba o tento počet snížit počet stanovení ^3H bez destilace.

Tabulka 2: Odhad kapacity laboratoří po optimalizaci

Položka	RN	SÚRO		VÚV + 5x Povodí		Poznámka	První výsledky očekávané do [h]
		Denní kapacita	Týdenní kapacita	Denní kapacita	Týdenní kapacita		
Voda	^{89}Sr	8	40			stanovení na 1 LSC v SÚRO Praha	48
	^{90}Sr	6	30			stanovení na 1 LSC v SÚRO Praha (delší měření)	48
	$^{239/240}\text{Pu}$	8	40				24
	^{241}Am	8	40				24
	^3H	240	1200	50	250	bez destilace 1 LSC v SÚRO Praha a 2 LSC v SÚRO ČB	6
	^3H	60	300	24	120	s destilací (limitováno počtem destilačních kolon umístitelných do laboratoře); pokud bude stanovení ^3H s destilací prováděno, je potřeba o tento počet snížit počet stanovení ^3H bez destilace	8
	Rychlá β	144	720	144	720	24/den/laboratoř	4
Mléko	^{90}Sr	6	30			stanovení na 1 LSC v SÚRO Praha	48
Aerosoly	^{90}Sr	-	4			stanovení na 1 LSC v SÚRO Praha	-
	$^{239/240}\text{Pu}$	-	4			rychlé metody nejsou zavedeny; jedná se o teoretický odhad	-
Moč	^{241}Am	6	30				48
	^{239}Pu	6	30				48

Poznámky

- Týdenní kapacita je dána 5x denní kapacita (předpokládá se měření 2 víkendových dnů bez obsluhy)
- měření ^{90}Sr trvá déle, proto je kapacita stanovení ^{90}Sr nižší než kapacita stanovení ^{89}Sr

Pokud jsou prováděna všechna stanovení uvedená v tabulce, tak jejich počet je limitován spíše počtem analytiků než přístrojovou technikou. Pokud by se stanovovaly jen izotopy stroncia, byla by měřící kapacita limitována kapacitou LSC v Praze (vzorky nelze převážet do Českých Budějovic z důvodu stanovení ^{90}Sr z nárůstové křivky ^{90}Y ($T_{1/2} = 2,7$ d) a nutnosti uchování vzorků v chladu a temnu.

VII.4. Mezinárodní spolupráce

Mezi laboratořemi existuje široká a průběžně se vyvíjející mezinárodní spolupráce, a to jak v rutinních činnostech, tak v účasti na mezinárodních výzkumných projektech. Jedná se o spolupráci s IAEA (International Atomic Energy Agency), ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity, IAEA), Ro - 5 (Ring of five; Sdružení evropských laboratoří, které se zabývají monitorováním radionuklidů v ovzduší), RANET (Response and Assistance Network, IAEA), GŘ HZS pro účast v mezinárodních misích a s dalšími organizacemi.

VIII. Závěr

Na základě zkušeností v ČR a ve světě byla analyzována problematika terénních měření životního prostředí v případě radiační havárie v závislosti na způsobu monitorování i na čase, který uplynul od havárie. Byly diskutovány rozdíly v činnosti mobilních skupin během monitorování při různých fázích havárie, a to hlavně z pohledu využití různých monitorovacích systémů pro letecké i pozemní měření. V [Příloze 1](#) je popsáno pět scénářů monitorování v pozdní fázi RH. Bylo zde navrženo využití nových měřicích prostředků jak pro letecké monitorování (scintilační velkoplošný krystal, HERAS, dron), tak pro pozemní měření (robot, využití bran) nebo měření osob (JODDET).

V rámci úkolu byla vyvinutá metodika pro rychlé stanovení ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí pomocí extrakční chromatografie a kapalinové scintilační spektrometrie.

V oblasti měření externích dávek obyvatelstva, zasahujících osob a osob podílejících se na obnově území po radiační havárii byly analyzovány zkušenosti ze světa, obzvláště po haváriích v jaderných elektrárnách v Černobylu a Fukushima s důrazem na pozdní fázi havárie. Je zde stručně shrnuto, jakým způsobem lze v rozsahu vyžadovaném radiační situací v pozdní fázi havárie docílit dostatečných kapacit pro monitorování. Jsou zde navrženy i možnosti pro rozšíření stávajících monitorovacích sítí, např. využitím nových solných detektorů nebo využití případných občanských sítí (podrobněji tento bod je pojednán ve [\(Fojtíková, 2020\)](#)).

Měření vnitřní kontaminace osob taktéž vychází ze zkušeností získaných z monitorování vnitřní kontaminace zasahujících osob i obyvatelstva po haváriích v jaderných elektrárnách v Černobylu a Fukushima. Jsou zde stručně popsány postupy a organizace měření. Podkapitola monitorování osob popisuje způsob měření přímou metodou, exkreční analýzou (močí a stolicí) a pomocí odhadu modelem. Na závěr je rozbor stávajících měřicích kapacit doplněn o možnost rychlého měření vnitřní kontaminace přímo v terénu.

Byly provedeny rozborů kapacity a optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama a radiochemických laboratoří začleněných do systému monitorování radiační situace. Na základě zátěžových kapacitních cvičení byly odhadnuty současné kapacity uvedených laboratoří a provedeny nebo navrženy způsoby optimalizace jejich činností.

Podrobnosti ke kapitolám jsou v příložených zprávách ([Příloha 1 - 5](#)).

Na základě těchto poznatků byly vytvořeny 3 výsledky – 1 metodika VaV a dvě VDI (vnitřní dokumenty SÚJB – instrukce):

- **Certifikovaná metodika:** Kelnarová, A.: Stanovení aktivity ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí.

- **VDI 132** zpracovatelé: Ekendahl, D., Fojtík, P., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy monitorování osobních dávek zasahujících osob, obyvatelstva a osob podílejících se na obnově území po radiační havárii
- **VDI 133:** zpracovatelé: Češpírová, I., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy měření kontaminovaného území před obnovou a po obnově

IX. Literatura

- AZ č. 263/2016 Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
- Bečková 2015 Zpráva SÚRO 25/2015: Bečková, V., Dragounová L., Fantínová K., Hýža M., Malá H., Rulík P., Škrkal J., Hanslík E. a Sedlářová, B.: Závěrečná zpráva Projektu MV ČR - BV - VF20102015014, kapitola e), část 7, 2015.
- Bartusková 2015 Bartusková, M., Hůlka, J., Rosmus, J.: Metodika pro systém odběru vzorků zemědělských/potravinářských produktů z hlediska radioaktivní kontaminace po radiační mimořádné události, včetně sběru kritických informací pro navržení opatření, Projekt MV ČR - BV - identifikační kód: VF20102015014, 2015.
- Češpírová 2008a Češpírová, I., Prouza, Z.: Activity of ground and aerial mobile group during radiation emergency; Conference proceedings; 4th International Symposium on In situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology (INSINUME); 13. – 16. 10.2008, Rabat, Maroko
- Češpírová 2008b Češpírová I., Prouza Z, Activity of Mobile and Aerial Groups during Radiation Emergency, , Sborník 4th International Symposium on In Situ Nuclear Metrology As a Tool For Radioecology (INSINUME), 13-16 October 2008, Rabat, Morocco
- Češpírová 2008c Češpírová, I, Froňka, A.: Porovnání leteckých a pozemních měření, Bezpečnost jaderné energie, 3 / 4 ročník 16 54 2008; ISSN 1210-7085
- Češpírová 2008d Češpírová, I., Hůlka, J.: Lze UAV využít pro monitorování v případě radiační nehody?; Národní konference Civilní bezpilotní systémy – sborník; 12. – 13.11.2008, Praha; ISBN 978-80-902522-2-6
- Češpírová 2017 Češpírová, I., Gryc, L., Ohera, M., Helebrant, J.: Monitoring of ^{137}Cs in the soil in the Czech Republic (the Sumava Mountains) 30 years after the Chernobyl accident. In: INSINUME 2017 - 7th International Symposium on IN Situ Nuclear Metrology as a tool for radioecology. 24–28 April 2017 in Ohrid, Macedonia.
- ČKAЕ 1988 Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. Československá komise pro atomovou energii. Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1988.

- ČSÚ 2017 Spotřeba potravin v ČR v roce 2017. Český statistický úřad. <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2017>. Poslední přístup 2. 10. 2020
- Doporučení 2015 Doporučení ke zvládnutí rozsáhlých radiačních mimořádných událostí s velkým počtem zasažených osob, optimální třídění kontaminovaných osob s ohledem na dostupnou kapacitu měření. Zpracováno v rámci projektu VF20102015014 „Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace. SÚRO 2015.
- Ekendahl: Metodika: Stanovení $H^*(10)$ a $H'(0.07)$ systémem EPD, Praha, 2013 (https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/metodiky/Stanoveni_H10_a_H007_systemem_EPD.pdf)
- Fantínová 2012 Zpráva SÚRO 20/2012: Fantínová, K., Škrkal, J., Rulík, P.: Monitorování ^{137}Cs a ^{90}Sr v potravinách ČR v letech 2004-2011., 2012
- Fantínová 2015 Zpráva SÚRO 49/2015; - Fantínová, K.: Certifikovaná metodika „Detekce a stanovení aktivity ^{90}Sr ve vzorcích životního prostředí měřením brzdného záření“, 2015.
- Fejgl 2020 Postupy, zkušenosti ev. výsledky experimentů při dekontaminaci a nakládání s kontaminovaným materiálem při obnově zasaženého území. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola C), Praha, SÚRO, 2020
- Fojtík 2017 P. Fojtík, S. Kavan, L. Novotná, T. Svobodová, E. Čermáková, J. Baloun, J. Helebrant: Large scale monitoring of radioiodine in thyroid: equipment and preparedness in the Czech Republic. Proceedings of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association. (eds. Christopher Clement, Jack Valentin, Haruyuki Ogino, Devon Foote, Julie Reyjal, Laila Omar-Nazir). The International Radiation Protection Association, 2017, pp. 1845 - 1847. ISBN 978-0-9989666-5-6. Guide 2007 Safety Guide No. WS-G-3.1 Remediation process for areas affected by past activities and accidents; IAEA, Vienna, 2007
- Fojtíková 2020 Analýza rozsahu, obsahu a forem informování dotčeného obyvatelstva a možností zapojení obyvatel (dobrovolníků) do procesu nápravy území. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola G), Praha, SÚRO, 2020

- Guide 2010 Guide for Laboratories - Identification, Preparation, and Implementation of Core Operations for Radiological or Nuclear Incident Response“, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-10-002. June 2010.
- Hesslerová 2020 Stanovení různých postupů obnovy území v závislosti na úrovni kontaminace vycházející ze zkušeností v EU a ve světě. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola E), Praha, SÚRO, 2020
- Hůlka 2007 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 výpustí radionuklidů do životního prostředí z JE a monitorování jejich okolí a na expresní metodiky“, SÚRO Praha, 2007
- Hůlka 2015 Hůlka, J., Češpírová, I., Froňka, A., Gryc, L.: Metodika pro rychlé měření kontaminovaného krajinného krytu moderními technologiemi; Certifikovaná metodika; Praha; 2015
- Hůlka 2020a 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
- Hůlka 2020b Kritéria pro stanovování referenčních úrovní pro kategorizaci kontaminovaných odpadů vzniklých v rámci obnovy území, pro potřeby jejich skladování a dočasného nebo trvalého uložení a pro rozhodování o možnostech návratu zasaženého území k normálnímu využití. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola F), Praha, SÚRO, 2020
- Hunt 1989 Hunt, G. J., Leonard, D. R. P., Fry, F. A.: High-rate Seafood Consumers near Sellafield: Comparison of Conventional Assessments of ^{137}Cs Intakes with the Results of Whole-body Monitoring. Radiat. Prot. Dosim. 27(1), 1989, 35–41.
- IAEA 2012 Kasparov, V: National experience in remediation of contaminated lands in Ukraine, Modaria meeting, Vienna IAEA, 2012
- ICRP 101 ICRP, 2006. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 101, Ann. ICRP 36 (3). Český překlad: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP101_CZ.pdf

- ICRP 30 ICRP, 1982. Limits of Intakes of Radionuclides by Workers. Part 1. ICRP Publication 30, Ann. ICRP 8 (4)
- ICRP 56 ICRP, 1989. Age-dependend Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. Part 1. ICRP Publication 56, Ann. ICRP 20 (2)
- ICRP 7 ICRP, 1965. Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials. ICRP Publication 7, Pergamon Press, Oxford.
- IDEAS 2013 Castellani, C.M. *et al.*: IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data. EURADOS Report 2013-01 Braunschweig, March 2013. ISSN 2226-8057, ISBN 978-3-943701-03-6
- Kelnarová 2019 Kelnarová, A.: Certifikovaná metodika: Stanovení aktivity ^{241}Pu ve vzorcích životního prostředí. (<https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/certifikovane-metodiky/>)
- Koc 2020 Analýza současných zkušeností s obnovou kontaminovaných území z hlediska radiační ochrany po haváriích jaderných elektráren ve světě. Souhrnná výzkumná zpráva (Kapitola A), Praha, SÚRO, 2020
- Malátová 2019 Malátová, I., Fojtík, P.: Activity of ^{137}Cs in Human Body of Inhabitants of the Czech Republic. Radiat Prot Dosim, 186(2-3), 2019, 196-201, doi:10.1093/rpd/ncz257
- NPM Národní program monitorování; SÚJB; Monitorování radiační situace na území České republiky; 2018
- NRHP Národní radiační havarijný plán
- Palmer 1966 Palmer, H.E.: Simplified Whole-Body Counting. Health Phys 1966. Vol. 12, 95-96.
- RadioRoSo RadioRoSo (Radioactive Waste Robotic Sorter); projekt EU ECHORAD
- Rulík 2017 Zpráva SÚRO 22/2017; Rulík, P., Sloboda, M., Helebrant, J.: Zefektivnění systému odběru, značení a zpracování vzorků, Praha, 2017
- Smith 2002 Smith, K.R. et al.: Uncertainties on Predicted Concentrations of Radionuclides in Terrestrial Foods and Ingestion Doses. Radiat Prot Dosim 98(3), 2002, 313–328

- Sloboda, 2018 Zpráva SÚRO 14/2018; Sloboda, M., Malá, H., Rulík, P.: Zátěžové kapacitní cvičení laboratoří RMS vybavených spektrometrií gama, 2018.
- Thornberg 2000 Thornberg, C. et al: Estimation of Whole-Body Content of ^{137}Cs from a Single Urine Sample: Experience from Areas in Russia Contaminated after the Chernobyl Accident. Radiat. Prot. Dosim. 88(3), 2000, 239–246
- Travnikova 2001 Travnikova, I.G.: Contribution of Different Foodstuffs to the Internal Exposure of Rural Inhabitants in Russia after the Chernobyl Accident. Radiat. Prot. Dosim. 93(4), 2001, 331–339
- TRS 2012 TRS No. 475 Guidelines for remediation strategies to reduce the radiological consequences of environmental contamination, IAEA, Vienna, 2012
- UNSCEAR 1988 UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly with annexes (New York: United Nations) (1988).
- VDI 130 VDI 130 Činnost mobilních skupin při monitorování radiační situace na území ČR
- VDI 132 VDI 132 zpracovatelé: Ekendahl, D., Fojtík, P., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy monitorování osobních dávek zasahujících osob, obyvatelstva a osob podílejících se na obnově území po radiační havárii
- VDI 133 VDI 133: zpracovatelé: Češpírová, I., Šindelková, E. (garant SÚJB): Postupy měření kontaminovaného území před obnovou a po obnově
- VDS 049 VDS 049 Monitorování radiační situace
- Vyhláška č. 359/2016 Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládnutí radiační mimořádné události
- Vyhláška č. 360/2016 Vyhláška č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace
- Vyhláška č. 422/2016 Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

X. Seznam příloh

Příloha 1: 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.

Příloha 2: Zpráva 13/2017: Ekendahl, D., Malátová, I., Čemusová, Z., Fojtík, P.: Zahraniční zkušenosti v oblasti sledování dávek zasahujících osob i obyvatel na území zasaženém havárií jaderné elektrárny.

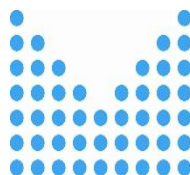
Příloha 3: Zpráva 17/2019: Ekendahl, D., Čemusová, Z.: Možnosti aplikací moderních dozimetrických metod v pozdní fázi havárie.

Příloha 4: Zpráva 37/2020 Fojtík, P., Malátová, I., Rovenská, V.: Měření zasahujících osob a obyvatel zasaženého území pro účely kontroly vnitřní kontaminace

Příloha 5: Zpráva 28/2019: Rulík, P., Sloboda, M., Kelnarová, A.: Optimalizace měřících kapacit



Příjemce:
Státní ústav radiační ochrany v.v.i.
ENKI, o.p.s.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Poskytovatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

Projekt s názvem:

Strategie řízení nápravy území po radiační havárii
s identifikačním kódem VH 20172020015

Název výsledku:

Analýza problematiky terénních měření.
Měření kontaminace odpadů, techniky a osob.

Typ výsledku dle NV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
(V_{souhrn}) Souhrnná zpráva	Vnitřní zpráva SÚRO 25/2019	2019

Anotace výsledku:

Souhrnná zpráva za kapitulu 2a.

Manažer projektu:

Ing. Irena Češpírová

Řešitelský tým:

Irena Češpírová, Lubomír Gryc, Marcel Ohera, Jan Helebrant, Anna Selivanová, Václav Šik,
Miloš Drahokoupil

Terénní měření kontaminace životního prostředí před a po provedení nápravy

***Zadání:** Bude provedena analýza problematiky terénních měření kontaminace životního prostředí v pozdní fázi radiační nehody/havárie pro různé monitorovací systémy (letecké, pozemní). Součástí analýzy budou diskutovány možnosti využití dálkově ovládaných prostředků (dronů a pozemních robotů) při monitorování v pozdní fázi havárie a způsoby měření kontaminace odpadů v terénu.*

Na základě testů a zkušeností budou vyvinuty postupy měření kontaminovaného území před a po obnově a postup leteckého monitorování doplněný o komplexní systém vyhodnocování naměřených dat včetně jejich přenosu do programového prostředku RMS MonRaS (centrální databáze výsledků monitorování, databáze je provozovaná SÚJB). Vlastní softwarové práce budou podle zadání SÚRO provedeny jako subdodávka firmou NUVIA a.s., která jako jediná disponuje zkušeností s tvorbou a údržbou informačního systému MonRaS.

Při řešení budou využity poznatky a výsledky získané v rámci minulých projektů vědy a výzkumu zaměřených na vývoj nových detekčních systémů s využitím nových materiálů (např. levné plastové krystaly vyráběné v ČR) a rovněž budou zohledněny zkušenosti nabyté při mezinárodních cvičeních.

Obsah

Zkratky:	4
1. Úvod.....	5
2. Činnost mobilních skupin (pozemní i letecká) v různých fázích havárie	5
2.1. Časná fáze	5
2.2. Přechodná fáze	6
2.3. Kontrola účinnosti nápravných opatření	10
2.4. Pozdní fáze (dlouhodobá opatření)	11
3. Přístrojové vybavení mobilních skupin.....	11
3.1. Letecké monitorování.....	12
3.1.1. Pozemní monitorování	16
3.1.2. Odběr vzorků životního prostředí	17
3.1.3. Povrchová kontaminace	18
3.1.4. Měření vnitřní kontaminace (obsah ¹³¹ I ve štítné žláze)	18
3.2. Závěr	19
3.3. Literatura	20
4. Přílohy.....	23
4.1. Příloha 1: Příklad postupu při monitorování v pozdní fázi	23
4.1.1. Úvod.....	23
4.1.2. Přístroje	23
4.1.3. Postup.....	23
4.1.1. Závěr	28
4.2. Příloha 2: Vyhledávání hot-spotů	30
4.2.1. Úvod.....	30
4.2.2. Postup měření.....	31
4.2.3. Závěr	33
4.2.4. Literatura a odkazy:.....	34
4.3. Příloha 3: Příklad kontroly účinnosti remediací – MAPE.....	35
4.3.1. Úvod.....	35
4.3.2. Popis lokality.....	35
4.3.3. Letecké monitorování.....	36
4.3.4. Závěr	40
4.3.5. Literatura a odkazy.....	40

4.4.	Příloha 4: Komplexní systém vyhodnocování naměřených dat (AGAMA)	42
4.4.1.	Úvod.....	42
4.4.2.	Vytvoření projektu pro letecké monitorování	43
4.4.3.	Vyhodnocení dat z leteckého monitorování.....	43
4.4.4.	Zobrazení vstupních/výstupních dat	47
4.4.5.	Výstupy dat do různých typů souborů	48
4.4.6.	Prohlížení dat výše uvedených souborů	48
4.4.7.	Závěr	48
4.4.8.	Literatura a odkazy:.....	49
4.5.	Příloha 5: Měření s robotem.....	50
4.5.1.	Úvod.....	50
4.5.2.	Měření ve vojenském výcvikovém prostoru Boletice.....	50
4.5.3.	Měření „hot-spotů“	51
4.5.4.	Vyhledávání „hot-spotů“ v místnosti	53
4.5.5.	Závěr	54
4.5.6.	Literatura a odkazy.....	55
4.6.	Příloha 6: Měření s dronem.....	56
4.6.1.	Úvod.....	56
4.6.2.	Měření nad zdroji záření	57
4.6.3.	Měření intravilánu	60
4.6.4.	Závěr	60
4.6.5.	Literatura a odkazy.....	61

Zkratky:

AČR	Armáda ČR
AGAMA	Systém vyhodnocování dat (Airborne GAMmaspectrometry Analysis)
ANSI N.42	Standard pro zápis radiačních dat od American National Standards Institute
CEITEC	Středoevropský technologický institut
ERS	Evropský formát radiometrických a spektrometrických dat (European Radiometric and Spectrometry format)
EU	Evropská unie
GPS	Globální polohový systém (Global Positioning System)
KML/KMZ	Formáty pro distribuci geografických dat (Keyhole Markup Language)
LSO	Metoda nejmenších čtverců
MDA	Minimálně detekovatelná aktivita
MF GRČ	Ministerstvo financí, Generální ředitelství cel
MO	Ministerstvo obrany
MonRaS	Databázový systém SÚJB (Mon itorování R adiační S ituace)
MOSTAR	MO bilní a ST acionární R adiační monitorovací systémy nové generace pro radiační monitorovací síť
MS	Mobilní skupina
MV HZS	Ministerstvo vnitra, Generální ředitelství hasičského záchranného systému
NN-LSQ	Metoda nejmenších čtverců s nezápornými regresními koeficienty
PČR	Policie ČR
PEI	Binární proprietární datový formát firmy Pico Envirotec / NUVIA
ROI	Oblast zájmu (Region of Interest)
QR kód	Čtvercový 2D kód (Quick Response code)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany v.v.i.
WND	Rozšířena metoda oken
ZHP	Zóna havarijního plánování

1. Úvod

V případě havárie na jaderné elektrárně v ČR nebo v okolních státech základem jakéhokoli opatření na ochranu obyvatelstva je znalost kontaminace životního prostředí. V prvním okamžiku, okamžitě po uvolnění radioaktivních látek do životního prostředí, nejsou tyto údaje dostupné. Proto se nejprve postupuje na základě modelových predikcí, ty ale musí být urychleně doplněny o naměřená data z terénu a z laboratoří. V časně fázi havárie je potřeba zajistit dostatek dat k rozhodnutí o zavedení resp. odvolání neodkladných ochranných opatření (ukrytí, evakuace), v přechodné a pozdní fázi pak o nastavení pravidel chování v kontaminovaném území (spotřeba potravin, pitné vody, zákazy/povolení vstupů do vymezených oblastí atd.) a dalších nápravných opatření vedoucích k přechodu na normální způsob využívání kontaminovaného území. Kdy, kde, jak, jak rychle a co měřit by záviselo právě na fázi havárie a samozřejmě kontaminaci území.

2. Činnost mobilních skupin (pozemní i letecká) v různých fázích havárie

Významnou roli při monitorování kontaminace životního prostředí ve všech fázích havárie by sehrály mobilní skupiny (MS), které by (téměř) od začátku prováděly v terénu požadované činnosti – odběry vzorků a měření dle požadavků krizového managementu. Členové MS jsou vycvičeni k provádění těchto činností a mají k dispozici postupy pro každý z požadovaných úkolů.

2.1. Časná fáze

Pro zavedení resp. odvolání neodkladných ochranných opatření jsou dána kritéria ve vyhlášce [1]. Hodnoty jsou uváděny pro efektivní resp. ekvivalentní dávku, což jsou ovšem veličiny, které nelze přímo změřit. Ve vyhlášce [2] jsou uvedeny tzv. operační zásahové úrovně, které jsou již přímo měřitelné, viz tab. 1.

Tab. 1 Operační zásahové úrovně

Neodkladné opatření	Příkon fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu; měřeno v 1 m nad kontaminovaným terénem [mSv/h]
evakuace	1
ukrytí	0,1
jódová profylaxe (při úniku obsahujícím jód)	0,1

Na základě toho je zřejmé, že v této fázi je nutné co nejdříve změřit **příkon fotonového resp. prostorového dávkového ekvivalentu** v oblastech, kde by případná neodkladná opatření připadala v úvahu, tj. hlavně v zóně havarijního plánování (ZHP) a případně v místech za hranicemi ZHP ve směru převládajícího směru větru, který mohl kontaminované masy z havarované jaderné elektrárny na tato území přenést. Pro odhad dalšího vývoje kontaminace, je nutné znát složení kontaminantu, to znamená provést na několika místech **kvalitativní analýzu kontaminantu**, nejlépe polovodičovou spektrometrií a pro urychlení na místě, i když je zde i možnost odebrat vzorky a převést je do laboratoře. Tato metoda je samozřejmě přesnější, ale zdlouhavější.

Z výčtu potřebných dat vyplývají i odpovědi na otázky, které přístroje a metody měření použít. Jednalo by se převážně o detektory dávkových příkonů s minimálním rozsahem 1 mikroSv/h – 100 mSv/h a systémy s obdobným rozsahem, které dokáží měřit nejen dávkové příkony, ale jsou schopné tyto ukládat spolu s časem měření a zeměpisnými souřadnicemi do souborů, které je následně možné exportovat do databázových systémů (např. MonRaS) – systémy pro tzv. „pojezdová měření“. Mobilní skupiny jsou s pomocí těchto systémů schopny relativně rychle proměřit potřebné území. V případě potřeby je možné využít i leteckou skupinu vybavenou jednoduchými měřicími systémy (např. plastovým detektorem), které jsou schopny rychle, byť hrubě, odhadnout hranice oblastí, které zasluhují v dané chvíli podrobnější pozemní proměření k upřesnění dávkových příkonů pro rozhodování o doporučení týkajících se neodkladných ochranných opatření. Pro odhad složení kontaminantu je potřeba spektrometrický systém s polovodičovým detektorem, nejlépe s malým krystalem (cca 15 – 25 % účinnost; důvod – při vysokých aktivitách by se účinnější detektor zahřel). Scintilační detektor je pro tato měření nevhodný, protože krátce po havárii se předpokládá větší množství dlouhodobých a hlavně krátkodobých radionuklidů, které by ve scintilačním spektru nebyly čitelné. Z téhož důvodu není ani rozumné v časně fázi havárie využívat velkoplošné detektory pro leteckou spektrometrii, kteréžto jsou právě scintilační a díky svým rozměrům by pravděpodobně byly zahlceny i ve vyšších výškách nad terénem. V případě potřeby mohou vybrané mobilní skupiny proměřovat i obsah ^{131}I ve štítných žlázách osob (obyvatelstvo, zasahující osoby).

2.2. Přechodná fáze

Jednou z podmínek pro přechod od časně fáze k pozdní fázi radiační nehody je podrobná znalost radiační situace na celém území státu, na jejímž základě pak bude možné

odvolat neodkladná ochranná opatření (pokud se tak už nestalo) a přejít na dlouhodobá a opatření, která zabezpečí, že obyvatelstvo žijící na kontaminovaném území neobdrží (v součtu roční efektivní dávky a úvazku efektivní dávky) více než je referenční hodnota 20 mSv za 12 následujících měsíců, resp. aby obdržené dávky byly pokud možno pod hodnotou obecného limitu, tj. 1 mSv/rok.

K tomu je zapotřebí proměřit celé území republiky, nalézt kontaminovaná území, stanovit jejich hranice a tam, kde by to bylo nutné, provést činnosti vedoucí k nápravě – dekontaminaci. V místech, kde by obyvatelstvo mohlo obdržet dávky vyšší, než je referenční hodnota popř. optimalizovaná referenční hodnota, je potřeba provést dekontaminaci, zavést kontrolu potravin a vody popř. zákaz konzumace místních potravin.

Konkrétní způsob monitorování by z velké části závisel na zdrojovém členu, tj. na množství a složení úniku. Nezanedbatelným činitelem by též byly meteorologické podmínky, které určují, kam až se kontaminované masy dostaly, velký význam zde hraje to, zda přšelo a jaký byl vítr – velikost a směr.

Na rozdíl od časně fáze havárie je zřejmé, že spektrum kontaminantů již bude jednodušší, bude se jednat převážně o gama a beta zářiče: ^{137}Cs , ^{90}Sr (zpočátku může jít i o ^{134}Cs a ^{131}I) a eventuálně o alfa zářiče $^{238,239,240}\text{Pu}$ a ^{241}Am popř. o kousky paliva. Navíc v této situaci nebude již takový časový tlak, naopak půjde o přesnější a hlavně rozsáhlejší měření než v časně fázi. V závislosti právě na rozsahu a požadavku na přesnost měření je třeba volit počet monitorovacích týmů, přístrojové vybavení a výběr vhodných metodik.

Tab. 2 Činnost mobilních skupin v časně, přechodné a pozdní fázi monitorování

Činnost terénních skupin	Fáze		
	časná	přechodná	pozdní
Měření příkonů dávek (stacionární i pozemní)	+++	+++	++
Kvalitativní stanovení kontaminantu	+++	-	-
Měření kontaminace půdy	-	+++	++
Odběr vzorků životního prostředí	+	++	+++
Měření povrchové kontaminace (osoby, auta...)	+++	++	++
Kvantitativní stanovení kontaminantu	-	+++	+++
Kontrola dekontaminace	-	-	+++

Na základě výsledků měření se bude teprve rozhodovat o zavedení/ukončení dalších nápravných opatření – omezení pobytu, spotřeby potravin, dekontaminace a dalších. Takovéto proměření je záležitost na dlouhou dobu, ovšem zavedení potřebných opatření je nutné učinit co nejdříve. Nejedná se tedy o hodiny, ale zbytečná zdržení nejsou též vhodná. Pro účely

monitorování je vhodné – např. na základě výsledků z predikčních modelů - rozdělit území do tří kategorií [18].

Ve všech třech kategoriích je potřeba provést stejné činnosti, rozdíl je ovšem v požadavku na rychlost a hustotu měření:

- měření příkonů dávek příkonů s minimálním rozsahem 100 nSv/h – 100 mSv/h, pokud možno současně se stanovením souřadnic pro zakreslení do výsledných map kontaminace;
- spektrometrická měření obsahu umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy na vybraných kontrolních lokalitách;
- měření povrchové kontaminace (přímo nebo prostřednictvím stěrů pro následné laboratorní stanovení obsahu umělých radionuklidů);
- odběr vzorků životního prostředí (pro následné laboratorní stanovení obsahu umělých radionuklidů);
- kontaminace osob (povrchová i vnitřní - obsah jódu ve štítné žláze).

Území kategorie A

Jedná se o území, kde se zvýšená kontaminace nepředpokládá nebo je na minimální úrovni ($D < 0,3$ mikroSv/h). Na tomto území nebude probíhat intenzivní monitorování mobilními skupinami, spíš proběhnou kontrolní měření k ověření hlavně dávkových příkonů.

Přístrojové vybavení: k měření se zde využijí převážně přístroje pro pojezdová měření - detektory dávkového příkonu se současným zaznamenáváním souřadnic - **pojezdové systémy** (např. MobDose, Safecast). Lze využít leteckou spektrometrii, ale až poté, co bude uvolněna z měření území typu B a C. Vzhledem k rozsahu území je zde vhodné uvažovat o využití občanských sítí jakožto doplňkových měření ať už z důvodů doplnění dat tak i pro uklidnění veřejnosti.

Území kategorie B

Do této kategorie spadá území, kde se mohou vyskytovat hodnoty dávkového příkonu vyšší než $D > 0,3$ mikroSv/h, ale obyvatelstvo zde zůstalo - patřilo by sem celé území ZHP s výjimkou evakuovaných oblastí, ale může to být území i mimo ZHP, můžou se zde nacházet větší plochy s vyšší kontaminací, ale i malé „hot spoty“ o rozloze jednotky až desítky m². V této fázi havárie se zde může vyskytovat ^{134,137}Cs, (¹³¹I), ⁹⁰Sr, ale výjimečně i částčky paliva obsahující transuranové radionuklidy. Takováto místa je třeba vyhledat co

nejdříve a přikročit k dekontaminaci, bude-li to možné, a/nebo k omezení pohybu obyvatelstva.

Území je nutno relativně rychle proměřit pomocí leteckých i pozemních měření. Rychlost, ale i podrobnost měření by závisely na rozloze takového území. *(Poznámka: Optimalizací monitorovacích letových linek a dle velikosti evakuovaného území (kategorie C) by bylo možné tyto oblasti spojit.)*

Přístrojové vybavení: na základě zkušeností je nejvhodnější nejprve využít **leteckou spektrometrii**, která je schopná poměrně rychle změřit velké území. Z výsledků lze vytipovat území, kde jsou zvýšené hodnoty povrchové kontaminace a na základě toho pak na dané lokality vyslat pozemní mobilní skupiny k podrobnému proměření s tím, že nejprve bude proměřeno území, kde obyvatelstvo nebylo evakuováno. Mobilní skupiny následně proměří dávkový příkon na daném území, přičemž na prvním místě budou obydlená území (obce). K tomu potřebují mít **detektory dávkových příkonů** s dostatečným rozsahem minimálně 100 nSv/h - 100 mSv/h s relativně rychlou odezvou na změny hodnot dávkového příkonu. Při rozsáhlejších území je též vhodné využít **přístroje k pojezdovým měření**. Následně mobilní skupiny na vytyčeném území provedou spektrometrická měření obsahu umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy (do hloubky cca 25 cm). V těchto oblastech je nutné počítat s možností velké nehomogenity rozložení aktivit. Ke **spektrometrickým měřením** lze využít jednoduché scintilační detektory, ovšem za předpokladu složitějších spekter (Sr, ¹³⁴Cs, transurany) je nutné použít polovodičovou spektrometrii. Pro kontrolu je třeba odebrat vzorky a odeslat je do spektrometrické laboratoře. Úkolem mobilních skupin bude též odběr vzorků životního prostředí k pozdějšímu stanovení jejich měrných aktivit ve spektrometrické laboratoři – půda, voda, vzdušný aerosol, zemědělské plodiny, houby atd. V případě nepřístupného území nebo území s vysokými aktivitami, je možné využít bezpilotních prostředků osazených detektory – drony a roboty.

Postup monitorování v přechodné a pozdní fázi je uveden v Příloze 1 a příklad vyhledávání hot spotu je uveden v Příloze 2.

Území kategorie C

Území, kde bylo obyvatelstvo evakuované – toto území je zhruba proměřené, nehrozí, že by zde docházelo k ohrožení zdraví obyvatelstva a na základě znalostí – byť hrubých – je možné určit i nejnutnější opatření na ochranu životního prostředí, pokud by bylo zapotřebí. Pro další akce je třeba oblast podrobně proměřit, ale měření zde není prioritou. Postup a rychlost měření bude záviset na velikosti této oblasti, pokud by byla malá, je vhodné tuto

oblast pro monitorování spojit s územím kategorie B i proto, že postup měření zde bude stejný.

2.3. Kontrola účinnosti nápravných opatření

Na základě výsledků monitorování a optimalizačních studií bude v případě nutnosti přistoupeno k dekontaminaci území (budovy, zeleň – městská, lesy, pole, silnice), ale i auta, stroje atd. V takovém případě je nutné provést kontrolu účinnosti dekontaminace, zda (povrchová) aktivita klesla pod požadované hodnoty. Pro rychlé odhady lze využít měření dávkových příkonů ve vzdálenosti 1 metr od povrchu, upřesnění je pak nutné provést pomocí spektrometrických měření v případě kontaminace krajiny (letecká spektrometrie pro rozsáhlá území, pozemní spektrometrie pro vytipovaná území) resp. přímé měření povrchové kontaminace pomocí detektorů povrchové kontaminace. V případě vysokých aktivit či nepřístupnosti terénu lze využít bezpilotních prostředků. Pro měření povrchových aktivit před a po dekontaminaci kontaminovaných předmětů a odpadů se jeví jako vysoce účinné využití stacionárních detektorů – „bran“, ale též robotů osazených vhodnými přístroji s dálkovou kontrolou měřených veličin. Jedná se nejen o roboty, které jsou schopny projíždět po předem určené trase, měřit (dávkové příkony) a případně manipulovat s menšími kontaminovanými předměty, ale do budoucna i roboty, které by mohly např. při třídění kontaminovaného odpadu provádět měření a selekci kontaminovaných předmětů dle předem zadaných kritérií [38].



Obr. 1 Ukázka robotů vhodných měření a manipulaci s menšími kontaminovanými předměty (vlevo) nebo na třídění kontaminovaných předmětů (vpravo) [38]

Příklad kontroly nápravných opatření je uveden v Příloze 3.

2.4. Pozdní fáze (dlouhodobá opatření)

Po radiační havárii musí následovat dlouhodobé monitorování celého území republiky s postupným přechodem na normální monitorování. Větší důraz bude věnován území s omezeným pobytem (území kategorie B) obyvatelstva a samozřejmě vysídleným územím (území kategorie C). Úkolem mobilních skupin bude sledovat pokles kontaminace v životním prostředí prostřednictvím měření dávkových příkonů, spektrometrických měření a odběru vzorků životního prostředí s jejich následným měřením ve spektrometrických laboratořích. Přístrojové vybavení bude podobné, jako v předchozích kapitolách – detektory dávkových příkonů, letecká a pozemní spektrometrie.

3. Přístrojové vybavení mobilních skupin

V ČR pracuje 9 MS SÚJB (včetně MS SÚRO), 5 MS HZS, 1 MS Policie, 8 MS GŘC a 2 MS MO. Všechny MS (mimo MS AČR) jsou jednotně vybaveny:

- detektory dávkových příkonů s minimálním rozsahem 100 nSv/h – 100 mSv/h,
- detektorem povrchové kontaminace,
- detektorem pro pojezdová měření,
- scintilačním detektorem pro jednoduchá spektrometrická měření a
- soupravami pro odběr vzorků životního prostředí.

MS HZS mají k dispozici monitorovací vozy vybavené i polovodičovou spektrometrií, MS SÚRO využívá plně vybaveného monitorovacího vozu (obr. 2 - scintilační a polovodičová spektrometrie pro měření in situ, malé převozní stínění pro měření vzorků, detektor pro měření neutronů, přístroj pro odběr aerosolů na filtr), leteckou spektrometrií scintilační i polovodičovou a přístroj pro měření obsahu ^{131}I ve štítných žlázách - JODDET.



Obr. 2 Monitorovací vůz SÚRO

V případě radiační nehody/havárie by se všechny MS podílely na monitorování jak v časné fázi havárie, tak i v přechodné a pozdní fázi. Jejich vybavení by odpovídalo úkolům, které je v obou fázích potřeba plnit, to jest měření dávkových příkonů na místě i pojezdových, odběru vzorků životního prostředí a jednoduchých spektrometrických (scintilačních) měření.

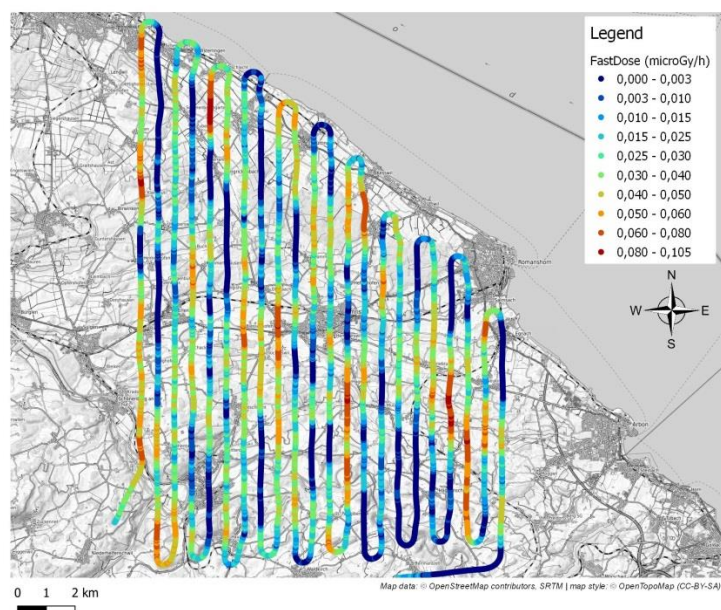
3.1. Letecké monitorování

Pro monitorování velkých a/nebo nepřístupných území se jako nejvhodnější jeví použití leteckého prostředku – letadlo, vrtulník popř. dron vybaveného vhodným měřicím systémem. V současnosti se využívají převážně vrtulníky AČR resp. PČR, na jejichž palubu jsou umístěné přístroje pro monitorování. Mohou to být přístroje se spektrometrickými vlastnostmi (IRIS resp. AIRIS, HERAS) nebo běžné přístroje pro měření dávkových příkonů na palubě vrtulníku s možností dodatečného přepočtu na výšku 1 m nad zemí.

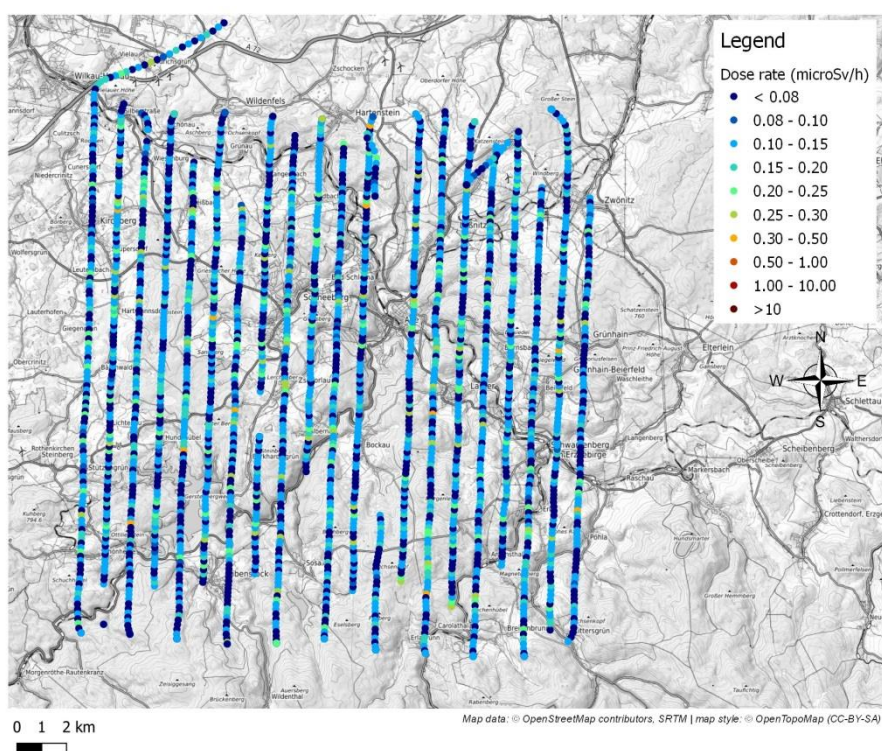
Dávkové příkony

Tyto přístroje se využijí hlavně v první fázi radiační nehody, kdy je potřeba rychle rozhodnout o neodkladných opatřeních, ale za určitých okolností je lze využít i v pozdní fázi havárie. Většinou jsou jednoduché na ovládání, ve srovnání se spektrometrickými systémy jsou levnější, takže jejich případná kontaminace by nebyl takový problém, a navíc jakékoli přístroje s vyšší účinností by mohly být zahlceny. V první fázi většinou stačí změřit dávkový příkon na palubě vrtulníku (svázaný s časem a souřadnicemi každého měření) a v případě potřeby je možné po doplnění údajů z GPS (nadmořská výška každého měření) odhadnout výšku nad terénem a následně přepočítat hodnoty dávkových příkonů na výšku 1 m nad terénem (popis přepočtu – viz Příloha 4). Do této kategorie přístrojů náleží především systémy **MobDose** (PicoEnvirotec) a **Safecast** (Obr. 3, 4).

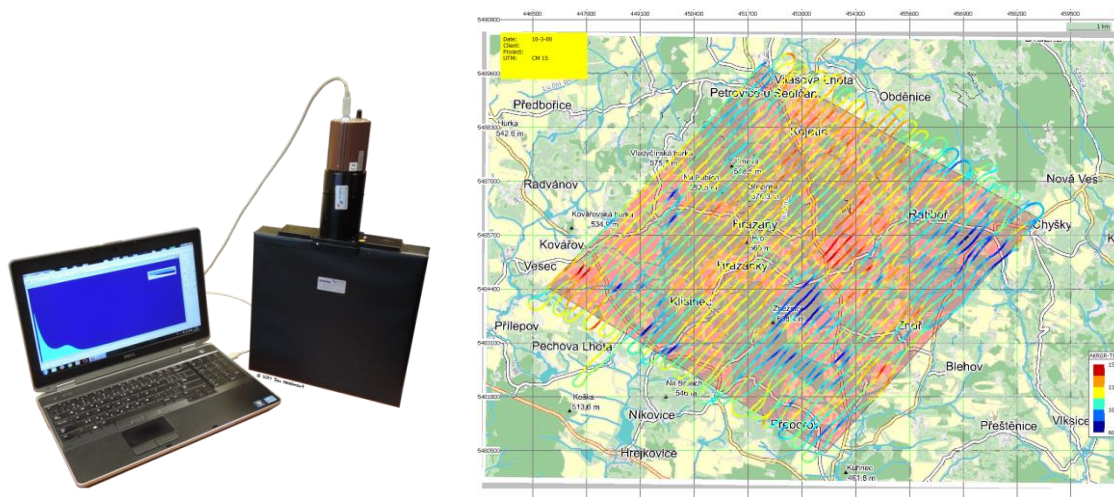
S úspěchem lze využít i velkoplošné scintilační krystaly ve spojení s analyzátozem, které sice nemají spektrometrické vlastnosti, ale oproti výše jmenovaným mají vyšší účinnost, takže jsou využitelné v oblastech s nižší kontaminací (obr. 5). Použitelnost různých přístrojů byla popsána např. v [25].



Obr. 3 Výsledky měření ve vrtulníku s MobDose (Mezinárodní porovnání leteckých skupin ARMI17 ve Švýcarsku)



Obr. 4 Výsledky měření ve vrtulníku s Safecast (Mezinárodní porovnání leteckých skupin AGC15 na hranicích ČR a Německa)



Obr. 5 Velkoplošný scintilační (plastový) detektor a výsledky měření ve vrtulníku s velkoplošným scintilačním detektorem (dávkový příkon přepočtený na výšku 1 m nad zemí; detektor o rozměrech: 30 cm x 30 cm x 5cm)

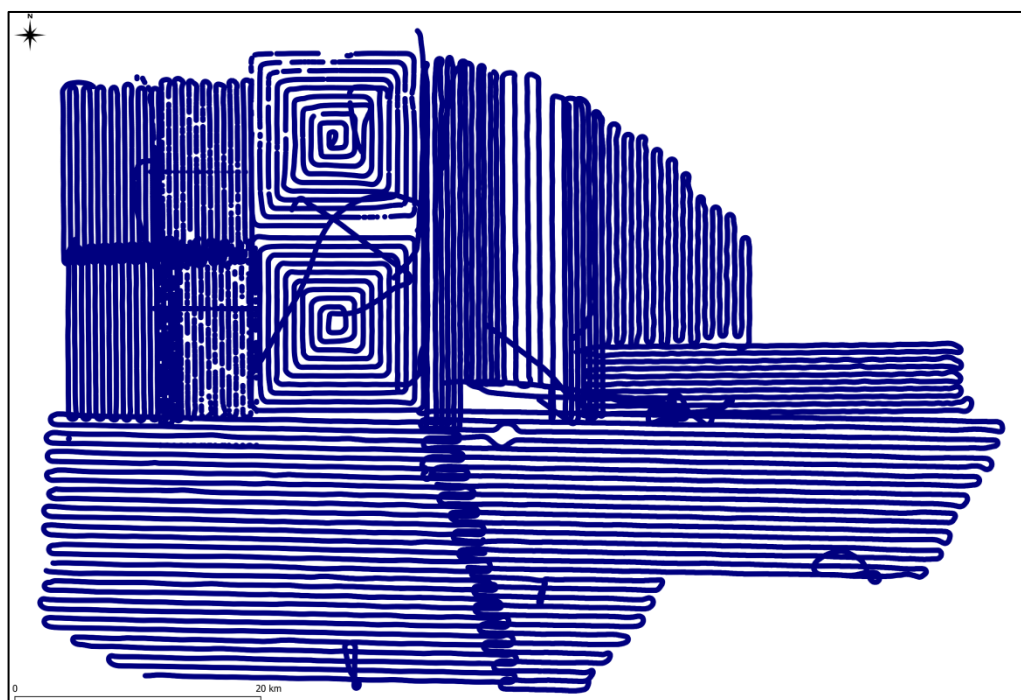
Pro spektrometrická letecká měření mobilní skupiny využívají scintilační systém **IRIS** (Integrated Radiation Information System, firmy PicoEnvirotec, Kanada) resp. jeho novější verzi AIRIS. Jedná se o systémy, skládající se z:

- 2 boxů se 4 scintilačními detektory – NaI(Tl) krystaly (o objemu à 4 l),
- spektrometru,
- napájecího zdroje (baterie),
- jednotky pro sběr dat,
- antény výškoměru pro stanovení letové výšky nad terénem,
- antény systému pro určení polohy (GPS; systémy pro vyhodnocení dat z GPS a výškoměru jsou zabudovány spolu se spektrometrem v jednom z boxů),
- navigačního zařízení zajišťujícího přesné navádění po letových linkách (tzv. „pilot“),
- klávesnice,
- propojovacích kabelů a
- vyhodnocovacího software pro rychlá/precizní vyhodnocení spekter a konverzi dat pro další zpracování a pro mapovou vizualizaci výsledků.

Systémy je možné umístit do libovolného vrtulníku (podmínkou je, že palivová nádrž vrtulníku není pod celým spodkem), není potřeba žádné zvláštní uchycení ani napájení, je zcela autonomní. Vrtulník je pomocí předpřipraveného projektu naváděn po letových linkách, jejichž vzdálenost od sebe je volitelná. Volí se v závislosti na výšce nad terénem a požadavcích na přesnost. Typické vzdálenosti v případě přechodné a pozdní fáze by byly 200 – 300 m. Letové linky jsou pro upřesnění doplněny tzv. svazovacími linkami, jejichž rozestup

bývá 10 x větší, než je rozestup letových linek (2 – 3 km). Jinou možností monitorování je létání „po spirále“ viz obr. 6.

Výsledkem z měření jsou spektra (většinou o časové délce 1s), ze kterých se při znalosti výšky nad povrchem terénu pomocí SW AGAMA (viz Příloha 4) vypočítají dávkové příkony 1m nad povrchem terénu, hmotnostní aktivity přírodních radionuklidů (^{40}K , U a Th řada) a plošné aktivity vybraných umělých radionuklidů (hlavně ^{137}Cs , ^{131}I). Výsledné hodnoty se spolu s příslušnými souřadnicemi exportují přímo do datového systému MonRaSu na SÚJB nebo do mezinárodního formátu ERS.



Obr. 6 Ukázka různých způsobů plánování monitorování (rovnoběžné linky, spirála; Mezinárodní porovnání leteckých skupin AGC15 ve Švýcarsku)

Výhodou leteckých měření je jejich rychlost, možnost proměření nepřístupných resp. těžko přístupných území (např. hory) a i vzdálenost od kontaminovaného území (bezpečnost posádky vrtulníku vč. členů letecké skupiny). Nevýhodou je naopak vyšší minimálně detekovatelná aktivita a nižší rozlišovací schopnost co se týče hranic kontaminovaných území (při typické rychlosti 100 km/h a výšce 150 m nad terénem uletí vrtulník za 1 s cca 28 m, tedy naměřené spektrum neodpovídá bodu, jako při odběru vzorku půdy, ale průměrnému dávkovému příkonu pásu o šíři 300 m a délce 28 m). Proto je nutné letecká měření brát jako užitečný nástroj pro rychlé vytipování podezřelých míst, kam budou následně vyslány

pozemní skupiny k dohledání a doměření potřebných hodnot – dávkových příkonů a aktivit umělých radionuklidů.

K leteckým měřením lze využít i nově vyvinutý systém s polovodičovým detektorem – HERAS (obr. 7). HERAS je systém skládající se z polovodičového detektoru, analyzátoru, notebooku a úložného boxu. Tento systém má oproti IRIS výborné spektrometrické vlastnosti, ale bohužel mnohanásobně nižší účinnost, měření musí být proto delší, minimálně 3 - 5 s, takže i rozlišovací schopnost je mnohem horší. Na druhou stranu je možné použít oba systémy (IRIS a HERAS) najednou, kdy IRIS bude měřit přesněji, citlivěji, kdežto HERAS bude schopný rozlišit jednotlivé radionuklidy ve spektru.



Obr. 7 Polovodičový systém pro letecká měření - HERAS

Za zmínku jistě stojí i možnost monitorování pomocí bezpilotních leteckých prostředků - **dronů**. V současnosti jsou drony osazovány detekčními jednotkami, které jsou schopny měřit jak dávkové příkony tak provést i jednoduchá spektrometrická měření (Příloha 6.). Velkou výhodou dronů je rychlá aktivace, možnost monitorovat nepřístupné plochy, bezpečnost „posádky“ a možnost monitorovat z relativně nízkých výšek (desítky metrů). Jako bonus pak při doplnění videokamery lze i sledovat, jak to v dané lokalitě vypadá. Nevýhodou dronů je v současnosti relativně krátká doba letu, nízká nosnost a legislativní požadavky – např. nutnost letu dronu v dohledové vzdálenosti. Je zřejmé, že toto vše se bude v budoucnosti měnit, takže význam takovýchto bezpilotních prostředků poroste, jak naznačují mnohé výsledky ze světa i z domova (Příloha 6.).

3.1.1. Pozemní monitorování

Nejdůležitější roli měření mobilních skupin představuje pozemní měření, hlavně stanovení **dávkových příkonů** ať už na místě nebo za jízdy/chůze. K tomu jsou všechny mobilní skupiny vybaveny detektory dávkových příkonů, přičemž některé z nich lze využít i k jednoduchým spektrometrickým účelům (např. MobDose fy PicoEnvirotec pro pojezdová

měření, resp. GR 135 miniSpec fy Exploranium nebo RT 30 fy Georadis pro měření dávkových příkonů a jednoduchou spektrometrii).

Na základě leteckých měření mobilní skupiny proměří dávkové příkony nejprve za jízdy v automobilu, tam kde to nelze za chůze, a přesně definují hranice kontaminovaného území. K upřesnění hodnot následně proběhnou měření dávkových příkonů na vytipovaných místech (obce, hřiště, komunikace ...) a taktéž **(jednoduchá, scintilační) spektrometrická měření** aktivit umělých radionuklidů v povrchové vrstvě půdy. V případě potřeby lze provést i přesnější spektrometrická měření pomocí polovodičové terénní spektrometrie, kterými jsou některé MS vybavené (např. FALCON, systém HPGe s analyzátozem).

Měřené hodnoty dávkových příkonů resp. specifických aktivit radionuklidů spolu s příslušnými souřadnicemi jsou předávány do centrálních databází (v současnosti MonRaS na SÚJB) a pomocí nich jsou vytvářeny mapy kontaminace.

3.1.2. Odběr vzorků životního prostředí

Na základě požadavků krizového štábu mobilní skupiny odeberou dle svých postupů vzorky životního prostředí – půdu, pícniny, zemědělské plodiny, potraviny, vodu (povrchovou, pitnou), lesní plody. Vybrané MS jsou vybaveny i přístroji pro odběr aerosolů na filtry. Vybavení pro tyto odběry jsou jednoduchá, vlastní odběry nemají složitý postup, vzorky se ukládají do PE sáčků nebo lahví, jediné, na co je potřeba dávat mimořádně pozor, je vzájemná kontaminace (cross-contamination) a přesný a nezaměnitelný popis odebraného vzorku tak, aby nedošlo k záměně vzorků. K tomu může vést i nově vyvinutý systém popisu odebraných vzorků pomocí QR kódů [39].



Obr. 8 Značení vzorků pomocí QR kódů

3.1.3. Povrchová kontaminace

Při kontrole povrchové kontaminace mohou mobilní skupiny využít detektory povrchové kontaminace α , β nebo γ , které mohou buď měřit počet impulsů za sekundu pro α resp. β/γ (využitelné tehdy, kdy se jedná o směs radionuklidů nebo o neznámý radionuklid) nebo přímo plošnou kontaminaci (Bq/cm^2) v případě známého radionuklidu. Další možnosti jsou stěry z přesně známé plochy s následným měřením v laboratoři. Takovéto měření je bohužel nepřesné (není známá přesná účinnost stěru), na druhou stranu lze přesně určit složení kontaminantu.

3.1.4. Měření vnitřní kontaminace (obsah ^{131}I ve štítné žláze)

Tato činnost je vysoce specializovaná a předpokládá výcvik v oblasti nejen přístrojové, ale i v oblasti měření vnitřní kontaminace osob. Proto je k této činnosti vycvičena jedna skupina ze SÚRO, která je schopná měřit pomocí přístroje vyvinutého na SÚRO (JODDET) právě pro takováto měření viz obr. 9 a pomocí přenosného celotělového detektoru měřit i obsah ^{137}Cs v celém těle. Pro jednoduchá měření lze ale též využít přenosné spektrometrické detektory (měření mimo stínění) s jednoduchou geometrií a příslušnou kalibrací.



Obr. 9 Ukázka měření s přístrojem JODDET

3.2. Závěr

Na základě zkušeností v ČR a ve světě byla analyzována problematika terénních měření životního prostředí v případě radiační havárie v závislosti na způsobu monitorování i na čase, který uplynul od havárie. Tabulka 3 ukazuje využití různých typů měření v Japonsku po havárii na JE Fukushima.

Byly diskutovány rozdíly v činnosti mobilních skupin během monitorování při různých fázích havárie, a to hlavně z pohledu využití různých monitorovacích systémů pro letecké i pozemní měření. Bylo zde navrženo využití nových měřících prostředků jak pro letecké monitorování (scintilační velkoplošný krystal, HERAS, dron), tak pro pozemní měření (robot, využití bran) nebo měření osob (JODDET).

V přílohách jsou na jednotlivých případech předvedeny postupy monitorování (Příloha č. 1 Příklad postupu při monitorování v pozdní fázi), dohledávání „hot-spotů“ (Příloha 2) a kontrola účinnosti dekontaminace území (Příloha 3).

V Příloze 4 je popsán komplexní systém vyhodnocování naměřených dat včetně jejich přenosu do programového prostředku MonRaS a způsob dopočtu výšky nad terénem pomocí výškových map (Příloha 4: Komplexní systém vyhodnocování naměřených dat AGAMA).

V přílohách 5 a 6 jsou ukázány možnosti měření s bezpilotními prostředky – dronem a robotem v případě radiačních nehod obecně, včetně výsledků jejich kalibrací (Příloha 5: Měření s robotem; Příloha 6: Měření s dronem).

Tab. 3 - Využití různých typů měření v Japonsku po havárii na JE Fukushima [10]

Období Monitorování	2011				2012				2013				2014				2015			
	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
Dávkové příkony																				
neobdělávaná půda		↔		↔	↔	↔	↔	↔		↔		↔			↔	↔			↔	
pojezd (JAEA)		↔		↔	↔		↔	↔		↔		↔			↔	↔			↔	↔
pojezd (TEPCO)			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
pochůzkové měření										↔		↔			↔	↔			↔	↔
letecká měření	↔	↔		↔		↔		↔			↔	↔			↔					↔
letecká měření - UAV							↔	↔	↔	↔	↔	↔			↔	↔				↔
Kontaminace půdy																				
povrchová kontaminace		↔		↔	↔	↔	↔	↔		↔		↔			↔	↔			↔	
hloubkové profily				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔			↔	↔				↔

3.3. Literatura

- [1] Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
- [2] Vyhláška č. 359/2016 Sb., o podrobnostech k zajištění zvládání radiační mimořádné události
- [3] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon
- [4] Vyhláška č. 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace
- [5] VDS 049 Monitorování radiační situace
- [6] VDS 019 Pravidla činnosti Krizového štábu
- [7] VDI 130 Činnost mobilních skupin při monitorování radiační situace na území ČR
- [8] Národní program monitorování; SÚJB; Monitorování radiační situace na území České republiky; 2018
- [9] The Fukushima Daiichi Accident; Report by the Director General; IAEA; Vienna; 2015
- [10] Saito, K.: Large-scale Environmental Monitoring and Individual Dose Evaluation after the Fukushima Accident. Technical Meeting on Remediation Techniques and Strategies in Post-Accident Situations; IAEA Headquarters, Vienna, Austria; 13–17 June 2016
- [11] Češpírová, I., Prouza, Z.: Activity of ground and aerial mobile group during radiation emergency; Conference proceedings; 4th International Symposium on In situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology (INSINUME); 13. – 16. 10.2008, Rabat, Maroko
- [12] Češpírová, I., Pašková, Z., Matzner, J.: Činnost letecké a mobilních skupin během cvičení zóna 2010; 32. DRO, Třeboň, 2010
- [13] Thomas, M., Hohman, C., Krol, I., Strobl, C.: Results and experiences of the German team during AGE09; Workshop Aero-gammaspectrometry; Berlin; 27. - 28.10.2010
- [14] Karlsson, S.: National expert response organisation for nuclear and radiological emergencies in Sweden; Workshop Aero-gammaspectrometry; Berlin; 27. - 28.10.2010
- [15] Sanderson D.C.W., Demonstration the European capability for airborne gamma spectrometry. Results from the ECCOMAGS exercise, Radiation Protection Dosimetry (2004), Vol. 109, (1-2): 119-125
- [16] Češpírová I., Prouza Z, Activity of Mobile and Aerial Groups during Radiation Emergency, , Sborník 4th International Symposium on In Situ Nuclear Metrology As a Tool For Radioecology (INSINUME), 13-16 October 2008, Rabat, Morocco
- [17] Češpírová I., Hůlka J, Problematika interpretace leteckých měření při nehomogenní radioaktivní kontaminaci, Bezpečnost jaderné energie, ročník 18 [56] 2010; ISSN 1210-7085

- [18] 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 výпустí radionuklidů do životního prostředí z JE a monitorování jejich okolí a na expresní metodiky“; SÚRO Praha, 2007
- [19] Prouza, Z., Češpírová I., Kuča, P., Marešová, B.: Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace; Subkapitola b2; Doporučení pro stanovení odvozených zásahových úrovní; Praha; 2012
- [20] Hůlka, J., Češpírová, I., Froňka, A., Gryc, L.: Metodika pro rychlé měření kontaminovaného krajinného krytu moderními technologiemi; Certifikovaná metodika; Praha; 2015
- [21] Froňka, A., Češpírová, I.: “The system of modern data acquisition – including airborne gamma measurements in case of severe NPP accident,” Workshop Aero-gammaspectrometry; Berlin; 27. - 28. 10. 2010;
- [22] Pecha, P., Kuča, P., Češpírova, I., Hofman, R.: Monitorování radiace v časně fázi nehody na jaderném zařízení - analýza všech typů měření použitelných pro korekci modelových předpovědí. The Science for Population Protection, 2011, roč. 3, č. 2, s. 101-129.
- [23] Kuča, P., Gryc, L., Češpírová, I.: IAEA Response and Assistance Network Workshop, prefektura Fukušima, Japonsko, květen 2013; XXXV. Dny radiační ochrany, 11. - 15. 11. 2013 Třeboň. Sborník abstraktů, ISBN 978-80-01-05356-0
- [24] Gryc, L., Češpírová, I., Kuča, P., Helebrant, J.: Monitorování v podmínkách reálné situace v evakuované oblasti JE Fukušima 2 roky po havárii; XXXV. Dny radiační ochrany, 11. -15. 11. 2013 Třeboň. Sborník abstraktů, ISBN 978-80-01- 05356-0
- [25] Češpírová, I., Froňka, A., Helebrant, J., Gryc, L.: Letecká měření (IRIS, polovodičový detektor, PDOSE); Bezpečnost jaderné energie, 1/2 ročník 18 [56]; pp. 51 – 54; 2010; ISSN 1210-7085
- [26] Froňka, A., Češpírová, I.: Brief description of the setup of the Czech measurement technique, with a special focus on the developments after 2002; Workshop Aero-gammaspectrometry; Berlin; 27. - 28. 10. 2010
- [27] Froňka, A., Češpírová, I.: The system of modern data acquisition – including airborne gamma measurements in case of severe NPP accident; Workshop Aero-gammaspectrometry; Berlin; 27. - 28. 10. 2010
- [28] Cespirova, I.: Aerial Measurement in the Czech Republic, Int. Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity; 15. – 20. 6.2008, Bergen, Norsko

- [29] Hůlka, J., Cespirova, I.: Modern data acquisition of the contaminated landscape cover, Int. Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity; 15. – 20. 6.2008, Bergen, Norsko
- [30] Češpírová, I., Froňka, A.: Porovnání leteckých a pozemních měření, Bezpečnost jaderné energie, 3 / 4 ročník 16 [54] 2008; ISSN 1210-7085
- [31] Češpírová, I., Hůlka, J.: Lze UAV využít pro monitorování v případě radiační nehody?; Národní konference Civilní bezpilotní systémy – sborník; 12. – 13.11.2008, Praha; ISBN 978-80-902522-2-6
- [32] Gryc, L., Češpírová, I., Surý, J., Hanák, V., Sládek, P.: Radiační monitorovací vůz nové generace (Zpráva MOSTAR); Vnitřní zpráva SÚRO; 60/2015. Praha, 2015
- [33] Safety Guide No. WS-G-3.1 Remediation process for areas affected by past activities and accidents; IAEA, Vienna, 2007
- [34] TRS No. 475 Guidelines for remediation strategies to reduce the radiological consequences of environmental contamination, IAEA, Vienna, 2012
- [35] Nasazení systému monitorování vnitřní kontaminace štítné žlázy radiojodem po havárii energetického jaderného zařízení. Certifikovaná metodika. In: Zpráva SÚRO 19/2016. <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/certifikovane-metodiky/>
- [36] P. Fojtík, S. Kavan, L. Novotná, T. Svobodová, E. Čermáková, J. Baloun, J. Helebrant: Large scale monitoring of radioiodine in thyroid: equipment and preparedness in the Czech Republic. In: Proceedings of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association, s. 1845 - 1847. Eds.: Christopher Clement, Jack Valentin, Haruyuki Ogino, Devon Foote, Julie Reyjal, Laila Omar-Nazir. The International Radiation Protection Association. 2017. ISBN 978-0-9989666-5-6
- [37] Češpírová, I., Gryc, L., Ohera, M., Helebrant, J.: Monitoring of ^{137}Cs in the soil in the Czech Republic (the Sumava Mountains) 30 years after the Chernobyl accident. In: INSINUME 2017 - 7th International Symposium on IN Situ Nuclear METrology as a tool for radioecology. 24–28 April 2017 in Ohrid, Macedonia.
- [38] RadioRoSo (Radioactive Waste Robotic Sorter); projekt EU ECHORAD
- [39] Rulík, P., Sloboda, M., Helebrant, J.: Zefektivnění systému odběru, značení a zpracování vzorků, Vnitřní zpráva SÚRO 22/2017, Praha, 2017

4. Přílohy

4.1. Příloha 1: Příklad postupu při monitorování v pozdní fázi

Češpírová, I.

4.1.1. Úvod

Postup monitorování v pozdní fázi havárie na jaderné elektrárně lze dokumentovat na výsledcích měření v lokalitách s vyšším obsahem aktivit ^{137}Cs v půdě jakožto pozůstatkem havárie na Černobylské jaderné elektrárně. Pro tyto účely byla vybrána hornatá část ČR – západní část Šumavy, oblast Prášílska. Proběhla zde letecká a pozemní měření včetně sběru vzorků životního prostředí, které byly následně změřeny ve spektrometrické laboratoři.

4.1.2. Přístroje

K měření byly použity přístroje:

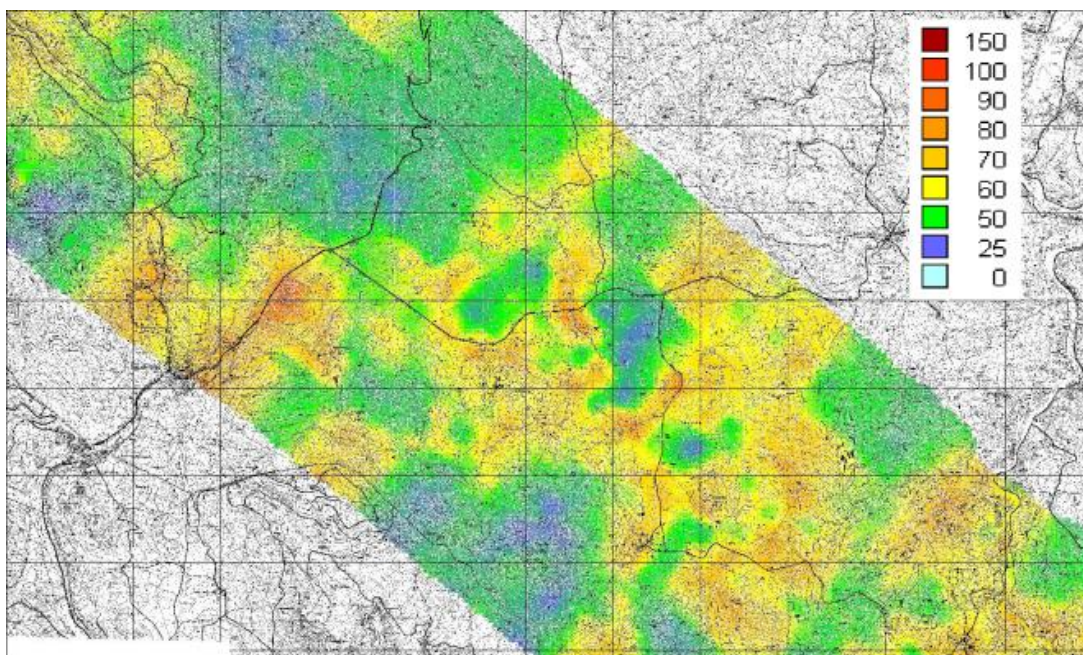
- pro letecká měření - IRIS
- pro měření za jízdy - MK, MobDose
- pro měření dávkových příkonů za chůze a na místě - P-GIS, P-Dose, MobDose, GR135, RT30, URAD
- pro spektrometrická měření na místě - přenosný polovodičový detektor (Ortec, relativní účinnost 25%) + mnohakanálový analyzátor DigiDart; přenosný polovodičový detektor Falcon (relativní účinnost 20%) a scintilační detektory GR135 (Exploranium), Inspector (Canberra) se sondami NaI(Tl) (rozměry: 2x2'') a LaBr (rozměry: 1.5x1.5'').

4.1.3. Postup

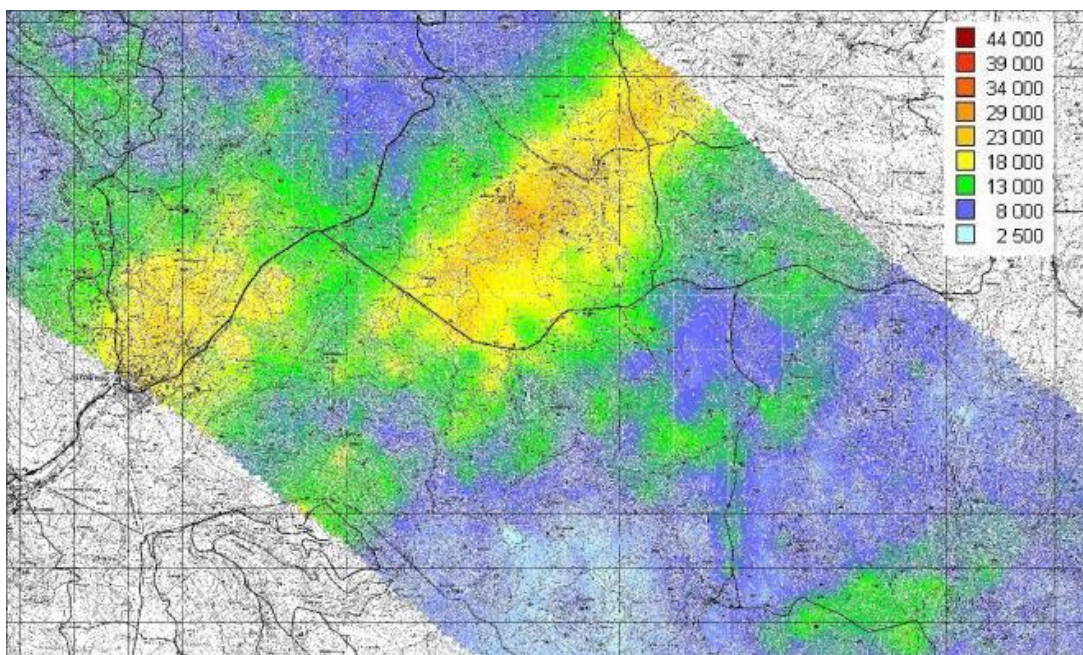
V první fázi monitorování byly pomocí **leteckého monitorování** změřeny aktivity ^{137}Cs v půdě a dávkové příkony 1 m nad povrchem terénu a zakresleny do map (obrázek P 1.1.). Tato měření jsou velice rychlá a lze pomocí nich zjistit „hot spoty“ – místa s vyšším obsahem kontaminantu, ale mají svá omezení – nejsou tak přesná, jako pozemní měření a díky měření ve výšce cca 100 m nad zemí dochází k průměrování měřených hodnot přes větší plochy, což ovšem rozmýšlí hranice kontaminovaných ploch.

Z níže uvedených map je zřejmé, že pro vyhodnocení kontaminace umělými radionuklidy není mapa rozložení dávkových příkonů zcela jednoznačná, proto je potřeba její

doplnění spektrometrickými měřeními, resp. použitím přístroje, který je schopný změřit nejen dávkový příkon, ale zároveň i rozlišit důležité radionuklidy (umělé - ^{137}Cs , přírodní - ^{40}K , radionuklidy radiové a thoriové řady).



Obr. P 1.1. Letecká měření v oblasti Šumava - dávkový příkon [nGy/h]



Obr. P 1.1. Letecká měření v oblasti Šumava plošná aktivita ^{137}Cs [Bq/m²] (výřez mapy)

Poznámka: Velkou roli při vyhodnocení aktivit ^{137}Cs jak pro letecká tak pro terénní in situ měření hraje předpoklad o rozložení radionuklidů v půdě. Hlubková distribuce aktivity v půdě může být ovlivněna průběhem depozice umělých radionuklidů, povětrnostními podmínkami a samozřejmě typem půdy; exponenciální model více vyhovuje chronické

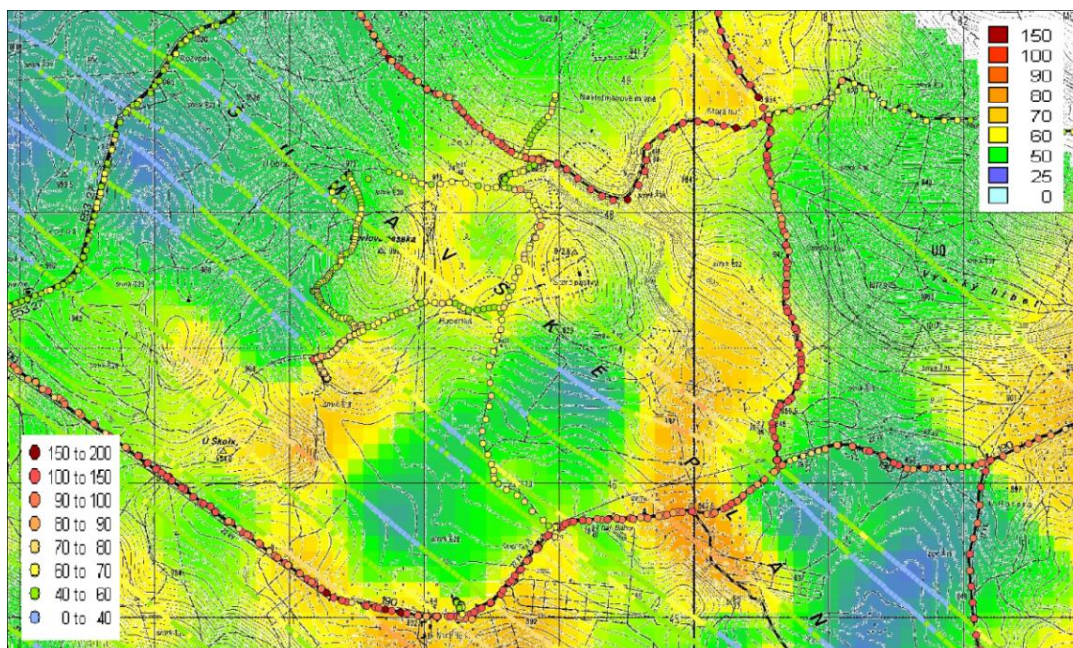
depozici – příkladem je spad po zkouškách jaderných zbraní, u „jednorázové“ depozice, jako byla v případě havárie v Černobylské jaderné elektrárně, se maximum koncentrace přesouvá do větších hloubek a po delší době může koncentrace přecházet v homogenní. Pro potřeby monitorování se uvažuje, že těsně po havárii je veškerá aktivita umělých uniklých radionuklidů na povrchu půdy, postupně se však zahlubuje a rozložení radionuklidů v půdě se přibližuje exponenciálnímu modelu s relaxační délkou 3 cm (tj. plošná aktivita radionuklidu se po 3 cm sníží na $1/e$). Případný rozdíl mezi výsledky, kdy se uvažuje případ kontaminace na povrchu a kontaminace s relaxační délkou 3 cm, je přibližně koeficient 3.

Na základě leteckých map rozložení ^{137}Cs v půdě bylo vytipováno území s vyššími hodnotami ^{137}Cs . Jednalo se o území vedoucí od Železné Rudy na SV k bývalé vesnici Zhůří. Tato oblast je minimálně obydlená, převážně zalesněna. Je protkána hlavně lesními cestami, které ovšem ne vždy jsou sjízdné, maximálně terénním vozidlem.

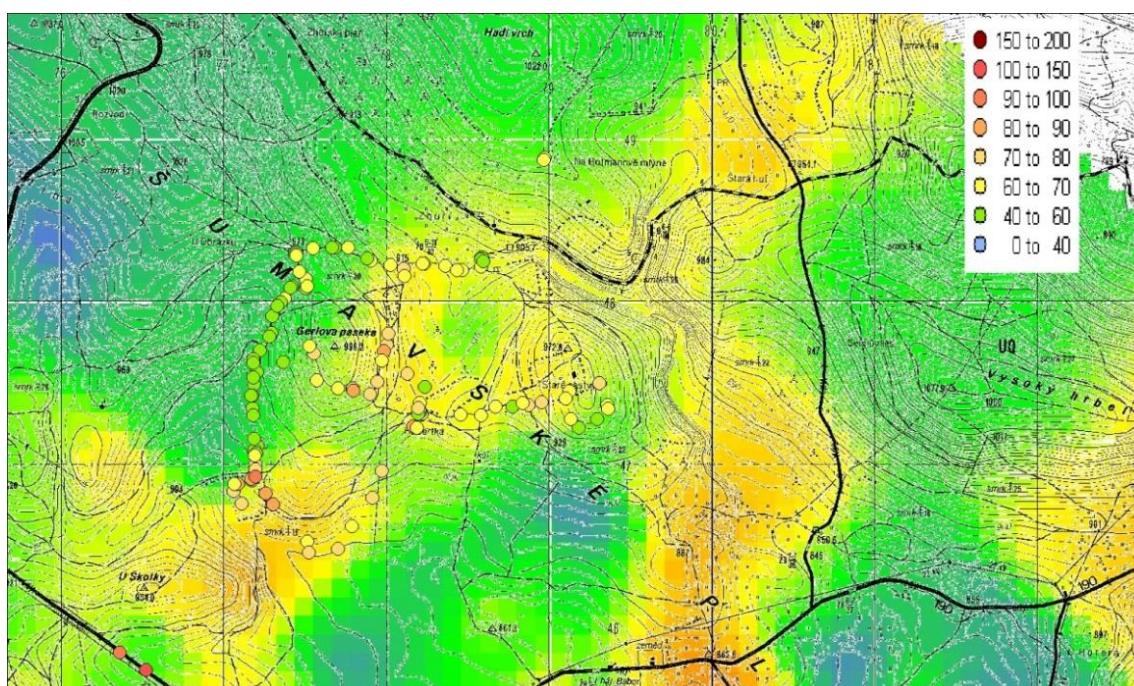
Jako další krok monitorování bylo zvoleno využití **pojezdových měření** a tam, kde to nebylo možné, proběhla měření za chůze s přístroji na zádech. Pomocí těchto měření byly rychle upřesněny hranice ploch s vyššími hodnotami ^{137}Cs . Obrázek P 1.2 zobrazuje výsledky měření z pojezdových měření zakreslené již na podkladové mapě z leteckého monitorování. Na obrázku je vidět velice dobrá shoda výsledků pozemních a leteckých měření, výjimkou jsou silnice. Zde sehrál důležitou roli materiál, ze kterého je silnice vybudovaná (materiálově se liší silnice budované v různé době – viz silnice vedoucí z Železné Rudy do Prášil resp. do Klatov), neboť evidentně obsahoval zvýšené množství přírodních radionuklidů, což ovšem pouhým měřením dávkového příkonu není vidět. Na druhou stranu je vidět, že letecká měření tuto „anomálii“ nezaznamenala, protože šířka silnice je pod její rozlišovací schopnost. V případě radiační nehody by tyto hodnoty byly nevýznamné. Na lesních cestách je měřený PFDE ve velice dobré shodě s leteckými měřeními. Na obrázku P 1.3 jsou výsledky z pěší prospekce. I zde je velice dobrá shoda mezi leteckými a pozemními měřeními.

Ve třetím kroku následovala **pozemní spektrometrická měření metodou in situ**. Tato měření jsou již podstatně podrobnější než letecká, ovšem časově mnohem náročnější. Odhad aktivit je zde silně závislý nejen na předpokladech rozložení kontaminantu v půdě, ale též na výběru místa měření – nejlépe rovná nezalesněná plocha, protože se ani zde nejedná o „bodové“ měření, ale je zde zprůměrována plošná aktivita ^{137}Cs z plochy o poloměru cca 10 m.

Proto je vhodné tato měření doplnit **odběry vzorků půdy**, porostu popř. lesních či polních plodin dle typu zasaženého území a ročního období a následně je změřit ve spektrometrické laboratoři.

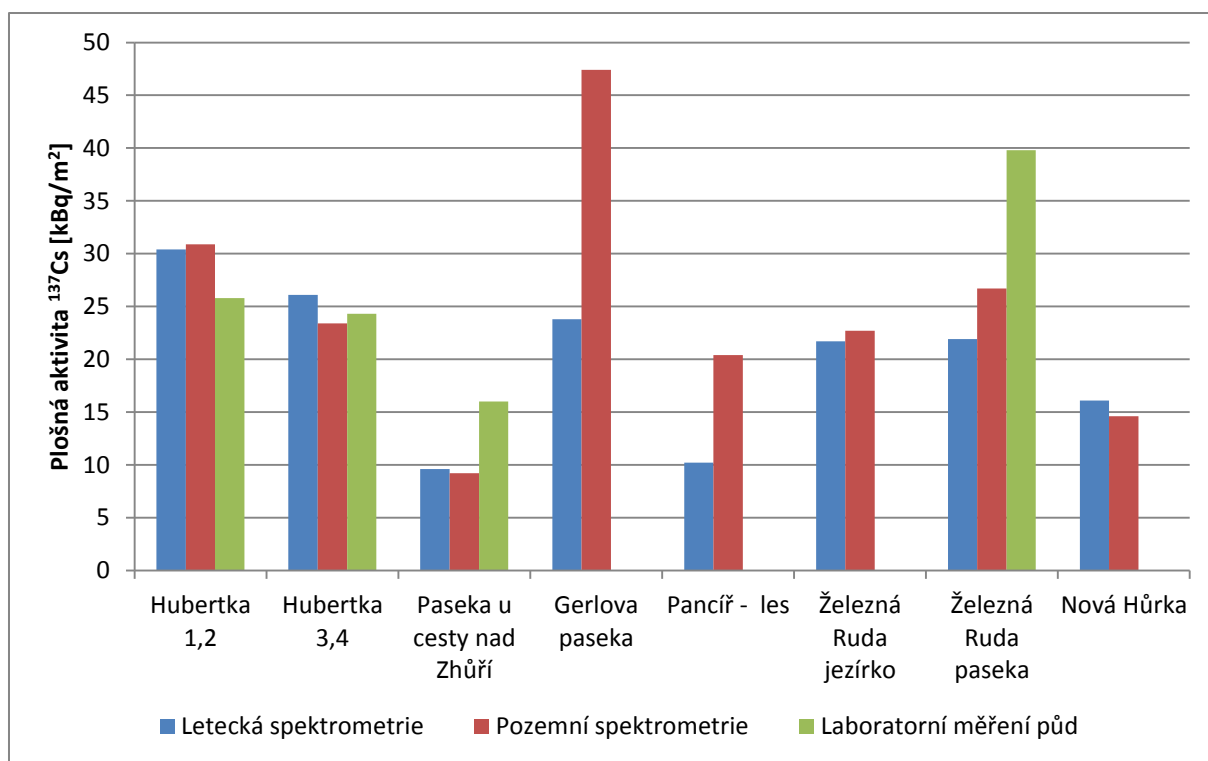


Obr. P 1.2: Výsledky měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu [nSv/h] z pojezdových měření zakreslené již na podkladové mapě z leteckého monitorování



Obr. P 1.3: Výsledky měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu [nSv/h] pomocí přístroje RT 30 z pěších měření zakreslené na podkladové mapě z leteckého monitorování

Tabulka P 1.1 a obrázek P 1.4 shrnují porovnání výsledků jednotlivých měření a tabulky P 1.2 a P 1.3 shrnují výhody a nevýhody způsobů měření včetně časové náročnosti.



Obr P 1.4 Porovnání výsledků jednotlivých měření v několika lokalitách

Tab. P 1.1 Porovnání výsledků jednotlivých měření

Lokalita		Plošná aktivita ^{137}Cs [kBq/m ²]		
		IRIS	SMART	půda
1	Hubertka 1,2	30.4	30.9	25.8
2	Hubertka 3,4	26.1	23.4	24.3
3	Paseka u cesty nad Zhůří	9.6	9.2	16.0
4	Gerlova paseka	23.8	47.4	
5	Pancíř - les	10.2	20.4	
6	Železná Ruda jezírko	21.7	22.7	
7	Železná Ruda paseka	21.9	26.7	39.8
8	Nová Hůrka	16.1	14.6	

Poznámka: rozdíl mezi výsledky letecké a pozemní spektrometrie u bodu 4 a 5 je nejspíš dán tím, že v době leteckého monitorování ležel v daných lokalitách sníh (leden), který Cs částečně odstínil.

4.1.1. Závěr

Na základě testovaného postupu při monitorování v pozdní fázi havárie lze odvodit nezastupitelnou roli všech použitých typů měření ať už z důvodu rychlosti, přesnosti nebo podrobnosti. Nezanedbatelný je zde i faktor časové a lidské náročnosti při jednotlivých měřeních a též eliminace možné kontaminace osob a přístrojů.

Tab. P 1.2 Porovnání měření – časová náročnost

Metoda	počet osob v MS	Časová náročnost *)	Měřená plocha za směnu/ za 1h	Měřené veličiny
Letecká měření	2+3 + posádka vrtulníku	5h + 2h	110km ² (40 km ² /h)	dávkové příkony, plošné aktivity vybraných umělých radionuklidů
Pojezdová měření (rychlost 30km/h)	2	6h +1h	70 km ² (12 km ² /h)	dávkové příkony
Pěší průzkum	2	6h+1h	< 10 km ² (<1.5km ² /h)	dávkové příkony
Spektrometrie in-situ	2	0,5h **) + 0,5h	600m ² (1200m ² /h)	dávkové příkony, plošné aktivity umělých, resp. hmot. aktivity přírodních radionuklidů
Odběry vzorků -půda	1	2h ***)	0,04 m ² (0,02 m ² /h)	plošná/ hmotnostní aktivita radionuklidů
Odběry vzorků - ostatní (např. houby)	1	1h ***)	--	hmotnostní aktivita radionuklidů

*) doba měření + doba vyhodnocení

**) bez přesunu mezi jednotlivými měřeními, délka měření 20 minut odběr, měření a vyhodnocení, bez převozu do laboratoře.

***)

Tab. P 1.3 Porovnání měření

Metoda	Výhody	Nevýhody
Letecká měření	- rychlá - nehrozí kontaminace	- nutnost pozemního „doměření“; - závislost na rozložení radionuklidů v půdě
Pojezdová měření	- rychlá - nehrozí kontaminace	pouze na sjízdných komunikacích;
Pěší průzkum	podrobné měření tam, kde je to potřeba	- fyzicky náročné - nebezpečí kontaminace
Spektrometrie in-situ	podrobné měření tam, kde je to potřeba	- závislost na rozložení radionuklidů v půdě - nebezpečí kontaminace
Odběry vzorků - půda	- podrobné měření; - nezávisí na hloubkovém rozložení	- laboratorní měření - náročné na čas, dopravu - velké nebezpečí kontaminace
Odběry vzorků - ostatní (např. houby)	- podrobné měření; mimo laboratoř až na výjimky nelze měřit	- laboratorní měření - náročné na čas, dopravu - velké nebezpečí kontaminace

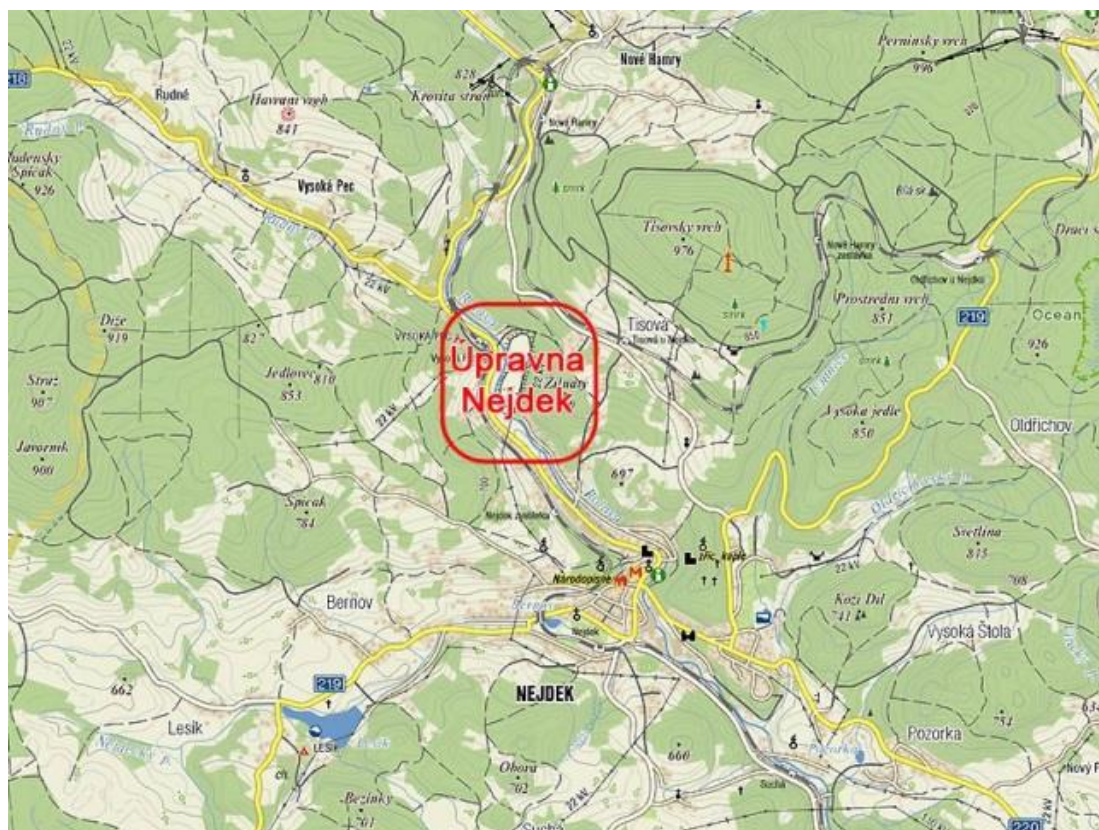
4.2. Příloha 2: Vyhledávání hot-spotů

Češpírová, I.

4.2.1. Úvod

Při rutinním leteckém monitorování v příhraničí severozápadních Čech byla nalezena oblast s významně zvýšenými hodnotami dávkových příkonů a to severně od Nejdku (Karlovarský kraj). Vzhledem k velikosti nalezené oblasti (menší než 0,5 km²), je možné tato měření použít jako vhodný příklad pro **dohledávání hot-spotů v případě radiační havárie**.

Oblast odpovídá umístění bývalé chemické úpravný uranových rud situované v areálu bývalé papírny v obci Vysoká Pec a přilehlém okolí (obr. P 2.1). Byly zde ukládány kaly z chemické úpravy uranových rud s kyselým procesem loužení, zpracovávala se zde uranová ruda ze všech těžebních oblastí té doby včetně trutnovského uranonosného uhlí od r. 1953 až do roku 1959, kdy byla úpravná uzavřena, přičemž zde došlo k sanaci celého území. V současnosti je toto území převážně zalesněné a prochází zde turistická stezka (obr. P 2.2).



Obr. P 2.1 Oblast s bývalou úpravnou rud

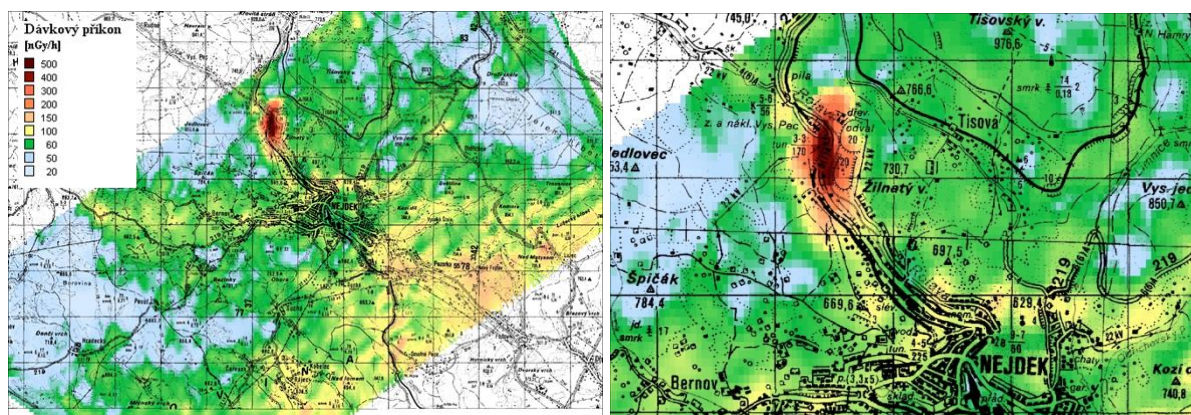


Obr. P 2.2 Současný stav sanované plochy

4.2.2. Postup měření

1. Letecké monitorování

Letecká měření proběhla po rovnoběžných linkách ve výšce 100 m nad zemí při rychlosti letu 100 km/h. Délka jednotlivých měření byla 1 s. Následně bylo provedeno rutinní vyhodnocení naměřených hodnot dávkových příkonů přepočtených na 1 m nad zemí, hmotnostních aktivit přírodních radionuklidů (^{40}K a radionuklidy U a Th řady) a plošných aktivit ^{137}Cs . Výsledky byly zaneseny do mapy. Na mapě znázorňující rozložení dávkového příkonu byla zjištěna významná nehomogenita – obr. P 2.3.



Obr. P 2.3 Výsledky leteckého monitorování – mapa rozložení dávkových příkonů přepočtených na výšku 1 m nad zemí

2. Pozemní monitorování – pojezdy

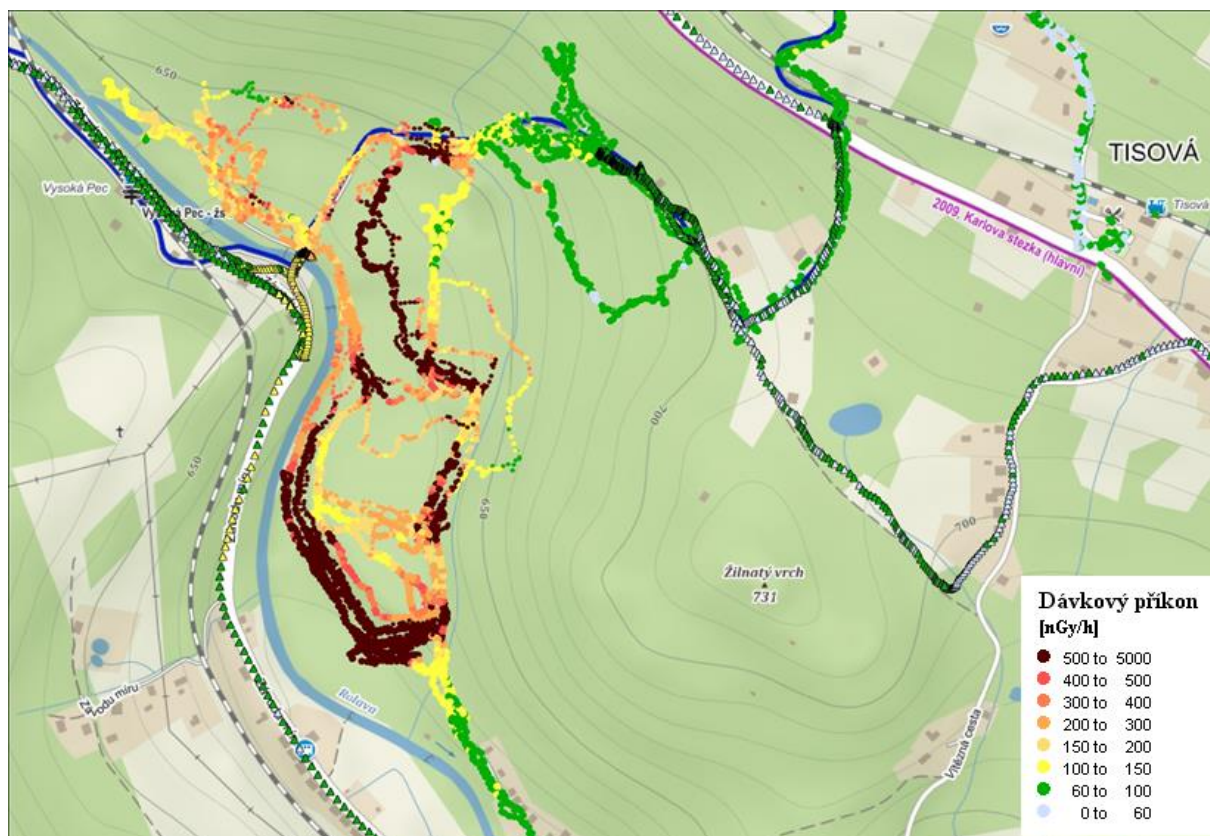
Na základě leteckých měření byla vyslána pozemní skupina, která provedla ve vytipované oblasti a jejím blízkém okolí průzkum pomocí monitorovacího vozu – obr. P 2.4. Výsledky měření byly opět zaznamenány do mapy obr. P 2.5.

3. Pozemní měření – za chůze a in situ

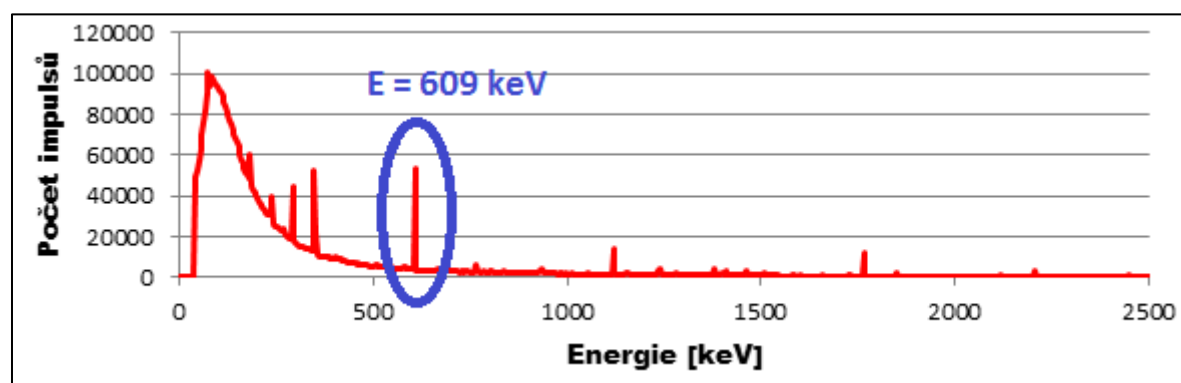
Pro ověření naměřených hodnot získaných leteckým a pojezdovým monitorováním byla v této lokalitě provedena řada pozemních měření. Jednalo se o měření dávkových příkonů za chůze (RT 40 (Georadis s.r.o.), GPS; obr. P 2.4) a spektrometrická měření na místě (in-situ; obr. P 2.4) k určení o jaký kontaminant se konkrétně jedná. Výsledky měření jsou zobrazeny spolu s pojezdovými měřeními v obr. P 2.5. Na obr. P 2.6 je zobrazené spektrum naměřené polovodičovým detektorem (detektor FALCON, relativní účinnost 25%; délka měření = 1800 s, výška nad zemí 1 m), pomocí něhož bylo zjištěno, že se jednalo o dceřiný radionuklid uranové řady, tedy že jde o pozůstatek dřívějšího zpracování uranové rudy.



Obr. P 2.4 Monitorovací vůz SÚRO (vlevo); měření pomocí přístrojů RT30 (uprostřed) a polovodičových detektorů (vpravo)



Obr. P 2.5 Výsledná měření dávkového příkonu pojezdovými měřeními a měřením za chůze (trojúhelníky – pojezd, tečky – chůze)



P 2.6 Spektrum naměřené polovodičovým detektorem – kvalitativní analýza (energie 609 keV odpovídá ^{214}Bi dceřinému prvku U – řady), délka měření 1800 s.

4.2.3. Závěr

V oblasti Nejdek byly nalezeny hodnoty dávkového příkonu na úrovních od běžného pozadí do řádově jednotky mikroGy/h (max na turistické stezce 4 mikroGy/h). Zvýšené hodnoty se vyskytovaly převážně na cestách, výjimkou je místo, kde bylo odkaliště (na místě je cedule s upozorněním na zvýšenou radiaci). Celá oblast je zalesněná, obydlí se zde nevyskytují.

Při průzkumu oblasti s vyššími dávkovými příkony byl ověřen postup dohledávání hot-spotů (kontaminovaných ploch o relativně malých rozměrech). Byla ověřena schopnost leteckého systému nalézt malé kontaminované plochy (hot-spots) a následný způsob dohledání včetně kontroly širšího okolí pojezdovými a pochůzkovými měřeními s doplněním měřením dávkových příkonů a spektrometrickým měřením přímo na místě.

4.2.4. Literatura a odkazy:

- [4.2.1.] Diamo: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2018; https://www.diamo.cz › dokumenty › SUL › Z-01-RP-sp-22-01_SUL_2018
- [4.2.2.] Diamo: Vyhodnocení programu monitorování a dodržování ustanovení vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění pozdějších předpisů, o. z. SUL za rok 2014; http://slon.diamo.cz/file/www/R_SUL.pdf
- [4.2.3.] Češpírová, I., Gryc, L., Froňka, A., Helebrant, J., Kuča, P.: Letecká a pozemní měření v oblasti severozápadních Čech. XXXVII. DRO, Sborník abstraktů, str. 135, ISBN978-80-01-05822-0, Mikulov, 2015

4.3. Příloha 3: Příklad kontroly účinnosti remediace – MAPE

Helebrant, J., Ohera, M., Čěšpírová, I.

4.3.1. Úvod

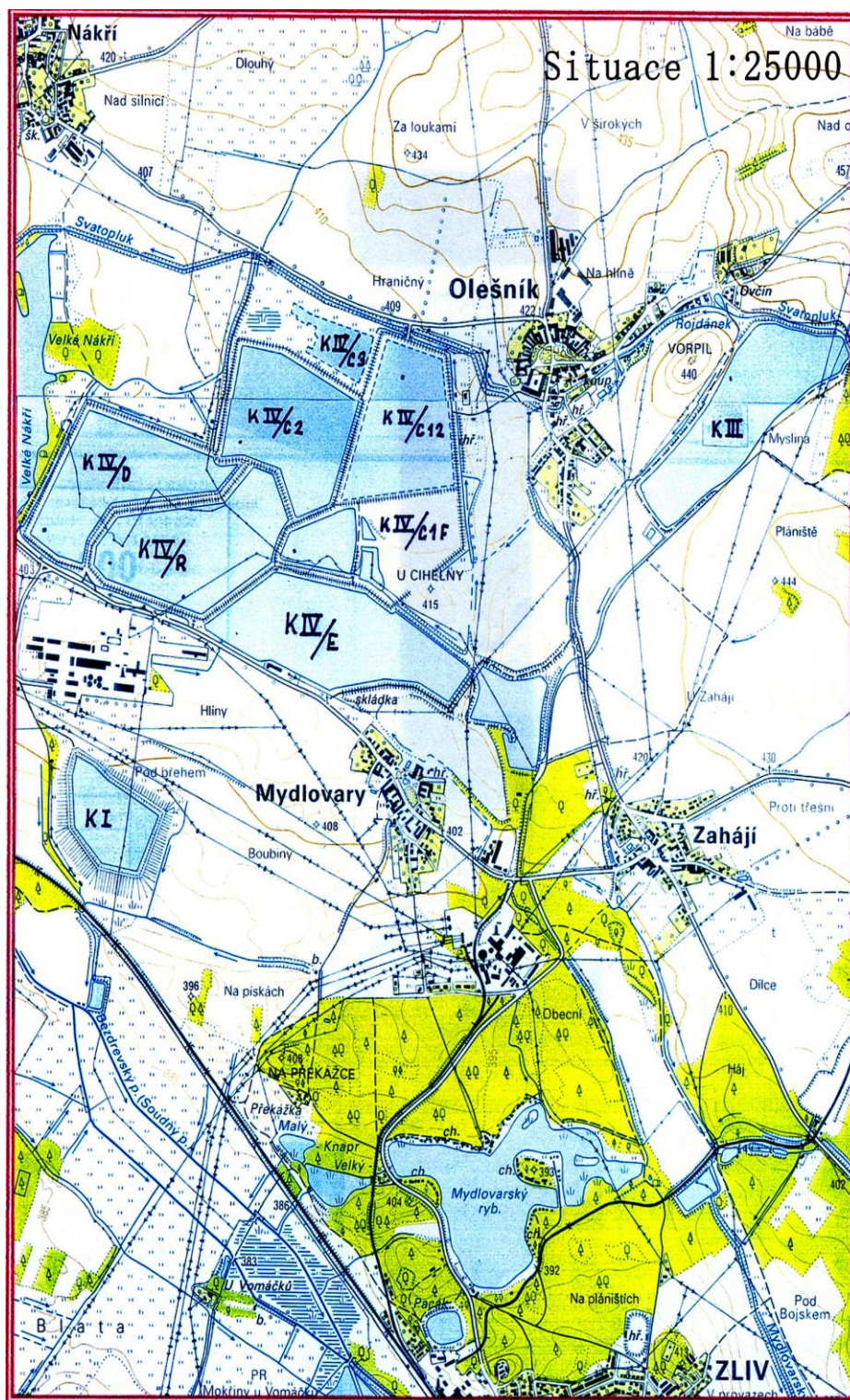
V ČR se nachází několik území silně ovlivněných těžbou a následným zpracováním uranové rudy. V posledních letech se těžba zastavila a postupně probíhá sanace území. Jedno z těchto území je v blízkosti Mydlovar, kde od r. 2006 dochází k sanaci a rekultivaci postiženého území. Po celou dobu probíhají na daném území měření veličin důležitých z hlediska ochrany životního prostředí (nejen) před ionizujícím zářením, v počátku sanačních prací (2009) zde taktéž proběhlo letecké monitorování, které se zopakovalo v r. 2019. Na leteckých měřeních je možné názorně předvést jednu z možností kontroly účinnosti sanací.

4.3.2. Popis lokality

Areál této chemické úpravny se nacházel mezi obcemi Mydlovary, Zahájí, Olešník, Nákrří a Dívčice, poblíž města Zliv, cca 20 km od jaderné elektrárny Temelín, Českých Budějovic a Vodňan. Součástí areálu je 286 ha uranových odkališť (prostory po dřívější těžbě lignitu), která představují jednu z nejzávažnějších ekologických zátěží v celé České republice. Areál přibližně od roku 2006 prochází postupnou sanací. Podrobnosti je možné nalézt např. v [4.3.1.]

Vyloužená uranová ruda byla ukládána na odkalištích. Jako první bylo vybudováno odkaliště K I - ještě mimo vydobyté prostory po těžbě lignitu. Další odkaliště pak využívaly prostory po těžbě lignitu, která má v daném území významné místo, především ve vazbě na elektrárnu v Mydlovarech.

Po ukončení provozu prochází areál sanací. Při sanaci odkališť byly mj. využity staré pneumatiky a elektrárenský popílek, detaily nejsou s ohledem na zaměření této zprávy podstatné.



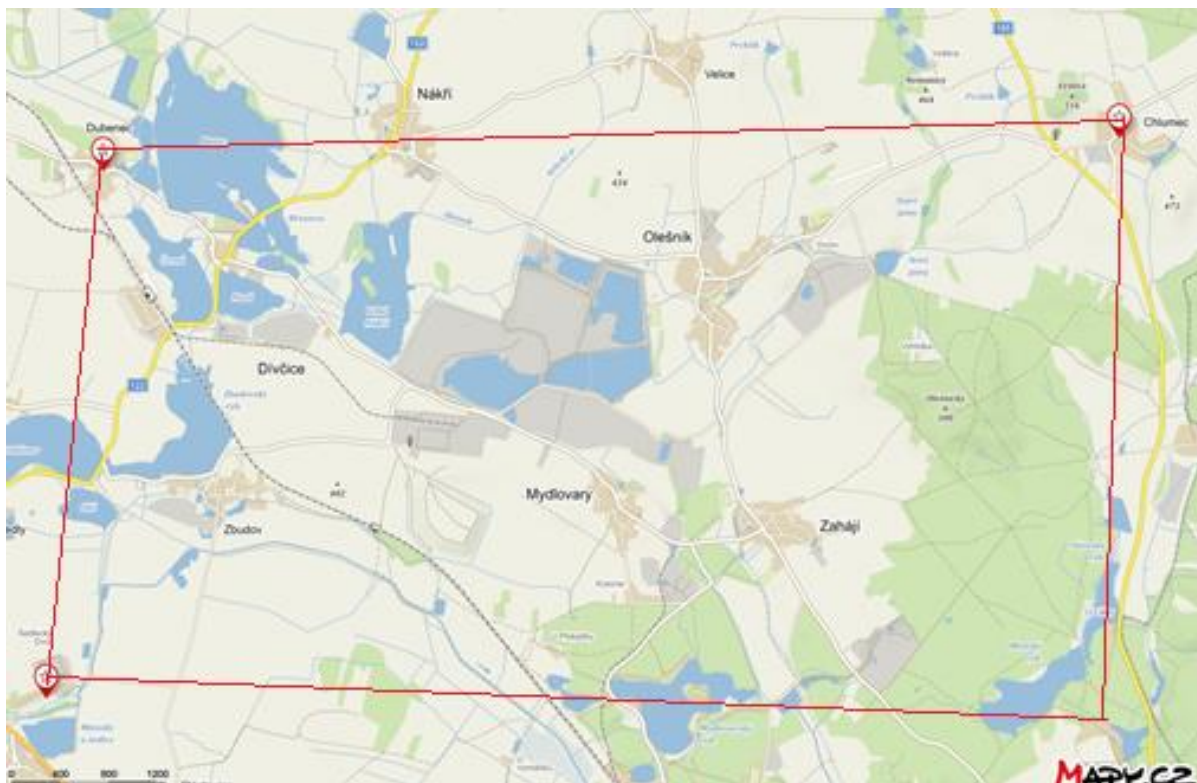
Obr. P 3.1 Mapa odkaliště úpravny MAPE Mydlovary [4.3.2.]

4.3.3. Letecké monitorování

Monitorování provedené pracovníky SÚRO ve spolupráci s Armádou ČR proběhlo v letech 2009 a 2019. K měření byl využit standardně používaný letecký systém IRIS firmy

PicoEnvirotec s 4 x 4 l NaI(Tl) scintilačními krystaly. Výsledná data jsou jednosekundová spektra doplněna o GPS souřadnice a výšku nad terénem z vlastního radarového výškoměru.

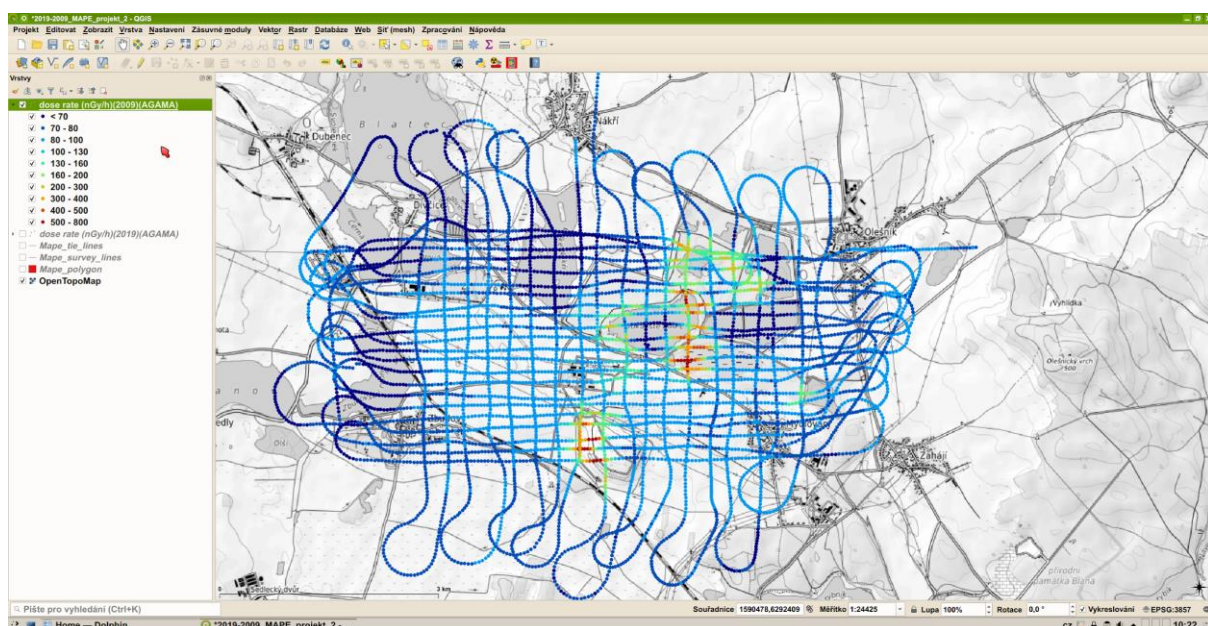
Zájmovou oblast lze přibližně vymežit obcemi Dubenec, Sedlecký Dvůr a Chlumec, .



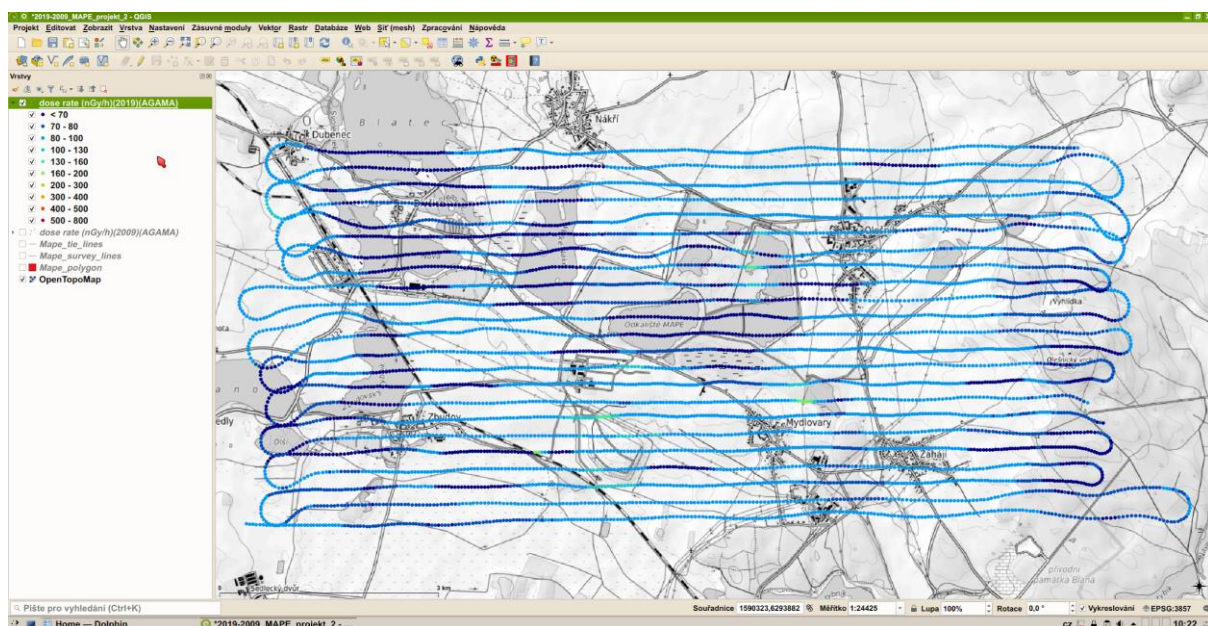
Obr. P 3.2 Základní mapa s vyznačením monitorované oblasti, mapa © Seznam.cz, a.s.

Naměřená spektra byla vyhodnocena pomocí software AGAMA a pomocí programu QGIS zakreslena do mapy. Na obrázcích P 3.3 a P 3.4 je znázorněno rozložení dávkových příkonů přepočtených na výšku 1m nad zemí na mapovém podkladu (každý bod odpovídá jednomu měření) měřených v r. 2009 a 2019. Na obrázcích P 3.5 a P 3.6 jsou zobrazeny též dávkové příkony ve formě barevných ploch (interpolované). Interpolace bodových hodnot byla provedena v open-source programu SAGA-GIS metodou Multilevel B-Spline Interpolation [4.3.8.].

Na závěr byla od interpolovaných dat z roku 2009 odečtena data z roku 2019. Na výsledku je dobře patrný velký pokles hodnot v oblasti sanovaných odkališť – obr. P 3.7.



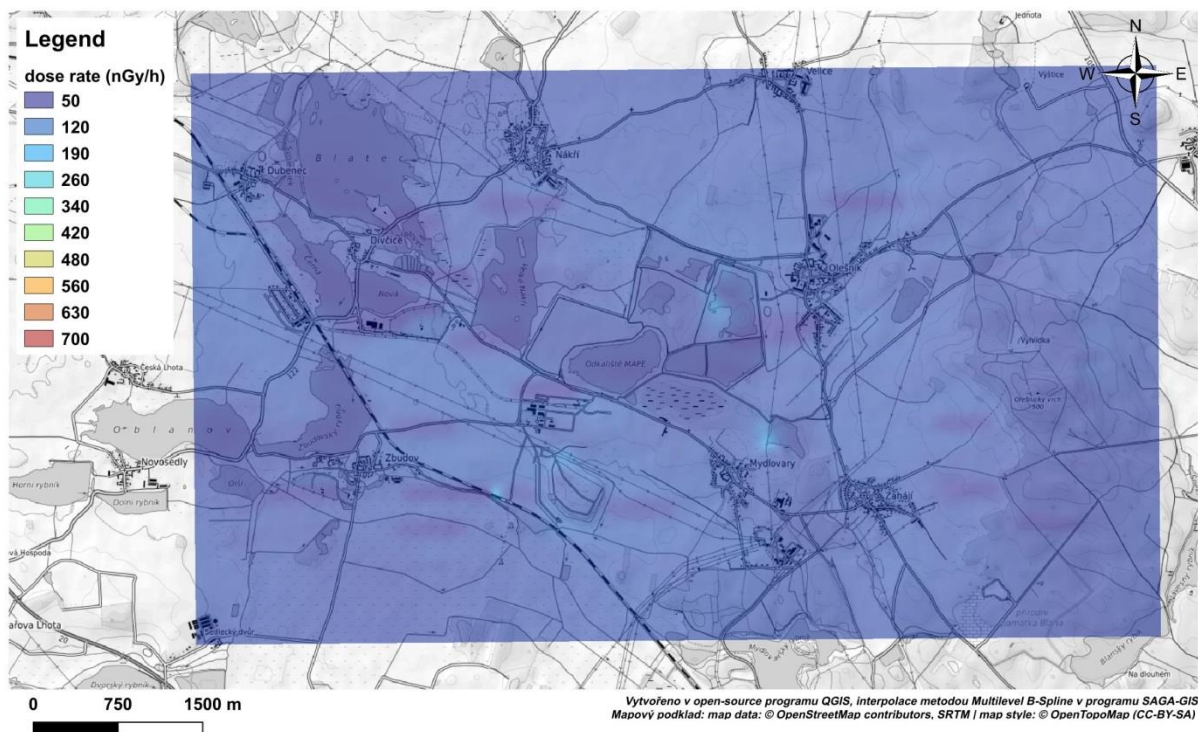
Obr. P 3.3 Rozložení dávkových příkonů přepočtených na 1 m nad zemí v oblasti MAPE; měření 2009



Obr. P 3.4 Rozložení dávkových příkonů přepočtených na 1 m nad zemí v oblasti MAPE; měření 2019



Obr. P 3.5 Interpolace dávkového příkonu záření gama z měření v roce 2009 (maximum 750 nSv/h)



Obr. P 3.6 Interpolace dávkového příkonu záření gama z měření v roce 2019 (maximum 180 nSv/h)



Obr. P 3.7 Rozdíl interpolovaných hodnot dávkového příkonu záření gama z 2009-2019

4.3.4. Závěr

Následující vizualizace bodových i interpolovaných dat dávkového příkonu názorně ukazují pokles hodnot u měření v roce 2019 proti datům z roku 2009. Dávkové příkony v oblasti odkališť poklesly na hodnoty obvyklé v ČR, sanaci došlo ke snížení místy až o 570 nSv/h (obr. P 3.10). Lze tedy konstatovat, že sanace byla úspěšná.

4.3.5. Literatura a odkazy

- [4.3.1.] MAPE – Wikipedie <https://cs.wikipedia.org/wiki/MAPE>
- [4.3.2.] Ing. Pavel Urban, Ing. Pavel Starý: Intenzifikace čištění odkalištních vod bývalé úpravny uranových rud MAPE Mydlovary; DIAMO, s.p., o.z. Správa uranových ložisek Příbram; dostupné online: https://slon.diamo.cz/hpvt/2004/Z/Z13_Urban.htm
- [4.3.3.] Ing. Josef Tomášek, CSc. a kol.: Likvidace uranové činnosti na CHÚ Mydlovary (pokračování sanací); DIAMO s.p. Stráž pod Ralskem, o.z. SUL Příbram; Mníšek pod Brdy, květen 2007
- [4.3.4.] Kód záměru: MZP171; Název záměru: Likvidace uranové činnosti na CHÚ Mydlovary; Znění novely zákona: č. 163/2006 Sb.
- [4.3.5.] https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_MZP171

- [4.3.6.] Brůček, P. a kol.: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2018, Příbram, 2018 (<https://www.diamo.cz/cs/sul>)
- [4.3.7.] Čermák, M., Bican, R.: Zpráva o vyhodnocení programu monitorování, veličin, parametrů a skutečností důležitých z hlediska radiační ochrany, o. z. SUL za rok 2018. Příbram, 2018 (<https://www.diamo.cz/cs/sul>)
- [4.3.8.] Lee, S., Wolberg, G., Shin, S.Y. (1997): Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines. IEEE Transactions On Visualisation And Computer Graphics, Vol.3, No.3., p.228-244.
- [4.3.9.] Helebrant, J., Ohera, M., Češpírová, I.: Porovnání leteckých gamaspektrometrických měření v lokalitě MAPE Mydlovary z let 2009 a 2019. Zpráva SÚRO 19/2019, Praha 2019

4.4. Příloha 4: Komplexní systém vyhodnocování naměřených dat (AGAMA)

Ohera, M., Češpírová, I.

4.4.1. Úvod

Nezbytnou součástí monitorování je i komplexní systém vyhodnocování a předávání dat (nejen) z leteckého systému IRIS, který je schopný data načíst, vyhodnotit, zakreslit do map a následně předat do příslušných databázových prostředků. K tomu byl v rámci výzkumu vypracován systém AGAMA (**A**irborne **GAM**maspectrometry **A**nalysis). Systém slouží k zobrazení a zpracování dat z letecké spektrometrie při havarijním monitorování. Důvodem vývoje bylo především zastaralé a nekomfortní prostředí doposud používaného softwaru pro vyhodnocení dat z letecké gamaspektrometrie PRAGA4. Nově vytvořený systém je víceúčelový a modulární, lze jej s výhodou použít jak pro vyhodnocení dat z leteckých gamaspektrometrů, tak dat z jiných typů detektorů (plastové detektory) a detektorů na bezpilotních prostředcích (dronech). Pokud jsou vstupní data v dále uvedených formátech, lze využít pro přepočítání dávkových příkonů v 1 m nad zemí i u jednoduchých přístrojů jako jsou Safecast a MobDose. Vývoj programu navazuje na některé výpočty a funkce programu PRAGA4, které byly na základě praxe upraveny, rozšířeny a doplněny tak, aby byly vhodné a účelné pro havarijní monitorování.

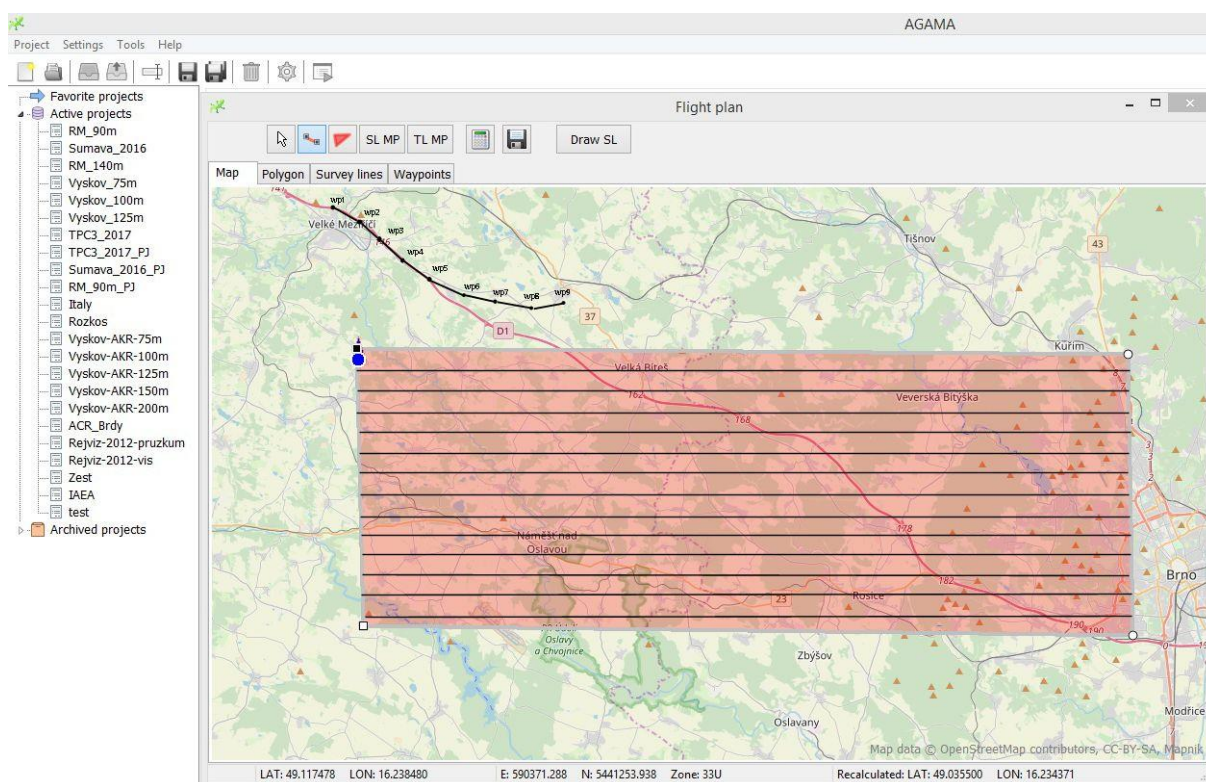
Software AGAMA je vyvíjen pro OS Windows 7 nebo vyšší (64-bit) v programovacím jazyku Delphi. Je vyvíjen v programu RadStudio. Program využívá dynamickou knihovnu (dll) obsahující funkce pro práci s maticemi odezev, dále funkce pro zpracování dat metodou oken (WND), metodou nejmenších čtverců (LSQ) a metodou nejmenších čtverců s nezápornými regresními koeficienty (NN-LSQ). Tato knihovna je napsaná v jazyce C++ v 64bitové verzi.

Software AGAMA plní základní úkoly:

1. *Vytvoření nového projektu pro letecké monitorování*
2. *Vyhodnocení dat z leteckého monitorování*
3. *Zobrazení vstupních/výstupních dat na volně dostupných mapách nebo grafech*
4. *Výstupy dat do různých typů souborů (PEI, ASCII, ERS 1.0 a 2.0, ANSI N.42, KML/KMZ)*
5. *Prohlížení dat výše uvedených souborů*

4.4.2. Vytvoření projektu pro letecké monitorování

Při přípravě nového projektu pro letecké monitorování se vytváří v programu AGAMA podle požadavků aktuální situace polygon na georeferencované mapě s letovými linkami s příslušným rozestupem (tzv. spacing) mezi linkami. Projekt je po vytvoření v programu AGAMA vložen do programu na leteckém spektrometru IRIS a piloti jsou prostřednictvím jednotky zobrazovací jednotky (PGU) v kokpitu podle tohoto projektu navigováni na jednotlivé linky. Následující obrázek P 4.1 ukazuje příklad projektu s polygonem se 14 hlavními (survey) linkami v severní oblasti od JE Dukovany vytvořený v programu AGAMA a zájmovými body (waypoints; wp1 až wp9) sledující z větší části dálnici D1.



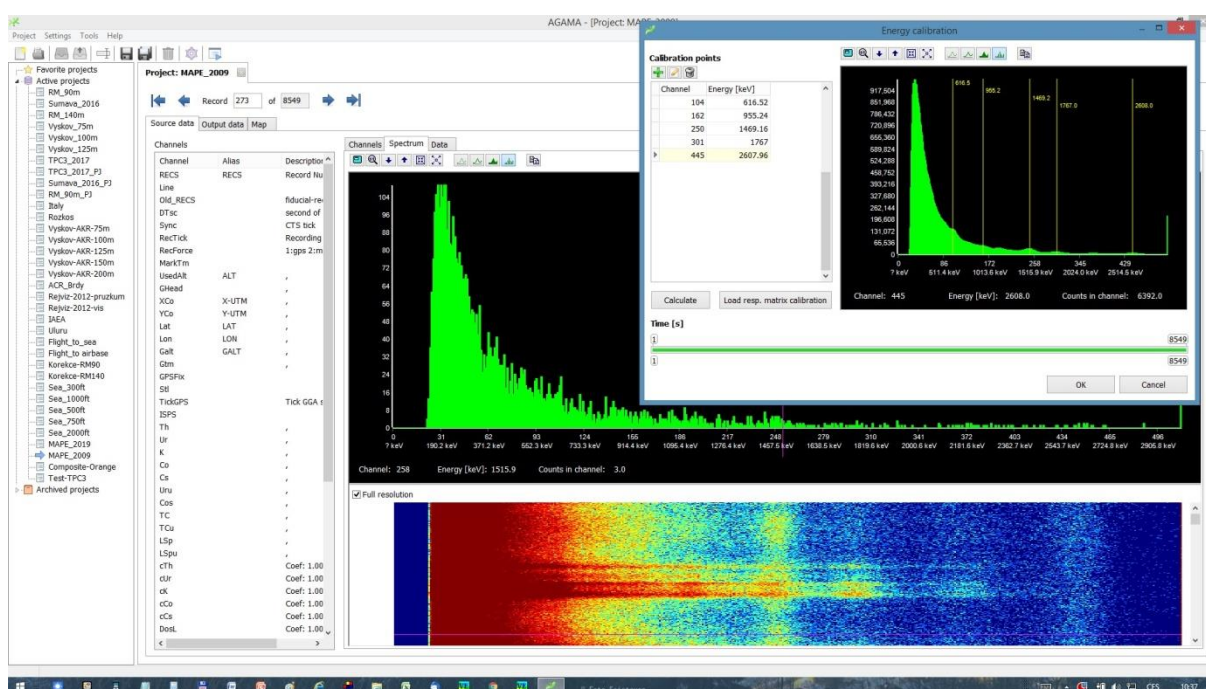
Obr. P 4.1 Vytvoření projektů v programu AGAMA - 1) polygon s linkami, 2) vyhledávání na lince specifikované body (waypoints)

4.4.3. Vyhodnocení dat z leteckého monitorování

Během leteckého průzkumu jsou veškeré parametry (nadmořská výška, letová výška, geografické souřadnice GPS, spektra, atd.) v 1 sekundových intervalech ukládány do souboru PEI. Program AGAMA umožňuje vyhodnotit naměřená data různými metodami. Po načtení

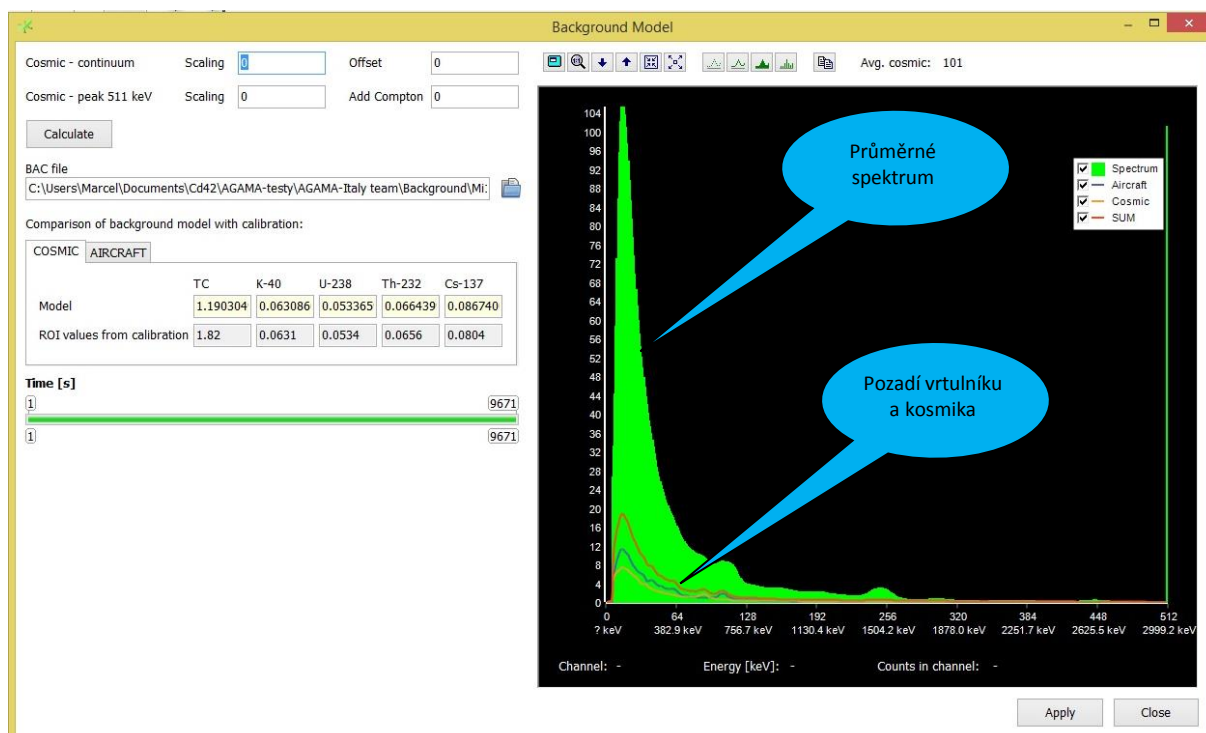
projektu v programu AGAMA jsou zobrazena jednotlivá sekundová spektra klasickou formou nebo tzv. zobrazením „waterfall“ pro rychlou identifikaci „hot spots“, viz obr. P 4.2. Jako první krok se rovněž provádí energetická kalibrace a transformace spekter, horní pravá obrazovka v obr. P 4.2.

Protože data jsou měřena obvykle ve vrtulníku, jsou měření ovlivněna příspěvkem radioaktivity z vrtulníku a jeho posádky a rovněž příspěvkem kosmického záření fotonů. Po naměření spekter ve výškách 2000 až 3000 m je program AGAMA schopen vypočítat příspěvky záření z vrtulníku a kosmického záření gama, viz obr. P 4.3.



Obr. P 4.2 Hlavní obrazovka programu AGAMA se vstupními daty, spektrem, energetickou kalibrací a spektrem typu „waterfall“

AGAMA umožňuje ze spekter naměřených spektrometrem IRIS obvykle v letových výškách 50 až 200 m nad zemí vypočítat aktivity přírodních nuklidů v Bq/kg a umělých radionuklidů v kBq/m² obsažených v půdě a stanovit dávkové příkony ve vzduchu v 1 m nad zemí v nGy/h. Jsou použity následující metody:



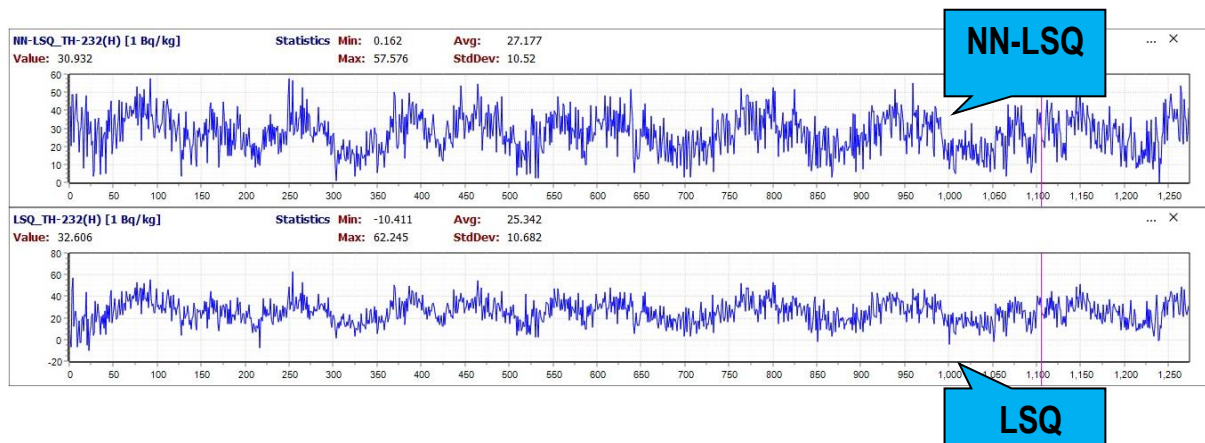
Obr. P 4.3 Průměrné spektrum, zobrazení průměrného pozadí vrtulníku a kosmického záření gama

Rozšířena metoda oken (WND) umožňuje stanovit aktivity přírodních nuklidů ^{40}K , prvků uranové, thoriové řady v Bq/kg a ^{137}Cs v kBq/m² využitím citlivostí v oknech (ROI) a použitím stripping faktorů stanovených na kalibračních deskách a simulací Monte Carlo.

Metoda nejmenších čtverců (LSQ) umožňuje na základě matic odezev vypočtených metodou simulace Monte Carlo stanovit hmotnostní aktivity přírodních nuklidů K, U, Th a plošné aktivity umělých nuklidů Cs-137, Cs-134, Ru-103 a I-131 (do letových výšek 500 m v případě havarijního monitorování). Podle potřeby lze rozšířit matice odezev i pro další umělé nuklidy.

Metoda nejmenších čtverců s nezápornými regresními koeficienty (NN-LSQ) provádí výpočet reflektující fyzikální základy problému – nemůže existovat radionuklid se zápornou aktivitou.

Rozdíly mezi vypočtenými hodnotami metodami LSQ a NN-LSQ jsou uvedeny na následujícím obrázku P 4.4, který je jednou z grafických možností zobrazení dat v programu AGAMA.



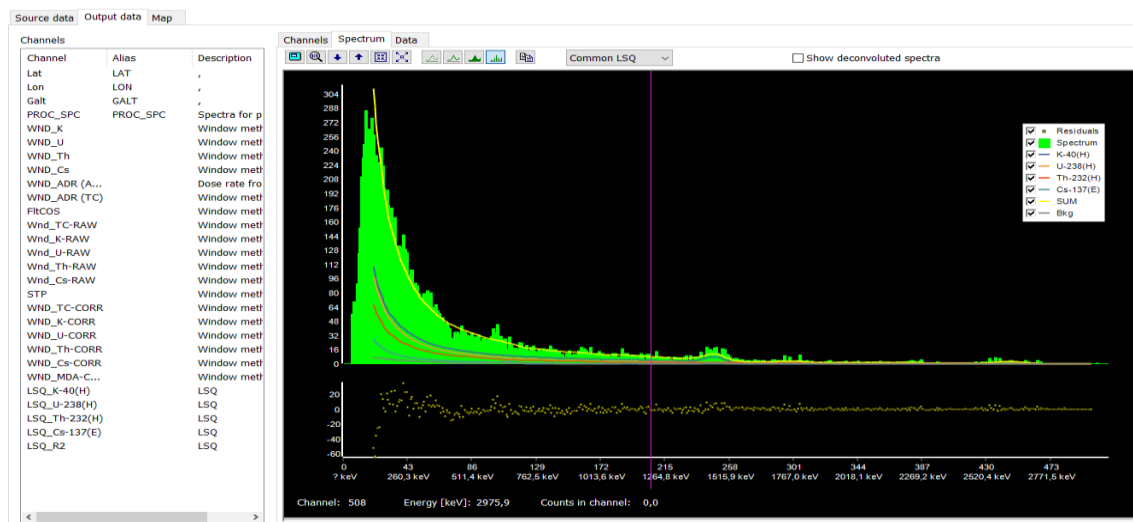
Obr. P 4.4 Časový průběh vyhodnocených dat hmotnostních aktivit metodou LSQ a NN-LSQ thoriové řady

Dávkový příkon v 1 m nad zemí vypočtený z aktivit stanovených metodou oken (WND) Na základě vypočtených aktivit rozšířenou metodou oken (WND) je stanoven dávkový příkon ve výšce 1 m nad zemí (nGy/h). Metoda bere v úvahu pouze příspěvky přírodních nuklidů a ^{137}Cs s plošnou distribucí.

Dávkový příkon v 1 m nad zemí vypočtený z celého spektra v rozsahu cca od 100 keV do 3 MeV Tato metoda počítá lokální dávkový příkon na palubě vrtulníku v nGy/h a přepočítává jej na dávkový příkon ve výšce 1 m nad zemí. Protože výpočet je proveden z celého spektra, vypočtená hodnota dávkového příkonu zahrnuje i příspěvky dalších nuklidů ze spektra, pokud se ve spektru vyskytují.

Výpočet minimálních významných (MVA) a minimálních detekovatelných aktivit (MDA) Program AGAMA vypočítává minimální významné a detekovatelné aktivity nuklidů. Pro výpočet jsou použity 2 metody výpočtu, Currieho metoda a nový přístup podle doporučení ISO-IEC 11929-2010 [4.4.1].

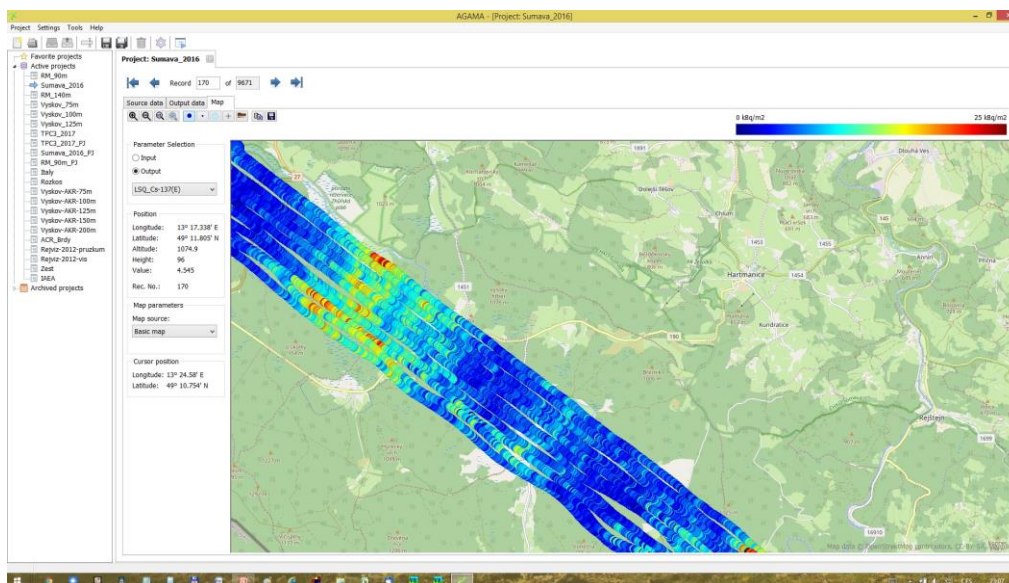
Následující obr. P 4.5 ukazuje výstupní obrazovku po zpracování dat z leteckého měření spektrometrem IRIS včetně nabídky všech vyhodnocených parametrů v levém sloupci a zobrazení příspěvků jednotlivých nuklidů do spektra včetně pozadí na základě matic odezev. Kliknutím např. na parametr LSQ_TH232(H) se zobrazí spodní graf v obr. P 4.4.



Obr. P 4.5 Nabídka vyhodnocených parametrů, zobrazení jednotlivých spekter a simulace příspěvků jednotlivých nuklidů a pozadí ve spektru

4.4.4. Zobrazení vstupních/výstupních dat

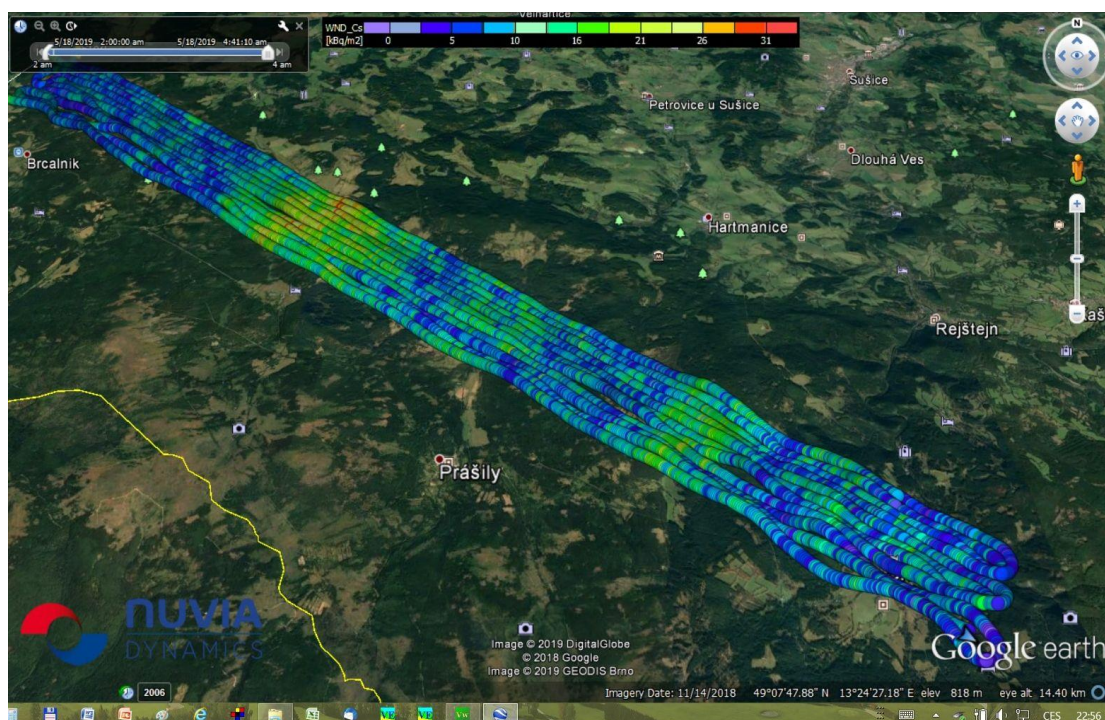
Veškerá výstupní data lze zobrazit formou grafu, viz obr. P 4.4, na vybraných úsecích grafů provádět výpočty (stanovení střední hodnoty, směrodatné odchylky, max, min). Další formou je zobrazení jednotlivých datových výstupů na volně dostupných mapách. Příklad je uveden na obr. P 4.6, kde jsou zobrazena data plošné aktivity ^{137}Cs exponenciálně distribuované v půdě v oblasti Šumavy.



Obr. P 4.6 Zobrazení vyhodnocených dat plošné aktivity ^{137}Cs s exponenciální distribucí z leteckého průzkumu ve volně dostupné mapě v programu AGAMA

4.4.5. Výstupy dat do různých typů souborů

Program AGAMA je koncipován jako víceúčelový program, což umožňuje vytváření výstupních souborů v různých formátech (PEI, ASCII, ERS 1.0 a 2.0, ANSI N.42, KML/KMZ, MonRaS). Jako základní formát je doposud používán binární soubor PEI, rovněž lze ukládat data do formátu ERS1.0 a 2.0, který používají letecké monitorovací skupiny v Evropě k zajištění vzájemné spolupráce. Dále lze používat pro ukládání formát ANSI N.42, vybrané parametry lze převádět do systému MonRaS. Soubor KML/KMZ zase umožňuje přímé zobrazení dat na Google Earth, příklad zobrazení leteckého průzkumu je na obr. P 4.7.



P 4.7 Zobrazení vyhodnocených dat plošné aktivity ^{137}Cs z leteckého průzkumu v Google Earth

4.4.6. Prohlížení dat výše uvedených souborů

Vyhodnocené soubory dat lze zpětně otevřít v programu AGAMA a provádět nové vyhodnocení se změněnými parametry a provádět veškeré výše popsané kroky.

4.4.7. Závěr

Byl vypracován komplexní systém pro vyhodnocování leteckých a pozemních dat naměřených pomocí spektrometrického systému IRIS. Vyhodnocená data bude dále možno načíst přímo do datového systému MonRaS tak, aby byl v reálném čase k dispozici krizovému

managementu. Systém je koncipovaný tak, aby bylo možné k němu přidávat další detektory (scintilační i polovodičové) a taktéž měnit geometrie měření jednotlivými detektory. Výhodou je i možnost různých vstupů a výstupů dat, ať už zobrazených přímo v mapách (dávkové příkony, aktivity vybraných umělých i přírodních radionuklidů), tak i ve formátech, které lze využít v rámci mezinárodní spolupráce v EU a ve světě (datový formát ERS). Systém byl s velkým úspěchem představen na „International Meeting on Airborne Gamma-ray Spectrometric Software“ v Praze [4.4.2].

4.4.8. Literatura a odkazy:

- [4.4.1] ISO-IEC 11929-2010: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application
- [4.4.2] International Meeting on Airborne Gamma-ray Spectrometric Software
<https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/strategie-rizeni-napravy-uzemi-po-radiacni-havarii/international-meeting-on-airborne/international-meeting-on-airborne-gamma-ray-spectrometric-software>

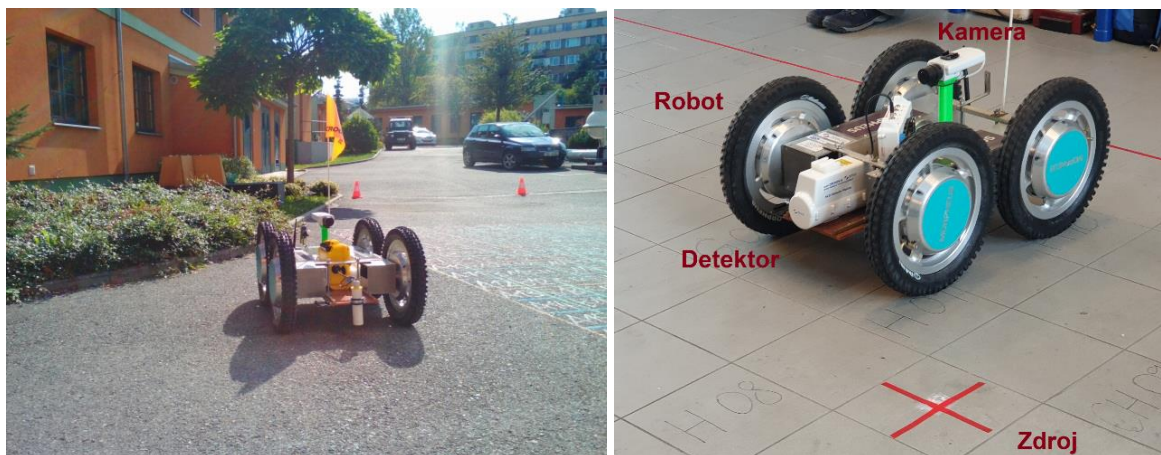
4.5. Příloha 5: Měření s robotem

Selivanová, A., Češpírová, I., Drahekoupil, M., Šik, V., Helebrant, J., Gryc, L.

4.5.1. Úvod

Při monitorování havárie jaderné elektrárny ve Fukushima byly s úspěchem využity i dálkově ovládané roboty, jež byly osazeny přístroji pro detekci dávkových příkonů. Na základě této zkušenosti bylo i v ČR testováno možné využití robota při monitorování zvýšených hodnot dávkových příkonů. Testy proběhly se dvěma typy – první typ detektoru byl vyvinut v SÚRO v rámci výzkumného úkolu MOSTAR [4.5.1] a druhý detektor NaI Drones-G NUVIA [4.5.2] se spektrometrickými vlastnostmi.

Pro testy byl v SÚRO zakoupen a využit robot Morpheus, vyvinutý ve Vysokém učení technickém v Brně v rámci vědecko-výzkumného centra CEITEC (Středoevropský technologický institut). Robot byl navržen především pro průzkum oblastí člověku nebezpečných nebo nedostupných – mezi jiným k měření radiace [4.5.3].

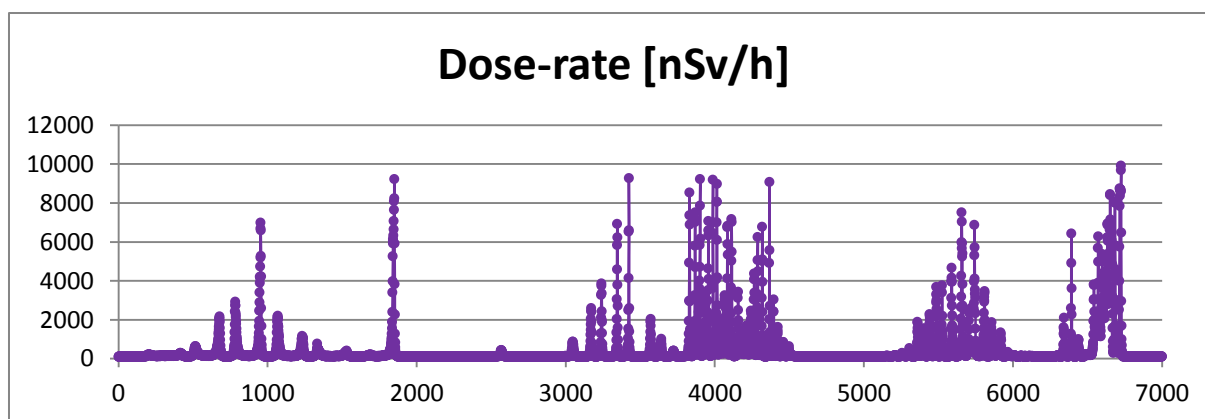


Obr. P 5.1 Pokusný robot Morpheus

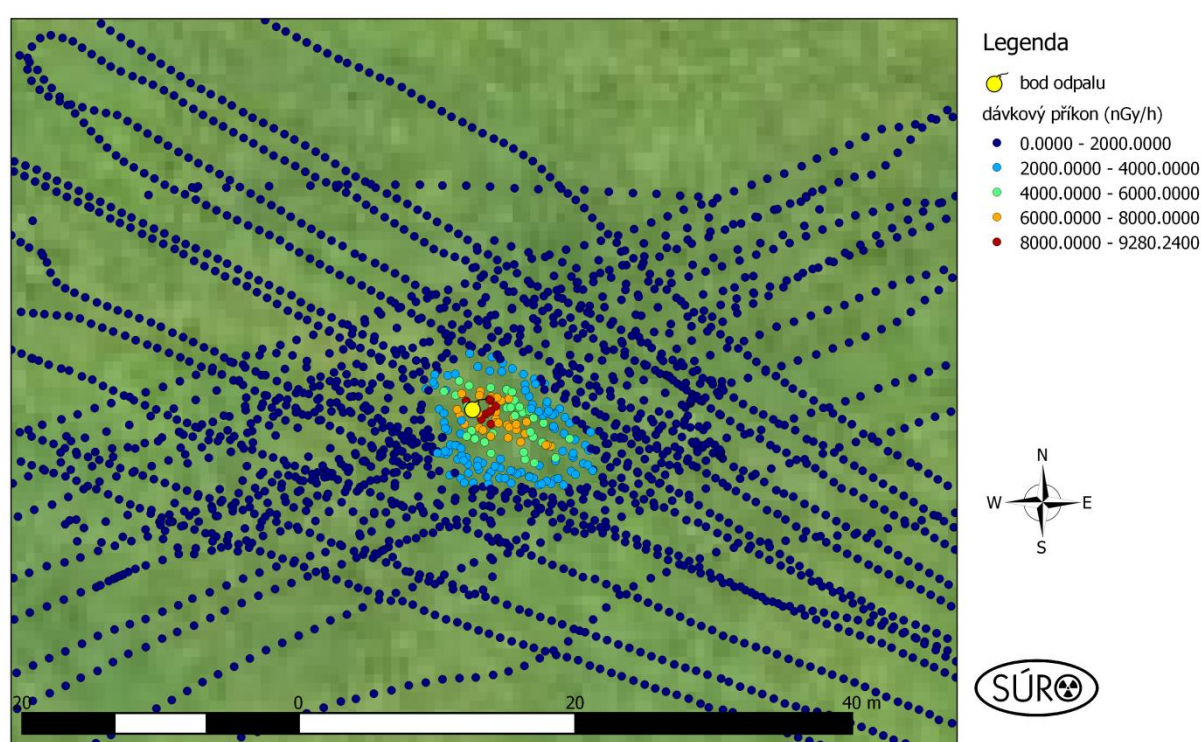
4.5.2. Měření ve vojenském výcvikovém prostoru Boletice

Jako první pokus proběhla měření ve vojenském výcvikovém prostoru v Boleticích [4.5.4]. Byl zde rozptýlen radionuklid ^{140}La o aktivitě 713 MBq (radionuklid ^{140}La byl vybrán vzhledem k jeho krátkému poločasu – 1.7 dne). Jednalo se o jednoduchý terén - relativně rovná louka bez větších terénních nerovností. Úkolem robota bylo libovolným způsobem projet louku a zmapovat dávkové příkony. Robot byl ručně navigován, záznam naměřených hodnot a souřadnic měřících bodů probíhal v intervalu 1 s.

Obrázek P 5.2 ukazuje průběh měření dávkového příkonu za jízdy robotu, na obrázku P 5.3 je již mapa rozložení dávkového příkonu na louce.



Obr. P 5.2 Časový průběh dávkového příkonu za jízdy robotu; [T] = s

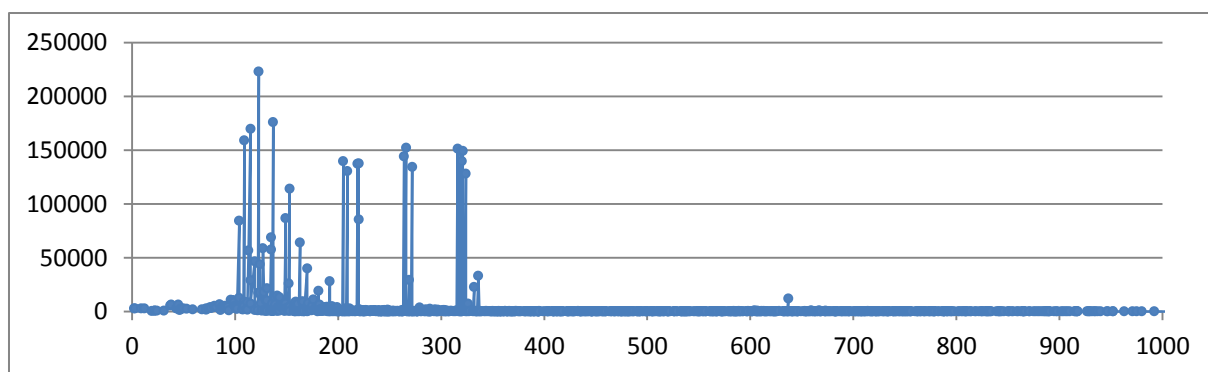


Obr. P 5.3 Výsledná mapa dávkových příkonů

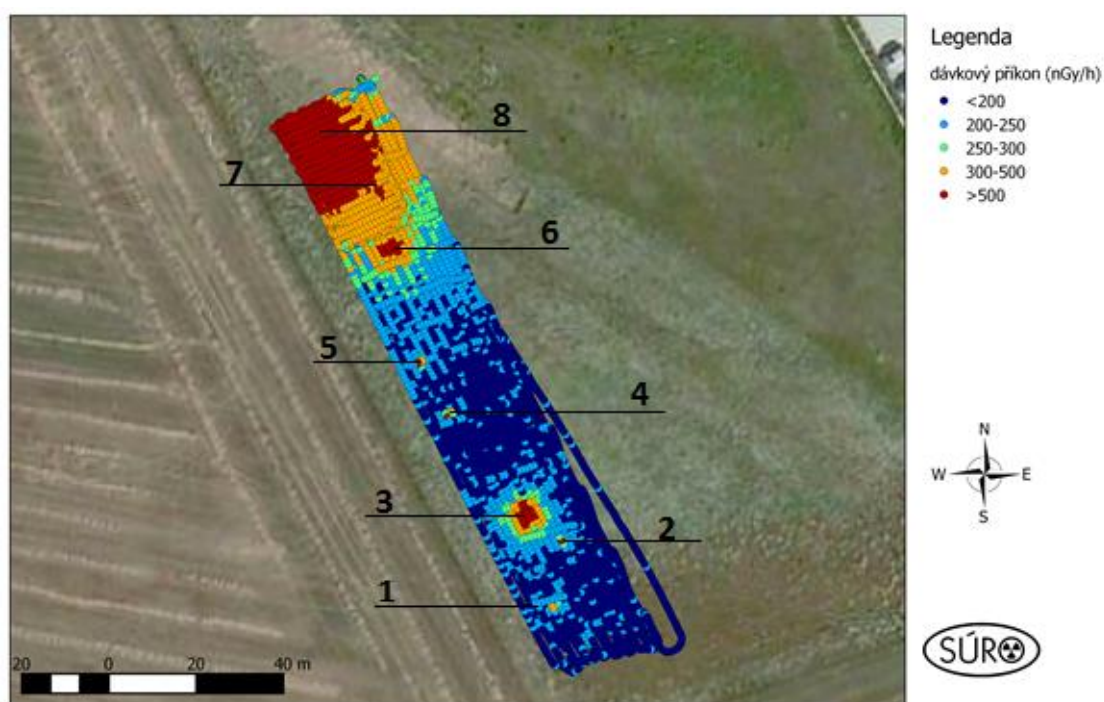
4.5.3. Měření „hot-spotů“

V dalším testu bylo úkolem nalézt „ztracené“ zářiče („hot-spoty“) na volném prostoru. Jednalo se opět o rovnou louku, kde byly náhodně umístěny zářiče ^{137}Cs (100 - 500kBq) a ^{226}Ra (3 - 180 MBq). Robot projížděl louku po rovnoběžných linkách za současného měření dávkových příkonů a souřadnic v intervalu 1 s.

Výsledky měření jsou znázorněny v obrázcích P 5.4 a P 5.5. Tabulka P 5.1 udává porovnání naměřených dávkových příkonů způsobených zdroji a vypočtených dávkových příkonů ze znalosti aktivit z příslušných certifikátů.



Obr. P 5.4 Průběh dávkových příkonů v závislosti na čase; [T] = s



Obr. P 5.5 Výsledná mapa rozložení dávkových příkonů na monitorovaném polygonu. Detektor byl umístěn 25 cm nad zemí.

Tab. P 5.1 Tabulka porovnání naměřených dávkových příkonů způsobených zdroji a vypočtených dávkových příkonů ze znalosti aktivit z příslušných certifikátů

Radionuklid	D [mikroGy/h]		poměr výpočet/měřeno	Bod na mapě
	výpočet	měřeno		
Cs-137	0,9	0,6	1,50	1
Cs-137	1,2	1,1	1,09	2
Ra-226	31,6	23,9	1,32	3
Cs-137	1,2	1,0	1,25	4
Cs-137	1,2	1,2	1,00	5
Cs-137	1,5	3,9	0,38	6
Cs-137	0,9	1,3	0,69	7
Ra-226	620,0	459,9	1,35	8

Nalezené hodnoty jsou ve velice dobrém souhlasu, rozdíly jsou dány vzdáleností linky, po které jel robot, od zdroje a nezanedbatelné je jistě i stínění robotu. Dávkové příkony v bodech 6 a 7 jsou ovlivněny blízkostí zdroje v bodě 8.

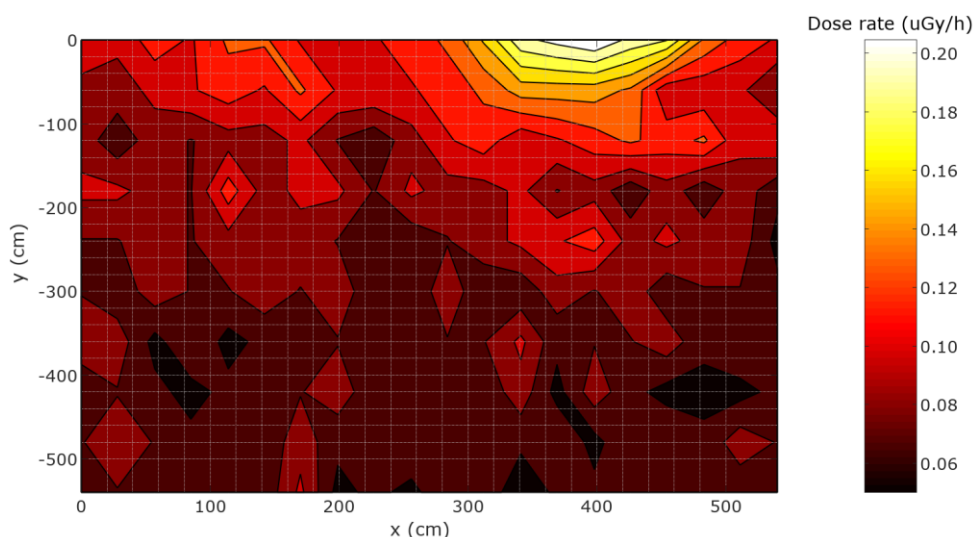
4.5.4. Vyhledávání „hot-spotů“ v místnosti

V budově (SÚRO - garáž) byly vytvořeny podmínky, jež lze očekávat při dohledání ztraceného zdroje nebo během monitorování v kontaminovaných budovách. Byla ověřena možnost použití robotu Morpheus [4.5.4] řízeného pomocí kamery.

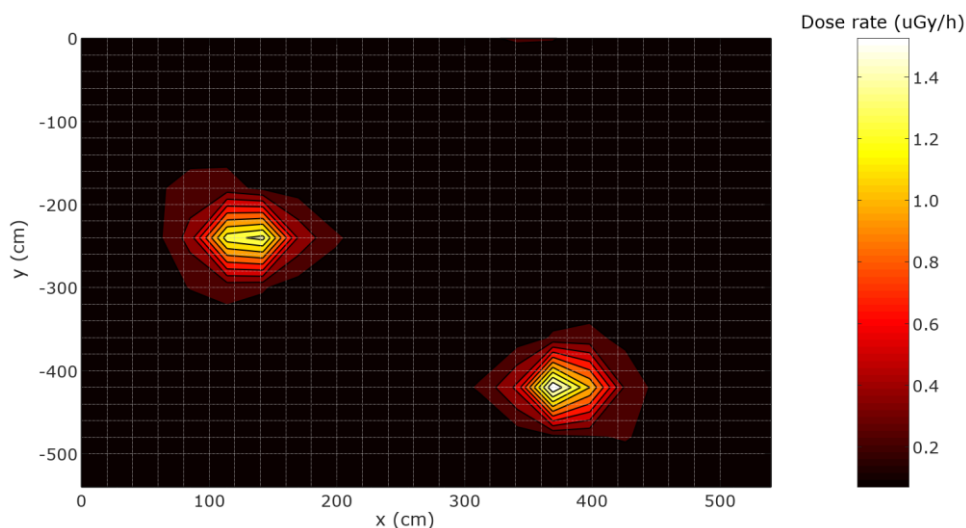
Detektor Drones-G byl upevněn na robotu, pohyb robotu byl po rovnoběžných linkách s rozestupy 60 cm, měřená plocha byla 540 cm × 540 cm a rychlost pohybu robotu činila cca 28 cm/s. Každou sekundu byly nahrávány dávkové příkony a spektra pro pozdější kvalitativní vyhodnocení.

Nejprve byly zmapovány pozadové dávkové příkony v garáži (pro případný pozdější odhad aktivity zdrojů/hot-spotů), následně byly realizovány dvě série měření se „ztracenými“ bodovými zdroji. V první sérii byly použity dva zdroje ^{137}Cs (aktivita cca 789 kBq, resp. 802 kBq). Ve druhé sérii byl navíc přidán zdroj ^{60}Co (aktivita cca 480 kBq).

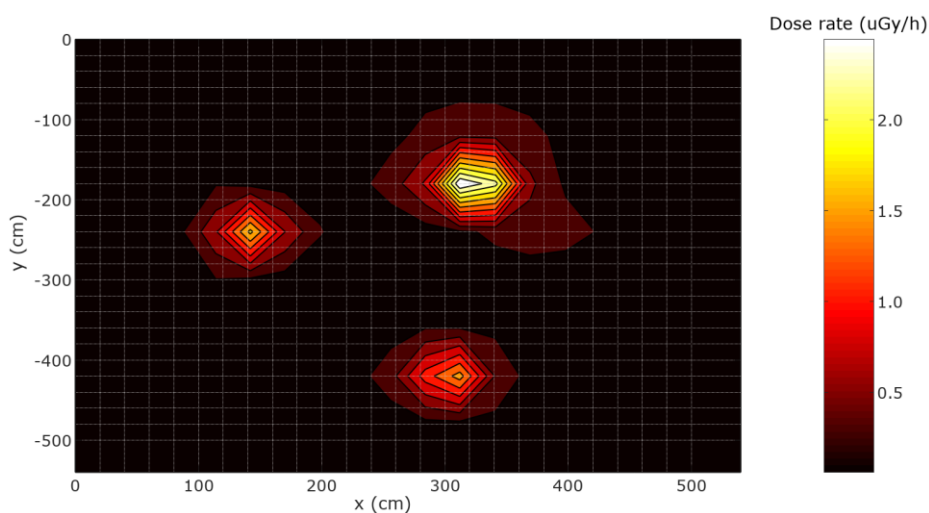
Výsledky měření jsou zobrazeny na obrázcích P 5.6 - P 5.8 - rozložení dávkových příkonů v garáži – pozadí, za přítomnosti dvou zdrojů ionizujícího záření (^{137}Cs) a dalšího přidaného zdroje (^{60}Co).



Obr. P 5.6 Mapa rozložení dávkových příkonů v garáži – pozadí – oproti dalším obrázkům jsou zde hodnoty uváděny v [nGy/h] z důvodu lepšího vykreslení i malých rozdílů



Obr. P 5.7 Mapa rozložení dávkových příkonů [mikroGy/h] v garáži při testu se dvěma bodovými zdroji



Obr. P 5.7 Mapa rozložení dávkových příkonů [mikroGy/h] v garáži při testu se třemi bodovými zdroji

4.5.5. Závěr

Z výše uvedených obrázků je zřejmé, že při dohledávání bodových zdrojů/hot-spotů je kombinace detektoru a robota úspěšná. Nezanedbatelnou roli zde hraje navigace robota, tj. dosah navigačního signálu (problém obzvláště v budovách) a taktéž způsob přesného určení místa jednotlivých měření (v budovách pomocí kamer a ve volném terénu pomocí přesné navigace). Během testů byla nalezena místa s vyššími příkony – jak v případě měření pozadí, tak i při dohledání zdrojů samotných. Při měřeních s několika bodovými zdroji byly až na výjimky hot-spoty od sebe ve většině případů jasně odlišeny, pouze v případě, kdy zdroj byl natolik silný, že zasahoval až k menším zdrojům, nebylo rozlišení možné (obr. P 5.5).

Nejistota lokalizace polohy zdrojů nebyla větší než 20 cm ve směru pohybu, a to nejspíše v důsledku uměle odhadovaných údajů o poloze a částečnému odstínění záření konstrukcí robotu (geometrii měření lze však přizpůsobit na míru).

4.5.6. Literatura a odkazy

- [4.5.1] Mobilní a stacionární radiační monitorovací systémy nové generace pro radiační monitorovací síť (MOSTAR) (VG20122015083). Dostupné z:
<https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/mobilni-a-stacionarni-radiacni-monitorovaci-systemy-nove-generace-pro-radiacni-monitorovaci-site-mostar>
- [4.5.2] ŽALUD, Luděk. MORPHEUS. *Ludek Zalud: Personal webpHERAS*. 2014 [2019-11-14]. Dostupné z: <http://www.ludekzalud.cz/morpheus/>
- [4.5.3] NUVIA A.S. DRONES-G – nový produkt NUVIA a.s. *NUVIA*. 2018 [2019-11-14]. Dostupné z: <https://nuvia.cz/cs/aktuality/437-drones-g---novy-produkt-nuvia-a.s>.
- [4.5.4] Petr Kuča a kolektiv SÚRO: Terénní experimenty zaměřené na studium šíření radioaktivních látek v prostředí. 36. DRO; 10.-14.11.2014; Poprad, Slovensko
- [4.5.5] RICHARDS, S., M.A. BAKER, M.D. WILSON, A. LOHSTROH a P. SELLER. Femtosecond laser ablation of cadmium tungstate for scintillator arrays. *Optics and Lasers in Engineering*. 2016, **83**, 116-125 [2019-11-14]. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2016.03.004. ISSN 01438166. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143816616000695>
- [4.5.6] Selivanová, A., Šik, V., Drahokoupil, M., Helebrant, M.: Testy detektoru Drones-G NUVIA pomocí pojízdného robotu Morpheus. Vnitřní zpráva SÚRO 14/2019; Praha, 2019

4.6. Příloha 6: Měření s dronem

Gryc, L.

4.6.1. Úvod

Použití bezpilotního prostředku z hlediska radiační ochrany je jednou z možných cest jak získat relevantní data o daném místě. Z důvodů rozšíření detekčních možností a arzenálu schopností pořídilo v minulosti SÚRO i bezpilotní letecký prostředek (UAV) českého výrobce. UAV Kingfisher vyrobila společnost Robodrone Industries, s.r.o. Jedná se o víceúčelový hexacopter (šest vrtulí), který svým rozměrem více než 1 metr v průměru a hmotností patří do kategorie pro UAV > 7 kg. V ní je při užitné zátěži schopen nést kameru na kardanovém závěsu nebo různé senzory jako i NaI(Tl) detektor od společnosti NUVIA, a.s. tzv. Drones-G [4.6.1]. Přístroj, s krystalem NaI(Tl) o rozměru 2“x 2“, elektronikou a základním GM modulem lze využívat k měření ionizujícího záření nejen pro informaci o dávkových příkonech, ale i s využitím spektrometrických vlastností krystalu.



Obr. P 6.1 Dron Kingfisher společnosti Robodrone Industries, s.r.o.

Drones-G je modulární detekční systém pro monitorování radiační situace s využitím bezpilotních prostředků. Tento systém je zcela nezávislý na vlastním nosiči a umožňuje aplikaci různých detekčních modulů v závislosti na plněném úkolu.



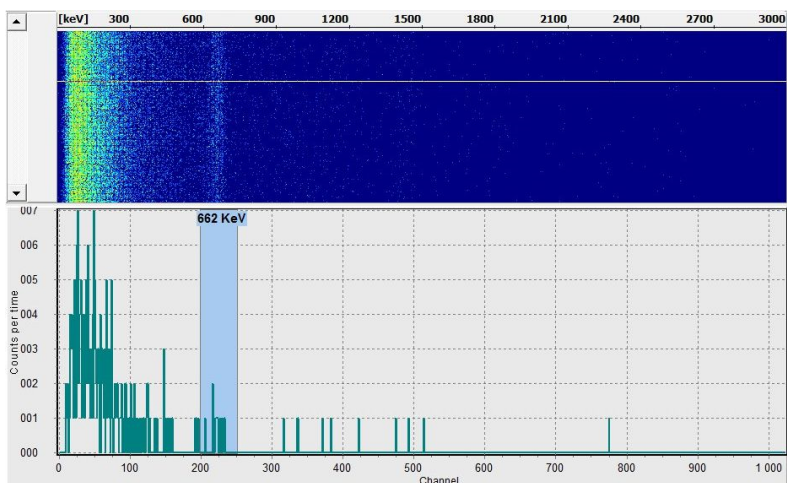
Obr. P 6.2 monitorovací systém Drones – G firmy NUVIA a.s.

Veškerá měřená data jsou synchronizována s GPS pozicí a časem a jsou přenášena přes RF Data Link k pozemní stanici. Ta umožňuje nastavení systému a vizualizaci dat v reálném čase měření. Data jsou zároveň ukládána v základním GM modulu na SD kartu. Interní baterie umožňuje nezávislé provozování modulárního systému po dobu až 4 hodiny.

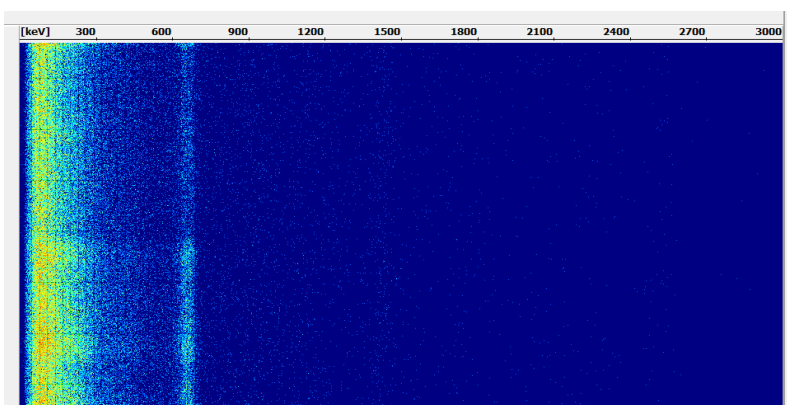
K tomu, aby bylo možné UAV s detekčním přístrojem v případě potřeby použít, je nutné provést kalibrační a následně i ověřovací měření s reálným zdrojem záření.

4.6.2. Měření nad zdroji záření

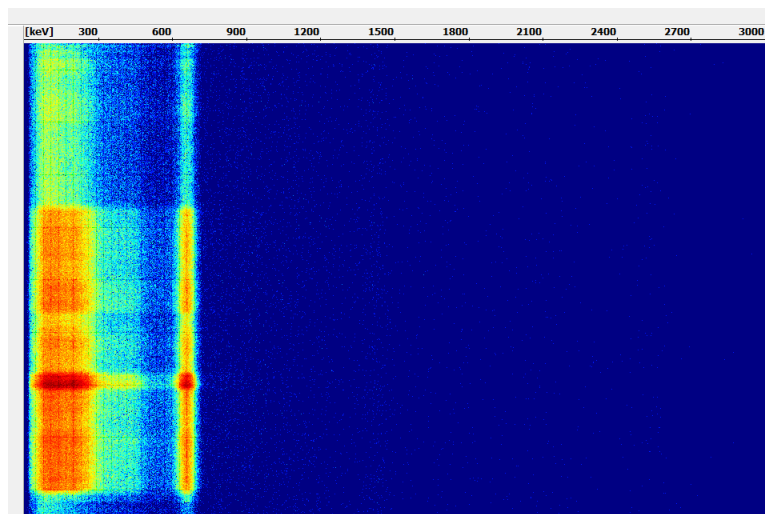
Měřením nad zdroji gama záření byla otestována citlivost přístroje. Byly použity dva radionuklidy a to ^{137}Cs (aktuální aktivita 349.3 MBq k datu měření) a ^{60}Co (aktuální aktivita 109.5 MBq k datu měření). Zdroje byly použity postupně a testovala se odezva přístroje v různých letových hladinách. Na obrázcích P 6.3 - P 6.6 jsou zobrazeny časové průběhy spekter v módu waterfall. (Waterfall – osa X zobrazuje energii fotonů v keV, osa Y zobrazuje čas; řádek ve waterfall reprezentuje jedno spektrum s integrační dobou 1 s, různé počty impulsů jsou zobrazeny barevnou škálou od modré přes zelenou, žlutou, červenou až po černou). Na nich lze vidět zřetelný rozdíl v odezvě při různých letových hladinách. V prvním případě, tzn. se zdrojem ^{137}Cs jsou výšky následující: 30m a 20m nad zdrojem (obrázek P 6.3) a dále 10m, 5m a 3m (obrázek P 6.4). Ve druhém případě, tzn. se zdrojem ^{60}Co jsou úrovně následující: výška nad zdrojem 30m a 20m (obrázek P 6.5) a dále 10m, 5m (obrázek P 6.6).



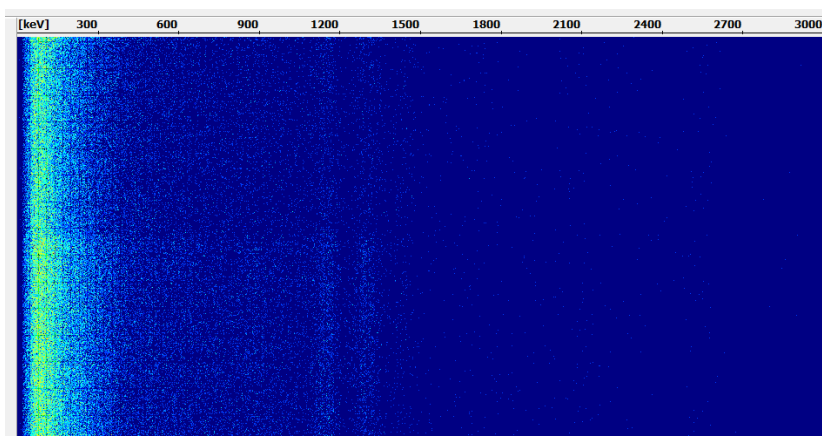
Obr. P 6.3 Reprezentativní ukázka a waterfall (horní část) a1s spektra (spodní část). Světle modrý pruh (označovaný ROI – region of interest) ve spodní části zobrazuje interval pro oblast píku o energii 662 keV.



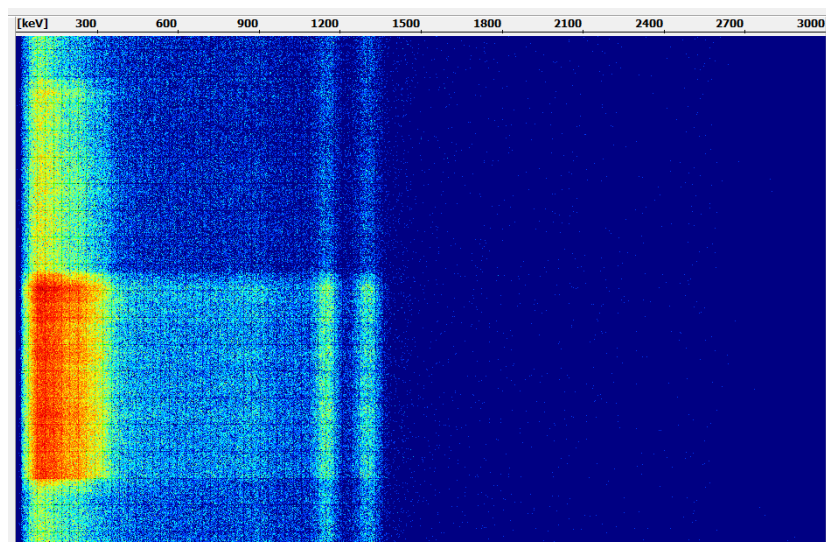
Obr. P 6.4 Waterfall – let nad Cs-137 – letová výška cca 30 m (horní část) a 20 m (spodní část).



Obr. P 6.5 Waterfall – let nad Cs-137 – letová výška cca 10 m (horní část) a 5 m (spodní část). Oblast výraznější červené odpovídá letové výšce 3 m.



Obr. P 6.6 Waterfall – let nad Co-60 – letová výška cca 30 m (horní část) a 20 m (spodní část).

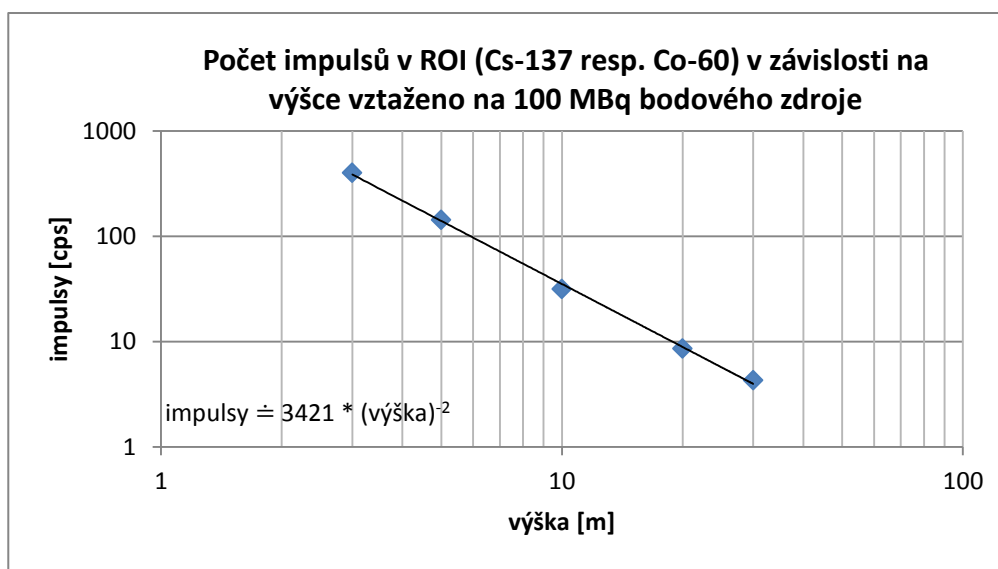


Obr. P 6.7 Waterfall – let nad Co-60 – letová výška cca 10 m (horní část) a 5 m (spodní část).

Z výše uvedeného lze vytvořit graf (obrázek P 6.8), resp. rovnici pro odhad aktivity bodového zdroje v závislosti na výšce letu.

$$\text{Aktivita [MBq]} = \frac{ROI}{3421} * (\text{výška})^2 * 100,$$

kde ROI je počet impulsů v zájmové oblasti.



Obr. P 6.8 Graf závislosti odezvy detektoru na výšce

Tab. P 6.1 ROI (region of interest; počet impulsů v zájmové oblasti) používané pro rychlý odhad množství radionuklidů pro přístroj DRONES-G

Nuklid	Energie [keV]	ROI [kanál]
Cs-137	662	200 – 252
Co-60	1170	364 – 434
K-40	1460	459 – 537
Bi-214 (uranium)	1765	559 – 644
Tl-208 (thorium)	2614	840 – 943

4.6.3. Měření intravilánu

Jedním z možných použití bezpilotních prostředků je screening v zastavěné oblasti, která již neslouží svému účelu, jako jsou např. opuštěné tovární haly apod. Jednou z takových oblastí je bývalá slévárna v Liberci. Budovy a haly mají špatnou statiku a jsou tak z bezpečnostních důvodů nevhodné a často i nepřístupné pro pěší průzkum. Bylo proto využito bezpilotního prostředku k průzkumu zmíněné oblasti za účelem zjištění radiačního pole v okolí pro případ, zda se tam nevyskytuje nějaký opuštěný zdroj. Naměřené hodnoty dávkového příkonu nad bývalou slévárnou jsou zobrazeny na obrázku P 6.9.

4.6.4. Závěr

Měření v intravilánu demonstrovalo možnost využití bezpilotního leteckého prostředku ve špatně přístupných oblastech, které mohou vzniknout např. při přírodní

katastrofě (záplavy, orkán, sesuvy a zavalí půdy, ...) a zmapovat tak i obydlené oblasti, do kterých se předpokládá návrat obyvatelstva, či lidské činnosti.

Lety nad zdroji ionizujícího záření ukázaly rozdíly jak v odezvě nad jednotlivými zdroji, tak rozdíly v různých letových hladinách. Díky relativně jednoduchému vztahu mezi výškou a odezvou detektoru lze odhadnout aktivitu uzavřeného bodového zdroje.

Výše zmíněné schopnosti UAV a vlastnosti použitého detektoru mohou přispět k řešení mimořádné radiační situace.

Ostašov - areál bývalé slévárny



Obr. P 6.9 Dávkové příkony při monitorování bezpilotním prostředkem s detektorem Drones-G ve výšce cca 25 m nad okolním terénem.

4.6.5. Literatura a odkazy

[4.6.1] NUVIA A.S. DRONES-G – nový produkt NUVIA a.s. NUVIA. 2018 [2019-11-14].

Dostupné z: [https://nuvia.cz/cs/aktuality/437-drones-g---novy-produkt-nuvia-a.s.](https://nuvia.cz/cs/aktuality/437-drones-g---novy-produkt-nuvia-a.s)

[4.6.2] IAEA (2003): Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363, IAEA, Vienna, 1-173.

Zpráva č. 13/2017

**Zahraniční zkušenosti v oblasti
sledování dávek zasahujících
osob i obyvatel na území
zasaženém havárií jaderné
elektrárny**

Výstup projektu Bezpečnostního výzkumu
VH20172020015

Autoři:

Ing. Daniela Ekendahl

Ing. Irena Malátová, CSc.

Ing. Zina Čemusová

Ing. Pavel Fojtík

Praha, 2017

Výtisk č. 1

Obsah

1.	ÚVOD	2
2.	ZKUŠENOSTI Z HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY FUKUSHIMA - DAICHII	3
2.1.	Stručný popis události	3
2.2.	Radioaktivní únik a jeho následky	3
2.3.	Ozáření obyvatel	4
2.3.1.	Vnější ozáření	4
2.3.2.	Vnitřní ozáření	6
2.4.	Ozáření pracovníků zasahujících při havárii	6
2.5.	Závěr	8
3.	ZKUŠENOSTI Z HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY ČERNOBYL	9
3.1.	Stručný popis události	9
3.2.	Inventář uniklých radionuklidů	9
3.3.	Depozice radionuklidů v okolí Černobylu	11
3.4.	Depozice radionuklidů v Evropě včetně ČR	13
3.5.	Expozice obyvatelstva	13
3.6.	Metody stanovení vnitřní kontaminace	16
3.7.	Závěry	17
4.	PŘEHLED LITERATURY	18

1. ÚVOD

Při řešení problematiky vhodných postupů pro sledování dávek zasahujících osob i obyvatel jsou cenným zdrojem informací zkušenosti nasbírané při nehodách na jaderných elektrárnách, ke kterým již došlo v minulosti. Příčiny, průběh, rozsah i dopady jednotlivých havárií se značně liší. Tato rešerše je zaměřena na zkušenosti a poznatky ze závažných havárií jaderných elektráren Fukushima Daiichi a Černobyl. Využití zkušeností z havárie Fukushima Daiichi je z pohledu zevního ozáření přínosné zejména z důvodu použitých metod měření, které byly relevantní současnému stavu vyspělosti technologií pro dozimetrii ionizujícího záření. Stanovení dávek obyvatelstvu i zasahujícím personálu pro havárii Černobylu bylo poznamenáno nepřipraveností, malou technickou vybaveností a zejména utajováním rozměrů havárie. I přes všechny tyto problémy ale byly, i když se zpožděním, dávky obyvatelstvu stanoveny dobře, což potvrdila tzv. Fact finding mission v r. 1990, které se zúčastnilo na pozvání tehdejší sovětské vlády několik zahraničních organizací (MAAE, SZO, Červený kříž a další).

Tato zpráva byla vypracována jako výstup řešení podkapitol 2.3. a 2.4. projektu Bezpečnostního výzkumu VH20172020015 za rok 2017.

2. ZKUŠENOSTI Z HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY FUKUSHIMA - DAICHI

2.1. STRUČNÝ POPIS UDÁLOSTI

V odpoledních hodinách dne 11. 3. 2011 došlo k velkému zemětřesení stupně 9, po kterém následovala obří tsunami, která udeřila na severovýchodním pobřeží japonského ostrova Honšú, přičemž zasáhla 4 jaderné elektrárny.

Nejvážnější škody utrpěla Fukushima Daiichi (FNPP- Fukushima Nuclear Power Plant) společnosti Tokyo Electric Power Co. Ltd (TEPCO). Tři z jejích šesti reaktorů typu BWR (Boiling Water Reactor) byly v době katastrofy v plánované odstávce. Zbýlé tři byly odstaveny automaticky při zemětřesení a nastartoval u nich havarijní systém chlazení, nicméně následná tsunami poničila záložní diesel generátory a pumpy přívodu chlazení mořskou vodou. Nárůst tlaku v kontejnmentu postupně vyústil v exploze nahromaděného vodíku, ke kterým došlo v období od 12. do 15. 3. 2011 u čtyř reaktorových jednotek FNPP. Důsledkem této havárie bylo uvolnění radioaktivních látek do okolního prostředí, ovzduší a vody ([Baba, 2013](#), [IAEA Tech. Vol. 1,3/5, 2015](#), [UNSCEAR, 2014](#)).

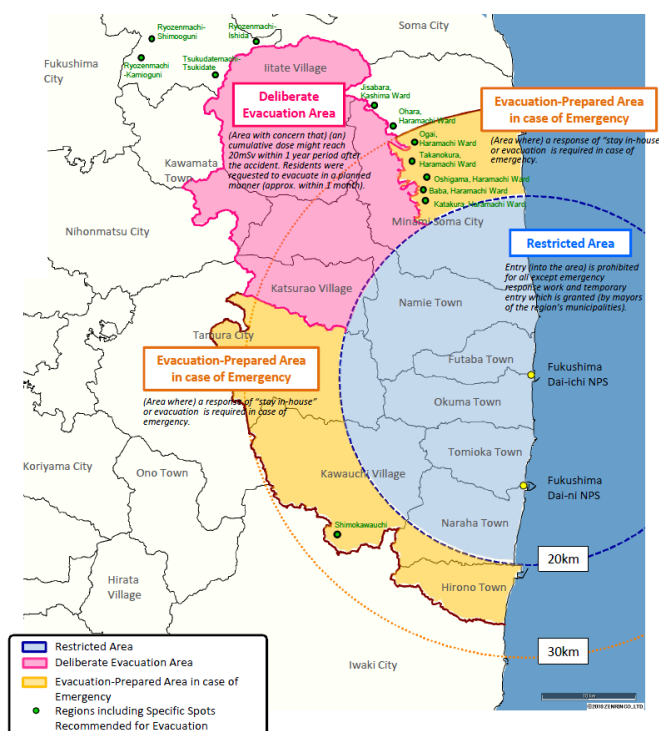
2.2. RADIOAKTIVNÍ ÚNIK A JEHO NÁSLEDKY

Množství radioaktivity uvolněné do okolí bylo agenturou NISA (Nuclear Industry Safety Agency) stanoveno jako $1,6 \cdot 10^{17}$ Bq pro ^{131}I a $1,5 \cdot 10^{16}$ Bq pro ^{137}Cs , což tuto událost zařadilo do **nejvyšší kategorie 7** stupnice INES (International Nuclear and Radiological Event Scale). Do této kategorie byla dosud zařazena pouze havárie jaderné elektrárny v Černobylu (1986), kde aktivita do ovzduší uvolněných izotopů ^{131}I a ^{137}Cs dosáhla přibližně desetinásobku hodnot naměřených ve Fukušimě ([Baba, 2013](#), [IAEA Tech. Vol. 1/5, 2015](#)).

Hlavními zdroji podílejícími se na radiační zátěži obyvatel byly **externí ozáření z radioaktivního spadu deponovaného v půdě** a **interní ozáření z kontaminovaných potravin**. Na rozdíl od situace v Černobylu, podíl vnitřního ozáření byl velmi malý díky důsledným opatřením ze strany státního aparátu týkajících se konzumace kritických potravin ([Baba, 2013](#), [Taira et al., 2012](#), [Kamiya et al., 2016](#)).

Postupně byly vymezeny **3 zóny havarijního plánování** (viz obr. 1). Z celkové plochy přibližně 1 100 km² (byl vymezen okruh do vzdálenosti 20 km od elektrárny) bylo **evakuováno přes 100 000 obyvatel**. Pro území ve vzdálenosti 20 - 30 km od elektrárny bylo vyhlášeno doporučení o **ukrytí obyvatel**. Rozhodná dávka pro obyvatele a jeho setrvání na zasaženém území byla stanovena na 20 mSv/rok, přičemž se vycházelo z doporučení ICRP 111.

Byly vynaloženy obrovské prostředky k provádění nápravných **dekontaminačních prací**. Jejich konečným cílem je vytvořit takové podmínky, aby roční individuální efektivní dávka způsobená havárií FNPP (= navýšení oproti původnímu přírodnímu pozadí) nepřevyšovala 1 mSv (IAEA Tech. Vol. 5/5, 2015, Howard et al., 2016).



Obr. 1. Evakuační zóny vymezené po havárii jaderné elektrárny Fukushima Daiichi (Kurihara, 2016).

2.3. OZÁŘENÍ OBYVATEL

2.3.1. VNĚJŠÍ OZÁŘENÍ

Hodnota efektivní dávky E ze zevního ozáření byla odvozována na základě aproximace prostorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ z výsledků měření plošné aktivity vzorků půdy. Vzorky půdy byly odebrány na různých místech v zónách havarijního plánování. Část efektivní dávky z externího ozáření byla odhadnuta ze vztahu

$$E \approx H^*(10) \approx H_{ext} = A_s \cdot D_{ext} \cdot f \cdot s,$$

kde veličina H_{ext} představuje aproximaci prostorového dávkového ekvivalentu, A_s [kBq/m²] je aktivita umělých radionuklidů na jednotku plochy, D_{ext} [(μGy/h)/(kBq/m²)] představuje

dávkový konverzní koeficient stanovený jako příkon kermy ve vzduchu ve výšce 1 m nad zemí na jednotku plošné aktivity, f [Sv/Gy] je konverzní koeficient pro převod příkonu absorbované dávky ve vzduchu na příkon efektivní dávky, a s značí stínící faktor. Roční efektivní dávka ze zevního ozáření pak byla spočtena jako $H_{ext} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ d}$. Takto byla několik dní po havárii stanovena hodnota efektivní dávky pro obyvatele města Fukušimy, které leží 60 km severozápadně od FNPP ve směru šíření radioaktivity, na 9 - 18 mSv za rok. Odhad stanovený pro obce ve vzdálenosti 40 km jihozápadně od FNPP nepřesáhl 1 mSv/rok. 3 měsíce od události se odhady změnily na $\sim 2 - 8 \text{ mSv/rok}$ ve Fukušimě a 5 mSv/rok ve vzdálenosti 40 km severozápadně od FNPP (Taira et al., 2012). Hlavní nevýhodou tohoto postupu je velmi úzká spjatost výsledné hodnoty s konkrétním místem odběru vzorku.

Teoreticky i experimentálně bylo ověřeno, že **odhady velikosti dávky na obyvatele založené na veličině $H^*(10)$** (prostorový dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm) **vedou k nadhodnocení skutečných osobních dávek** (Naito et al., 2015, Taira et al., 2012)

Pro zpřesnění odhadu míry ozáření a zároveň upokojení vystrašeného obyvatelstva v oblasti postihnuté havárií byli občané vybaveni osobními dozimetry. Většina společností provádějících v Japonsku služby osobní dozimetrie používá integrální **radiofotoluminiscenční dozimetry (RPLD)**, které byly po havárii FNPP využity. Kromě toho byly využity i integrální dozimetry na principu **opticky stimulované luminiscence (OSLD)**. Měření osobních dávek pomocí RPLD a OSLD proběhlo v období od září do listopadu 2011. Tohoto měření se zúčastnilo 83 609 obyvatel z různých částí fukušimské prefektury, především studentů. Vybrané obce se nacházely za hranicí zóny vymezené 30 km od FNPP (cca 40 - 70 km). **Výsledný medián roční dávky byl stanoven na méně než 1 mSv** (Nagataki et al., 2013). Nevýhodou RPLD a OSLD je, že neumožňují rekonstruovat průběh dávky v čase, a tedy ani potažmo stanovit dávku v závislosti na daném místě výskytu osoby. Tyto informace jsou přitom velmi žádoucí z hlediska správného posouzení a vyhodnocení lokalit se zvýšenou radiační zátěží. Na základě těchto úvah byl v Japonsku vyvinut **nový elektronický osobní dozimetr D-Shuttle** (Chiyoda Technol, Inc., Tokyo a National Institute of Advanced Industrial Science and Technology- AIST, Tsukuba). Tento přístroj umožnil časovou rekonstrukci dávky s rozlišením 1 h, a to až 1 rok zpět. Z provedené studie, která pro stanovení osobních dávek vychází z měření pomocí dozimetrů D-Shuttle, bylo zjištěno, že **hodnota $H_p(10)$ (osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm) dosahuje přibližně třetiny až poloviny existujícího odhadu hodnoty $H^*(10)$** , přičemž byly uváženy průměrné pracovní podmínky a průměrná délka doby trávené vně budov (Naito et al., 2015).

Pro snazší a zároveň přijatelně přesné ohodnocení individuální míry ozáření u většího počtu obyvatel byl speciálně vyvinutý počítačový program, který zpracovává data získaná z dotazníku zjišťujícího chování rezidenta v prvních čtyřech měsících od havárie společně s daty časového vývoje dávky v dané oblasti získanými ze stanic radiační monitorovací sítě fungující na území Japonska právě za účelem sledování úniku radioaktivních látek (Kamiya et al., 2016, Akahane et al., 2013). Takto byla stanovena dávka v časně fázi po havárii, nakumulovaná v prvních

čtyřech měsících, u 460 408 rezidentů ve fukušimské prefektuře. **Maximální dávka v této skupině osob byla stanovena na 25 mSv, přičemž u dětí do 10 let nepřesáhla 10 mSv.** Průměrné výsledky byly následující: 66,3% obyvatel obdrželo méně než 1 mSv, 94,9% méně než 2 mSv, 99,7% méně než 5 mSv a 99,9% obdrželo dávku nepřesahující 10 mSv ([Kamiya et al., 2016](#)). Rozdíly mezi jednotlivými distrikty jsou způsobeny směrem větru v době úniku radioaktivních látek a jejich vzdáleností od elektrárny.

2.3.2. VNITŘNÍ OZÁŘENÍ

Velká pozornost byla po havárii FNPP věnována také vnitřnímu ozáření obyvatel vlivem příjmu radionuklidů, a to zejména ^{131}I a $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$. Na základě předpokládaného příjmu kontaminovaných potravin v období od 12. do 24. 3. 2011 byly ještě v březnu 2011 vytipovány kritické oblasti s možností vysokých dávek na štítnou žlázu u rezidentů.

Přes 1 000 dětí do 15 let se zúčastnilo vyšetřovacího screeningu a přibližně 96% z nich obdrželo dávku méně než 10 mSv. Nejvyšší stanovená hodnota byla 35 mSv, což je pod zásahovou úrovní 50 mSv ([Nagataki et al., 2013](#)). Měření dávek na štítnou žlázu později proběhlo také u dospělých jedinců s obdobným výsledkem.

Od června 2011 do února 2013 byla pomocí celotělového počítáče proměřena vnitřní kontaminace u 184 208 osob z okolí FNPP. Zjištěná efektivní dávka u 99,986% z nich byla menší než 1 mSv a maximum, kterého dosáhli dva jedinci, bylo 3 mSv ([Kamiya et al., 2016](#)).

Pomocí celotělových počítáčů bylo provedeno více studií na dětech, studentech i dospělých ze zasažených oblastí, žádná významná zátěž z vnitřního ozáření však nebyla zaznamenána.

Jakožto rychlého způsobu stanovení dávek u široké veřejnosti bylo použito počítačových simulací založených na modelech šíření radionuklidů a vzorcích chování obyvatel vzhledem k příjmu. Prokázalo se, že získané výsledky lze vhodně použít jako předběžné konzervativní odhady míry vnitřního ozáření ([Kim et al., 2016](#)).

2.4. OZÁŘENÍ PRACOVNÍKŮ ZASAHUJÍCÍCH PŘI HAVÁRII

Bezprostředně po havárii bylo potřeba řešit komplikace spojené se stanovením velikosti externího ozáření zasahujících pracovníků. **Téměř všech 5 000 elektronických osobních dozimetrů (EPD), připravených v budově elektrárny, bylo spláchnuto tsunami.** Zůstalo funkčních 320 kusů, které byly uloženy odděleně. Zpočátku tak nemohli být všichni pracovníci vybaveni vlastním osobním dozimetrem, ale byl přidělen vybranému členovi operační skupiny. Na základě takto naměřené hodnoty byl učiněn odhad míry ozáření všech členů v dané skupině. Tato situace trvala do konce března, dokud nebyly doručeny EPD z jiných elektráren pro každého pracovníka ([IAEA Tech. Vol. 3/5, 2015](#)). Sledování osobních dávek bylo znesnadněno skutečností, že **elektronické kontrolní systémy byly vlivem tsunami vyřazeny**

z provozu a záznamy tak musely být prováděny ručně. Výsledkem bylo, že **některá data nebyla zaznamenána a docházelo ke zpožděním ve vyhodnocení a zpravování pracovníků.**

Monitorování **vnitřního ozáření** bylo prováděno zejména pomocí velkoobjemových **celotělových počítačů Nal(TI)**, které byly postupně instalovány v blízkosti FNPP, zároveň však v dostatečné vzdálenosti v místech s přijatelně nízkým pozadím radiace. V takových případech, kdy byl stanoven odhad efektivní dávky přesahující 20 mSv, dotýčný jedinec byl odeslán k přesnějšímu proměření pomocí HPGe celotělového počítače ([IAEA Annex I, Tech. Vol. 4/5, 2015](#)). V mnoha případech **proběhly kontroly vnitřní kontaminace s velkými časovými rozestupy**, což je zřejmě důvodem vysokých hodnot výsledných odhadů efektivní dávky, které dosáhly **až 600 mSv**.

Dávkový limit pro pracovníky zasahující při nápravě škod po havárii FNPP byl dne 15. 3. 2011 nařízením japonské vlády **zvýšen ze 100 na 250 mSv/rok efektivní dávky** pro období od 14. 3. 2011 do 16. 12. 2011 (resp. do 30. 4. 2012 pro 50 zaměstnanců TEPCO). Během tohoto období se na záchranných a nápravných pracích podílelo okolo 20 000 osob, které **v průměru** obdržely dávku přibližně **12 mSv**. **U 174 z nich byla překročena dávka 100 mSv a 6 jedinců přesáhlo 250 mSv, přičemž maximum bylo stanoveno na 679 mSv.** Závěrem šetření těchto 6 případů bylo, že **většina dávky je způsobena vnitřní kontaminací jódem vlivem nedostatečného vybavení ochrannými respirátory a konzumace potravin v kontaminovaném prostředí.** Jódové tablety byly distribuovány mezi pracovníky elektrárny od 13. 3. 2011 ([IAEA Tech. Vol. 3/5, 2015](#), [UNSCEAR, 2014](#), [Kurihara, 2016](#)). Od 1. 11. 2011 byl znovu zaveden limit 100 mSv/rok pro nové pracovníky. Pro radiační pracovníce, které by mohly otěhotnět, platil po celou dobu limit efektivní dávky 5 mSv za čtvrtletí.

Přestože na základě množství uvolněné radiace byla havárie FNPP zařazena do stejné kategorie stupnice INES jako havárie v Černobylu, nebyl zde sledován žádný případ akutních radiačních účinků. **Velikosti dávek**, které byly stanoveny u personálu zasahujícího ve Fukušimě, **jsou mnohem nižší než v případě černobylské havárie**, kde bylo u více než 20 osob dosaženo hodnoty přesahující 6 Gy při celotělovém ozáření. Efektivní dávku v řádu stovek mSv obdržely desítky tisíc likvidátorů. U 134 hasičů a zaměstnanců elektrárny v Černobylu byla potvrzena akutní nemoc z ozáření, na jejíž přímé následky zemřelo 47 osob. Jako další důsledek radiace byla evidována rakovina štítné žlázy u více než 4000 dětí (Mettler et al., 2007, WHO, 2006). Havarijní situace ve Fukušimě byla tedy mnohem lépe zvládnutá, než tomu bylo o 25 let dříve v Černobylu, přesto došlo k jistým pochybením. Byly odhaleny nedostatky ve výcviku havarijní připravenosti pro podobné situace, v zajištění náhradního způsobu měření osobních dávek, nedostatky v předávání informací členům zasahujícího personálu a zaškolování v řádném nošení ochranných pomůcek. Monitorování vnitřní kontaminace bylo prováděno u relativně malého počtu pracovníků, s časovými prodlevami. Problémy byly také se zajištěním lékařské péče s dostatečnou kvalifikací pro radiační pacienty, která byla zapotřebí pro osoby zasahující v časně fázi od události ([MHLW, 2015](#)).

2.5. ZÁVĚR

Z proběhlé havárie jaderné elektrárny Fukushima Daiichi vyplývají následující cenné zkušenosti, poznatky a závěry:

- **Dávky obyvatel z území zasaženého radiační havárií mohou být významně nadhodnoceny, pokud jsou stanoveny výhradně na podkladě monitorování prostředí.** Toto nadhodnocení vyplývá jednak ze samotné definice veličiny prostorový dávkový ekvivalent a ze zanedbání reálného pohybu osob v místě a čase.
- **Dávky obyvatel v zasažené oblasti by ideálně měly být kontrolovány pomocí osobních dozimetrů.** K tomu mohou být využity dozimetry používané dozimetrickými službami. Otázkou je možnost zajištění dostatečného počtu dozimetrů v případě velkého množství osob. Další možností je využití jednoduchých, levných a dostupných dozimetrů. Tento systém vyžaduje přípravu včetně implementace do havarijní připravenosti.
- **Pro zasahující osoby by měl být připraven náhradní způsob monitorování osobních dávek, zvláště pokud je primární způsob spojen přímo s provozem jaderné elektrárny.** Lze opět využít dozimetry ze služeb osobní dozimetrie, případně dozimetry navržené speciálně pro daný účel. Tento systém rovněž vyžaduje přípravu včetně implementace do havarijní připravenosti.

3. ZKUŠENOSTI Z HAVÁRIE JADERNÉ ELEKTRÁRNY ČERNOBYL

3.1. STRUČNÝ POPIS UDÁLOSTI

Dne 26.dubna 1986 v 1:23 ráno zničily dva výbuchy reaktor 4. bloku jaderné elektrárny Černobyl. Výbuchy páry a následný 10 dnů trvající požár grafitového moderátoru uvolnil z aktivní zóny reaktoru do ovzduší asi 5% celkového inventáře radionuklidů.

Paradoxně prvotní příčinou byl pokus, který měl vést k lepší bezpečnosti reaktoru RBMK. Cílem pokusu bylo ověření dodávek elektřiny pro čerpadla primárního okruhu reaktoru ze setrvačného doběhu turbíny po odstavení turbín bloku s úplným výpadkem napájení. Cílem bylo udržení chodu čerpadel po dobu 50 sekund, než naskočí dieselagregáty.

Průběh experimentu měl vypadat následovně: nejprve se měl snížit výkon reaktoru na $\frac{1}{2}$ a mělo dojít k odpojení první ze dvou turbín bloku. Poté mělo následovat další snižování výkonu až na $\frac{1}{3}$ což byla takřka minimální bezpečná hranice provozu reaktoru RBMK. Dále mělo následovat uzavření druhé turbíny. Tento krok měl být zároveň signálem pro systém havarijní ochran, který měl současně automaticky odstavit reaktor. Experiment byl od počátku pojmán jako jednoznačně elektroenergetická záležitost, nevýznamná z hlediska jaderné bezpečnosti a byl proto řízen elektrotechniky, nikoliv specialisty na jadernou bezpečnost. Oproti plánu se pak experiment z různých příčin opožďoval, takže nakonec převzala experiment nová směna, která na něj nebyla připravena.

Postupně se navršilo několik chyb personálu a ty společně s nedostatečným automatickým zabezpečením reaktoru vedly až k nekontrolovatelnému růstu výkonu a tedy náhlému vzrůstu produkce tepla. To způsobilo porušení palivových článků. Reakcí vody s malými částicemi horkého paliva došlo k výbuchu páry. Reaktor byl přetlakován tak, že pára při první explozi zvedla a odsunula horní betonovou desku reaktoru o váze 1000 t. Ke druhé explozi došlo o dvě až tři sekundy později. Exploze rozmetaly část aktivní zóny včetně paliva a hořícího grafitu. Grafitový moderátor hořel při teplotách kolem 5000°C, při čemž se uvolňovaly především radioaktivní vzácné plyny a těžké radionuklidy Cs, I a Te.

3.2. INVENTÁŘ UNIKLÝCH RADIONUKLIDŮ

Inventář uniklých radionuklidů byl sestaven více autory ([Devell et al, 1995](#); [UNSCEAR 1988](#); [Buzulukov et al., 1993](#)); tyto odhady se zakládají na výsledcích měření povrchové kontaminace, doplněné modelovými výpočty.

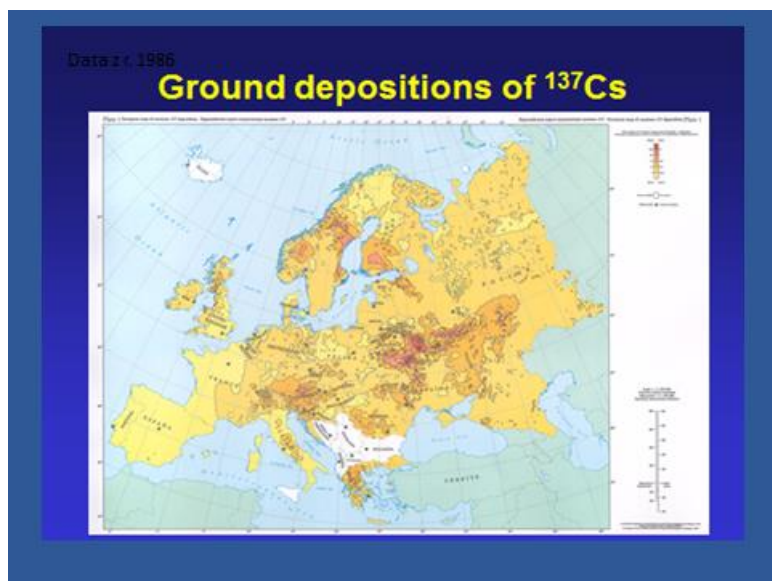
Tabulka 1. Inventář a uniklé radionuklidy z černobylského reaktoru (UNSCEAR 1988)

Skupina radionuklidů	Radionuklid	$T_{1/2}$	Inventář [EBq]	Uniklé RN [%]
vzácné plyny	^{85}Kr	10,72r	0,033	100
	^{133}Xe	5,25d	1,7	100
těkavé	^{131}I	8,94d	1,3	20
	^{132}Te	3,26d	0,32	15
	^{137}Cs	30,0r	0,29	13
	^{134}Cs	2,06r	0,19	10
omezená těkavost	^{89}Sr	50,5d	2	4
	^{90}Sr	29,12r	0,2	4
	^{103}Ru	39,4d	4,1	3
	^{106}Ru	367d	2,1	3
	^{140}Ba	12,8d	2,9	6
žáruvzdorné	^{95}Zr	64,0d	4,1	3
	^{99}Mo	2,75d	4,8	2
	^{141}Ce	32,5d	4,4	3
	^{144}Ce	284d	3,2	3
	^{238}Pu	86,4r	0,001	3
	^{239}Pu	24100r	0,0008	3
	^{240}Pu	6553r	0,001	3
	^{241}Pu	14,7r	0,17	3
	^{242}Cm	162,8 d	0,026	3

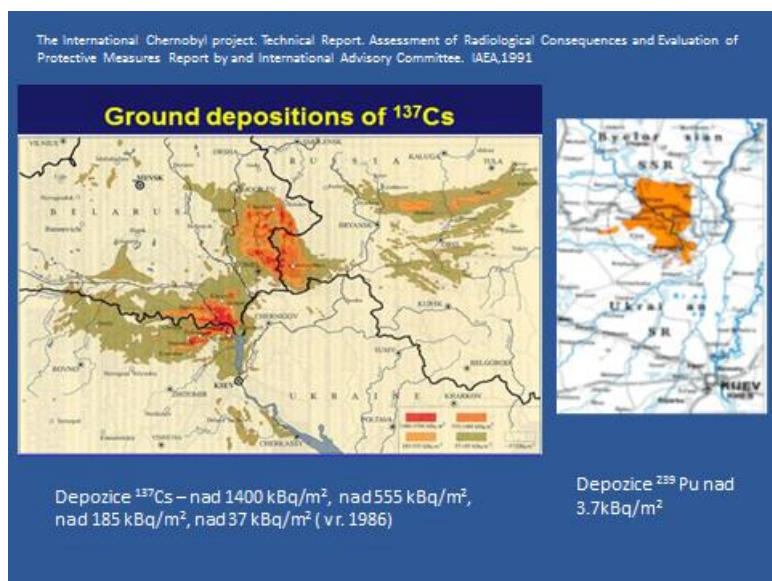
Těkavé radionuklidy se při hoření grafitu dostávaly do velkých výšek a s atmosférickým prouděním se dostaly do velkých vzdáleností, principiálně po celé severní zeměkouli. Žáruvzdorné radionuklidy se do atmosféry dostaly zejména s výbuchem reaktoru, nacházely se v částicích s větším AMAD a vypadávaly v kratších vzdálenostech od havarovaného reaktoru ([Rulík et al, 1989](#); [Wahl et al, 1989](#))

3.3. DEPOZICE RADIONUKLIDŮ V OKOLÍ ČERNOBYLU

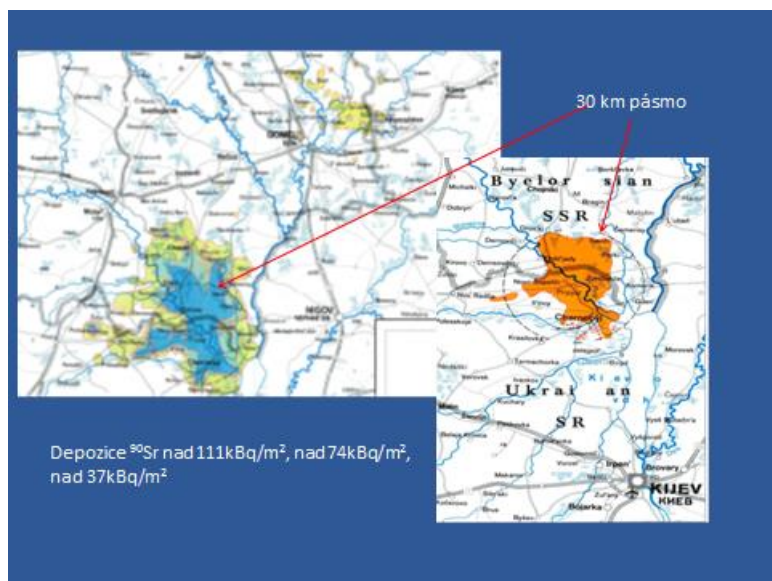
Depozice radionuklidů je ilustrována na obr. 2 až 4.



Obr. 2. Mapa depozice ^{137}Cs v Evropě (De Cort et al., 1998)

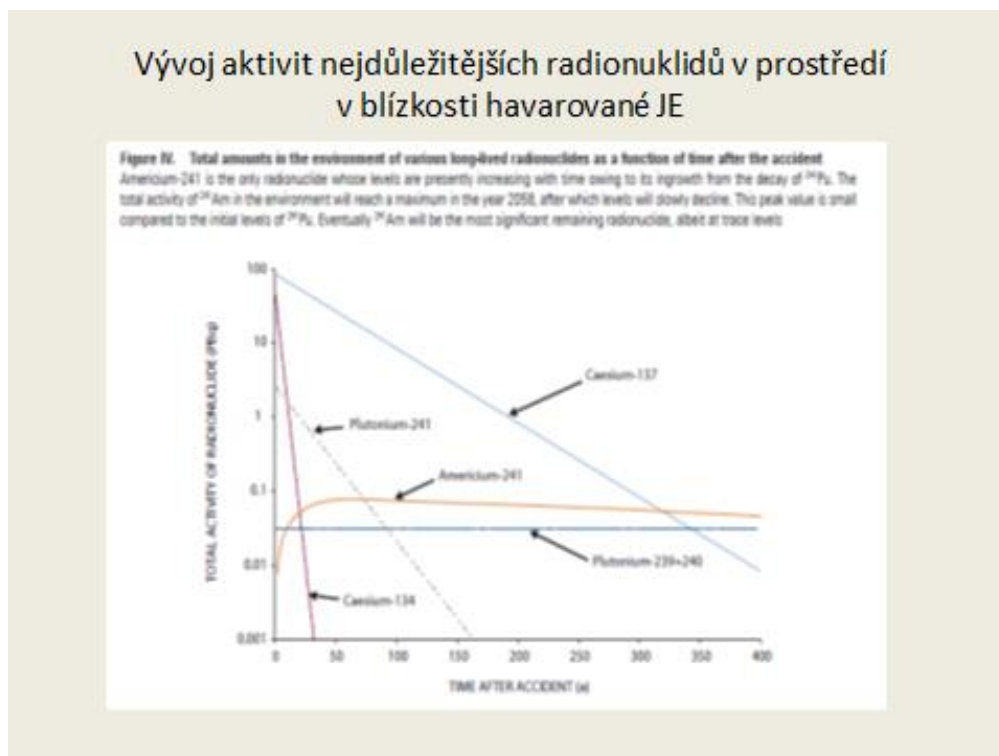


Obr.3. Mapa depozice ^{137}Cs v okolí Černobylu (vlevo), mapa depozice ^{239}Pu v blízkém okolí Černobylu (IAEA, 1991)



Obr.4. Mapa depozice ^{90}Sr a ^{239}Pu v okolí Černobylu (IAEA, 1991)

Jak plyne z map na obr. 2 až 4, depozice radionuklidů je velmi heterogenní. Pokud se týká depozice ^{137}Cs , oblasti s nejvyšší depozicí (nad 1480 kBq/m^2) se nacházejí v Bělorusku na Ukrajině a v Rusku. Takovýchto oblastí je v Bělorusku 26000 km^2 , na Ukrajině 5600 km^2 a v Rusku 4600 km^2 . Tyto oblasti jsou zejména v blízkosti havarované elektrárny. I ve větších vzdálenostech se vyskytují oblasti s vysokým spadem (např. v Rusku severně od Tuly a Orla), tam, kde při průchodu prvního mraku přšelo.



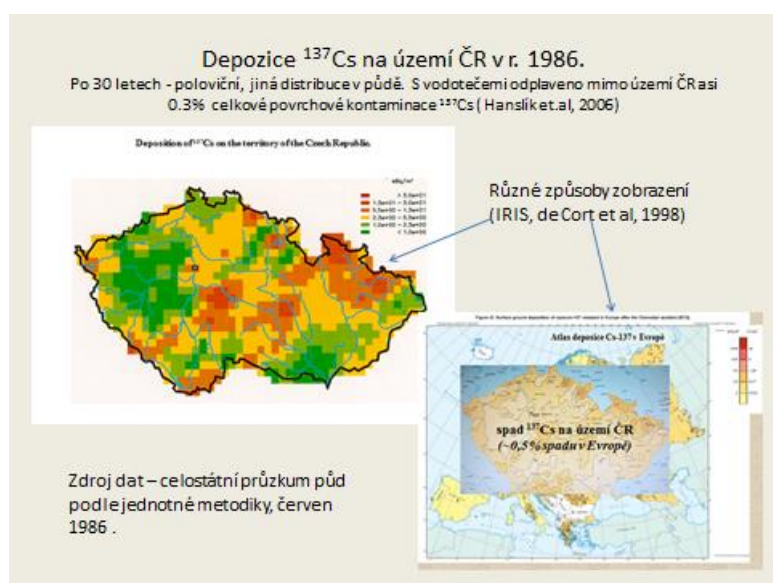
Obr. 5. Vývoj aktivity nejdůležitějších radionuklidů v prostředí v blízkosti havarované JE Černobyl (UNSCEAR, 1988)

Jak plyne z obr. 5, význam jednotlivých radionuklidů pro expozici obyvatelstva e během času mění. Vzhledem ke krátkému poločasu přestalo být významné ^{134}Cs , al na významu nabývají zejména transurany. To se ovšem týká jen blízkého okruhu havarované JE, kde existovalo významné depo (viz obr. 4).

3.4. DEPOZICE RADIONUKLIDŮ V EVROPĚ VČETNĚ ČR

Výrazná heterogenita spadu se vyskytuje i dále v Evropě, což bylo vždy způsobeno deštěm při průchodu vzdušných kontaminovaných mas – takovým příkladem je na př. oblast Ticino ve Švýcarsku, některé oblasti v Alpách v Rakousku a v Bavorsku (de Cort et al, 1998; UNSCEAR, 1988, zprávy jednotlivých zemí o situaci po havárii JE Černobyl).

V České republice se vyskytla lokální maxima s aktivitou ^{137}Cs až 100 kBq/m^2 (korigované k době černobylské havárie) na Šumavě, v Jeseníkách, na Opavsku. Území s vyšší aktivitou ale nebyla velká (Zpráva IHE - CHZ, 1987). Průměrná povrchová kontaminace byla kolem 5 kBq/m^2 .



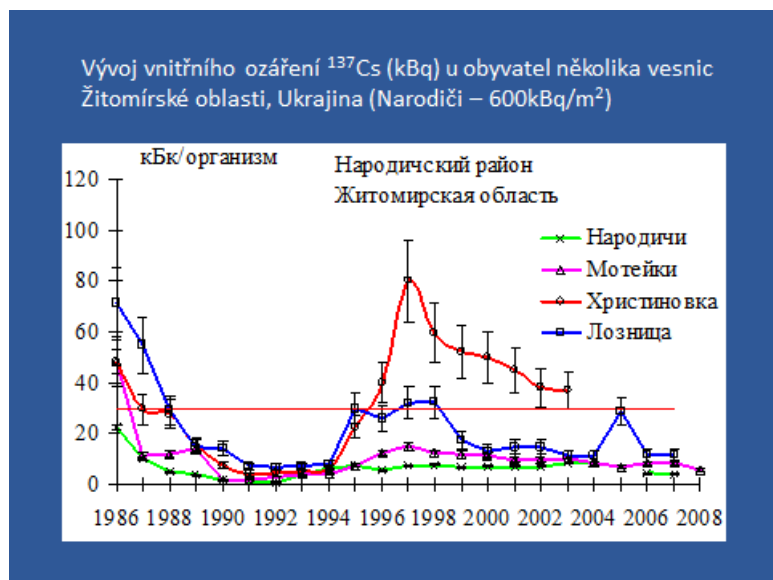
Obr. 6. Depozice ^{137}CS na území ČR v r. 1986. Znázorněn různý způsob průměrování změřených výsledků.

3.5. EXPOZICE OBYVATELSTVA

Dávky, které obdrželi obyvatelé, se velmi liší nejen podle území, kde lidé žijí ale také podle způsobu života, zaměstnání a případných opatření, která byla pro zmenšení expozice podniknuta. V oblastech s nejvyšším spadem, uvedeným výše, bylo obyvatelstvo vystěhováno, v dalších pak byly podniknuty nejrůznější zásahy, aby byla expozice obyvatelstva snížena – bylo

to např. mytí střeš a celých domů, sejmutí vrchní vrstvy půdy apod.; tato opatření se týkala snížení externího ozáření. Snížení vnitřního ozáření se týkala opatření v zemědělství. Bylo doporučeno pěstovat průmyslové plodiny místo plodin pro přímou spotřebu, dále v živočišné výrobě bylo doporučeno převést dobytek před porážkou na nekontaminované krmivo atd. Obyvatelstvo bylo zásobováno nekontaminovanými produkty, dovezenými z jiných oblastí.

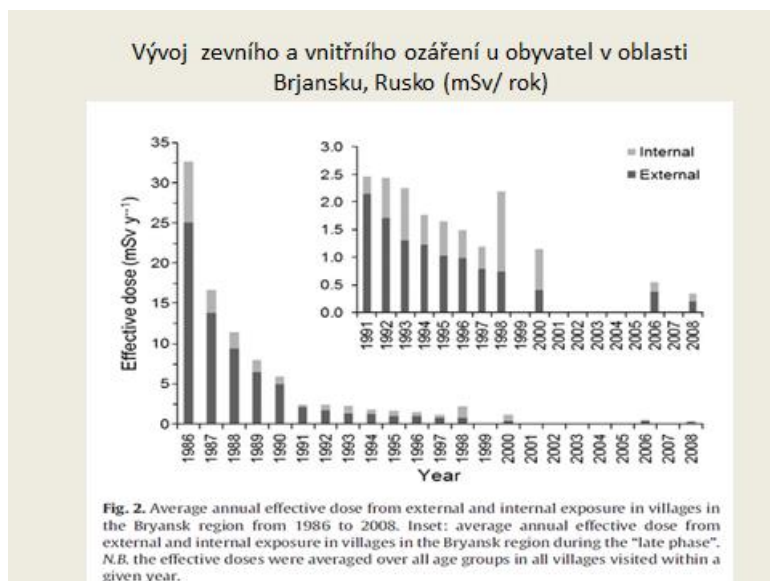
Vnitřní kontaminace obyvatelstva a následně úvahy efektivní dávky z ní byly odhadovány pomocí výpočetních modelů; vstupními údaji byla zpravidla plošná aktivita radionuklidů v dané oblasti, koeficienty přechodu pro různé komodity a spotřební koš. Porovnání s realitou pak bylo prováděno opakovanými celotělovými měřeními obyvatelstva, které provádělo více organizací. Zajímavými výsledky jsou data z více než dvacetiletého sledování obsahu ^{137}Cs v organismu obyvatel několika sídel v Žitomírské oblasti na Ukrajině (obr. 7).



Obr.7. Vývoj vnitřního ozáření ^{137}Cs (kBq na 1 osobu) u obyvatel několika vesnic v Žitomírské oblasti na Ukrajině (Kasparov, 2012)

Vnitřní kontaminace osob cesiem 137 byla sledována v malých obcích; pouze Narodichi s 2500 obyvateli jsou větší městečko, pro nějž byla publikována povrchová kontaminace 600 kBq/m². Je zřejmé, že do r. 1992 bylo obyvatelstvo zásobováno nekontaminovanou stravou, od r. 1994 se pravděpodobně na zásobování přestalo dbát a obyvatelstvo, zejména v malých vesnicích, bylo závislé na místní produkci. Jistou roli hraje též informování obyvatelstva a to, jak obyvatelstvo akceptuje různá doporučení, např. nesbírat houby a lesní plody.

V Brjanské oblasti Ruska bylo vnitřní ozáření sledováno Institutem radiační hygieny v Petrohradě. Porovnání ozáření zevního a vnitřního je na obr. 8. Je zřejmé, že první roky po havárii bylo dominantní zevní ozáření, jehož regulace je velmi omezená, zatímco vnitřní ozáření lze regulovat prostřednictvím dovozu čistých potravin a dalšími opatřeními.



Obr.8. Vývoj zevního a vnitřního ozáření u obyvatel v Brjanské oblasti v Rusku (mSv/rok) (Bernhardson et al., 2011)

3.6 DÁVKY ZASAHUJÍCÍMU PERSONÁLU

Zasahující personál byl vybaven dozimetry externího ozáření jen částečně, přičemž **u většiny osob, stížených akutním radiačním syndromem, byly osobní dozimetry přexponovány. Dávky byly odhadovány na základě biologických údajů** (krevní obraz, chromosomová analýza, rané projevy ARS atd.) Vnitřní kontaminace nebyla ve většině případů měřena, takže u 540 tisíc likvidátorů, kteří pracovali v Černobylu v letech 1986 až 1990, byla průměrná efektivní dávka za tuto dobu stanovena na 117 mSv bez dávky na štítnou žlázu. Lze oprávněně předpokládat, že tito pracovníci byli vybaveni ochrannými pomůckami a jódovými tabletami a že tedy **vnitřní ozáření bylo ve srovnání s externím méně závažné.**

U likvidátorů bylo v pozdější době zjišťováno významné zvýšení výskytu katarakty. Dávky na oční čočku nebyly specificky měřeny.

Podle zaměstnání likvidátorů je rozdělení dávek v tabulce 2.

Tabulka2. Odhad efektivních dávek ze zevního ozáření při likvidačních pracích v zóně 30 km za r. 1986 a 1987

Skupina	Počet pracovníků		Průměrná dávka (mSv)	
	1986	1987	1986	1987
Pracovníci závodu	2 358	4 498	210	70
Stavebníci	21 500	5 376	82	25
Doprava, ostraha	31 021	32 518	6.5	27
Vojáci	61 762	63 751	110	63
Pomoc z jiných elektráren	-	3 458	-	9.3
Celkem/Průměr	116 641	109 601	77	47

Významně exponovanou skupinou jsou vedle pracovníků elektrárny a přisunutých pracovníků sesterských pracovišť také vojáci. V r. 1986 byla zjištěna u nich tato distribuce dávek: 62 % < 200 mSv; 19% 200-250 mSv; 19% 250-500 mSv.

3.7 METODY STANOVENÍ VNITŘNÍ KONTAMINACE

Po černobylské havárii se prokázalo, že pro celotělové měření je nezbytný polovodičový detektor tak, jak bylo v CHZ IHE zavedeno od r. 1985. Tato laboratoř byla jako jedna z mála schopna rozlišovat celé spektrum radionuklidů, které se nejen u obyvatelstva ČR, ale zejména u osob, které se navrátily z oblastí poblíže Černobylu, vyskytovaly. K přesnosti výpočtu dávek by však přispěla i možnost měřit radioisotopy jódu přímo v štítné žláze; s daným zařízením byly tyto radioisotopy měřeny v celém těle bez informace, jaká část se v danou dobu nachází ve štítné žláze. (Zařízení, které bylo dáno ad hoc do provozu, nebylo dostatečně citlivé, mohlo být provozováno jen ve stínění celotělového počítače, které ale muselo být využíváno pro celotělová měření).

V oblastech poblíže Černobylu byla situace podstatně horší. V celém SSSR v té době se používaly celotělové počítače jen se scintilačními NaI (TI) detektory, které nerozlišily

vzájemně ^{137}Cs a ^{134}Cs , v prvním období ovšem ve spektru dominovaly radioisotopy jódu (^{131}I , ^{132}I , ^{133}I) a ^{132}Te , což pak analýzu spektra téměř znemožňovalo. Radioaktivní jód ve štítné žláze byl měřen různými zařízeními pro integrální měření, takže v mnoha případech byla interpretace těchto měření sporná.

V pozdějším období od černobylské havárie se na celotělovém měření podílela i různá mobilní zařízení a to jak ruská (na př. Institut biofyziky v Moskvě měřil v různých oblastech v Bělorusku, Petrohradský institut radiační hygieny v Brjanské oblasti) tak i zahraniční – Německo, Francie, Finsko atd. I tato zařízení používala vesměs scintilační NaI(Tl) detektory, ovšem v delším odstupu od černobylské havárie byly dominantními kontaminanty radioisotopy cesia 137 a 134, jejichž poměr byl známý a tedy nepředstavoval problém.

3.8 ZÁVĚRY

Ze zkušeností po černobylské havárii plane, že **nejdůležitější je v prvním období sledování obsahu radiojódů ve štítných žlázách obyvatel, zejména dětí.** Toto sledování musí být zahájeno co nejdříve, tedy v časně fázi a pokračuje tak dlouho, dokud jsou aktivity ve štítné žláze měřitelné v rozumném čase, tak, aby to měřené osoby příliš neobtěžovalo. Nicméně zjištění skutečného obsahu radiojódů přímo ve štítné žláze má vždy větší vypovídací hodnotu před odhady z modelů. V oblastech pobláží Černobylu se dávky na štítnou žlázu odhadovaly ze změřeného poměru ^{137}Cs a ^{131}I např. v mléce nebo v ovzduší, což sebou ovšem nese značné nejistoty. **Zároveň by mělo být prováděno monitorování celkové vnitřní kontaminace v těle dospělých i dětí a to metodou, která umožňuje co největší specifikaci radionuklidů.** I když je jednoznačně nejvýhodnější polovodičová spektrometrie gama s HP Ge detektory, ne vždy je v polních podmínkách a v podmínkách porušené infrastruktury použitelná. Proto je třeba se zabývat metodami jednoduššími a hodnocení spekter, resp. příjmů a úvazků efektivní dávky spektra odvozovat ze složení kontaminantu, zjištěného přesnými metodami. **V pozdní fázi je vnitřní kontaminace výsledkem ingesce kontaminovaných potravin; je tedy podstatné potraviny kontrolovat.** Jde pak ovšem již o otázky ekonomické a sociologické, nakolik v monitorování pokračovat a jak toto úsilí o snižování výsledných dávek vysvětlovat obyvatelstvu.

4. PŘEHLED LITERATURY

Akahane, K., Yonai, S., Fukuda, S., Miyahara, N., Yasuda, H., Iwaoka, K., Matsumoto, M., Fukumura, A., Akashi, M., 2013. NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident. Sci. Rep. 3. doi: 10.1038/srep01670

Baba, M., 2013. Fukushima accident: What happened?. Radiat. Meas. 55, 17- 21.

Bernhardsson ,C., I. Zvonova , C. Rääf , S. Mattsson : Measurements of long-term external and internal radiation exposure of inhabitants of some villages of the Bryansk region of Russia after the Chernobyl accident, Science of the Total Environment 409 (2011) 4811–4817

Buzulukov, J.P and Dobrynin. J.I: Releases of radionuclides during the Chernobyl accident in: The Chernobyl papers, eds. Merwin, S.E, Balonov, M.I. Research Enterprises, Richland, W.A., Vol.1, pp.3 – 21, 1993

De Cort,M. et al.: Atlas of caesium deposition on Europe after tne Chernobyl Accident, EC, 1998

Devell, L., Guntag, S and Powers, D.A: The Chernobyl reactor accident source term: development of a consensus view? CSNI report NEA/OECD, 1995

Howard, B.J., Fesenko, S., Balonov, M., Pröhl, G., Nakayama, S., 2016. A comparison of remediation after the Chernobyl and Fukushima Daiichi accidents. Radiat. Prot. Dosim., 1-7. doi: 10.1093/rpd/ncw312

http://www.suro.cz/cz/publikace/chernobyl/10let_od_cernobylu.pdf

http://www.suro.cz/cz/publikace/chernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf

IAEA, 2015. The Fukushima Daiichi accident- Vienna: International Atomic Energy Agency, Technical Volume 1/5- Description and context of the accident. ISBN 978-92-0-107015-9.

IAEA, 2015. The Fukushima Daiichi accident- Vienna: International Atomic Energy Agency, Technical Volume 3/5- Emergency preparedness and response. ISBN 978-92-0-107015-9.

IAEA, 2015. The Fukushima Daiichi accident- Vienna: International Atomic Energy Agency, Technical Volume 5/5- Post-accident recovery. ISBN 978-92-0-107015-9.

IAEA, 2015. The Fukushima Daiichi accident- Vienna: International Atomic Energy Agency, Annex I of Technical Volume 4/5- Characteristics and measurement of radioactivity and radiation levels.

IAEA, 1991. The International Chernobyl project. Technical Report. Assessment of Radiological Consequences Evaluation of Protective Measures Report by and International Advisory Committee. IAEA.

Kamiya, K. et al., 2016. External and internal exposure to Fukushima residents. Radiat. Prot. Dosim. 171, 7- 13.

Kasparov,V: National experience in remediation of contaminated lands in Ukraine, Modaria meeting, Vienna IAEA, 2012

Kim, E., Tani, K., Kunishima, N., Kurihara, O., Sakai, K., Akashi, M., 2016. Estimation of early internal doses to Fukushima residents after the nuclear disaster based on the atmospheric dispersion simulation. Radiat. Prot. Dosim. 171, 398- 404.

Kurihara, O., 2016. Dose assessment of workers and the public- Lessons learned from Fukushima. ICRP Symposium on Radiological Protection Dosimetry- Historical Review and Current Activities. (<http://www.icrp.org/page.asp?id=258>)

Mettler, F.A. Jr., Guskova, A.K., Gusev, I., 2007. Health effects in those with acute radiation sickness from the Chernobyl accident. Health Phys. 93, 462- 469.

MHLW, 2015. Response and action taken by the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan on radiation protection at works relating to TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power plant accident 2nd edition (fiscal year of 2014). (<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/index.html>)

Naito, W., Uesaka, M., Yamada, C., Ishii, H., 2015. Evaluation of dose from external irradiation for individuals living in areas affected by the Fukushima Daiichi nuclear plant accident. Radiat. Prot. Dosim. 163, 353-361.

Nagataki, S., Takamura, N., Kamiya, K., Akashi, M., 2013. Measurements of individual radiation doses in residents living around the Fukushima nuclear power plant. Radiat. Res. 180, 439-447.

Rulík, P., Bučina, I., Malátová, I: Aerosol particle size distribution in dependence on the type of radionuclides after the Chernobyl accident and in the NPP effluents in: The Radioecology of Natural and Artificial radionuclides, pp.102 – 107, proc.XVth Regional Congress of IRPA, Visby, Gotland, Sweden, 10 – 14 September 1989

UNSCEAR, 2014. Sources, effects and risks of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report 2013, Volume I- Report to the general assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. ISBN 978-92-1-142291-7.

UNSCEAR 1977 Sources and Effects of Ionizing Radiation,.Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York 1977

UNSCEAR 1988. Sources and Effects of Ionizing Radiation,.Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York 1988

UNSCEAR 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation,.Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume II: Effects United Nations, New York 2000

UNSCEAR 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation,.Report to the General Assembly with Scientific Annexes, United Nations, New York 2011

Taira, Y., Hayashida, N., Yamashita, S., Kudo, T., Matsuda, N., Takahashi, J., Gutevitc, A., Kazlovsky, A., Takamura, N., 2012. Environmental contamination and external radiation dose rates from radionuclides released from the Fukushima nuclear power plant. Radiat. Prot. Dosim. 151, 537- 545.

Wahl, U., Lindner,G., Recknagel, E.: Distribution if thermally and mechanically released radionuclides in the Chernobyl fallout. in: The Radioecology of Natural and Artificial radionuclides,pp.108 – 113, proc.XVth Regional Congress of IRPA, Visby, Gotland, Sweden, 10 – 14 September 1989

WHO, 2006. Health effects of the Chernobyl accident: an overview. (http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/background/en/)

Yoshida, K., Hashiguchi, K., Taira, Y., Matsuda, N., Yamashita, S., Takamura, N., 2012. Importance of personal dose equivalent evaluation in Fukushima in overcoming social panic. Radiat. Prot. Dosim. 151, 144- 146.

Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl, IHE – CHZ,1987

Zpráva č. 17/2019

Možnosti aplikací moderních dozimetrických metod v pozdní fázi havárie

Výstup projektu Bezpečnostního výzkumu
VH20172020015

Autoři:

Ing. Daniela Ekendahl

Ing. Zina Čemusová

Praha, 2019

Výtisk č. 1

Obsah

1.	ÚVOD	2
2.	MODERNÍ DOZIMETRICKÉ METODY PRO SLEDOVÁNÍ OSOBNÍCH DÁVEK OBYVATEL A OSOB LIKVIDUJÍCÍCH NÁSLEDKY HAVÁRIE	3
2.1.	Specifika externího ozáření v pozdní fázi havárie	3
2.2.	Charakter monitorování externího ozáření v pozdní fázi havárie.....	3
2.3.	Monitorování dávek obyvatel v pozdní fázi havárie.....	3
2.3.1.	ROZŠÍŘENÍ SÍTĚ TLD V RÁMCI RMS	4
2.3.2.	ALTERNATIVNÍ LEVNÉ PASIVNÍ DETEKTORY	4
2.3.3.	MĚŘENÍ V RÁMCI OBČANSKÝCH SÍTÍ	7
2.3.4.	MĚŘENÍ OSOBNÍMI DOZIMETRY PRO VYBRANÉ SKUPINY OBYVATEL....	8
2.4.	Monitorování osobních dávek zasahujících osob v pozdní fázi havárie.....	9
2.5.	Legislativní požadavky	11
3.	PŘEHLED LITERATURY	12

1. ÚVOD

Pozdní fázi radiační havárie lze charakterizovat jako období, kdy již neexistuje bezprostřední radiační riziko pro obyvatele, kdy dochází k postupnému odvolávání zavedených ochranných opatření a k návratu do běžného života. Tato fáze může však trvat až několik let. Během této doby je třeba provádět adekvátní dozimetrickou kontrolu prostředí i osob.

Monitorování osobních dávek zasahujících osob a obyvatel v této fázi bude navazovat na monitorování prováděné ve střední a pozdní fázi nehody ([Ekendahl et al, 2019](#)). Díky možnosti zapojení velkého množství různých externích osob podílejících se na revitalizaci zasaženého území, případně díky návratu původně evakuovaných osob do bydlišť na tomto území, mohou stoupnout nároky především na dostatečnou kapacitu tohoto monitorování.

Pro účely přípravy VDI jsme provedli kritickou rešerši možností aplikací moderních dozimetrických metod a postupů s přihlédnutím ke kapacitním nárokům na zajištění tohoto monitorování.

Tato zpráva byla vypracována jako dílčí výstup řešení podkapitoly 2.3. projektu Bezpečnostního výzkumu VH20172020015 za roky 2018 a 2019.

2. MODERNÍ DOZIMETRICKÉ METODY PRO SLEDOVÁNÍ OSOBNÍCH DÁVEK OBYVATEL A OSOB LIKVIDUJÍCÍCH NÁSLEDKY HAVÁRIE

2.1. SPECIFIKA EXTERNÍHO OZÁŘENÍ V POZDNÍ FÁZI HAVÁRIE

Zdrojem **externího ozáření** zasahujících osob i obyvatel v zasaženém území v pozdní fázi havárie je především radioaktivní spad. V radionuklidovém složení spadu dominuje zejména radiocesium, tj. ^{137}Cs a ^{134}Cs (OECD NEA, 2002). Vzhledem k rozdílným poločasům těchto radionuklidů – 30.2 roku pro ^{137}Cs a 2.06 roku pro ^{134}Cs – bude hlavním dlouhodobým zdrojem externího ozáření ^{137}Cs . ^{137}Cs se rozpadá beta přeměnou za následné emise záření gama o energii 662 keV. ^{134}Cs se rovněž rozpadá přeměnou beta za následné emise gama záření o střední energii 698 keV.

Externí ozáření zasahujících osob i obyvatel v pozdní fázi havárie je tedy dominantně tvořeno zářením gama z rozpadu radiocesia.

2.2. CHARAKTER MONITOROVÁNÍ EXTERNÍHO OZÁŘENÍ V POZDNÍ FÁZI HAVÁRIE

Vzhledem k povaze radiačního pole způsobujícímu externí ozáření v pozdní fázi havárie na zasaženém území je zřejmé, že monitorování tohoto externího ozáření bude spočívat v měření dávek od **gama záření**.

K monitorování osobních dávek případně k monitorování dávek v prostředí jsou tedy třeba dozimetry záření gama umožňující stanovení veličin $H_p(10)$, $H^*(10)$, nebo alespoň K_a . V současné době existuje velké množství různých typů pasivních i aktivních dozimetrů záření gama a stanovení dávek od záření gama obvykle nepředstavuje odborný problém.

S přihlédnutím k charakteru pozdní fáze nehody spočívá řešení této problematiky zejména v rozboru otázek navýšení kapacity měření, v některých případech i otázek interpretace výsledků měření. Toto zaměření řešení vyplývá i z poznatků nabytých z monitorování externích dávek z havárie ve Fukushima (Ekendahl et al., 2017).

2.3. MONITOROVÁNÍ DÁVEK OBYVATEL V POZDNÍ FÁZI HAVÁRIE

V České republice jsou dávky obyvatel z externího ozáření sledovány na základě monitorování prostředí v rámci provozu radiační monitorovací sítě (RMS). V oblasti zasažené havárií s největší pravděpodobností vznikne potřeba detailnějšího monitorování prostředí. V závislosti na osídlení a radiační situaci budou volena nová měřící místa.

Podrobnější monitorování prostředí lze v zásadě docílit takto:

- a) Rozšíření sítě TLD v rámci v RMS (instalace TLD do nových měřících míst)
- b) Instalace alternativních levných pasivních detektorů do nových měřících míst
- c) Využití měření v rámci občanských sítí
- d) Osobní dozimetrie pro vybrané skupiny obyvatel

2.3.1. ROZŠÍŘENÍ SÍTĚ TLD V RÁMCI RMS

Teritoriální síť je tvořena 200 měřícími místy osazenými TLD, které jsou vyhodnocovány ve čtvrtletních intervalech. Kromě teritoriální sítě provozuje rezort SÚJB stejným způsobem i lokální síť TLD v okolí jaderných elektráren v Dukovanech a Temelíně. Výměna dozimetrů v měřících místech je zajišťována rezortními mobilními skupinami. Vyhodnocení hodnot $H^*(10)$ v RMS probíhá podle certifikované metodiky M3 ([Ekendahl, M3](#)). Měření dozimetrů a vyhodnocení dat provádí SÚRO. Pro měření je používán systém TLD Harshaw 6600, který zahrnuje automatickou čtečku TLD a 4-složkový TL dozimetr optimalizovaný pro monitorování dávek v prostředí. Příslušná laboratorní měření a procedury probíhají podle akreditované metodiky M2 ([Ekendahl, M2](#)). Výsledky mezinárodních (EURADOS) a národních srovnávacích měření opakovaně prokazují velmi dobrou kvalitu těchto měření. TLD síť představuje dlouhodobě zavedený systém, který v praxi nevykazuje problémy. Nastavený režim provozu TLD sítě je vhodné zachovat i v pozdní fázi havárie. Současný měřicí systém by však v případě potřeby šlo doplnit i starším měřícím systémem Rados (používaným dle metodiky M4 ([Ekendahl, M4](#)) za předpokladu, že systém bude pro tento účel udržován pravidelných testovacích měření a že metodika M4 bude aktualizována. Požadavek na udržování funkčnosti systému Rados pro účely havarijní připravenosti nebyl zatím vznesen. Je spojen s většími nároky na kapacitu laboratoře TL dozimetrie SÚRO, která je však pro této účel v současné době nedostatečná.

Lze očekávat, že k navýšení měřících míst v zasažené oblasti dojde operativně již během střední fáze nehody. Otázky kapacity TL dozimetrů pro tento účel byly již pojednány ve zprávě ([Ekendahl et al., 2019](#)). Současná zásoba TL dozimetrů SÚRO umožňuje vytvořit přibližně 75 nových měřících míst s dozimetrem systému Harshaw 6600 a přibližně 500 nových měřících míst osazených dozimetrem systému Rados, za předpokladu, že funkčnost staršího systému Rados bude udržována. Pořízení větší zásoby dozimetrů může být nákladné, cena 1 ks TL dozimetru je přibližně 3500 Kč.

2.3.2. ALTERNATIVNÍ LEVNÉ PASIVNÍ DETEKTORY

Alternativu či doplněk k měření pomocí zavedených TLD představují levné pasivní detektory. V rámci projektu Bezpečnostního výzkumu ([Ekendahl, 2016a](#)) byl v ČR vyvinut jednoduchý pasivní detektor z běžné kuchyňské soli (viz obr. 1) vyhodnotitelný na bázi opticky stimulované luminiscence (OSL). Pořizovací cena tohoto jednoduchého detektoru, který má formu malé plastové kapsle naplněné solí (viz obr. 1), nepřesahuje 3 Kč. Možnosti dozimetrických aplikací

tohoto materiálu byly demonstrovány v řadě publikací (Ekendahl a Judas, 2011; Ekendahl et al., 2015; Ekendahl et al., 2016; Ekendahl et al., 2018).



Obr. 1. Solný detektor

Kuchyňská sůl představuje vysoce radiačně citlivý krystalický materiál s relativně příznivými dozimetrickými vlastnostmi. Závislost OSL signálu je lineární a supralineární. Hodnota minimální detekovatelné dávky (MDD) je na úrovni 0.3 mGy. Míra fadingu je velmi příznivá, a to kolem 5% za dobu 1 měsíce po ozáření. Sůl podobně jako jiné materiály s vyšším Z_{eff} vykazuje větší energetickou závislost v oblasti energií fotonů v řádu desítek keV. Při měření v radiačních polích s dominantně převažujícími vysokoenergetickými fotony (> 200 keV) však není třeba energetickou závislost materiálu korigovat. Nevýhodou jsou poměrně náročné laboratorní procedury pro měření a vyhodnocení signálu. Časová náročnost měření jednotlivého vzorku soli včetně jeho přípravy je přibližně 5 – 10 min.

V souvislosti se zkoumáním využitelnosti detektoru pro monitorování prostředí v situacích běžných příkonů dávky na úrovni přírodního pozadí byl v minulosti proveden experiment (Ekendahl, 2016b). Při tomto pilotním experimentu byly solné detektory umístěny společně s TLD do vybraného venkovního měřicího místa po dobu 158 dní, jeden ze solných detektorů navíc v laboratoři ozářen volně ve vzduchu zdrojem ^{137}Cs . Aplikovaná hodnota K_a byla 30 mGy. Hodnota odpovídající přírodnímu pozadí měřená pomocí TLD po dobu 158 dní byla 0.352 mGy, což je hodnota na úrovni MDD pro solné detektory. Ze solných detektorů bylo odebráno a měřeno 5 vzorků. Výsledky měření vyjádřené ve formě K_a byly následně pro solné detektory porovnány s TLD. V případě solného detektoru ozářeného pouze ve venkovních podmínkách přírodního pozadí byl mezi naměřenými hodnotami odebraných 5 vzorků zjištěn poměrně velký rozptyl, a to odpovídající relativním odchylkám 2 až 45% od referenční hodnoty naměřené pomocí TLD. V případě vyšší dávky po laboratorní expozici byly relativní odchylky od referenční hodnoty nejvýše 11%. Po pobytu ve venkovních podmínkách nejevily solné detektory žádné známky poškození ani průniku vlhkosti. Dosavadní výsledky indikují, že z důvodu dosažení lepší přesnosti stanovení dávky by v podmínkách běžného přírodního radiačního pozadí měly být solné detektory používány pro delší monitorovací období než 3 měsíce.

S ohledem na možnosti měření na území zasaženém havárií byl proveden další doplňující experiment v letech 2018 – 2019 v rámci řešení tohoto projektu. Solné detektory (obr. 1) ve formě radiačního indikátoru (Ekendahl et al., 2016) byly nasazeny společně s TL dozimetrem prostředí používaným v rámci RMS po dobu jednoho roku v několika měřících místech v budovách i venku ve volném prostranství. U solných detektorů byla k měření použita všechna sůl obsažená v plastové kapsli, což pro každý detektor dalo 21 až 22 vzorků. Byla stanovena průměrná hodnota dávky. Zároveň byla sledována minimální a maximální hodnota dávky v rámci jednoho solného detektoru. V případě použití těchto detektorů by z kapacitních důvodů nebylo možné měřit tak velké množství vzorků z jednoho detektoru. Údaj o minimální a maximální hodnotě dávky tedy indikuje maximální odchylku vzhledem k referenční hodnotě. Jako referenční hodnoty byly použity hodnoty naměřené pomocí TLD. Porovnání výsledků ve formě kerry ve vzduchu, K_a , je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1: Porovnání výsledků měření TLD a solných detektorů (NaCl)

Měřící místo	TLD K_a (mGy)	NaCl K_a (mGy) průměr	Δ (%) průměr	NaCl K_a (mGy) min	Δ_{min} (%)	NaCl K_a (mGy) max	Δ_{max} (%)
A	0.759	0.679	-10.5%	0.471	-37.9%	0.934	23.1%
A b	1	1.026	2.6%	0.77	-23.0%	1.249	24.9%
B	0.881	0.99	12.4%	0.681	-22.7%	1.262	43.2%
B b	0.933	1.071	14.8%	0.769	-17.6%	1.475	58.1%
C	0.618	0.664	7.4%	0.463	-25.1%	1.018	64.7%
C b	1.121	1.257	12.1%	0.824	-26.5%	1.667	48.7%
D b	0.72	0.804	11.7%	0.52	-27.8%	1.15	59.7%
E b	1.175	1.169	-0.5%	0.879	-25.2%	1.659	41.2%
F b	0.833	0.977	17.3%	0.738	-11.4%	1.27	52.5%
G b	0.779	0.991	27.2%	0.693	-11.0%	1.37	75.9%

Nejistota měření ($k=2$) pro TLD je 19%, u solného detektoru dosahuje tato nejistota 62% za předpokladu, že je měřen pouze jeden vzorek z detektoru.

Pokud by bylo měřeno více vzorků z detektoru, nejistota měření se významně snižuje a výsledky jsou zcela srovnatelné s výsledky TLD. Nejistota měření se rovněž snižuje s rostoucí

hodnotou dávky, kdy nehraje roli pozadový signál. Nejistotu měření lze rovněž významně redukovat použitím analytického protokolu SAR. Při současné konfiguraci TL/OSL systému Risø DA-20 používaného pro OSL měření soli je protokol SAR aplikovatelný pro dávky nad 80 mGy, což neodpovídá předpokládaným podmínkám pozdní fáze havárie.

Velkou výhodou solných detektorů je však bezkonkurenčně nízká pořizovací cena, která umožňuje distribuci téměř neomezeného počtu detektorů. Na druhou stranu omezujícím faktorem je současná nízká kapacita měření v laboratoři SÚRO v kombinaci s náročnějším analytickým protokolem. Nicméně existují možnosti, jak kapacitu zvětšit při současném zmenšení nejistoty měření. Jednou z nich pořízení ještě jedné čtečky TL/OSL s interním zdrojem záření beta s nižším příkonem dávky, který by umožnil aplikaci protokolu SAR i pro nízké dávky. Nyní používaný systém TL/OSL, který je primárně určený pro potřeby havarijní retrospektivní dozimetrie, je totiž vybaven zdrojem beta poskytujícím příkon ~ 0.08 Gy/s. Další možností zjednodušení měření je příprava soli do formy peletek slisováním (Waldner a Bernhardsson, 2018). V současné době SÚRO tuto možnost aplikace solných detektorů zkoumá v rámci institucionálního výzkumu. Použití soli ve formě peletek by totiž zjednodušilo laboratorní přípravu a přispělo k větší kapacitě měření.

Solný detektor v současné podobě v kombinaci se současnou konfigurací měřicího systému není momentálně alternativou pro velkokapacitní měření. V zásadě lze uvažovat o nasazení detektorů v řádu maximálně stovek, pokud by nebyl požadavek, aby byly vyhodnocovány najednou v tomto počtu.

2.3.3. MĚŘENÍ V RÁMCI OBČANSKÝCH SÍTÍ

Z důvodu komerční dostupnosti detektorů záření, lze předpokládat, že v případě radiační havárie si někteří obyvatelé zakoupí detektory radiace. K detektorům prakticky jednoduše využitelným pro monitorování prostředí se záznamem výsledků patří cenově dostupný Safecast bGeigie Nano na bázi Geiger-Müllerova detektoru. Tento měřič již dnes funguje tak, že v rámci mezinárodní sítě umožňuje předat data z libovolného místa do centrální celosvětové databáze a zobrazit je na mapě světa. Možnosti využití tohoto detektoru jsou blíže pojednány v části 7.3 projektu. V ČR je k dispozici určitý počet těchto detektorů, které SÚRO zapůjčuje jednotlivcům z řad veřejnosti. Existující měření a zkušenosti svědčí o možné použitelnosti tohoto systému jako orientačního radiačního indikátoru. Výsledky z těchto občanských měření mohou mít určitý podpůrný význam při kontrole radiační situace a mohou přispět k uklidnění vystrašených obyvatel, nicméně nemohou nahradit měření prováděná profesionálními týmy. V poslední době se objevují aplikace pro měření úrovně radiace s využitím mobilních telefonů, kde je jako senzor použita kamera. Jedná se o volně dostupné aplikace pro širokou veřejnost. Při jejich použití hrozí riziko nesprávného zacházení a interpretace výsledků. V rámci evropského projektu Shamisen SINGS ve spolupráci se skupinou EURADOS byly dvě z těchto aplikací testovány na různých typech mobilních telefonů,

přičemž se zjistilo, že výsledky měření mohou být ovlivněny řadou faktorů, jako např. teplota senzoru, stav baterie a zejména nedostatečná filtrace viditelného světla. Průzkum byl také zaměřený na uživatelskou praktičnost pro netrénované osoby. Používání nezkušenými jedinci může vést k významným chybám. Z tohoto důvodu byla připravena doporučení pro osoby z řad běžných uživatelů, vývojářů aplikací a odpovědných autorit obsahující praktické připomínky užitečné pro danou skupinu, aby byl co nejlépe využitý potenciál této nově vyvinuté metody detekce záření (Fattibene et al., 2019).

Projekt Shamisen se zaměřuje na připravenost a nápravu po radiačních nehodách. Na základě poznatků sesbíraných při skutečných radiačních haváriích, ke kterým došlo v Černobylu a Fukušimě, byla vytvořena doporučení pro účely havarijní připravenosti i postupy pro časnou a pozdní fázi nehody. Projekt Shamisen SINGS má za cíl posílit účast obyvatel na monitorování radiační úrovně, zdraví a celkového stavu obyvatel za pomoci nových nástrojů, jakými jsou aplikace do mobilních telefonů (Liutsko et al., 2019). Aplikace, která má za úkol usnadnit návrat evakuovaným občanům, je připravována pro rezidenty navrácené do oblasti v okolí fukušimské elektrárny. V rámci mobilní aplikace jsou shromažďovány důležité informace, odkazy a kontakty pro podporu při návratu do běžného života. Navíc má být tímto způsobem uživatelům zprostředkována jednoduchá komunikace se zdravotnickým personálem. Cílem je vytvořit moderní a uživatelsky přívětivé prostředí pro interaktivní propojení lidí a informací (Ohba et al., 2019).

2.3.4. MĚŘENÍ OSOBNÍMI DOZIMETRY PRO VYBRANÉ SKUPINY OBYVATEL

Zkušenosti z havárie jaderné elektrárny Fukushima ukazují, že určité skupiny obyvatel může být vhodné vybavit osobními dozimetry (Ekendahl et al., 2017). Jedná se zejména o obyvatele ze zasaženého území, u nichž se dle doporučení ICRP 111 uplatňuje jako rozhodná dávka pro setrvání na daném území hodnota 20 mSv/rok. V zasažených oblastech s významně nižší roční dávkou postačuje ke kontrole dávek obyvatel měření dávek v prostředí, případně je možné vybavit osobními dozimetry pouze vybrané skupiny obyvatel (ve Fukušimě se jednalo o studenty). V Japonsku se osvědčil nízkonákladový dozimetr dozimetr D-Shuttle. Samotný dozimetr je malá lehká krabička, která obsahuje křemíkovou diodu jako detektor. Dozimetr nemá displej pro zobrazování aktuální hodnoty $H_p(10)$. Pro okamžité zobrazení naměřených hodnot slouží malá přenosná čtečka. Po vsunutí dozimetru do čtečky se zobrazí dvě hodnoty $H_p(10)$, jedna hodnota akumulovaná za minulý den a druhá akumulovaná za celou dobu od vynulování dozimetru. Pro zobrazení časového vývoje dávky po jednotlivých hodinách lze použít větší stolní čtečku ve spojení se SW aplikací. Výhodou je dlouhá výdrž baterie v dozimetru po dobu alespoň 1 roku, naopak nevýhodou je nutnost pro každou výměnu baterie poslat dozimetr výrobci. V minulosti jsme tento dozimetr testovali (Čemusová et al., 2017). Zjistili jsme, že přestává správně měřit v prostředí s příkonem převyšujícím přibližně 10 mSv/h. Další nesrovnalosti byly zaznamenány při časové rekonstrukci rozložení dávky. Většina ostatních výsledků naměřených v rámci testů energetické, směrové nebo dávkové závislosti,

byla ve shodě s požadavky kladenými na osobní dozimetry. V prostředí se stabilním nízkým dávkovým příkonem tedy může tento dozimetr sloužit jako jednoduchý nástroj pro uklidnění obyvatel.

Možnosti vybavení osob z řad obyvatel osobními dozimetry jsou závislé na rozsahu havárie a dostupnosti dostatečného množství osobních dozimetrů. Podobně jako v Japonsku se zde mohou uplatnit dozimetry poskytované službami osobní dozimetrie, pokud by byly schopny tyto služby ve větším rozsahu zajistit. Lze předpokládat, že služby osobní dozimetrie by se spíše podílely na zajištění osobní dozimetrie zasahujících osob (viz dále 2.4.).

2.4. MONITOROVÁNÍ OSOBNÍCH DÁVEK ZASAHUJÍCÍCH OSOB V POZDNÍ FÁZI HAVÁRIE

Týmy působící v rámci Radiační monitorovací sítě disponují vlastním dozimetrickým vybavením (Malátová et al., 2013). U zásahů v rámci dlouhodobé nápravy území by však byly nasazeny i další různé profesní skupiny zasahujících osob. Za vybavení zasahujících osob dozimetry a ochrannými pomůckami odpovídá ten, kdo je k zásahu vysílá. V případě stabilních radiačních podmínek s nižšími hodnotami dávkového příkonu, kdy je vyloučeno překročení limitu pro pracovníky, může postačovat použití skupinového dozimetru pro skupinu společně pracujících zasahujících osob.

Z hlediska měření osobních dávek jsou uplatnitelné běžné komerčně dostupné dozimetry záření gama. Technické parametry některých nejlépe dostupných typů shrnuje následující tabulka.

Tab. 2: Přehled a vlastnosti vybraných aktuálně dostupných osobních elektronických dozimetrů pro detekci fotonů ve veličině $H_p(10)$.

název	RAD-60	DMC 3000	SOR/R	EPD TruDose	PM1610
výrobce	Mirion	Mirion	Mirion	Thermo	Polimaster
životnost	2,5 měsíce	>3 měsíce	1 rok	3 měsíce	1 měsíc
rozměry a váha	78x67x22 mm 80 g	87x60x21 mm <88 g	80,4x48x9 mm 55 g	86x63x21 mm 106 g	58x58x18 mm 70 g
energ. rozsah	60 keV - 6 MeV	15 keV - 7 MeV	60 keV - 6 MeV	16 keV- 10 MeV	20 keV- 10 MeV
měřicí rozsah	1 μ Sv – 9,99 Sv 5 μ Sv/h - 3 Sv/h	1 μ Sv - 10 Sv 0,1 μ Sv/h- 20 Sv/h	1 μ Sv - 10 Sv 0,1 μ Sv/h- 10 Sv/h	1 μ Sv - >10 Sv 1 μ Sv/h - 10 Sv/h	0,05 μ Sv - 10 Sv 0,01 μ Sv/h- 12 Sv/h
pracovní teplota	-20°C - +50°C	-10°C - +50°C	-20°C - +50°C	-20°C - +50°C	-20°C - +50°C

Parametry elektronických osobních dozimetrů uváděné výrobcí se většinou příliš neliší, skutečné dozimetrické vlastnosti řady z nich byly ověřeny v rámci předchozího výzkumného projektu (Ekendahl a Čemusová, 2014). Z výsledků vyplývá, že dozimetry by byly použitelné pro účely monitorování osobních dávek zasahujících osob v radiačních podmínkách pozdní fáze havárie.

Přehled osobních dozimetrů gama záření poskytovaných komerčními dozimetrickými službami v ČR spolu s vybranými charakteristikami je uveden v tabulce 3.

Tab. 3: Přehled integrálních fotonových osobních dozimetrů poskytovaných dozimetrickými službami v ČR pro měření veličiny $H_p(10)$.

typ dozimetru	film	TLD	OSLD
detektor	fotografický film	AlP sklo	$Al_2O_3:C$
poskytovatel	NUVIA, a.s. (CSOD)	NUVIA, a.s. (CSOD)	VF, a.s.
energetický rozsah	<10 keV - >6,5 MeV	30 keV- 1,3 MeV	16 keV - 18 MeV
měřicí rozsah	0,05 mSv – 1,5 Sv	0,05 mSv - 5 Sv	0,05 mSv - 10 Sv
pracovní teplota	+5°C - +45°C	-5°C - +40°C	+10°C - +40°C
fading	~10%/ 3 měsíce	~7%/ měsíc	~3%/ rok

Pokud jde o možnost využití komerčních služeb osobní dozimetrie, v ČR by se jednalo o společnosti Nuvia, a.s. a VF, a.s. Pro zjištění současných možností těchto služeb v případě rozsáhlé radiační havárie byly tyto služby osloveny. Obě služby vyjádřily ochotu se v případě takové situace zapojit do měření. V tabulce 4 jsou shrnuty nabídky těchto služeb.

Tab. 4. Nabídka služeb osobní dozimetrie

Služba	Typ dozimetru	Počet dozimetrů	Cena za vyhodnocení 1 dozimetru (Kč)
NUVIA, a.s. (CSOD)	Filmy	2000 (3 období)	90 - 120
	TLD	2000 (opakovaně)	
VF, a.s.	OSL	1000	100
	Prstové TLD*	100	100
	Neutronové stopové*	100	200

*není relevantní pozdní fázi havárie

Dozimetrické služby dále uvedly, že jejich zapojením by vznikly další přídatné náklady konkrétně těžko předem specifikovatelné. Obecně byly zmíněny přídatné náklady na pořízení filmů, náklady na distribuci dozimetrů i výsledků, osobní náklady včetně nákladů na pohotovost, náklady na služební vozidla. Obě společnosti by vyjádřily zájem o poskytování

placené periodické služby v rámci havarijní připravenosti. Tento systém placené periodické smluvní pohotovostní služby by však pravděpodobně byl velmi nákladný.

2.5. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY

Současné legislativní požadavky na monitorování osobních dávek zasahujících osob a obyvatel byly podrobně pojednány v rámci řešení souvisejícího projektu (VH20172020006) (Kapuciánová et al., 2017). Výše uvedené možnosti monitorování pro obyvatele a zasahující osoby jsou dostatečné z hlediska splnění legislativních požadavků.

U obyvatel zákon předpokládá, že jejich dávky budou sledovány a hodnoceny především na základě monitorování prostředí. Data z monitorování prostředí musí být srkze datové rozhraní předávána Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), kde jsou tato data evidována a uchovávána. Tento systém existuje a je plně funkční.

Co se týče evidence osobních dávek zasahujících osob, osoba vysílající zasahující osobu k zásahu je povinna zajistit vedení seznamu zasahujících osob, monitorování a hodnocení velikosti ozáření při zásahu a uchovávání údajů získaných z těchto činností. Seznam všech zasahujících osob, záznamy a údaje o skutečnostech týkajících se zásahu a zasahujících osob musí vysílající osoba uchovávat po dobu 10 let od ukončení zásahu. Záznamy monitorování a hodnocení velikosti ozáření zasahující osoby musí vysílající osoba uchovávat po dobu 30 let od ukončení zásahu. Identifikační údaje zasahující osoby a jí obdrženou dávku musí osoba, která osoby k zásahu vysílala předávat SÚJB neprodleně po ukončení zásahu. Z hlediska těchto zákonných požadavků, by tedy minimální údaje předávané SÚJB měly obsahovat: **jméno osoby, rodné číslo, osobní dávka ve formě $H_p(10)$ a časové období**, ke kterému se hodnota $H_p(10)$ vztahuje. Pro evidenci a uchovávání těchto dat postačuje jednoduchá databáze.

Zákon sice specificky nezmiňuje možnost osobní dozimetrie u osob z řad obyvatel, ale pokud by některé osoby z řad obyvatel byly vybaveny osobním dozimetrem, měly by být výsledky z tohoto monitorování vykazovány a předávány SÚJB stejným způsobem jako u zasahujících osob.

3. PŘEHLED LITERATURY

Čemusová, Z., Ekendahl, D. a Judas, L., 2017. Testing of the D-Shuttle personal dosimeter. Radiat. Meas. 106, 214- 217.

Ekendahl, D., Judas, L., 2011. NaCl as a retrospective and accident dosimeter. Radiat. Prot. Dosim. 145, 36-44.

Ekendahl, D. a Čemusová, Z., 2014. Testování různých typů osobních aktivních dozimetrů. Zpráva SÚRO č. 37/2014. Praha, SÚRO.

Ekendahl, D., Bulánek, B., Judas, L., 2015. Comparative measurements of external radiation exposure using mobile phones, dental ceramic, household salt and conventional personal dosimeters. Radiat. Meas. 72, 60-65.

Ekendahl, D., Bulánek, B., Judas, L., 2016. A low-cost personal dosimeter based on optically stimulated luminescence (OSL) of common household salt (NaCl). Radiat. Meas. 85, 93-98.

Ekendahl et al., 2016a. Vývoj nízkonákladového pasivního dozimetru pro hodnocení externího ozáření osob v operačním prostředí. Zpráva SÚRO č. 1/2016. Praha, SÚRO.

Ekendahl et al., 2016b. Testování dozimetrů na bázi soli (NaCl). Zpráva SÚRO č. 7/2016. Praha, SÚRO.

Ekendahl et al., 2017. Zahraniční zkušenosti v oblasti sledování dávek zasahujících osob i obyvatel na území zasaženém havárií jaderné elektrárny. Zpráva SÚRO č. 13/2017. Praha, SÚRO.

Ekendahl, D., Rubovič, P., Žlebčík, P., Huml, O., Malá, H., 2018. Dosimetry with salt in mixed radiation fields of photons and neutrons. Radiat. Prot. Dosim. 178 (3), 329-332.

Ekendahl et al., 2019. Analýza možností doplnění současného systému sledování, evidence a regulace osobních dávek v časně a střední fázi nehody. Zpráva SÚRO č. 20/2019. Praha, SÚRO.

Ekendahl, D. M4 Stanovení H_x systémem TLD Rados, SÚRO 81-02.2-x. SÚRO.

Ekendahl, D. M3 Stanovení $H^*(10)$ pomocí integrálních dozimetrů v rámci RMS. Certifikovaná metodika, SÚRO 141-16.7-x. SÚRO.

Ekendahl, D. M2 Stanovení $H^*(10)$ a $H'(0.07)$ systémem TLD Harshaw 6600. Akreditovaná metodika, SÚRO 141-07.4-x. SÚRO.

Fattibene, P. et al., 2019. Correct use of apps for self-made measurements of radiation: proposal of recommendations for citizens, developers and authorities. Book of abstracts- The 4th European Radiation Protection Week. Stockholm, October 2019, pp. 91.

Fattibene, P. et al., 2019. An analysis of commercial radiation measurement mobile apps for citizens use. Book of abstracts- The 4th European Radiation Protection Week. Stockholm, October 2019, pp. 147.

Kapuciánová, M. et al., 2017. Požadavky současné české legislativy v oblasti sledování, evidence a regulace dávek zasahujících osob i obyvatel. Zpráva SÚRO č. 10/2017. Praha, SÚRO.

Liutsko, L. et al., 2019. Shamisen SINGS project- benefits & challenges by using apps for dose and health monitoring after a nuclear accident. Book of abstracts- The 4th European Radiation Protection Week. Stockholm, October 2019, pp. 78.

Malátová, I. et al., 2013. Kritická rešerše aktuálních představ o scénářích možného ozáření personálu, zasahujících osob, včetně osob v leteckých prostředcích při těžké nehodě JEZ. Zpráva SÚRO č. 29/2013. Praha, SÚRO.

OECD NEA, 2002. Chernobyl: Assessment of Radiological and Health Impacts. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development. ISBN 92-64-18487-2

Ohba, T. et al., 2019. Adaptation of an EU-initiated mobile phone application interface for interactive support of returnees after the Fukushima nuclear accident. Book of abstracts- The 4th European Radiation Protection Week. Stockholm, October 2019, pp. 27.

Waldner, L. a Berndhardsson, C., 2018. Physical and dosimetric properties of NaCl pellets made in-house for the use in prospective optically stimulated luminescence dosimetry applications. Radiat. Meas. 119, 52-57.



Státní ústav radiální ochrany

Bartošková 28, 140 00 Praha 4

v.v.i

Zpráva č. 37/2020

MĚŘENÍ ZASAHOJÍCÍCH OSOB
A OBYVATEL ZASAŽENÉHO
ÚZEMÍ PRO ÚČELY KONTROLY
VNITŘNÍ KONTAMINACE

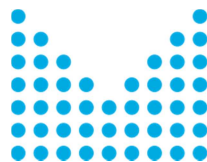
Interní výstup k projektu
MV VH20172020015
v roce 2020

Autoři:

Fojtík P., Malátová I., Rovenská V.
Praha, 2020 Výtisk č. 1



Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

Projekt výzkumu a vývoje

„Strategie řízení nápravy území po radiační havárii“

VH20172020015

Interní výstup k projektu VH20172020015

Typ výsledku dle NV č. 837/2017	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
není relevantní	1018	2020

Anotace zprávy:

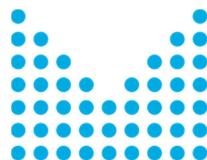
Zpráva obsahuje podkladové údaje k výsledku projektu, který je dokument SÚJB VDI 132 „Postupy monitorování obdržených osobních dávek ze zevního a vnitřního ozáření; postupy monitorování osobních dávek zasahujících osob, osob podílejících se na obnově a obyvatelstva“. Zpráva se týká postupů monitorování vnitřního ozáření. Jsou rozpracovány způsob monitorování, výpočet dávky po zpřístupnění území k užívání a měřicí kapacita.

Autoři zprávy: Ing. Pavel Fojtík, Ing. Irena Malátová, CSc., Mgr. Vendula Rovenská

Manažer projektu: Ing. Irena Češpírová



Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

MĚŘENÍ ZASAHUJÍCÍCH OSOB A OBYVATEL ZASAŽENÉHO ÚZEMÍ PRO ÚČELY KONTROLY VNITŘNÍ KONTAMINACE

Interní výstup k projektu

MV VH20172020015

v roce 2020

Autoři:

Fojtík, P., Malátová, I., Rovenská V.

Praha, 2020

Výtisk č. 1



Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

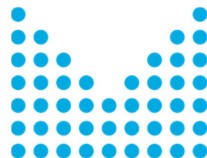
Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

Obsah

1.	ÚVOD	3
2.	POSTUPY SLEDOVÁNÍ OBDRŽENÝCH DÁVEK OBYVATELSTVA A ZASAHUJÍCÍCH OSOB	3
2.1.	ORGANIZACE MONITOROVÁNÍ	4
3.1.	TECHNIKY MONITOROVÁNÍ OSOB.....	6
4.1.	METODY VÝPOČTU DÁVEK	6
5.1.	VÝPOČETNÍ POSTUPY PRO STANOVENÍ PŘÍJMU	9
6.1.	METODY VÝPOČTU DÁVKY	10
3.	ROZBOR MĚŘICÍCH KAPACIT	13
4.	LITERATURA	16



Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

1. ÚVOD

Legislativní rámec/požadavky

Na předávání území do užívání se vztahují ustanovení § 102 atomového zákona (AZ 263/2016) „Existující expoziční situace jako následek nehodových expozičních situací nebo jiných okolností“. Ozáření se v takovém případě reguluje „stanovením referenčních úrovní pro průměrnou efektivní dávku reprezentativní osoby za kalendářní rok v rozmezí od 1 do 20 mSv“ (AZ 263/2016, §102(2)). Vyhláška 422/2016 Sb. stanoví, že „Referenční úroveň k usměrňování přetrvávajícího ozáření v důsledku nehodové expoziční situace je nejvýše 20 mSv za 12 měsíců“ (V 422/2016, §110(2)). Tuto hodnotu není žádoucí překročit a cílem optimalizace opatření je dávka od 1 do 20 mSv. Jedná se o zbytkovou (reziduální) dávku při fungování ochranných opatření.

Rešerše zahraničních zkušeností

Zahraniční zkušenosti v oblasti sledování dávek zasahujících osob i obyvatel na území zasaženém havárií jaderné elektrárny jsou uvedeny ve Zprávě SÚRO 13/2017 [SÚRO 2017].

Předávané území z rizika vnitřní kontaminace

Ve fázi předávání území do užívání jsou z hlediska příspěvku k dávce z vnitřního ozáření významné ty radionuklidy s významným výtěžkem z reakce jaderného štěpení nebo zachytu neutronu, které mají dostatečně dlouhý poločas přeměny, tj. prakticky ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , přičemž za havárie došlo k jejich uvolnění do životního prostředí. Z uvedených časem ztrácí význam ^{134}Cs kvůli relativně krátkému poločasu přeměny. Dojde-li při havárii k uvolnění transuranů (^{237}Np , $^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am , 242 , ^{245}Cm) do životního prostředí, dochází navíc k nárůstu aktivity ^{241}Am z přeměny ^{241}Pu .

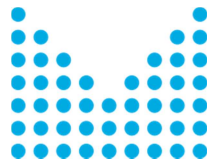
Dávky obyvatelstvu z vnitřního ozáření po předání území do užívání závisí kromě způsobu života na území také na podniknutých opatřeních ke snížení vnitřního ozáření a na jejich dodržování. Vnitřní kontaminace je v této fázi důsledkem ingesce kontaminovaných potravin. Vedle přímého měření kontaminace osob poskytuje tedy další podklad k odhadu dávek také souběžné monitorování aktivity radionuklidů v potravinách.

2. POSTUPY SLEDOVÁNÍ OBDRŽENÝCH DÁVEK OBYVATELSTVA A ZASAHUJÍCÍCH OSOB

Od monitorování vnitřního ozáření obyvatelstva na kontaminovaném území se očekává ověření, že je dodržena zbytková (reziduální) dávka z vnitřního ozáření, tj. očekávaná dávka při realizaci a dodržování ochranných opatření. Tomuto záměru musí být přizpůsobeny organizace a postupy monitorování. Monitorování zasahujících osob zajišťuje vysílající osoba a pro omezení havarijního ozáření zasahující osoby v nehodové expoziční situaci použijí limity pro radiační pracovníky.

Kromě informace, zda je území zpřístupněno pro návrat obyvatelstva z hlediska dávky z vnitřního ozáření, se monitorováním získá informace o tom, zda

- fungují opatření pro nápravu území a jsou trvale udržitelná (zjištěním stavu vnitřní kontaminace před opatřeními a po zavedení konkrétního opatření),



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

- existují skupiny nebo osoby, které obdrží na území dávku vyšší, než je referenční hodnota (tj. optimalizační mez); ověří se tak správnost optimalizace

Další úkoly při monitorování pro účely sledování dávek z vnitřního ozáření:

- 1) provádění prospektivních výpočtů vývoje vnitřní kontaminace a dávky pro účely výhledu zprovoznění území,
- 2) případné shromažďování dat pro epidemiologické hodnocení,
- 3) stanovení individuálních dávek (není hlavním cílem monitorování).

2.1. ORGANIZACE MONITOROVÁNÍ

Monitorování složek životního prostředí a potravního řetězce

Monitorování životního prostředí a potravního řetězce musí zahrnovat ty složky, které se použijí pro výpočet dávky z vnitřního ozáření za použití modelů příjmu ingescí a popřípadě inhalací. Zejména se jedná o potraviny, které tvoří součást smíšené stravy a stravy každé věkové kategorie.

Monitorování osob, metody a parametry výběru osob

Referenční úroveň stanovená k regulaci přetrvávajícího ozáření po nehodové expoziční situaci se porovnává s dávkou reprezentativní osobě. Reprezentativní osoba, jak je definována v publikaci ICRP 101 [ICRP 101], je jedinec, „který dostává dávku reprezentativní pro nejvíce exponované jedince v populaci“ (ICRP 101, český překlad, bod (i)). Tato dávka je rovnocenná „střední dávce“ v kritické skupině, jak byla definována v dřívějších publikacích ICRP (koncept kritické cesty a kritické skupiny je zaveden v publikaci ICRP 7 [ICRP 7].)

Kritérii výběru skupiny osob pro monitorování se podrobně zabývá publikace ICRP 101 v kapitole 3.1.

Definice reprezentativní osoby a patří mezi ně

- 1) rozumnost životních návyků (tzn. nevybočení z rozpětí běžného v denním životě)
- 2) dlouhodobá stálost návyků (tzn. dlouhodobá platnost kritéria)
- 3) homogenita skupiny (dána rozmezím dávek)

U monitorované skupiny osob musí být neustále ověřováno, že jsou osoby reprezentativní pro monitorovanou populaci (kritickou skupinu). Ověřování se provádí dotazníky, srovnáním chování osob v rámci monitorované skupiny, srovnáním parametrů kumulativní funkce distribuce retence s jiným výběrem osob z monitorované populace. Podle potřeby se provede jiný výběr osob. Data o životních návycích se získají statistickým šetřením, ze statistických přehledů, dotazováním. Data pro výběr reprezentativní osoby mohou poskytnout také dotčené subjekty, tzv. *stakeholders*, tedy osoby z obyvatelstva, které je dotčeno užíváním území. Mohou napomoci získávání údajů dotazováním.

Věkové skupiny

Reprezentativní osobou může být jedinec z kterékoli věkové kategorie. Pro prospektivní stanovení dávky se doporučuje v praxi užívat k jejich reprezentaci věkové kategorie 0–5 roků („kojenec“), 6–15 let („dítě“) a 16–70 let („dospělý“) a koeficienty rizika a údaje o životních návycích pro jednorocí dítě (kojenec), desetileté dítě a dospělou osobu [ICRP 101]. To neplatí pro retrospektivní výpočty, pro něž se použijí věkově závislá data, např. věkově závislá biokinetická data.

Předvýběr osob

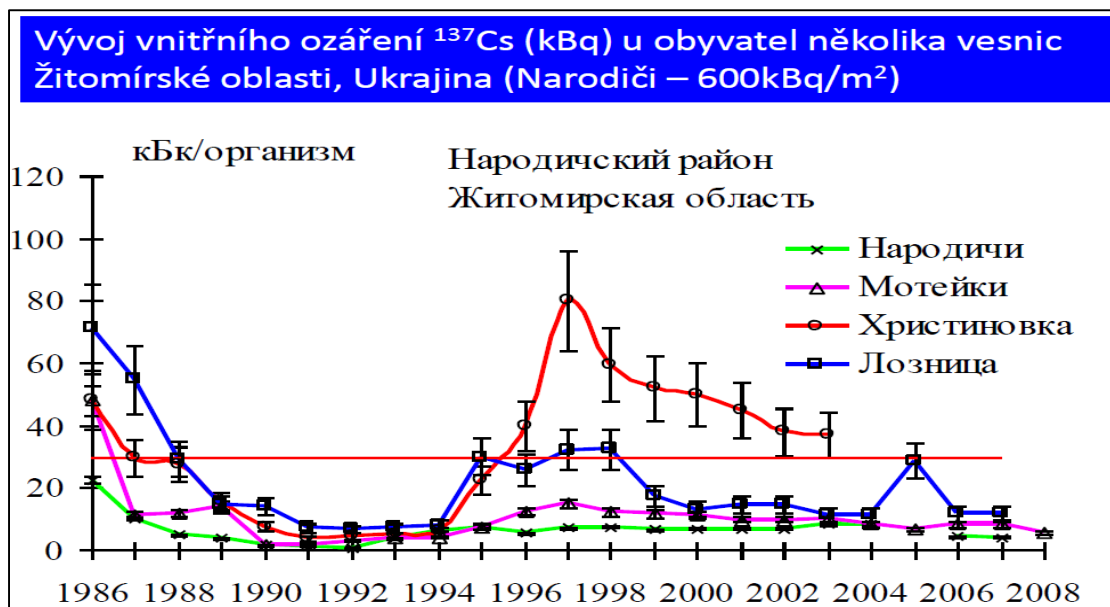
Předvýběr skupiny osob pro monitorování dávky reprezentativní osoby se provede na základě změřené kontaminace území, popřípadě lze využít model kontaminace území (např. členění území na zóny podle Národního radiačního havarijního plánu, prognózy kontaminace z modelových výpočtů). Reprezentativní osoba se volí z území s nejvyšší kontaminací. Dále se vybírá podle způsobu života, zejména stravovacích návyků. Výběr skupiny je tedy kombinací úrovně kontaminace a nepříznivých návyků z hlediska příjmu radionuklidů. Ve zvycích zvolené skupiny musí být zastoupeny všechny významné cesty příjmu.

Skupiny pro specifické odhady

V rámci monitorování se popřípadě identifikují také speciální skupiny osob nebo skupiny umožňující získání specifických údajů např. k distribuci nebo vývoji vnitřní kontaminace. Speciální skupinou jsou také osoby dotčené zavedením nebo zrušením regulačních opatření. Na základě modelu a prováděných měření kontaminace území se vyhledají také extrémy, tj. osoby s předpokládanou vyšší dávkou. Osoby s řádově vyššími naměřenými hodnotami vnitřní kontaminace se pak vyberou pro hodnocení individuálních dávek.

Zahájení a ukončení monitorování

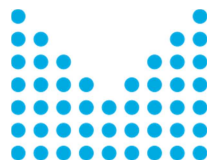
Monitorování přímým měřením vnitřní kontaminace u vybrané skupiny se zahájí po jejím zformování. Po dosažení cílů optimalizace dávky se nabízí ukončit monitorování nebo v něm pokračovat s menší intenzitou. S monitorováním je však třeba v nějakém rozsahu pokračovat i po odvolání ochranných opatření, která vedla k dosažení cíle optimalizace a nejsou již nezbytná. Je třeba potvrdit udržitelnost výsledků opatření a monitorovat důsledky jejich případného rozvolnění. Na obrázku 1 je uveden příklad, kdy po odvolání opatření došlo k nárůstu vnitřní kontaminace ^{137}Cs u obyvatelstva sledovaných ukrajinských vesnic.



Obrázek 1: Vývoj celotělové aktivity ^{137}Cs v kBq u obyvatel několika ukrajinských vesnic Žitomírské oblasti po havárii JE v Černobylu; [IAEA 2012]



Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

3.1. TECHNIKY MONITOROVÁNÍ OSOB

Celotělové měření

Postup měření celotělové aktivity radionuklidů u jednotlivých osob provádějících činnosti v rámci obnovy území a u obyvatelstva se neliší. Liší se mohou délky měření, které se volí podle požadované meze detekce, a použité kalibrované geometrie měření pro jednotlivé věkové kategorie osob z řad obyvatelstva. Měření celotělové aktivity vyžaduje, aby byl celotělový počítač kalibrován pro měření všech monitorovaných věkových kategorií.

Sběr a analýza exkret

Monitorování vnitřní kontaminace měřením denní exkrece radionuklidů v moči se volí v případě nedostatečné citlivosti přímého měření retence radionuklidu (například pro monitorování vnitřní kontaminace aktinoidy) nebo při obtížné realizaci přímého měření jednotlivců z obyvatelstva (kvůli velikosti území, velikosti skupiny osob, nedostatku měřicí kapacity).

Případný sběr stolice slouží k monitorování vnitřní kontaminace nerozpustnými formami radionuklidu (zejména aktinoidů) u osob, u kterých může dominovat cesta příjmu vdechnutím.

Měření aktivity radionuklidů v exkretech se provádí buď v nativním vzorku exkret (pokud to emitované záření umožňuje), nebo častěji a s větší citlivostí po vhodném radiochemickém zkoncentrování vzorku.

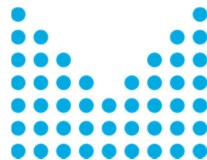
4.1. METODY VÝPOČTU DÁVEK

Úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření v důsledku vnitřní kontaminace radionuklidu se stanoví výpočtem ze zjištěného příjmu radionuklidu nebo ze znalosti vývoje retence radionuklidu v těle. Příjem radionuklidu se odhadne z aktivit radionuklidu ve složkách potravního řetězce nebo životního prostředí nebo na základě měření retence nebo exkrece radionuklidu. Vývoj retence radionuklidu v těle se vypočte ze známé spotřeby složek potravního řetězce nebo stanoví přímým měřením nebo nepřímo z exkrece a biokinetických modelů.

Doporučuje se použít více metod a jejich výsledky porovnat.

Odhad příjmu modelem

Odhad příjmu radionuklidů modelem, který vychází z modelovaných aktivit potravin a ze spotřeby potravin, je rychlý způsob stanovení dávek u veškeré veřejnosti. Jedná se o počítačové simulace založené na modelech šíření radionuklidů a vzorcích chování obyvatel vzhledem k příjmu. Skutečné hodnoty parametrů v těchto modelech nejsou přesně známy. Jejich nejistoty vedou k rozpětí koncentrací radionuklidů v potravinách až o tři řády [Smith 2002]. Modelové odhady mají význam především pro předpověď vývoje příjmu radionuklidů v čase. Tato metoda odhaduje příjem určitou cestou příjmu. Při absenci naměřených dat o aktivitách v potravním řetězci může být jedinou metodou poskytující první rychlou prognózu.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

Odhad příjmu výpočtem z naměřených aktivit v potravinách

K odhadu příjmu radionuklidů z konzumace potravin se použijí údaje o naměřených aktivitách ve složkách potravního řetězce a údaje o jejich spotřebě. Hodnoty spotřeby potravin zveřejňuje Český statistický úřad [ČSÚ 2017]. Jedná se o údaje pro ČR zpracované bilanční metodou z dat výroby, dovozu, vývozu apod. Spotřeba není vyčíslena pro jednotlivé věkové kategorie. Liší-li se údaje pro konkrétní sledovanou skupinu, lze provést úpravu spotřeby statistickým šetřením spotřeby ve skupině, zejména s ohledem na samozásobení produkty pocházejícími z monitorované oblasti a spotřebu věkovými skupinami. Hodnoty aktivit radionuklidů by měly pocházet také z měření komodit konzumovaných na sledovaném území. Příjem radionuklidů odhadnutý na základě naměřené aktivity v potravinách a dat o jejich spotřebě je zatížen nejistotou i v důsledku vývoje aktivity v potravinách, který se může pro různé komodity lišit. Modely využívající naměřené hodnoty aktivity v potravinách vedou k nadhodnocení příjmů. Ve zprávě výboru UNSCEAR z roku 1988 jsou jako příčiny této tendence jmenovány přirozené sklony provádět sběr vzorků na území s vyšším spadem, zanedbání ztrát při kulinářském zpracování a důsledek pohybu zboží po celém území [UNSCEAR 1988, Annex D, §88, §142], přičemž nadhodnocení je potvrzeno i jinde [Thornberg 2000, Strand 1989], mj. pro možné ztráty zpracováním [Travnikova 2001]. Srovnání výsledků kalkulací příjmu z různých dat a jejich statistické interpretace uvádí také Zpráva SÚRO 20/2012 [SÚRO 2012]. Zdrojem nesouladu mezi retencí prognózovanou z aktivity v potravinách a skutečnou retencí může být také absorpce radionuklidu z trávicího traktu do krve. V případě cesia se předpokládá kvantitativní resorpce ze zažívacího traktu [ICRP 100] do krve ($f_A = 1$) pro všechny formy cesia s výjimkou nerozpustných forem, např. ozářených částic jaderného paliva, kde se bere $f_A = 0,1$. Nižší resorpce pak může být zdrojem tohoto nesouhlasu.

Příjem radionuklidů u některých skupin nelze odvodit z výpočtu spotřeby podle spotřebního koše, ale pouze monitorovat přímým individuálním měřením. Jedná se o osoby se zvláštními stravovacími návyky nebo s častým velkým příjmem radionuklidů.

K termínu smíšená strava

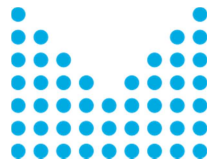
Termínem „smíšená strava“ se rozumí směs vybraných základních potravin, která složením a množstvím ve směsi odpovídá průměrné denní spotřebě obyvatele. Položkami smíšené stravy se rozumí jednotlivé základní druhy potravin. (Vyhláška SÚJB 360/2016 Sb., o monitorování radiační situace, § 2). Složení dvoudenní porce smíšené stravy pro účely monitorování radiační situace je v současné době stanoveno v příloze dokumentu SÚJB B-VDI128_HOD_RO-HP_0.00 „Odběry vzorků“ (příloha: „Tabulka harmonogram odběrů a formulář pro odběr smíšené stravy podle spotřebního koše“). Smíšená strava tedy odpovídá složením „spotřebnímu koši potravin“ podle ČSÚ. Její spotřeba za jeden den se označuje jako celodenní strava.

Měření osob

Měření osob se rozumí přímé měření retence radionuklidu nebo rychlosti jeho exkrece z těla u příslušníků monitorované skupiny.

Celotělové měření retence radionuklidů v těle

Nejdůležitější a nejspolehlivější je monitorování aktivity radionuklidů v těle na celotělovém počítači v kombinaci se znalostí okolností příjmu z měření prostředí. Počet předpokladů pro měření



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

a biokinetické chování je menší než pro odhad z modelů potravinových řetězců a nejistoty předpokladů jsou nižší.

Citlivost současných celotělových počítaců je dostatečná pro monitorování vnitřní kontaminace odpovídající nepatrnému zlomku optimalizační meze pro dávku z vnitřního ozáření. Výjimkou je případná vnitřní kontaminace transurany.

Měření retence u osob klade nároky na přítomnost osob na měření, na organizaci měření, může vyžadovat výjezd za měřenými osobami a vyhledání stabilního a co nejnižšího pozadí při výjezdovém měření. Kvůli této náročnosti je třeba stanovit nezbytný rozsah měření.

Pro podchycení sezónních variací je vhodné provádět přímé měření alespoň ve dvou sezónách. Jarní sezóna zachycuje konzumaci potravin z minulé sklizně. Měření na podzim je ovlivněno konzumací potravin z nové sklizně. Retence také závisí na tom, v jakém okamžiku kontaminace je měření prováděno. Zda se jedná o akutní jednorázovou kontaminaci nebo chronický příjem. Je třeba také počítat s možným vysokým náhodným příjmem u dětí (*accidental intake*).

Měření exkrece radionuklidů

Měření exkrece močí

Citlivost metod stanovení exkrece relevantních radionuklidů (^{134}Cs , ^{137}Cs) v moči je dostatečná pro příjmy vedoucí ke zlomkům optimalizované dávky [Malátová 2019]. Měření exkrece močí může díky relativně jednoduché organizaci sloužit k průzkumu vnitřní kontaminace u velkého počtu osob na rozsáhlém území. *Poznámka k obstarávání sběru vzorků moči:* Ke sběru moči lze využít např. sběry moči pacientů v nemocnici; nesmí však být v rozporu s výběrem monitorované skupiny a nesmí být ovlivněny zdravotním stavem pacienta.

Doporučuje se sbírat 24hodinovou (celodenní) moč podle předem připravené metodiky, která zajistí úplnost sběru a správné údaje. V průzkumu kontaminace československé populace ^{137}Cs po havárii JE v Černobylu korelovala retence s celodenní exkrecí a bylo možné odvodit vztah pro výpočet retence z výsledků rychlosti exkrece močí [ČSKAE 1988]. Jsou-li k dispozici pouze okamžité (bodové) sběry moči, je třeba ověřit, zda korelují s naměřenou retencí nebo je třeba provést nějakou normalizaci. Příklad sběru okamžitých (bodových) vzorků moči (20 – 100 ml) s přijatelnou korelací s retencí ^{137}Cs uvádí Thornberg [Thornberg 2000].

Několik možných a studovaných normalizací pro účely korelace retence a exkrece:

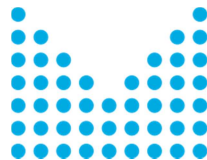
- retence vs. objemová aktivita v moči
- retence vs. denní exkrece vypočtená za standardního předpokladu objemu denní moči
- retence vs. poměr ^{137}Cs /gram draslíku v sebrané moči (stanovení draslíku pomocí AAS)
- retence vs. exkrece ^{137}Cs /mmol kreatininu v moči
- retence ^{137}Cs /gram draslíku v těle vs. exkrece ^{137}Cs /gram draslíku v moči
- retence ^{137}Cs /gram draslíku v těle vs. exkrece ^{137}Cs /mmol kreatininu v moči.

Případné metody normalizace je třeba vyzkoušet na dané populaci.

Měření exkrece stolicí

Sběr stolice není praktický pro monitorování obyvatelstva.

Analýza exkrece stolicí má své opodstatnění v případě transuranů při monitorování příjmů inhalací v důsledku jejich resuspenze do ovzduší. Takový příjem může nastat například u zasahujících osob provádějících dekontaminaci území a může být primární metodou monitorování vnitřní kontaminace pracovníků v oblasti kontaminované transurany.



Odhad příjmu z poměru aktivit měřitelných a neměřitelných radionuklidů

Je-li příjem některého radionuklidu obtížně stanovitelný přímým měřením osob ve sledované skupině, je možné na jeho příjem usuzovat ze znalosti příjmu dobře měřitelného radionuklidu a z jejich vzájemného poměru ve zdroji vnitřní kontaminace.

Speciálně se jedná o případ retrospektivního odhadu dávky od radionuklidu vyskytujícího se v předchozích fázích havarijní a pohavarijní expozice. Příkladem je zpětný odhad dávky od radiojodu, pokud nebyla přímá měření radiojodu ve štítné žláze provedena do doby, než se jeho aktivita snížila na neměřitelnou úroveň. V takovém případě lze na příjem usuzovat z poměru aktivity radiojodu k radiocesiu ve zdroji kontaminace (např. ve vzduchu) v době expozice, přičemž příjem radiocesia lze odhadovat na základě aktuálních měření.

5.1. VÝPOČETNÍ POSTUPY PRO STANOVENÍ PŘÍJMU

Metoda výpočtu příjmu ze spotřebního koše

Příjem jednotlivého radionuklidu se vypočte podle rovnice (1):

$$I = (\sum a_i \cdot A_i) \times (t_{k+1} - t_k) \quad (1)$$

kde

I je příjem radionuklidu (Bq) v období od t_k do t_{k+1} (dny)

a_i je denní spotřeba i -té komodity ze spotřebního koše (v jednotce množství)

A_i je měrná aktivita radionuklidu v i -té komoditě (aktivita v Bq vztažená na jednotku množství).

Úvazek efektivní dávky $E(\tau)$ z takto vypočteného příjmu jednotlivého radionuklidu se vypočte podle rovnice (2):

$$E(\tau) = I \times e_{\text{ing}} \quad (2)$$

kde

I je příjem radionuklidu (Bq),

e_{ing} je úvazek efektivní dávky na jednotkový příjem radionuklidu požitím ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$).

Pro případný výpočet retence za použití dat známé spotřeby za 1 rok se použije rovnice (3):

$$R(t_k) = \sum a_i \cdot t_k \cdot A_i \cdot r(t_k) \quad (3)$$

kde

$R(t_k)$ retence radionuklidu v těle v čase t_k (vypočtená) (Bq),

a_i spotřeba i -té potraviny za rok (v jednotce množství),

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

t_k čas ve zlomcích roku,

A_i průměrná měrná aktivita v potravine i (aktivita v Bq vztažená na jednotku množství),

$r(t_k)$ retence v polovině intervalu t_k po jednorázovém jednotkovém příjmu (Bq na Bq příjmu).

Příjem radionuklidu z celotělového měření

Výpočet podle rovnice (4) předpokládá, že příjem nastal v polovině období, ve kterém mohl nastat, a že se jednalo o jednorázový příjem:

$$I = \frac{R(t_{k+1}) - R(t_k) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_{k+1} - t_k)}}{m\left(\frac{t_{k+1} - t_k}{2}\right)} \quad (4)$$

kde

I je příjem radionuklidu (Bq) v období od t_k do t_{k+1} uvedeném ve dnech

R je retence radionuklidu v těle (Bq) v čase t (dny),

λ je rychlostní konstanta odpovídající efektivnímu poločasu radionuklidu v těle (den^{-1}),

$m(t_k)$ je hodnota retenční funkce radionuklidu v polovině intervalu od t_k do t_{k+1} uvedeného ve dnech (Bq retence na Bq příjmu). Úvazek efektivní dávky $E(\tau)$ z takto vypočteného příjmu jednotlivého radionuklidu se vypočte podle rovnic (5) a (6), podle toho, kterou cestou k příjmu došlo:

$$E(\tau) = I \times e_{\text{ing}} \quad (5)$$

$$E(\tau) = I \times e_{\text{inh}} \quad (6)$$

kde

I je příjem radionuklidu (Bq),

e_{ing} je úvazek efektivní dávky na jednotkový příjem radionuklidu požitím ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) pro danou věkovou skupinu,

e_{inh} je úvazek efektivní dávky na jednotkový příjem radionuklidu vdechnutím ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) pro danou věkovou skupinu.

6.1. METODY VÝPOČTU DÁVKY

Výpočet efektivní dávky přímou integrací retence

V případě radioizotopů cesia je zdrojovým „orgánem“ pro výpočet dávky z vnitřního ozáření celé tělo. Retence radionuklidu v těle R_i (Bq) je tedy úměrná střednímu příkonu efektivní dávky v okamžiku t_i

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

celotělového měření. Postupné načítání celotělových retencí vede po přepočtu ke kumulované střední efektivní dávce bez ohledu na časový průběh a cestu příjmu (rovnice 7).

$$E_j = e \cdot k \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^j R_i \quad (7)$$

kde

E_j je efektivní dávka za dobu t_j dnů (Sv),

k je přepočet 86400 sekund za den,

Δt je doba (dny), za kterou je počítána průměrná retence R_i ; při každodenním měření je $\Delta t = 1$ den; ve dnech bez měření lze použít lineárně interpolované hodnoty,

R_i je celotělová retence (^{137}Cs nebo ^{134}Cs) (Bq),

e má význam efektivní dávky (Sv) na jednu transformaci radionuklidu v těle.

Konverzní faktor e je stanoven pro všechny relevantní věkové kategorie jako podíl úvazku efektivní dávky za integrační dobu τ na jednotku příjmu radionuklidu a počtu přeměn ve zdrojových orgánech (zde celé tělo) při jednotkovém příjmu za uvedenou integrační dobu τ .

V tabulce 1 jsou uvedeny konverzní faktory e pro příjem ^{137}Cs a ^{134}Cs (tytéž pro ingesci i inhalaci typu F) pro relevantní věkové kategorie. Faktory e jsou vypočteny pomocí systemického biokinetického modelu cesia přijatého v dokumentu ICRP 56 a modelu zažívacího traktu ICRP 30 [ICRP 56, ICRP 30].

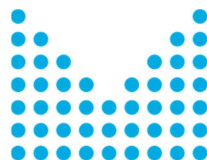
Tabulka 1: Konverzní faktor e (v jednotce Sv na jednu transformaci)

Věková skupina	^{137}Cs	^{134}Cs
Dospělý	1,06E-15	1,75E-15
15 let	1,29E-15	2,10E-15
10 let	2,18E-15	3,22E-15
5 let	3,70E-15	5,16E-15
1 rok	7,25E-15	9,82E-15
3 měsíce	1,04E-14	1,31E-14

Přímá integrace má smysl při dostatečném počtu celotělových měření za sledovanou dobu monitorování. Vzhledem k tomu, že tato metoda výpočtu efektivní dávky nezávisí na časovém průběhu příjmu, je vhodná také pro období s měnícím se příjmem. Metoda nedovoluje předpověď vývoje příspěvku radionuklidu k dávce.

Výpočet efektivní dávky z modelu jednorázové nebo časově konstantní rychlosti příjmu

Metoda předpokládá jednorázový příjem nebo konstantní chronický příjem radionuklidů. Retenční křivka podle biokinetického modelu radionuklidu se pak fituje k výsledkům celotělového měření. Odhadnutý příjem radionuklidů se použije k výpočtu úvazku efektivní dávky.



Metoda se použije při platnosti uvedených předpokladů o režimu příjmu, při nedostatku měření pro metodu přímé integrace retence, nebo v případě krátké doby měřitelnosti radionuklidů v těle.

K odhadu příjmu se použije metoda maximální věrohodnosti, kdy se ověřuje shoda naměřených dat s jejich pravděpodobnostním modelem, jímž je retenční křivka podle biokinetického modelu. Předpokládá se lognormální rozdělení naměřených dat.

Výpočet efektivní dávky z modelu časově proměnné rychlosti příjmu

Metoda se uplatní v časné fázi havárie. V pozdní fázi pravděpodobně nebude k dispozici dostatek měření. Metoda je založena na odhadu dávky z časově proměnného průběhu příjmu hlavními cestami (inhalací, ingescí). Časový průběh příjmů I_i se stanoví z naměřených aktivit radionuklidu ve složkách příjmu (inhalaci, ingesci). Po odhadu příjmů z průběhů aktivit v ovzduší (inhalace) a potravinách (ingesce) se provede konvoluce funkcí průběhu příjmu I_i a průběhu retence po jednorázovém jednotkovém příjmu r_i . V případě časové řady hodnot příjmů se provede diskrétní konvoluce sumací:

$$R(t) = \sum_{i=0}^t I_i \cdot r_{(t-i)} \quad (8)$$

kde

$R(t)$ je retence v čase t

I_i je příjem v čase $t = i$

$r(\tau)$ je retenční funkce po jednotkovém příjmu radionuklidu danou cestou

Efektivní dávka za sledované období se pak vypočte z časové řady hodnot retencí přímou integrací (viz metoda výše).

Výpočet příjmu a dávky z rychlosti exkrece radionuklidu

- Výpočet dávky z příjmu v polovině intervalu

Výpočet (rovnice 9) předpokládá, že příjem nastal v polovině období, ve kterém mohl nastat, a že se jednalo o jednorázový příjem.

$$I = \frac{U(t_{k+1}) - U(t_k) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_{k+1} - t_k)}}{m\left(\frac{t_{k+1} - t_k}{2}\right)} \quad (9)$$

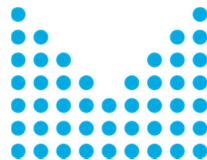
kde

I je příjem radionuklidu (Bq) v období od t_k do t_{k+1} uvedeném ve dnech,

U je rychlost exkrece radionuklidu z těla danou cestou ($\text{Bq} \cdot \text{den}^{-1}$) v čase t (dny),

λ je rychlostní konstanta vylučování radionuklidu z těla danou cestou (den^{-1}),

$m(t_k)$ je hodnota exkreční funkce radionuklidu danou cestou v polovině intervalu od t_k do t_{k+1} uvedeného ve dnech.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

Úvazek efektivní dávky $E(\tau)$ z takto vypočteného příjmu jednotlivého radionuklidu se vypočte podle rovnic (9) a (10), podle toho, kterou cestou k příjmu došlo:

$$E(\tau) = I \times e_{\text{ing}} \quad (10)$$

$$E(\tau) = I \times e_{\text{inh}} \quad (11)$$

kde

I je příjem radionuklidu (Bq),

e_{ing} je úvazek efektivní dávky na jednotkový příjem radionuklidu požitím ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) pro danou věkovou skupinu,

e_{inh} je úvazek efektivní dávky na jednotkový příjem radionuklidu vdechnutím ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) pro danou věkovou skupinu.

- *Odhad retence z měření exkrece v ustáleném stavu*

Změřená rychlost exkrece radionuklidu ve 24hodinové moči se použije pro výpočet retence na základě poměru exkrece a retence v ustáleném stavu, tj. v době vzdálené od vysokých jednorázových příjmů. Poměr denní exkrece a retence U/R se zjistí pro danou populaci průzkumem, a to měřením retence a současným sběrem moči u dostatečně velké skupiny.¹

Hodnoty vypočtené retence se použijí k výpočtu příjmu radionuklidu a úvazku efektivní dávky z příjmu položeného do poloviny období, ve kterém mohlo k příjmu dojít.

- *Výpočet dávky z rovnováhy příjmu a vylučování*

Předpokládá se, že denní vyloučená aktivita všemi cestami je rovna dennímu příjmu radionuklidu všemi cestami příjmu. V případě měření rychlosti exkrece močí je třeba zohlednit také denní množství vyloučené stolicí, jak je předpokládáno v příslušném biokinetickém modelu. Příjem za sledované období se použije k výpočtu úvazku efektivní dávky z příjmu radionuklidu, ke kterému došlo ve sledovaném období.

- *Odhad příjmu z poměru aktivit radionuklidů*

Příjem radionuklidu obtížně stanovitelného přímým měřením osob ve sledované skupině se stanoví ze znalosti příjmu dobře měřitelného radionuklidu a z jejich vzájemného poměru ve zdroji příjmu. Metoda předpokládá znalost a neměnnost poměru aktivit obou radionuklidů ve sledovaném období.

3. ROZBOR MĚŘICÍCH KAPACIT

Rozbor měřicích kapacit byl zpracován v rámci projektu bezpečnostního výzkumu VF20102015014 „Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace“. V dokumentu „Doporučení ke zvládnutí rozsáhlých radiačních mimořádných událostí s velkým počtem zasažených osob, optimální třídění kontaminovaných osob s ohledem na dostupnou kapacitu

¹ V průzkumu provedeném u populace v ČSSR po havárii JE Černobyl byl u ^{137}Cs odvozen poměr $R/U = 0,0067$.

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

měření“ [SÚRO 2015] jsou uvedeny metodiky zavedené v organizacích, které zajišťují službu osobní dozimetrie vnitřního ozáření pro své pracovníky nebo komerčně. Vzhledem k tomu, že se jedná o velké organizace vykonávající službu pro sto a více klientů, nejsou kapacity omezeny personálním obsazením. Jedná se o kapacitu pro celotělová měření, která jsou pro monitorování obyvatel a zasahujících osob v této fázi po havárii primární.

Výjezdovou kapacitu pro celotělové měření má pouze SÚRO, v.v.i. Je možné přepravit jeho převozní celotělový počítač do jiné lokality. Počítá se také s dopravou monitorovaných osob do ústavu a s využitím kapacity převozního celotělového počítače pro posílení stacionárních zařízení v laboratoři CTP SÚRO (dvě celotělové komory). Kalibrovány jsou také další přenosné polovodičové detektory, které mohou být pro improvizovaná celotělová měření aktivity radionuklidů používána výjezdovými skupinami.

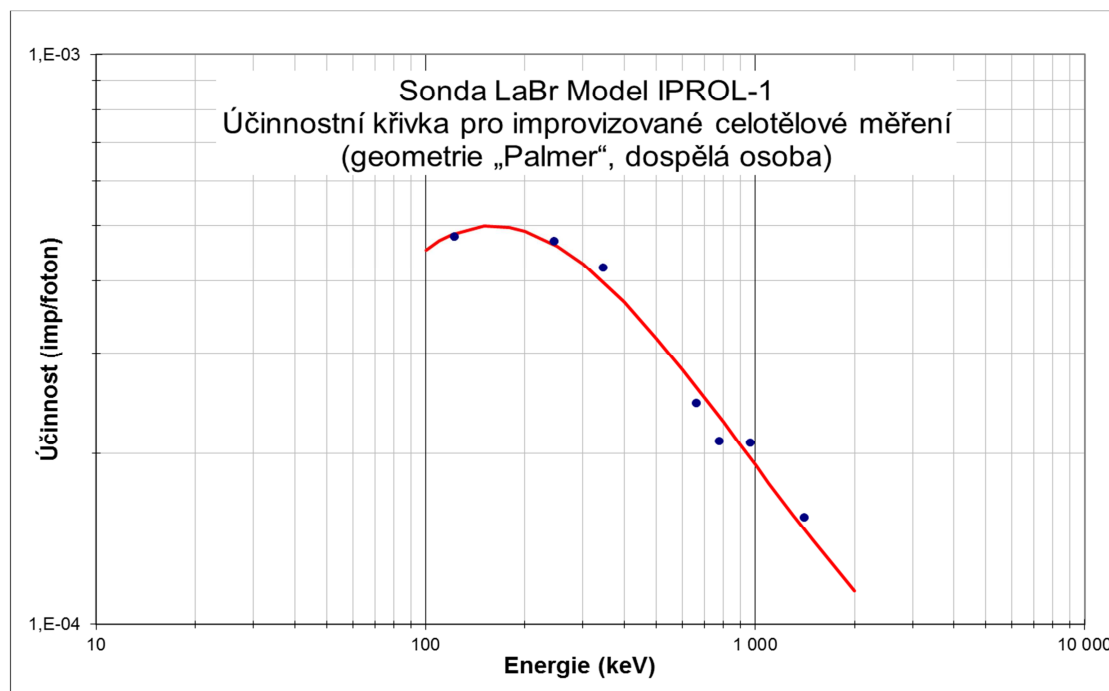
V rámci projektu byla provedena kalibrace přenosného scintilačního detektoru LaBr ve spojení s analyzátozem Canberra InSpector 1000 pro celotělovou geometrii měření uvedenou na obrázku 2 a označenou pracovním názvem geometrie „Palmer“ podle jejího autora. Účelem bylo připravit složkám, které mají tento detektor ve své výbavě (mj. chemické laboratoře HZS), možnost improvizovaného celotělového měření (s omezeními odpovídajícími měřidlu). Detekční účinnosti geometrie „Palmer“ pro měření dospělé osoby a 6letého dítěte jsou uvedeny na obrázcích 3 a 4.



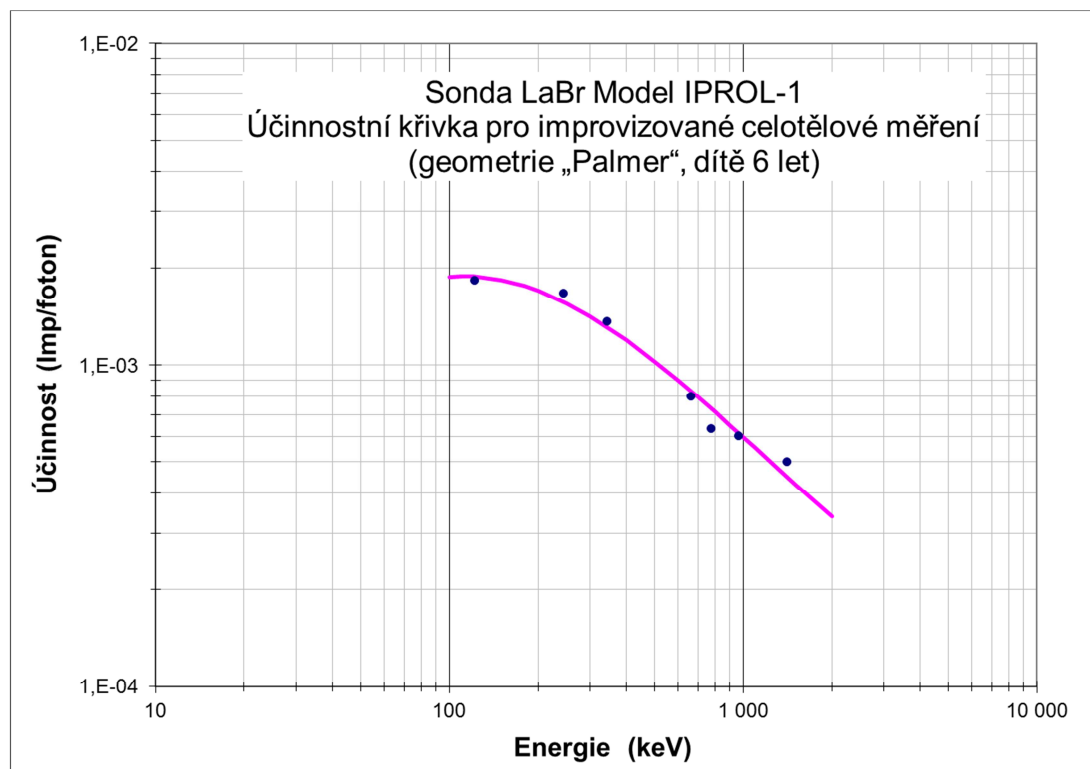
Obrázek 2: Geometrie improvizovaného celotělového měření v geometrii podle [Palmer 1966]

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra



Obrázek 3: Účinnostní kalibrace pro improvizované celotělové měření v geometrii „Palmer“ pro dospělou osobu.



Obrázek 4: Účinnostní kalibrace pro improvizované celotělové měření v geometrii „Palmer“ pro 6leté dítě.

4. LITERATURA

- [ČSKAE 1988] Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. Československá komise pro atomovou energii. Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1988.
- [ČSÚ 2017] Spotřeba potravin v ČR v roce 2017. Český statistický úřad.
<https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2017>
Poslední přístup 2. 10. 2020
- [Hunt 1989] Hunt, G. J., Leonard, D. R. P., Fry, F. A.: High-rate Seafood Consumers near Sellafield: Comparison of Conventional Assessments of ^{137}Cs Intakes with the Results of Whole-body Monitoring. *Radiat. Prot. Dosim.* 27(1), 1989, 35–41.
- [IAEA 2012] Kasparov, V.: National experience in remediation of contaminated lands in Ukraine, Modaria meeting, Vienna IAEA, 2012
- [ICRP 7] ICRP, 1965. Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials. ICRP Publication 7, Pergamon Press, Oxford.
- [ICRP 30] ICRP, 1982. Limits of Intakes of Radionuclides by Workers. Part 1. ICRP Publication 30, Ann. ICRP 8 (4)
- [ICRP 56] ICRP, 1989. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. Part 1. ICRP Publication 56, Ann. ICRP 20 (2)
- [ICRP 101] ICRP, 2006. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 101, Ann. ICRP 36 (3). Český překlad:
https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP101_CZ.pdf
- [Malátová 2019] Malátová, I., Fojtík, P.: Activity of ^{137}Cs in Human Body of Inhabitants of the Czech Republic. *Radiat Prot Dosim*, 186(2-3), 2019, 196-201, doi:10.1093/rpd/ncz257
- [Palmer 1966] Palmer, H.E.: Simplified Whole-Body Counting. *Health Phys* 1966. Vol. 12, 95-96.
- [Smith 2002] Smith, K.R. *et al.*: Uncertainties on Predicted Concentrations of Radionuclides in Terrestrial Foods and Ingestion Doses. *Radiat Prot Dosim* 98(3), 2002, 313–328
- [SÚRO 2012] Monitorování ^{137}Cs a ^{90}Sr v potravinách ČR v letech 2004-2011. Zpráva SÚRO 20/2012.
- [SÚRO 2015] Doporučení ke zvládnutí rozsáhlých radiačních mimořádných událostí s velkým počtem zasažených osob, optimální třídění kontaminovaných osob s ohledem na dostupnou kapacitu měření. Zpracováno v rámci projektu VF20102015014 „Výzkum pokročilých metod detekce, stanovení a následného zvládnutí radioaktivní kontaminace. SÚRO 2015.



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY

Příjemce: Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.

Zadavatel: Česká republika - Ministerstvo vnitra

- [SÚRO 2017] Zpráva č. 13/2017: Zahraniční zkušenosti v oblasti sledování dávek zasahujících osob i obyvatel na území zasaženém havárií jaderné elektrárny. Výstup projektu Bezpečnostního výzkumu VH20172020015. Autoři: Ekendahl, D., Malátová, I., Čemusová Z., Fojtík P. SÚRO Praha, 2017
- [Thornberg 2000] Thornberg, C. *et al*: Estimation of Whole-Body Content of ^{137}Cs from a Single Urine Sample: Experience from Areas in Russia Contaminated after the Chernobyl Accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 88(3), 2000, 239–246
- [Travnikova 2001] Travnikova, I.G.: Contribution of Different Foodstuffs to the Internal Exposure of Rural Inhabitants in Russia after the Chernobyl Accident. *Radiat. Prot. Dosim.* 93(4), 2001, 331–339
- [UNSCEAR 1988] UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly with annexes (New York: United Nations) (1988).



Zpráva č. 28 / 2019

Souhrnná výzkumná zpráva Optimalizace měřících kapacit

Autoři:

P. Rulík

M. Sloboda

A. Kelnarová

2019

Výtisk č. 1

Zpráva SÚRO 28 / 2019

Souhrnná výzkumná zpráva

Kapitola 2.5 - Optimalizace měřících kapacit

Projektu MV ČR – BV - identifikační kód VH20172020015

Strategie řízení nápravy území po radiační havárii

Odpovědný řešitel kapitoly 2.5 P. Rulík

Autoři P. Rulík, M. Sloboda, A. Kelnarová

Koordinátor SÚJB části 2 Eva Šindelková

2019

Obsah

Seznam zkratk.....	2
1 Úvod	2
2 Rozbor kapacity a optimalizace laboratoří se spektrometrií gama	4
2.1 Struktura vzorků a systém jejich odběru a evidence za havarijního monitorování	4
2.2 Rozbor kapacity laboratoří se spektrometrií gama	7
2.3 Optimalizace.....	12
2.4 Metodika pro přípravu a realizaci kapacitních cvičení.....	14
2.5 Mezinárodní spolupráce	14
2.6 Závěr.....	14
3 Rozbor kapacity a optimalizace radiochemických laboratoří.....	15
3.1 Monitorování za normální expoziční situace (EES).....	15
3.2 Monitorování při nehodové expoziční situaci (NES)	16
3.3 Kapacita radiochemických laboratoří.....	17
3.4 Optimalizace činností a možnosti navýšení kapacity	21
3.5 Mezinárodní spolupráce	23
3.6 Závěr.....	23
4 Literatura	24
5 Příloha - Metodika - Příprava a realizace kapacitních cvičení	24

Seznam zkratek

DP	-	dávkový příkon
EES	-	existující expoziční situace
HM	-	havarijní monitorování
JE	-	jaderná elektrárna
JEZ	-	jaderně energetické zařízení
LIMS	-	laboratorním informačním systému
MRS	-	monitorování radiační situace
NDA	-	nejmenší detekovatelná aktivita
NES	-	nehodová expoziční situace
NPM	-	Národní program monitorování
NVA	-	nejmenší významná aktivita
PŘ	-	potravní řetězce
RN	-	radionuklid
SVS	-	Státní veterinární správa
SVÚ	-	Státní veterinární ústav
SZPI	-	Státní zemědělské a potravinářské inspekce
TRU	-	transuranové radionuklidy (především izotopy Pu a ²⁴¹ Am)
ÚKZÚZ-	-	Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského
VÚLHM-	-	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti
VÚV	-	Výzkumný ústav vodohospodářský
ZKC	-	zátěžové kapacitní cvičení
ŽP	-	životní prostředí

1 Úvod

Národní program monitorování (NPM, 2018) rozpracovává požadavky vyhlášky SÚJB 360/2016 Sb. „o monitorování radiační situace“ (Vyhláška 360, 2016) a kromě jiných obsahuje pojmy nehodová expoziční situace (NES) a existující expoziční situace (EES). Pozdní fáze radiační nehody je popsána v (NPM, 2018) jako (citace) „Pozdní fáze NES (III. fáze)“, kdy se upřesňuje radiační situace jak na zasaženém území, tak na celém území ČR, a provádějí se kromě měření na místě přenosnými přístroji také odběry vzorků pro následné měření v měřicí laboratoři; monitorování probíhá především v síti odběru vzorků ŽP a PŘ, popřípadě v síti měření lidského těla, slouží k upřesnění obdržených dávek a k případné regulaci spotřeby potravin produkovaných na zasaženém území a vody z místních zdrojů. Toto monitorování může probíhat i v rámci EES, avšak počet monitorovacích míst a frekvence odběrů a měření ještě nemusí odpovídat formě normálního monitorování. Konec citace.

Toto monitorování se provádí formou havarijního monitorování (HM).

Řešení úkolu bylo rozděleno do 3 částí – na rozbor kapacity a optimalizaci laboratoří se spektrometrií gama, rozbor kapacity a optimalizaci radiochemických laboratoří a rozbor kapacity a optimalizaci mobilních a leteckých skupin. Tato zpráva obsahuje první 2 části; 3. část týkající se mobilních skupin je uvedena v samostatném dokumentu.

Pokud se týká laboratoří, analyzovány jsou jak složky životního prostředí (ŽP) a potravních řetězců (PŘ), tak mohou být analyzovány i vzorky dalších biologických vzorků (exkrementy, pot, krev, tkáň).

K prvním 2 částem byla provedena a vyhodnocena kapacitní cvičení; při kapacitním cvičení laboratoří se spektrometrií gama v roce 2018 byl v SÚRO Praha poprvé využit i systém značení vzorků a přenosu informací pomocí QR-kódů.

Za pozdní fázi zde považujeme situaci, kdy mohou přicházet do laboratoří vzorky s obsahem radionuklidů (RN) v mnoha řádovém rozpětí, takže některé komodity, které budou reprezentovány vzorky s vyšší aktivitou, budou překračovat limity pro jejich distribuci.

Většina těchto vzorků bude měřena pomocí spektrometrie gama, mohou se však vyskytnout situace, kdy bude nutno měřit i větší počet vzorků pomocí spektrometrie alfa nebo měřením záření beta.

V minulých letech vzniklo v SÚRO několik metodik, které jsou za podobných situací využitelné. Jedná se o metodiky

- Činnost laboratoří spektrometrie gama za radiační mimořádné situace (na jejím základě vznikl i vnitřní dokument SÚJB (VDI) Činnost laboratoří spektrometrie gama při havarijním monitorování, jehož součástí je i metodika Třídění vzorků pomocí měření dávkového příkonu
- Rychlé stanovení izotopů Pu, Am a Cm ve vzorcích půdy, rostlinstva a potravin
- Rychlé stanovení ^{89}Sr a ^{90}Sr vedle sebe v potravinách a rostlinstvu
- Rychlá metoda stanovení celkové objemové aktivity beta (ČSN 75 7613)
- Detekce a stanovení aktivity ^{90}Sr ve vzorcích životního prostředí měřením brzdného záření

Při laboratorních analýzách vzorků musí být nastaveny podmínky analýzy tak, aby byly spolehlivě odlišitelné aktivity přesahující nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin, vody a krmiv, které jsou uvedeny v (Nařízení 52, 2016) – viz [tabulka 1.1](#).

Tabulka 1.1 Nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin, vody a krmiv (Nařízení 52, 2016)

Potraviny a voda	Potraviny (Bq/kg)			
	Potraviny pro kojení	Mléčné výrobky	Jiné potraviny s výjimkou méně významných	Tekuté potraviny
Souhrn izotopů stroncia, zejména Sr-90	75	125	750	125
Souhrn izotopů jódu, zejména I-131	150	500	2 000	500
Souhrn izotopů plutonia a transplutoniových prvků vysílajících záření alfa, zejména Pu-239, Am-241	1	20	80	20
Souhrn všech ostatních nuklidů s poločasem přeměny překračujícím 10 dnů, zejména Cs-134, Cs-137	400	1 000	1 250	1 000
Krmiva	Cs 134 a Cs 137			
Prasata	1 250			
Drůbež	2 500			
Ostatní	5 000			

Poznámka: v citovaném dokumentu je k tabulce ještě řada poznámek

Dle skutečné situace na daném území mohou být nejvyšší přípustné úrovně upraveny (sníženy) tak, jak bude rozumně dosažitelné na základě ekonomických a sociálních kritérií.

Při stanovení detekčních mezí lze vycházet z [tabulky 5 Přílohy 3, část B Vyhlášky 360/2016 o monitorování radiační situace](#) „Podrobnosti k monitorovaným položkám měřeným a vyhodnocovaným v teritoriální a hraničních sítích - havarijní monitorování“, kde jsou

uvedeny nejmenší detekovatelné hodnoty, jejíž výtah je uveden v [tabulce 1.2](#). V tabulce uvedené vyhlášky nejsou uvedeny požadavky na NDA pro ^{90}Sr a transurany, takže je nutno NDA stanovit. Předpokládáme, že citlivost analýz bude taková, aby bylo dosaženo nejmenších detekovatelných aktivit (NDA) minimálně na úrovni 1/10 stanoveného limitu.

Tabulka 1.2 Požadavky na nejmenší detekovatelné aktivity (NDA) – výtah z ([Vyhláška 360, 2016](#)) z tabulky 5 Přílohy 3, část B „Podrobnosti k monitorovaným položkám měřeným a vyhodnocovaným v teritoriální a hraničních sítích - havarijní monitorování“

Položka	NDA
Aerosoly	10^{-5} Bq/m ³ pro ^{137}Cs
Plynné formy	10^{-4} Bq/m ³ pro ^{131}I
Spady	1 Bq/m ² pro ^{137}Cs
Půdy	100 Bq/m ² pro ^{137}Cs
Voda povrchová a pitná	10 Bq/L pro ^{137}Cs a ^{131}I , 50 Bq/L pro ^3H
Mléko	10 Bq/L pro ^{137}Cs a ^{131}I
Položky smíšené stravy	10 Bq/kg pro ^{137}Cs a ^{131}I
Krmiva	10 Bq/kg pro ^{137}Cs a ^{131}I
Léčivé byliny, dovážené potraviny a další monitorované položky dle situace	10 Bq/kg pro ^{137}Cs a ^{131}I

2 Rozbor kapacity a optimalizace laboratoří se spektrometrií gama

2.1 **Struktura vzorků a systém jejich odběru a evidence za havarijního monitorování**

Podrobný popis struktury vzorků a systému odběru vzorků za havarijního monitorování (HM) je popsán v ([Zpráva SÚRO 25, 2015](#)). Skladba vzorků bude záviset na ročním období, radionuklidovém složení kontaminantu, očekávaných hodnotách aktivit a velikosti kontaminovaného území.

Při havárii s vážným dopadem na území ČR budou rozlišeny

- 1) oblasti s kontaminací téměř jistě přesahující nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin, vody a krmiv ([Nařízení 52, 2016](#)),
- 2) oblasti na úrovni nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace a
- 3) oblasti, ve kterých je téměř jisté, že kontaminace je nižší, než jsou nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace.

Po vymezení hranic těchto území se monitorování soustředí především na oblast 2), přičemž bude monitorována i obchodní síť (včetně dovozu a vývozu).

Cílem monitorování bude jednak zpřesnění hranic různě kontaminovaných území, získání dostatečného reprezentativního souboru dat pro odhad úvazku efektivní dávky obyvatelstvu, poskytnutí dostateku informací pro rozhodnutí o následných opatřeních (nakládání s rostlinnými a živočišnými produkty a půdou) a pro predikci vývoje kontaminace na zasaženém území a také v neposlední řadě pro kontrolu trhu včetně vývozu a dovozu produktů.

Výběr reprezentativních složek bude záviset na ročním období, kdy k nehodové expoziční situaci (NES) došlo. Složky, jejich počty i monitorované RN budou závislé na době od vzniku

havárie. Bude nutné také přihlédnout k rozložení regionální produkce složek potravních řetězců (PŘ) a k vyšší akumulární schopnosti některých z nich.

Stanovení reprezentativních složek ŽP a PŘ v druzích a počtech bude souviset i s měřicí kapacitou laboratoří. V případě odběru příliš velkého množství vzorků by mohlo dojít k zahlcení měřících laboratoří, které by nebyly schopny samy rozlišit, které vzorky přednostně měřit. Výsledkem by potom mohlo být jejich nesprávné druhové a plošné rozložení na kontaminovaném území. Proto se navržené druhy monitorovaných vzorků a jejich počty musí odvinout od kapacity systému, která ovšem musí být dostatečná, aby při správném výběru složek poskytovala dostatek informací pro rozhodování.

Pokud se bude jednat o havárii JEZ na našem území či v jeho blízkosti, lze očekávat, že zpočátku bude měřitelné celé spektrum RN emitujících záření gama.

Na vzorkování ŽP a PŘ se bude podílet řada organizací, především ty, které jsou součástí resortu SÚJB, v oblasti vod Výzkumný ústav vodohospodářský (VÚV) a dále, hlavně v oblasti PŘ, inspektoři Státní veterinární správy (SVS) ČR (živočišné komodity), Státní zemědělské a potravinářské inspekce (SZPI, rostlinné komodity), Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ, krmiva, krmné suroviny) a Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM, produkty lesa).

Inspektoři jsou pro odběr vzorků proškoleni a běžně odebírají vzorky pro měření v rámci RMS (v působnosti SVÚ). Inspektoři v kraji, kde je JE, jsou navíc i proškolení, jak postupovat v případě nehody. Inspektoři budou odebírat vzorky na úrovni jednotek a desítek kBq/kg v oblasti neevakuované, jak vyplývá z pracovně právních předpisů. Podle informací SVÚ však nelze počítat s tím, že by inspektoři vstupovali do kontaminované oblasti, která byla evakuována.

Dozorové orgány SVÚ jsou regionálně uspořádány, odběry vzorků mohou být zahájeny prakticky okamžitě po vymezení území. Z kapacitních důvodů v případě potřeby odběru velkého množství vzorků v krátkém časovém úseku může být počet pracovníků navýšen výpomocí z jiných regionů, kde nebude akutní potřeba odběru vzorků z důvodu mimořádné situace. Pracoviště jsou vybavena dostatečným množstvím materiálu na odběr vzorků; tento materiál může být doplněn z laboratoří, provádějících měření (SVÚ Praha a Olomouc).

Lze odhadnout, že 1 inspektor odebere až 50 vzorků denně. Při předpokládaném nasazení desítek inspektorů do oblasti lze počet vzorků odhadnout na více než tisíc vzorků za den.

Poznámka: protokolární odběr vzorků PŘ mohou provádět pouze k tomu oprávnění inspektoři (SZPI, SVÚ, ÚKZÚZ).

Vody budou vzorkovány především pracovníky Povodí za organizačního zabezpečení VÚV.

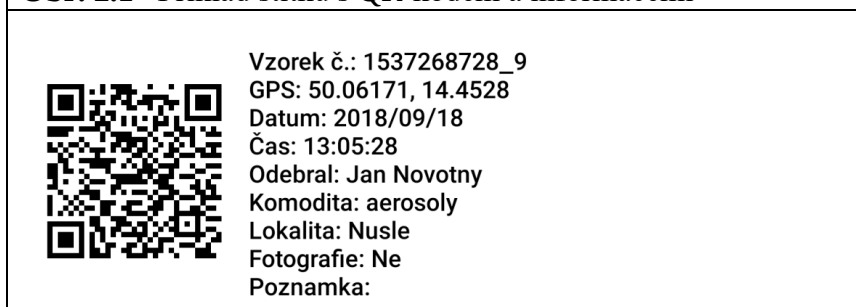
Další vzorky, zejména vzorky ŽP budou odebírány mobilními skupinami a dalšími pracovníky resortu SÚJB. Při rozsáhlé kontaminaci bude nutné provést i rozsáhlý průzkum kontaminace půd v dostatečně husté síti (zřejmě budou zajišťovat mobilní skupiny). Např. po Černobylské havárii byly v bývalém SSSR vzorky půdy pro stanovení ^{134/137}Cs odebírány v systematické mříži, v roce 1986 se vzdáleností 10 km a v roce 1991 s plochou 1 km². Frekvence odběrových míst pro vzorky pro stanovení ⁹⁰Sr a izotopů plutonia byla 10x, respektive 100x nižší. V ČR po havárii JE Černobyl byl proveden jednorázový průzkum půd s počtem odběrů cca 1000 vzorků, tj. přibližně s hustotou 1 vzorek na km².

Zkušenosti ze zemědělské výroby ukázaly, že jsou potřebné spíše hodnoty z detailnějších rozborů území než zprůměrované hodnoty ze vzorkování o velkém kroku ([Doporučení, 2015](#)).

Způsob evidence vzorků

Způsob evidence vzorků není jednotný. SÚRO zavedl v 2018 možnost záznamu informací o odebraném vzorku pomocí aplikace pro mobilní telefon, jejich převodu do QR-kódu, vytištění štítku s tímto QR-kódem a načtení těchto informací z QR-kódu do laboratorního systému. Automaticky se vygeneruje jednoznačný identifikační kód vzorku skládající se z počtu vteřin, které uplynuly od 1.1.1970 00:00 (tzv. EPOCH) do daného okamžiku následovaného podržítkem a číslem mobilního telefonu. Dále se ke vzorku uloží aktuální GPS souřadnice, je-li k dispozici. K souřadnici se poté přiřadí název odpovídající (nejpravděpodobnější) lokality a ze seznamu komodit se vybere vzorkovaná komodita. Ke vzorku je možno připojit i libovolný počet fotografií. Poté se vytvoří QR-kód, který je možno vytisknout (tiskárna disponuje bluetooth připojením) a nalepit na vzorkovnici. Příklad štítku s QR-kódem a popiskou vzorku je na [obr. 2.1](#). V laboratořích SÚRO se informace z QR-kódu načtou do laboratorního systému LabSys. V případě, že by byl QR-kód nečitelný, je možno vyžádat si elektronickou verzi QR-kódu od zadavatele vzorku a kód načíst z obrazovky. Fotografie je nutno předávat elektronicky; LabSys umožňuje fotografie přiřadit ke vzorkům v databázi.

Obr. 2.1 Příklad štítku s QR-kódem a informacemi



VÚV a Povodí při odběru vzorků vyplňují papírový formulář, z něž jsou potom údaje přepsány do laboratorního systému. V laboratořích SÚRO a VÚV je užíván systém LabSys. Výsledky ze systému LabSys jsou po verifikaci dat exportovány do databáze RMS MonRaS.

Státní veterinární správa (SVS) v současné době pro evidenci vzorků obecně, včetně vzorků odebraných na analýzy RN (vzorky z RMS např. prase divoké z NP Šumava) používá níže popsaný systém ([Metodika, 2015](#)).

Vzorky odebrané v terénu (potravinářských závodech, zemědělských farmách, apod.) jsou zadávány inspektory provádějícími vzorkování do informačního systému SVS ČR, kde je jim přidělen jednoznačný identifikátor - „číslo vzorku SVS“, prezentované čárovým kódem. Tímto kódem jsou označeny vzorky a protokoly o odběru vzorků – objednávky laboratorního vyšetření. Vzorky jsou po doručení do laboratoře evidovány v laboratorním informačním systému (LIMS) a jsou importována data o vzorcích z informačního systému SVS ČR prostřednictvím čárového kódu. Vzorky, jejichž identifikační údaje nejsou k dispozici v elektronické podobě, mohou být zadány pracovníkem provádějícím v laboratoři příjem vzorků do laboratorního informačního systému ručně. Po registraci vzorků jsou vzorky připravovány k měření a měřeny na požadované spektrum radionuklidů (RN).

Registrované vzorky jsou předány do laboratoře k provedení analýzy (měření aktivity určených RN), výsledky měření jsou zadány do LIMS a vyhodnoceny. Záznam v LIMS je schválen (autorizován) a na základě dříve přiděleného jednoznačného identifikátoru (číslo vzorku SVS prezentované čárovým kódem) exportován v dohodnutém formátu na SÚJB. Na SÚJB je soubor převeden do databáze RMS MonRaS.

SVS zadává čísla katastrů místo souřadnic, protože jsou zavedeni na katastry. Souřadnice nepotřebují, protože místa, kde odebírají vzorky, jsou pevně dána (producenti, zpracovatelé, distributoři,...). Ani další složky jako je SZPI, ÚKZÚZ a VULHM nezaznamenávají informace o odběru vzorků elektronicky, takže laboratoře musí informace zadávat do laboratorní databáze ručně.

2.2 Rozbor kapacity laboratoří se spektrometrií gama

NPM uvádí v tabulce A_1 osoby zajišťující havarijní monitorování. Sít' laboratoří vybavených spektrometrií gama tvoří v současné době 7 stálých laboratoří, a to SÚRO Praha, Hradec Králové, Ostrava a České Budějovice a dále laboratoř SVÚ Praha a Olomouc a laboratoř VÚV Praha. Předpokládá se, že do tohoto systému se zapojí volnou kapacitou i dvě laboratoře LRKO JE a laboratoř ÚJV Řež. U laboratoří LRKO se ale předpokládá jako hlavní činnost plnění programu monitorování výpustí a okolí LRKO, který téměř vyplňuje jejich měřicí kapacity.

Při havarijním monitorování (HM) laboratoře budou muset být připraveny pracovat současně se vzorky různých komodit s velice rozdílnými aktivitami, takže budou muset dbát na udržení čistoty pracoviště a zabránění kroskontaminace jiných vzorků.

Současná vybavenost laboratoří přístrojovou technikou je uvedena v [tabulce 2.3](#). Celkový počet spektrometrických tras je 37, došlo jen k mírnému nárůstu proti předchozím letům, ale nelze předpokládat, že by se dále zvyšoval.

Tabulka 2.3 Vybavení laboratoří spektrometrie gama HPGe detektory a další související technikou - 2019

Složka	Počet tras	Relativní účinnost detektorů [%]	Hardware	Vyhodnocovací software
SÚRO Praha	16 *)	12, 15, 21, 28, 35, 49, 52, 75, 80, 100, 103, 120, 140, 150, 150, BeGe	3 × Multiport Ethernet 4 × LYNX (od ledna 2020 bude asi 9×)	Genie 2000
SÚRO Hradec Králové	5	20, 25, 25, 40*), 66	Multiport II	Genie 2000
SÚRO České Budějovice	5	30, 36, 49, 62, 108	Multiport II MP2-4E pro 6 tras	Genie 2000 Gamwin
SÚRO Ostrava	3	15, 30, 60	Multiport	Genie 2000
SVÚ Praha	3**)	60, 50, 50**)	3x DSP ^{ec} 50 TM **)	Gamma Vission
SVÚ Olomouc	1	50	TRUMP-PCI-8K	Maestro a Gamat, mohou Gamma Vission
VÚV TGM Praha	4***)	50, 45, 30***), 30***)	Multiport Ethernet Aquis. Interface Modul (AIM 556A)	Genie 2000
Celkem	37			

Poznámky

*) 2 detektory začleněny v tzv. gama-automatu umožňujícím automatické měření a analýzu až 180 vzorků (kapacita zásobníku). Další 2 nízkopozadové detektory jsou dlouhodobě umístěny v podzemní laboratoři v Modane v Itálii.

***) 1 detektor a hardware ve vlastnictví SVÚ Praha

****) 2 detektory ve vlastnictví VÚV

Lidské kapacity jsou omezené. V současné době, a platí to již dlouhodobě, systém 7 laboratoří disponuje 17 až 20 odborníky, kteří jsou schopni verifikovat správnost výsledků a 30 až 40

osobami, které jsou schopny bez dalšího zácviku připravovat potencionálně radioaktivní vzorky. Dle informace z SVÚ by laboratoře SVÚ byly schopny využít svých lidských zdrojů v jiných činnostech a po krátkém zácviku podstatně zvýšit laboratorní kapacitu pro přípravu vzorků.

Za havárie se předpokládá v 5 laboratořích 1-směnný provoz v délce 10 až 12 hodin (maximálně 10 hodin měření a další čas na úklid a přípravu laboratoře na další den) a u 2 laboratoří (SVÚ) 3-směnný provoz. Tento režim bude v laboratořích udržitelný po dobu 14 dnů (včetně víkendů).

Kapacitní cvičení

K nácviku činnosti laboratoří při HM slouží zátěžová kapacitní cvičení (ZKC), během kterých se zpracovávají a měří vzorky uměle kontaminované vybranými radionuklidy s aktivitami v rozpětí několika řádů, a při kterých se laboratoře snaží v průběhu obvykle 10-12 hodin změřit co největší počet vzorků (délka ZKC má být dostatečně dlouhá, aby prověřila personál pracující v zátěži). První cvičení proběhlo již v roce 2007 a po té v letech 2013, 2014, 2016 a 2018. Cvičné vzorky pokrývaly širokou škálu komodit, které by při HM do laboratoří přicházely (aerosolové filtry, sorbent plyných forem jódu, spady, pitné a povrchové vody a půdy, složky potravních řetězců). Část vzorků byla předem kontaminována umělými RN jako např. ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{57}Co , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{139}Ce a ^{40}K (tyto nuklidy pouze zastupovaly ty, které by se při HM reálně vyskytly); vzorky půd jako zástupce vzorků z ŽP obsahovaly vyšší hodnoty aktivit ^{137}Cs pocházejícího z havárie JE Černobyl. Maximální přidaná aktivita byla do 15 kBq ve vzorku. Celkem bylo pro jednotlivá cvičení připraveno až 400 vzorků (některé vzorky byly využívány opakovaně, některé, jako krájené potraviny, musely být připraveny pro každou laboratoř v každém cvičení samostatně).

Cílem těchto cvičení je kromě zjištění aktuální kapacity i identifikace problematických míst celého procesu (časově nejnáročnější místa, místa s maximem možných chyb apod.) počínaje příjmem vzorků a konče zadáním výsledků do databáze MonRaS a samozřejmě optimalizace činností. Takže o optimalizačním procesu hovoříme již od konání prvního cvičení.

Hlavním cílem zátěžového cvičení v roce 2018 bylo otestování nově vyvinutého systému značení vzorků pomocí QR – kódů, ověření vlivu této aplikace na snížení chybovosti při evidenci vzorků a prověření aktuální měřicí kapacity laboratoří SÚRO za současného technického vybavení a personálního obsazení.

Hodnocení výsledků cvičení probíhalo obvykle podle 2 kritérií, a to kritéria správnosti zápisu a kritéria správnosti výsledku (relativní odchylka od referenční hodnoty a zeta skóre musely být v předepsaném intervalu hodnot). Relativní chybovost byla určena jako počet chybných stanovení k celkovému počtu stanovení, vyjádřena v %.

Celková správnost zápisu vzorků se díky přenosu informací o vzorku z terénu do laboratorního systému pomocí QR-kódů zvýšila na více než 98 % hlavně díky bezchybnému přenosu souřadnic odběrového místa vzorku. Celková správnost výsledků, tj. splnění jak kritéria relativní odchylky od referenční hodnoty, tak zeta skóre byla 90%; pokud se hodnotí jen relativní odchylka, která měla být do 30%, tak jako správných bylo možno označit 95% výsledků (necvičily ale laboratoře SVÚ a laboratoř VÚV).

Podrobnosti z posledního cvičení jsou uvedeny ve ([Zpráva SÚRO 14, 2018](#)).

Při ZKC se opakovaně ukázalo, že limitujícím pro kapacitu laboratoře není technické vybavení, ale nedostatek personálu. I když jako nejslabší článek systému byl identifikován nedostatek kvalifikovaných pracovníků, při HM se počítá s vysokým lidským nasazením a entuziasmem, který se ukázal jak při havárii JE v Černobylu, tak při havárii JE ve Fukušimě.

Nedostatek osob při ZKC SÚRO Praha průběžně řeší spoluprací se studenty FJFI po jejich zapracování v rámci brigád a stáží a věří, že podobnou výpomoc by získal i při skutečné havárii.

Teoretický odhad kapacity

V systému 7 laboratoří je celkem 37 tras s HPGe detektory; nejvíce jich je v SÚRO Praha, z čehož ale 2 HPGe detektory jsou dlouhodobě v podzemní laboratoři v Modane. Využitelných je tedy 35 HPGe detektorů.

Většina vzorků bude objemných, proto budou převážně měřeny buď v geometrii masťovky na detektoru nebo několika málo masťovek kolem detektoru anebo v malé marinelliho nádobě (objem do 1L).

Vzhledem k požadované citlivosti (viz [tabulka 1.2](#) s hodnotami NDA) u většiny objemných vzorků 10 Bq/kg budou pro měření na účinnějších detektorech postačovat délky měření řádově minuty, pokud by ovzduší v místě laboratoře nebylo kontaminováno a nezvyšovalo pozadí detektoru. Protože jsou ale využívány i detektory s menší účinností a kontaminace ovzduší není vyloučena, bude vhodné nastavit délku měření minimálně 8-10 minut nebo více. Výměna vzorku na detektoru a uložení spektra s parametry trvá 1 až 2 minuty, takže je potřeba počítat s časem na měření 1 vzorku minimálně 10 minut.

Při takto krátkých měřeních vzorků „bez kontaminace“ a při normálním pozadí může dojít k selhání algoritmu pro výpočet NVA/NDA, neboť počet impulsů v pozadí v oblasti hodnoceného píku je velmi nízký (v extrému i „0“), takže vychází i velmi nízká hodnota NVA/NDA (v extrému také „0“). Např. při délce měření 10 minut je za běžných podmínek v oblasti píku 661 keV ^{137}Cs pouze několik málo impulsů a může být i „0“.

Vhodnější je definovat si nejnižší celkový možný počet impulsů v oblasti zájmu (např. oblast píku ^{137}Cs o šířce 3-4 keV), který je nutný pro tvorbu píku, na úrovni 5 až 10 impulsů a pro ten spočítat NVA/NDA. Tuto hodnotu pak považovat za definovanou nejnižší hodnotu NVA/NDA, a pokud software stanoví NVA/NDA nižší, nahradit ji takto definovanou hodnotou. Pro menší detektory a objemovou měřící geometrii (masťovka na nebo kolem detektoru, malá Marinelliho nádoba), vychází při délce měření 600s takto stanovená nejnižší hodnota NVA/NDA na úrovni jednotek Bq/kg.

Vzhledem k omezenému počtu personálu odhadujeme, že v prvních dnech by byli lidé schopni pracovat až 12 hodin denně v 1-směnném provozu (všechny laboratoře kromě laboratoře SVÚ), z čehož 10 hodin by probíhaly analýzy a 2 hodiny by byly věnovány úklidu pracoviště a přípravě na další den.

Dle informací SVÚ by laboratoře SVÚ byly schopny měřit v 3-směnném provozu a zajistit tak analýzu 800 vzorků denně. To odpovídá 7,2 min/vz včetně jeho výměny bez času potřebnému pro každodenní měření pozadí a času pro kontrolu zařízení (energetická kalibrace). Čas měření je již tak krátký, že nemusí být na menších detektorech dosaženo požadované hodnoty NDA, a proto je v dalším textu uvažována stejná doba na měření 1 vzorku jako v ostatních laboratořích, tj. minimálně 10 minut.

V laboratoři v Praze je navíc plánováno měření pomocí gama-automatu přes noc (2 HPGe detektory po dobu 12 h s výměnou vzorků v 10ti minutových intervalech).

Maximální teoretickou denní kapacitu danou přístrojovým vybavením lze odhadnout jako součin počtu HPGe detektorů (35), počtu vzorků změřených za hodinu (6) a počtu hodin měření za den (23; 1 hodina na měření pozadí a údržbu); součin je 4 830 vzorků za den.

Maximální teoretickou denní kapacitu s uvažováním lidských zdrojů (17 až 20 odborníků a 30 až 40 dalších osob) lze odhadnout na cca 2 580 vzorků denně (viz [tabulka 2.4](#)).

Tabulka 2.4 Odhad maximální teoretické kapacity měření vzorků v 7 laboratořích se spektrometrií gama (celkem 35 HPGe detektorů)

	Počet HpGe	Počet hodin	Počet vz/h *)	Celkem	Poznámka
1	31	10	6	1 860	Bez SVÚ
2	4	24	6	576	SVÚ
3	2	12	6	144	Gama-automat – noční měření
			Celkem	2 580	

Poznámky

- *) Délka 1 měření je 10 min včetně výměny vzorku na detektoru a uložení spektra s parametry (1-2 min)
- Řádek 1 – laboratoře bez SVÚ
- Řádek 2 – dle informací SVÚ laboratoře SVÚ jsou schopny zajistit 3-směnný provoz; uvedený počet vzorků neuvažuje čas potřebný pro každodenní měření pozadí a čas pro kontrolu zařízení (energetická kalibrace).
- Řádek 3 – měření vzorků pomocí gama-automatu během noci (12 h); zásobník automatu je sice až na 180 měřících nádob, ale některé vzorky budou měřeny ve více nádobkách nebo bude užito geometrie Marinelliho nádoby, pro které je kapacita zásobníku nižší, takže počet vzorků v gama-automatu bude v praxi vždy nižší, než je kapacita nádob v zásobníku

Reálnější teoretickou denní kapacitu lze odhadnout následovně. Vzhledem k úkolům, které SÚRO plní, předpokládáme, že při HM by nebyly všechny trasy využity, ale několik z nich s detektory s vysokou účinností by bylo zakonzervováno, aby nedošlo k jejich kontaminaci buď z kontaminovaného ovzduší, nebo přenosem kontaminace ze vzorků, neboť nelze úplně zabránit rozptylu aktivit, když se měří vzorky s rozpětím aktivit více než 5 řádů. Navíc vzhledem k vysokému počtu detektorů a relativně velkému jejich stáří je reálné, že některý z detektorů bude mimo provoz. Některé vzorky, jako jsou aerosolové filtry nebo spady bude nutno měřit s větší citlivostí, tj. delší dobu ke snížení NVA/NDA, v SVÚ bude nutno věnovat i nějakou dobu měření pozadí (např. 1 hodinu denně). Délka měření vzorku 8 minut je na spodní hranici pro dosažení požadované hodnoty NDA na všech detektorech; lépe je uvažovat průměrnou délku měření 10 minut a 1-2 minuty na uložení spektra a výměnu vzorku na detektoru, tj. uvažovat kapacitu 5 vzorků za hodinu na 1 detektoru.

Za předpokladu, že 3 HPGe nebudou pro HM využívány, tj. využitelných bude 32 detektorů, sníží se teoretická kapacita na cca 2000 vzorků za den (viz [tabulka 2.5](#)).

Tabulka 2.5 Odhad reálnější teoretické kapacity měření vzorků v 7 laboratořích se spektrometrií gama (celkem 32 HPGe detektorů)

	Počet HpGe	Počet hodin	Počet vz/h *)	Celkem	Poznámka
1	28	10	5	1 400	Bez SVÚ
2	4	23	5	460	SVÚ
3	2	12	5	120	Gama-automat – noční měření
			Celkem	1 980	

Poznámky

- *) Délka 1 měření je 12 min včetně výměny vzorku na detektoru a uložení spektra s parametry (1-2 min)
- Řádek 1 – laboratoře bez SVÚ
- Řádek 2 – dle informací SVÚ laboratoře SVÚ jsou schopny zajistit 3-směnný provoz; 1 h je počítána na měření pozadí.
- Řádek 3 – měření vzorků pomocí gama-automatu během noci (12 h); zásobník automatu je sice až na 180 měřících nádob, ale některé vzorky budou měřeny ve více nádobkách nebo bude užito geometrie Marinelliho nádoby, pro které je kapacita zásobníku nižší, takže počet vzorků v gama-automatu bude v praxi vždy nižší, než je kapacita nádob v zásobníku

Laboratoře SVÚ ještě nikdy neodzkoušely cvičením 3-směnný provoz s rozšířením personálu. Při uvažování pouze 1-směnného provozu laboratoří v SVÚ by teoretický odhad kapacity byl cca 1700 vzorků za den (viz [tabulka 2.6](#)).

Tabulka 2.6 Odhad reálnější teoretické kapacity měření vzorků v 7 laboratořích se spektrometrií gama s 1-směnným provozem (celkem 32 HPGe detektorů)

	Počet HpGe	Počet hodin	Počet vz/h *)	Celkem	Poznámka
1	28	10	5	1 400	Bez SVÚ
2	4	10	5	200	SVÚ
3	2	12	5	120	Gama-automat – noční měření
			Celkem	1 720	

Poznámky

- *) Délka 1 měření je 12 min včetně výměny vzorku na detektoru a uložení spektra s parametry (1-2 min)
- Řádek 1 – laboratoře bez SVÚ
- Řádek 2 – laboratoře SVÚ zajišťující také 1-směnný provoz
- Řádek 3 – měření vzorků pomocí gama-automatu během noci (12 h); zásobník automatu je sice až na 180 měřících nádob, ale některé vzorky budou měřeny ve více nádobkách nebo bude užito geometrie Marinelliho nádoby, pro které je kapacita zásobníku nižší, takže počet vzorků v gama-automatu bude v praxi vždy nižší, než je kapacita nádob v zásobníku

Reálné odhady kapacity byly provedeny po kapacitních cvičeních. Odhady vycházely z reálného počtu analyzovaných vzorků a z odhadu zvýšení kapacity, pokud se podaří odstranit chyby, které se vyskytly, optimalizovat činnosti a budou využití všichni pracovníci laboratoří. Z cvičení v roce 2014 vyplynula reálná kapacita systému 1 500 vzorků za den a po cvičení v roce 2018 byla reálná kapacita odhadnuta na 1600 až 1700 vzorků ovšem za předpokladu 3-směnného provozu laboratoří SVÚ. Při 1-směnném provozu laboratoří SVÚ se odhad sníží na cca 1400 až 1500 vzorků za den.

Rozdíl proti teoretickému odhadu je v tom, že se nepodařilo udržet interval mezi výměnami vzorků na detektoru 12 minut, ale že v mnoha případech stoupl na 15 minut. A jak ukázala cvičení, vždy se objevil nějaký problém, který zapříčinil prodloužení intervalu. Také nebylo v praxi možné optimálně udržet střídání personálu na přestávky.

Výše diskutovaný režim by byl udržitelný po dobu 14 dnů včetně víkendu, ale poté by musel být redukován na běžné 8-hodinové pracovní směny včetně zajištění i dalších činností jako je příprava pracoviště na další den (odečtena 1 hodina), takže kapacita by klesla na 1000 až 1200 vzorků za den (viz [tabulka 2.7](#)).

Tabulka 2.7 Odhad teoretické kapacity měření vzorků v 7 laboratořích se spektrometrií gama za běžného 1-směnného provozu (celkem 32 HPGe detektorů)

	Počet HpGe	Počet hodin	Počet vz/h *)	Celkem	Poznámka
1	28	7	5	1 120	Bez SVÚ
2	4	7	5	160	SVÚ
3	2	12	5	120	Gama-automat – noční měření
			Celkem	1 240	

Poznámky

- *) Délka 1 měření je 15 min včetně výměny vzorku na detektoru a uložení spektra s parametry (1-2 min)
- Řádek 1 – laboratoře bez SVÚ, řádek 2 – laboratoře SVÚ zajišťující také 1-směnný provoz
- Řádek 3 – měření vzorků pomocí gama-automatu během noci (12 h); zásobník automatu je sice až na 180 měřících nádob, ale některé vzorky budou měřeny ve více nádobkách nebo bude užito geometrie Marinelliho nádoby, pro které je kapacita zásobníku nižší, takže počet vzorků v gama-automatu bude v praxi vždy nižší, než je kapacita nádob v zásobníku

Shrnutí

Teoretické odhady byly vytvořeny za předpokladu ideálních podmínek, které, jak se ukazuje, prakticky nelze splnit. Reálně se ukazuje, že interval výměny vzorků na detektoru je většinou kolem 15 minut (4 vz/h), a že dosáhnout výměny vzorků v intervalu 12 minut (5 vz/h) je na hranici možností současného systému díky omezené kapacitě lidských zdrojů. Prvých 14 dnů HM systém 7 laboratoří zvládne po optimalizaci v dnešních podmínkách analyzovat 1 400 až 1 700 vzorků za den (v ideálním případě, kdy SVÚ bude schopno zajistit 3-směnný provoz a všichni budou schopni analyzovat vzorky s frekvencí 5 vz/h dosáhne počet vz/den 2000) a při pokračování HM pak 1000 až 1200 vzorků za den.

Odhady vycházely z reálného počtu analyzovaných vzorků a z odhadu zvýšení kapacity, pokud se podaří odstranit chyby, které se vyskytly, optimalizovat činnosti a budou využití všichni pracovníci laboratoří.

2.3 Optimalizace

Proces optimalizace činností laboratoří se spektrometrií gama již probíhá řadu let, tak jak jsou již řadu let organizována zátěžová kapacitní cvičení. V rámci tohoto úkolu však došlo k vylepšení systému.

Opakovaně se ukazuje, že limitujícím faktorem v kapacitě laboratoří není přístrojové vybavení, ale omezené lidské zdroje. A i když se daří udržet v systému mladé lidi, nelze příliš počítat s navýšením počtu pracovníků laboratoří, takže reálná kapacita se již zřejmě nebude za těchto podmínek příliš zvyšovat.

Odhady kapacity laboratoří vycházely jak z rozboru současného přístrojového vybavení a počtu pracovníků v systému, tak hlavně z reálného počtu analyzovaných vzorků při kapacitních cvičeních a z odhadu zvýšení kapacity, pokud se podaří odstranit chyby, které se vyskytly, optimalizovat činnosti a budou využití všichni pracovníci laboratoří.

Stále jako nejreálnější způsob práce se vzhledem k omezeným možnostem personálního zajištění uvažuje provoz 4 laboratoří SÚRO a 1 laboratoře VÚV v 10 až 12 hodinovém pracovním denním režimu a v 2 laboratořích SVÚ v 3 směnném režimu s udržitelností po dobu 14 dnů včetně sobot a nedělí.

Prvých 14 dnů HM systém 7 laboratoří zvládne po optimalizaci v dnešních podmínkách analyzovat 1 400 až 1 700 vzorků za den; v ideálním případě, kdy SVÚ bude schopen zajistit 3-směnný provoz a všichni budou schopni analyzovat vzorky s frekvencí 5 vz/h dosáhne počet vz/den 2000. Při pokračování HM systém bude schopen zajistit analýzy 1000 až 1200 vzorků za den.

Do návrhu optimalizace lze zahrnout i položky, které již byly realizovány.

- Příprava prostor pro cvičení, vymezení prostor a nastavení režimu v místech práce s vyšší aktivitou. Zpracovávání vzorků s vyšší aktivitou včetně počátečního třídění pomocí přístroje na měření dávkového příkonu nebo pomocí spektrometru. Zavedení dekontaminačních „lepivých“ podložek apod.

Z cvičení vyplynulo, že příprava prostor laboratoří na měření a činnosti při HM jsou zvládnuté, a že laboratoře jsou schopné velmi rychle přejít z režimu normálního monitorování na režim HM.

- Zavedení systému záznamu informací o odebíraném vzorku pomocí aplikace pro mobilní telefon během odběru vzorku v terénu, jejich převodu do QR-kódu, vytištění štítku s tímto

QR-kódem a načtení těchto informací z QR-kódu do laboratorního systému. Systém umožnil plně eliminovat poměrně vysokou chybovost v ručním přepisu souřadnic odběru vzorků. Tímto došlo k velkému kvalitativnímu zlepšení, pokud se týká chybovosti záznamů. Systém byl odzkoušen při kapacitním cvičení v 2018.

Bohužel zatím tento systém mohou využívat pouze mobilní skupiny a laboratoře SÚRO. SVÚ odebírá především na jatkách, tj. ve stálých odběrových místech, kde souřadnicový systém nemá v podstatě smysl. Ale pro SZPI, ÚKZÚZ, VÚLHM a VÚV by byl užitečný.

- Pravidelné pořádání kapacitních zátěžových cvičení se ukázalo jako nezbytné a velmi prospěšné. Při každém z nich se narazilo na nějaký problém, jehož řešení v průběhu cvičení kapacitu systému snížilo. Rovněž během let se mění personál a při každém cvičení je zacvičován někdo nový.

Pořádání cvičení upravuje Vyhláška 360/16 o monitorování RS, kde je stanoven interval 3 roky; první dle vyhlášky proběhne v 2020.

Odhad nákladů na pořádání cvičení je následující

- Celkové náklady - jen SÚRO (při hodinové sazbě 500 Kč/h, tj. 1 mil/rok)
50 000 materiál + 208 000 příprava a vyhodnocení (52 dnů) + 272 000 samotné cvičení (68 dnů) = 530 000 Kč.

- Celkové náklady na cvičení - 7 laboratoří
50 000 materiál + 208 000 příprava a vyhodnocení (52 dnů) + 440 000 samotné cvičení (110 dnů) = 698 000 Kč

- Pro každou laboratoř SÚRO byla z důvodu efektivnosti zadávání vzorků do LabSys a i jako záloha pořízena další čtečka QR-kódů.
- Na základě testu propustnosti dat z LabSys do MonRaS byla zvýšena možnost jednorázového přenosu dat ze 100 vzorků na 500 vzorků (provedla firma Cross Zlín).
- Pro kontrolu správnosti předání dat z LabSys do MonRaS byl přenos dat doplněn podrobným zpětným hlášením z MonRaS do LabSys.
- Zavedení testů použitelnosti systému značení vzorků pomocí QR-kódů i příležitostně během odběru vzorků v rámci normálního monitorování dle NPM.
- Pro laboratoře vybavené spektrometrií gama byla vypracována metodika pro přípravu a realizaci kapacitních cvičení, která byla připomínkována ostatními laboratořemi.
- Problémem zůstává chybovost ve stanovení aktivity radionuklidů. Mimo 30% interval relativní odchylky leželo 5% stanovení. Tuto chybovost se zatím nepodařilo snížit. Co se ale podařilo odstranit v posledním cvičení, byla chybovost daná „přepočtem na alikvót“; např. u vzorku celodenní stravy byla měřena alikvotní část a aktivita vyjádřena v Bq/kg, ale požadavek byl uvést aktivitu v Bq/den.
- V SÚRO Praha se uvažuje o vybudování zařízení na odradonování vzduchu, v rámci kterého by byl instalován rozvod i do stínění k HPGe detektorům, který by v případě zvýšené aktivity v ovzduší zajistil „čistotu“ prostoru uvnitř stínění.
- Vhodné by bylo, kdyby i další laboratoře měly upraven laboratorní systém LabSys (SVÚ a VÚV) a byly vybaveny čtečkou QR-kódů. Dále by bylo vhodné, kdyby i osoby z jiných organizací zajišťujících odběry vzorků (SZPI, ÚKZÚZ, VÚLHM a VÚV) byly vybaveny příslušnou technikou (mobilním telefonem a tiskárnou štítků s QR-kódy).

Cena vybavení dalších laboratoří je cca 50 000 Kč za úpravu LabSys v každé laboratoři (2x SVÚ, 1x VÚV) a nákup 1 až 2 čteček QR-kódů do každé laboratoře cca 10 000 Kč/ks.

Vybavení osob odebírajících vzorky (inspektorů SZPI, ÚKZÚZ, VÚLHM, VÚV, Povodí) řádově jednotky milionů Kč

Cena vybavení 1 osoby v terénu – část techniky by mohla být společná pro více osob	
Mobilní telefon	7 000 Kč
Tiskárna (štítkovač)	5 000 Kč
Akumulátor pro tiskárnu	4 000 Kč
Celkem	16 000 Kč (horní odhad).

2.4 Metodika pro přípravu a realizaci kapacitních cvičení

Byla vypracována metodika pro přípravu a realizaci kapacitních cvičení, která byla připomínkována ostatními laboratořemi. Metodika je uvedena v [Příloze](#).

2.5 Mezinárodní spolupráce

Mezinárodní spolupráce mezi laboratořemi již existuje a je na dostatečné úrovni, a proto nebyla dále rozvíjena. V rámci ní se jsou zprostředkovány kontakty, lidé se setkávají na workshopech a na konferencích. Jedná se o následující spolupráci

IAEA (International Atomic Energy Agency, tj. MAAE - Mezinárodní agentura pro atomovou energii). Dohoda o spolupráci se týká hlavně vnějšího ozáření a vnitřní kontaminace, jejíž součástí je i stanovení RN v exkretech. SÚRO bylo osloveno k dohodě a stalo se pro IAEA záložním pracovištěm.

ALMERA (Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity, IAEA). ALMERA soustřeďuje laboratoře pro případ radiační události a prověřuje jejich schopnost provádět analýzy pořádkem porovnání. Laboratoře spektrometrie a radiochemie SÚRO Praha se každoročně účastní v porovnání.

Ro-5 (Ring of five). Sdružení evropských laboratoří, které se zabývají monitorováním radionuklidů v ovzduší, a které si neformálním způsobem vyměňují informace v případě detekce neobvyklých hodnot aktivity RN v ovzduší či při podezření na ně nebo i v případě mimořádných událostí ve světě s podezřením na únik radioaktivních látek do ovzduší. Laboratoře jsou schopny si i vypomoci při analýzách.

RANET (Response and Assistance Network, IAEA). SÚRO je členem sítě a přislíbilo výpomoc s měřením vzorků a v oblasti hodnocení výsledků, poradenství.

GŘHZS (generální ředitelství hasičského záchranného sboru). Několik osob laboratoří SÚRO je začleněno do databáze odborníků, kteří by v případě potřeby mohli zasahovat v zahraničí.

2.6 Závěr

Na základě rozboru výsledků kapacitních cvičení a stávající vybavenosti laboratoří byla odhadnuta současná měřicí kapacita laboratoří za havarijního monitorování a navrženy možnosti jejich dalšího vývoje a optimalizace. Prvých 14 dnů havarijního monitorování systém 7 laboratoří zvládne po optimalizaci v dnešních podmínkách analyzovat 1 400 až 1 700 vzorků za den; v ideálním případě, v ideálním případě by kapacita mohla dosáhnout až 2000. Při pokračování HM systém bude schopen zajistit analýzy 1000 až 1200 vzorků za den.

Opakovaně se ukázalo, že limitujícím faktorem v kapacitě laboratoří není přístrojové vybavení, ale omezené lidské zdroje. Pro laboratoře vybavené spektrometrií gama byla

vypracována metodika pro pořádání zátěžových cvičení, která byla připomínkována ostatními laboratořemi.

Byla diskutována i možnost mezinárodní spolupráce jak v oblasti měření velkého množství vzorků, tak v oblasti pozemního i leteckého monitorování příhraničního území kontaminovaného v důsledku radiační nehody na JE.

Pro udržení kapacity a nízké chybovosti se jako nezbytné ukázalo pravidelné pořádání kapacitních zátěžových cvičení.

Jako velmi prospěšné pro snížení chybovosti při záznamu informací o vzorku do laboratorního systému (zejména souřadnice odběrového místa) se ukázalo zavedení systému přenosu informací o vzorku pomocí v terénu generovaného QR-kódu, přičemž záznam v terénu vzniká automaticky (datum a čas odběru vzorku, načtení GPS souřadnice a přiřazení jména lokality) nebo výběrem z menu (název komodity).

3 Rozbor kapacity a optimalizace radiochemických laboratoří

Stanovení RN pomocí radiochemických metod doplněných spektrometrickým nebo nespektrometrickým měřením záření alfa nebo beta se obvykle výrazně liší od přípravy vzorků a měření pomocí spektrometrie gama zejména svou náročností a radionuklidovou specifičností přípravy vzorků. Proto je tato část členěna odlišně od kapitoly předchozí.

3.1 Monitorování za normální expoziční situace (EES)

Při normálním monitorování obsahu RN v ŽP, PŘ a v biologických vzorcích (většinou exkretech) provádějí analýzy laboratoře SÚRO a laboratoře radiační kontroly okolí jaderných elektráren LRKO (ETE, EDU) a Výzkumný ústav vodohospodářský TGM Praha. Výsledky monitorování se ukládají do databáze MonRaS.

Dodavatelé dat do MonRaS v režimu normálního monitorování (pouze radiochemické analýzy) jsou uvedeni v [tabulce 3.1](#).

Tabulka 3.1 Dodavatelé dat do MonRaS v režimu normálního monitorování

Subjekt	Radionuklidy	Monitorovaná položka
SÚRO Praha	^3H , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{14}C , celková beta/ Sr	Spad, aerosoly, voda, mléko, smíšená strava
SÚRO Ostrava	^{90}Sr	Mléko, voda
SÚRO České Budějovice	^3H , suma beta/ Sr	Spad, aerosoly
VÚV TGM Praha	^3H , ^{90}Sr	Voda
LRKO České Budějovice (ETE)	^3H , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$, celková alfa a celková beta	Voda, mléko, aerosoly, půda, porost
LRKO Moravský Krumlov (EDU)	^3H , ^{90}Sr	Voda, mléko, aerosoly,

Poznámka: pro úplnost tu jsou uvedeny i laboratoře LRKO; při HM se ale předpokládá, že budou plnit vlastní úkoly, které prakticky plně vyplní jejich kapacitu.

SÚJB prostřednictvím SÚRO Praha pořádá pravidelné porovnávací měření na stanovení aktivity izotopů Pu a ^{90}Sr v aerosolech, ^{90}Sr v mléce a ^3H a ^{90}Sr ve vodě a prostřednictvím VÚV rychlé stanovení beta aktivity ve vodě. V [tabulce 3.2](#) jsou uvedeny radiochemické laboratoře, které se pravidelně uvedených porovnání účastní.

Tabulka 3.2 Radiochemické laboratoře účastníci se pravidelně porovnávacích měření

Laboratoř	Rok	Radionuklidy	Monitorovaná položka
SÚRO Praha, LRKO (EDU, ETE), VÚV, SÚRO Ostrava, ÚJV CAL Řež	2019	^{90}Sr	Voda
SÚRO Praha, LRKO (EDU, ETE), VÚV, ÚJV CAL Řež, SÚRO ČB	2019	^3H	Voda
VÚV, SÚRO Praha, HK, Ostrava, ČB, laboratoře Povodí	2019	Rychlá beta	Voda
SÚRO Ostrava, SÚRO Praha, LRKO (EDU, ETE)	2018	^{90}Sr	Mléko
LRKO (ETE), SÚRO Praha	2017	^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$	Aerosoly
SÚRO Praha, Ostrava, LRKO (EDU, ETE)	2017	^{90}Sr	Aerosoly

3.2 Monitorování při nehodové expoziční situaci (NES)

Podle [Vyhlášky 360/2016 Sb. „o monitorování radiační situace“](#) jsou požadované nejmenší detekovatelné aktivity (NDA) ^3H při HM v povrchové i pitné vodě 50 Bq/L. Pro ostatní radionuklidy NDA ve vyhlášce uvedeny nejsou. Pro účely zátěžových kapacitních cvičení (ZKC) byly tedy odvozeny z literatury.

Podle Přílohy 1 ([Nařízení 52, 2016](#)) jsou požadované nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin dle pro izotopy Sr, zejména ^{90}Sr : 75 Bq/kg v kojenecké stravě, 125 Bq/kg v mléku, mléčných výrobcích, vodě a tekutých potravinách a pro izotopy plutonia a transplutoniových prvků vysílajících záření alfa, zejména ^{239}Pu a ^{241}Am 1 Bq/kg pro kojeneckou stravu a 20 Bq/kg pro kg v mléku, mléčných výrobcích, vodě a tekutých potravinách (viz [tabulka 1.1](#)). Meze detekce jsou požadovány na úrovni 10 % nejvyšší přípustné hodnoty. Pro moč jsou podle ([Li, 2010](#)) požadovány detekční limity 22 mBq/L pro ^{241}Am a 0,34 mBq/L pro ^{239}Pu . Meze detekce shrnuje [tabulka 3.3](#).

Tabulka 3.3 Požadované meze detekce pro havarijní monitorování

Monitorovaná položka	Radionuklid	Mez detekce (Bq/L nebo Bq/kg)
Voda	^{90}Sr	12,5
	^3H	50
	^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$	2
	^{241}Am	2
Mléko	Celková beta	Není stanovena
	^{90}Sr	12,5
	^{238}Pu , $^{239/240}\text{Pu}$	2
	^{241}Am	2
Moč	^{239}Pu	0,00034
	^{241}Am	0,022
Aerosol	Nejsou stanoveny	Nejsou stanoveny

K simulaci HM jsou pořádána zátěžová kapacitní cvičení (ZKC). Jedním z cílů ZKC je identifikovat a řešit „slabá“ místa, která omezují kapacitu laboratoře nebo zvyšují chybovost analýz a vyvinout postupy a procesy, které zajistí, aby vzorky s vyšší aktivitou než obvykle měřené, mohly být v laboratoři bezpečně zpracovány.

Kapacita laboratoře závisí nejen na počtu měřicích a jiných technologických zařízení, počtu a schopnostech analytiků a prostorech pro analýzu, ale také hlavně na typu vzorku a požadované NDA.

ZKC proběhla v rámci tohoto projektu v SÚRO Praha v roce 2018 a 2019. Analyzovány byly vzorky vody s přidavky ^{89}Sr a ^{241}Am a ^{239}Pu a vzorky moči s přidavky ^{241}Am a ^{239}Pu . Požadované NDA pro vody byly dosaženy, pro moč nebyla dosažena požadovaná NDA pro ^{239}Pu . Cvičení se zúčastnili 2 analytici, měření aktivity ^{89}Sr probíhalo na kapalinovém scintilačním spektrometru (LSC) Tricarb

2770 TR/SL a k měření aktivity alfa bylo k dispozici 12 komůrek AlphaAnalystu. Souhrn výsledků ZKC ukazuje [tabulka 3.4](#).

Tabulka 3.4 Souhrn výsledků ZKC

Monitorovaná položka	Radionuklid	Doba přípravy (h)	Počet vzorků v sérii	Množství vzorku (L)	Doba měření (h)	Průměrná NDA (Bq/L)
Voda	⁸⁹ Sr	9	8	0,1	24	1,2
	^{239/240} Pu	10	6	1,0	20	1,4
	²⁴¹ Am	10	6	1,0	20	0,6
Moč	²³⁹ Pu	12	4	0,45	24	0,00056
	²⁴¹ Am	12	4	0,45	24	0,0010

Monitorováním při HM se zabývá i publikace ([TECDOC 1092, 1999](#)), kde jsou uvedeny v sekci E postupy pro radiochemické stanovení RN v různých monitorovaných položkách a typické NDA a doba analýzy – viz [tabulka 3.5](#).

Tabulka 3.5 Typické hodnoty NDA a doby analýzy při HM - převzato z ([TECDOC 1092, 1999](#))

Monitorovaná položka	Velikost vzorku	Typická NDA							Jednotky
		Celková α	Celková β	³ H	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Sr	²³⁹ Pu	²⁴¹ Am	
Aerosoly	1 m ³	1	2		0,3	0,5	0,003	0,003	Bq/m ³
Voda	1 L	1	2	4-10	5	10	0,1	0,1	Bq/L
Půda	5 g				350	600	0,3	0,3	Bq/kg
Tráva, zelenina	50 g				5	10	0,1	0,1	Bq/kg
Mléko	50 ml				5	10	0,1	0,1	Bq/L
Monitorovaná položka	Velikost vzorku	Typická doba analýzy (h)							
		Celková α/β	Celková β	³ H	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Sr	²³⁹ Pu	²⁴¹ Am	
Aerosoly	1 m ³	0,3 - 1,3	0,3 - 1,3		11	11	36	48	
Voda	1 l	0,3 - 1,3	0,3 - 1,3	< 1	8	8	10	24	
Půda	5 g				10	10	16	26	
Tráva, zelenina	50 g				13	13	19	29	
Mléko	50 ml				10	10	12	26	

Doba přípravy vzorku (bez měření) dosažená při ZKC v SÚRO odpovídala uvedeným datům v ([TECDOC 1092, 1999](#)), stanovení ²⁴¹Am bylo v SÚRO rychlejší.

3.3 Kapacita radiochemických laboratoří

Vybavení radiochemických laboratoří měřicí technikou je uvedeno v [tabulce 3.6](#).

Tabulka 3.6 Vybavení radiochemických laboratoří měřicí technikou

Stanovení	SÚRO Praha	SÚRO HK	SÚRO OS	SÚRO ČB	VÚV + 5 Povodí
Screening					
Celková β (kalibr. ⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y)	RP 2000 s DJ-2000A	RP 2000 s DJ-2000A	-	-	-
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y, ²⁴¹ Am	RP 2000 s DJ-2000E	-	-	-	-
Rychlé stanovení					
⁹⁰ Sr + ⁸⁹ Sr	LSC				
TRU (Pu, Am)	16 x PIPS detektor				
³ H	LSC			2x LSC	2x LSC
Celková beta	EMS3	EMS3	2x EMS3	EMS3	6x EMS3

Poznámky: Laboratoře SÚRO Ostrava, České Budějovice a laboratoře VÚV a Povodí nevlastní přístroje vhodné pro screening.

Screening

Screening je určen především k rozřídění vzorků dle druhu RN a jejich aktivity (jedná se hlavně o vzorky aerosolových filtrů, ale je možno je použít i pro kapalně vzorky). Přístroje pro měření celkové aktivity beta jsou většinou kalibrovány na $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ v rovnováze.

Pro screening má radiochemická laboratoř SÚRO Praha k dispozici radiometr RP 2000 s detekčními jednotkami DJ-2000A (GM detektor) pro měření dávkového příkonu ve vzduchu a plošné kontaminace celkové aktivity beta (kalibrováno na $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$) a DJ-2000E (proporcionální detektor) pro měření plošné kontaminace alfa/beta-gama. Pro DJ-2000E je NDA pro ^{241}Am 0,005 Bq/cm², pro $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ je 0,05 Bq/cm². Detektor se používá ke stanovení plošné aktivity ^{241}Am a $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ v aerosolových filtrech. Pro celkovou aktivitu beta při odběru aerosolu po dobu 4 dnů (86 000 m³) pomocí JL-900 (Snow White) je NDA $\sim 2,4 \times 10^{-4}$ Bq/m³, tj. 10 Bq/vzorek. Kapacita při zajištění 1 pracovníkem je 10 vzorků za hodinu. K dispozici je rovněž radiometr DC-3E pro beta/gama stanovení. SÚRO Hradec Králové má k dispozici RP 2000 s DJ-2000A.

Laboratoře SÚRO Ostrava, České Budějovice, VÚV a Povodí nevlastní přístroje vhodné pro screening. V SÚRO Ostrava a České Budějovice by bylo možno si v krajním případě ke screeningu zapůjčit radiometr DC-3E od mobilních skupin RC-SÚJB.

Vzhledem k tomu, že kromě SÚRO Praha ostatní laboratoře nemají zavedeny rychlé metody na stanovení izotopů Sr a TRU, není absence screeningových metod pro ně tak podstatná.

Stanovení ^3H

Kapacita pro stanovení aktivity ^3H byla na základě požadované NDA 50 Bq/L odhadnuta na 80 vzorků denně při době měření 6 minut na jednom LSC bez destilace. Pokud by se vzorky destilovaly (eliminace rušivých vlivů ^{131}I), pak kapacita rapidně klesne odhadem na 10 vzorků/den, z důvodu pouze jedné destilační aparatury. V laboratořích SÚRO ČB mají k dispozici dva LSC spektrometry a dvě destilační aparatury, kapacitu lze odhadnout podobně jako v Praze, tj. 160 vzorků/den bez destilace, 20 vzorků/den s destilací při zajištění 2 pracovníky. Teoretická kapacita, pokud není nutná destilace a pokud by nebyly v SÚRO Praha stanovovány izotopy Sr, je vysoká a činí až 240 vzorků za den (80 vzorků na 1 LSC), prakticky by závisela na množství měřicích kyvet a dostatečných zásobách scintilačního koktejlu. Scintilační koktejly však nemají dlouhou životnost a za běžné situace se neměří tolik vzorků, aby se daly vytvářet velké zásoby.

Stanovení ^{89}Sr a ^{90}Sr

Podle výsledků provedených ZKC je odhadovaná kapacita pro stanovení izotopů Sr ve vodě 8 vzorků denně s tím, že první výsledky jsou po 48 hodinách. Separaci provádějí 2 analytici a měření aktivity probíhá na jednom LSC. V ostatních laboratořích SÚRO - HK, ČB, Ostrava není metoda rychlého stanovení Sr zavedena. Šlo by sice měřit vzorky v SÚRO České Budějovice po přípravě v Praze, ale dopravou tam se prodlouží doba od separace k měření (sleduje se nárůst ^{90}Y) a navíc by se vzorky musely převážet v chladu a temnu.

Stanovení ^{239}Pu a ^{241}Am

Kapacita laboratoře pro stanovení aktivity ^{239}Pu a ^{241}Am ve vodě při době měření 30 minut je 6 vzorků za den, pokud separaci provádějí dva pracovníci. K separaci transuranů (TRU) z moči je potřebná delší doba mineralizace a separace (12-14 hodin) a delší doba měření, aby se dosáhlo požadovaných nižších detekčních limitů. Pro stanovení aktivity ^{239}Pu v moči je při zpracování 0,5 L vzorku potřebná doba měření 48 hodin, při zpracování 1,6 L moči by stačilo 24 hodin. Pro ^{241}Am je požadovaný detekční limit vyšší, a proto stačí zpracovat jen 0,5 L vzorku a doba měření je 2 hodiny. Takže kapacita pro ^{239}Pu v moči je 4 vzorky/12 hodin příprava +48 h měření, pro ^{241}Am v moči je 4 vzorky/12 hodin příprava +2 h měření. Výpočet aktivity z počtu pulsů pro 1024 kanálů trvá jednomu pracovníkovi cca 10 minut na vzorek. Vyhodnocením spekter se v současnosti zabývají 4 pracovníci.

Rychlé stanovení celkové aktivity beta

Kapacita jedné laboratoře je 24 vzorků během 8,5 hodinové pracovní doby. Metodiku pro rychlé stanovení celkové aktivity beta dle (ČSN 75 7613, 2014) mají kromě všech laboratoří SÚRO zavedeny laboratoře Povodí ČR a VÚV.

Na základě uskutečněných ZKC a rozboru jejich výsledků byla odhadnuta celková týdenní kapacita laboratoří SÚRO; hodnoty jsou uvedeny v [tabulce 3.7](#).

Tabulka 3.7 Odhad týdenní kapacity laboratoří SÚRO na základě ZKC

Monitorovaná položka	Radionuklid	Doba přípravy jednoho vzorku (h)	Počet vzorků v sérii	Týdenní kapacita
Voda	⁸⁹ Sr	9	8	40
	⁹⁰ Sr	9	8	32
	^{239/240} Pu	10	6	30
	²⁴¹ Am	10	6	30
	³ H bez destilace	0,1	80	800
	³ H s destilací	1	20	100
	Rychlá beta	2	24	600
Moč	²³⁹ Pu	12	4	20
	²⁴¹ Am	12	4	20

Poznámky

- ZKC na stanovení ³H a Rychlá beta ve vodě neproběhlo, počty vzorků vycházejí z odhadu podle doby přípravy a doby měření jednoho vzorku při normálním monitorování
- Všechna uvedená stanovení by byla proveditelná během 1 dne, resp. týdne kromě stanovení ³H s destilací; pokud bude stanovení ³H s destilací prováděno, je potřeba o tento počet snížit počet stanovení bez destilace
- Týden znamená 5 pracovních dnů + 2 dny měření bez obsluhy, první výsledky u ³H do 6 h, ostatní do 48 h
- Kapacita uvedená v celé tabulce je dosažitelná při zapojení v
 - SÚRO Praha 8 pracovníků laboratoře, 1 pracovníka Oddělení spektrometrie (měření pomocí spektrometrie alfa), 1xLSC (jen pro Sr), 1x EMS3 a 16 komůrek AlphaAnalystu
 - SÚRO ČB 3 pracovníků, 2xLSC a 1xEMS3
 - SÚRO HK 1 pracovníka a 1x EMS3
 - SÚRO Ostrava 1 pracovníka a 1x EMS3
- Sloupec „Počet vzorků v sérii“ znamená je kolik vzorků najednou (v jednom dni) se dá zpracovávat, a to buď vedle sebe nebo za sebou
- ⁸⁹Sr a ⁹⁰Sr ve vodě - 1 LSC (Praha), zpracovaný objem 100 mL vody, výtěžek separace minimálně 20%
- ²³⁹Pu ve vodě - zpracovaný objem 1 L vody, 6 měřicích komůrek, doba měření 30 min, výtěžek separace min. 20%
- ²⁴¹Am ve vodě - zpracovaný objem 1 L vody, 6 měřicích komůrek, doba měření 30 min, výtěžek separace min. 20%
- ²³⁹Pu v moči - zpracovaný objem 1,6 L moči, 4 měřicí komůrky, doba měření 24 hodin, výtěžek separace min. 90%
- ²⁴¹Am v moči - zpracovaný objem 0,5 L moči, 4 měřicí komůrky, doba měření 2 hodiny, výtěžek separace min. 70%
- ³H - 2 LSC (ČB) bez destilace (400 vzorků týdně na 1 LSC, s destilací 50 vzorků týdně na 1 LSC). Uvedená kapacita je počítána jen pro LSC v ČB, protože v SÚRO Praha by se na LSC stanovovaly izotopy Sr. Počet stanovení ³H s destilací je omezen počtem destilačních kolon.

Zvýšenou pozornost je třeba věnovat monitorování pracoviště, aby se zabránilo kontaminaci pracoviště nebo jiných vzorků nebo aby se včas odhalila. Musí se počítat s tím, že se tím sníží i kapacita měřicích zařízení, neboť na stejných přístrojích se budou měřit vzorky, pozadí i kontaminace pracoviště.

Kapacita laboratoří LRKO

Podle údajů od zástupce LRKO jsou k dispozici 2 LSC v každé pobočce, takže při stejné účinnosti a době měření jako v naší laboratoři je spočítaná kapacita 320 vzorků vody/den. Kapacita pro stanovení plutonia v aerosolových filtrech je 10 vzorků za týden. Předpokládá se ale, že laboratoře LRKO budou vytiženy vlastními úkoly, takže na teritoriálním monitorování při HM se podílet nebudou.

Kapacita laboratoří VÚV a laboratoří Povodí

V laboratoři VÚV mají k dispozici 2 LSC pro měření aktivity ^3H . Bez destilace mají kapacitu 50 i více vzorků za 8,5 h pracovní dobu, s destilací 24 vzorků za 8,5 h pracovní dobu, k dispozici je 8 destilačních aparatur. Výsledky prvních 8 vzorků od dodání do laboratoře jsou k dispozici cca za 4 hodiny. Metoda rychlého stanovení Sr není zavedena.

VÚV a 5 laboratoří Povodí jsou vybaveny i zařízením pro měření celkové aktivity alfa/beta EMS 3, na němž se předpokládá měření vzorků metodou „rychlého stanovení celkové objemové aktivity beta“ dle (ČSN 75 7613, 2014). Kapacita stanovení pomocí 1 přístroje je 24 vzorků za den, tj. celkem $6 \times 24 = 144$ vzorků za den.

Odhad denní a týdenní kapacity všech subjektů je uveden v tabulce 3.8. Pokud jsou prováděna všechna stanovení uvedená v tabulce, tak jejich počet je limitován spíše počtem analytiků než přístrojovou technikou (např. SÚRO Praha má k dispozici 11 osob). Pokud by se stanovovaly jen izotopy stroncia, byla by měřicí kapacita limitována kapacitou LSC v Praze (vzorky nelze převážet do ČB z důvodu stanovení ^{90}Sr z nárůstové křivky ^{90}Y ($T_{1/2} = 2,7$ d) a nutnosti uchování vzorků v chladu a temnu).

Tabulka 3.8 Odhad denní a týdenní (údaj v závorce) kapacity všech laboratoří

Položka	RN	SÚRO	VÚV + 5x Povodí	Poznámka	1. výsledky do
Voda	^{89}Sr	8 (40)			48 h
	^{90}Sr	6 (30)			48 h
	$^{239/240}\text{Pu}$	6 (30)			24 h
	^{241}Am	6 (30)			24 h
	^3H	160 (800)	50 (250)	bez destilace	6 h
	^3H	20 (200)	24 (120)	s destilací	8 h
	Rychlá β	120 (600)	144 (720)	24/den/laboratoř	4h
Mléko	^{90}Sr	6 (30)			48 h
Aerosoly	^{90}Sr	(4)			-
	$^{239/240}\text{Pu}$	(4)			-
Moč	^{241}Am	4 (20)			48 h
	^{239}Pu	4 (20)			48 h

Poznámky

- Všechna uvedená stanovení jsou proveditelná během 1 dne, resp. týdne kromě stanovení ^3H s destilací; pokud bude stanovení ^3H s destilací prováděno, je potřeba o tento počet snížit počet stanovení ^3H bez destilace
- Denní kapacitu je nutno chápat jako průměrnou denní kapacitu v delším období
- Týdenní kapacita je dána 5x denní kapacita (předpokládá se měření 2 víkendových dnů bez obsluhy)
- ^{89}Sr a ^{90}Sr by se stanovovalo na LSC v SÚRO Praha, takže ^3H pouze v SÚRO ČB
- Počet vzorků připravených na stanovení ^{89}Sr a ^{90}Sr je stejný, ale měření ^{90}Sr trvá déle, proto je kapacita stanovení ^{90}Sr nižší.
- Sloupec „1. Výsledky“ uvádí čas v hodinách, do kdy je možno očekávat první výsledky
- Aerosoly - rychlé metody nejsou zavedeny; jedná se o teoretický neověřený odhad
- Stanovení ^3H s destilací je limitováno současným počtem destilačních kolon, nikoliv kapacitou LSC

3.4 Optimalizace činností a možnosti navýšení kapacity

Oproti spektrometrii gama má stanovení RN pomocí radiochemických metod zakončených spektrometrií alfa a beta včetně nespektrometrických metod měření svá specifika a je často složitější díky složité přípravě vzorku k samotnému měření. Zastupitelnost pracovníků je komplikovanější než u spektrometrie gama, protože pracovníci oddělení radiochemie jsou specializováni jen na některé analýzy a většinou nepokryjí celé spektrum metod ve vysoké kvalitě, což při zajišťování NM není tak na závadu. Navíc část z nich doposud rychlé metody nepochižovala.

- **Plánovaná ZKC**

Pro optimalizaci činností jsou nepostradatelná pravidelná kapacitní cvičení podobně jako tomu je v laboratorích se spektrometrií gama. Kapacitní cvičení radiochemických laboratorů byla zavedena teprve v rámci tohoto výzkumu, takže pracovníci s nimi ještě nemají takové zkušenosti.

Další kapacitní cvičení se zaměří na stanovení ^{90}Sr v mléku a ^3H ve vodě.

ZKC pro stanovení RN emitujících záření alfa a ^{90}Sr v aerosolových filtrech rychlými metodami také ještě nebylo uspořádáno, protože zatím není k dispozici metodika. Po vyzkoušení postupu podle (TECDOC 1092, 1999) bude stanovení zařazeno do ZKC.

Podobné cvičení by měly uspořádat i ostatní radiochemické laboratoře, aby byla ověřena a procvičena připravenost na NES, včetně ověření odhadu kapacity jednotlivých laboratorů. Prakticky se to týká jen VUV a SÚRO ČB na stanovení ^3H .

- **Lidské zdroje**

V dohledné době nelze předpokládat navýšení počtu pracovníků na odděleních radiochemie. Zvyšovat kapacitu je tedy možné jen vyšší zastupitelností stávajících pracovníků, vyšší efektivitou práce a dostatečným přístrojovým vybavením.

Pro vyšší efektivitu je třeba vypracovat nový dokument pro práci v režimu HM podle (Guide, 2010).

K efektivitě systému přispěje i správný management - jmenování osob odpovědných za monitorování a předávání výsledků, rozdělení pracovníků do směn a přidělení konkrétních úkolů (analýz nebo jejich částí) a „rolí“ včetně termínů předání výsledků. Vzhledem ke složitosti radiochemických metod a obtížněji stanovitelné kontaminace prostředí je velmi důležité i odpovědné třídění vzorků (screeningové metody) podle druhu analýz (dle stanovovaných RN a požadovaných NVA) a v návaznosti analýz na sebe (pokud je potřebná a je to výhodné) a v závislosti na lidských zdrojích.

V radiochemické laboratoři SÚRO Praha pracuje v současné době 10 pracovníků, z toho 5 má zkušenosti se separacemi. 2 pracovníci by byli schopni provést screening, ostatní se mohou věnovat předúpravám vzorků. Měření pomocí spektrometrie alfa jsou schopni provádět 2 pracovníci Oddělení spektrometrie (pro vlastní měření stací 1). V laboratoři v Hradci Králové je k dispozici pro uvedené analýzy pouze 1 pracovník, v Ostravě jsou k dispozici 3 pracovníci a v Českých Budějovicích 3 pracovníci a 1 z Brna, ale za HM by zřejmě 2 z nich byly využívány i pro přípravu vzorků pro spektrometrii gama.

Zaškolením dalších pracovníků na screening, separace a vyhodnocení spekter (alfa a případně LSC, výpočty) lze zlepšit zastupitelnost a operativnost pracovníků. Ovšem kromě zaškolení by bylo potřeba k udržení znalostí i každoročně techniky procvičovat. Na to, bohužel, v takové šíři nejsou kapacity.

- **Metody a technika**

K přípravě na separaci pevných vzorků (aerosolové filtry, potraviny) se musí tyto vzorky mineralizovat buď loužením v kyselinách, nebo tavením a rozpuštěním taveniny. Pro zrychlení procesu tavení máme v plánu zakoupit automatický tavicí systém (např. Katanax X-300).

Kapalné vzorky se okyselují, kromě vody pro stanovení ^3H , ta se většinou destiluje. Rychlost přípravy závisí na počtu zařízení na sušení, tavení, destilaci, vážení a počtu pracovníků.

Vlastní separace na chromatografických kolonkách lze zrychlit zavedením vakuového boxu, případně komerčně dostupným automatickým separátorem. Komerčně dostupné automatické separační systémy (firmy Raddec, Hidex, DTU Nutech) zpracovávají obvykle 4 vzorky najednou a při použití několika separačních kolon více radionuklidů během 1 hodiny. Proces je řízen softwarem, regulace průtoků médií je zajištěna peristaltickými pumpami. Vzorky musí být v kapalném stavu, systém je vhodný zejména pro měření aktivity pomocí LSC nebo ICP-MS (hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem). Automatické separační systémy jsou však cenově nákladné (začínají cenově na 1 milionu Kč) a v současnosti jsou spíše ve vývoji; SÚRO zatím nepředpokládá jeho nákup.

Oddělení spektrometrie SÚRO Praha má zavedenu metodu detekce a odhadu aktivity ^{90}Sr ve vzorcích měřením brzdného záření ([Zpráva SÚRO 49, 2015](#)). Metodika je však poměrně složitá a vzhledem k nedostatku dostatečně aktivních vzorků i málo využívaná. Nicméně je ověřená a certifikovaná SÚJB.

- **Stanovení ^3H**

Navýšením počtu destilačních kolon (např. v SÚRO Praha nákup 2-3 kolon) pro přípravu vzorků na stanovení ^3H , by se kapacita zvýšila, ale také by bylo vhodné současně pořídit i další LSC do SÚRO Praha.

- **Rychlé stanovení celkové aktivity beta**

Kapacita SÚRO Praha se zvýší zprovozněním dalšího alfa/beta automatu, který již byl zakoupen.

- **Stanovení TRU (^{239}Pu a ^{241}Am)**

Pro měření aktivity alfa je třeba ze vzorku po separaci připravit terčík na měření, např. elektrodopozicí (^{241}Am) nebo srážením (Pu). Elektrodopozice trvá 1,5 hodiny pro každý vzorek, kapacitu lze navýšit počtem zařízení pro elektrodopozici (minimálně ze 2 stávajících na 3). Pro stanovení izotopů Pu lze použít srážení s CeF_3 ; kapacita laboratoře závisí na počtu filtračních zařízení, která jsou potřeba na stanovení Sr i TRU. V současné době máme k dispozici 3 a potřebovali bychom ještě aspoň 2.

Vlastní měření aktivity alfa je možné při současném vybavení alfa spektrometrické laboratoře provádět paralelně pro 12 vzorků s obsahem TRU. Pozadí je měřeno dvakrát ročně po dobu 10 dnů. V případě HM by se pozadí muselo měřit častěji a kratší dobu.

Při HM v průběhu NES bude vhodné před vlastním měřením pomocí spektrometrie alfa překryt připravené vzorky tenkou vrstvou filmu Mylar (metalizovaný film na bázi PES nebo PC potaženého hliníkem $0,53 \text{ mg.cm}^{-2}$, výrobce Alexander Vacuum Research, USA) aby se zabránilo kontaminaci komůrek a detektorů (komůrky jsou vakuovány a hrozí vzros preparátu ze vzorku na detektor během vakuování komůrky).

- **Odhad celkové kapacity po optimalizaci**

Odhad je proveden za předpokladu stávajících lidských zdrojů, ale při optimalizaci jejich práce a při pořízení další techniky a její začlenění do systému v laboratoř SÚRO Praha (v ostatních laboratořích nemá při předpokládaném personálním zajištění přístrojové vybavení významně rozšiřovat)

- 3 destilační kolony (celkem na 6 kusů)
- LSC pro SÚRO Praha
- automatický tavicí systém pro SÚRO Praha
- α/β automat pro SÚRO Praha (již zakoupen)
- zařízení pro elektrodopozici pro SÚRO Praha

Výsledek odhadu po optimalizaci činností je uveden v [tabulce 3.9](#).

Tabulka 3.9 Odhad denní a týdenní (údaj v závorce) kapacity všech laboratoří po optimalizaci

Položka	RN	SÚRO	VÚV + 5x Povodí	Poznámka	1. výsledky do
Voda	⁸⁹ Sr	8 (40)			48 h
	⁹⁰ Sr	6 (30)			48 h
	^{239/240} Pu	8 (40)			24 h
	²⁴¹ Am	8 (40)			24 h
	³ H	240 (1200)	50 (250)	bez destilace	6 h
	³ H	60 (300)	24 (120)	s destilací	8 h
	Rychlá β	144 (720)	144 (720)	24/den/laboratoř	4h
Mléko	⁹⁰ Sr	6 (30)			48 h
Aerosoly	⁹⁰ Sr	(4)			-
	^{239/240} Pu	(4)			-
Moč	²⁴¹ Am	6 (30)			48 h
	²³⁹ Pu	6 (30)			48 h

Poznámky

- Všechna uvedená stanovení by byla proveditelná během 1 dne, resp. týdne kromě stanovení ³H s destilací; pokud bude stanovení ³H s destilací prováděno, je potřeba o tento počet snížit počet stanovení ³H bez destilace
- Denní kapacitu je nutno chápat jako průměrnou denní kapacitu v delším období
- Týdenní kapacita je dána 5x denní kapacita (předpokládá se měření 2 víkendových dnů bez obsluhy)
- ⁸⁹Sr a ⁹⁰Sr by se stanovovalo na 1 LSC v SÚRO Praha
- Počet vzorků připravených na stanovení ⁸⁹Sr a ⁹⁰Sr je stejný, ale měření ⁹⁰Sr trvá déle, proto je kapacita stanovení ⁹⁰Sr nižší
- ³H by se stanovovalo na 1 LSC v SÚRO Praha a 2 LSC v SÚRO ČB
- Stanovení ³H s destilací je limitováno počtem destilačních kolon, které lze i po zakoupení nových, do laboratoří umístit, nikoliv kapacitou LSC
- Sloupec „1. výsledky“ uvádí čas v hodinách, do kdy je možno očekávat prvé výsledky
- Aerosoly - rychlé metody nejsou zavedeny; jedná se o teoretický neověřený odhad

3.5 Mezinárodní spolupráce

O mezinárodní spolupráci radiochemických laboratoří platí v podstatě to samé jako pro laboratoře se spektrometrií gama – viz [část 2.5](#).

3.6 Závěr

Celkovou kapacitu radiochemických laboratoří nelze udat jedním číslem, ale je nutno ji charakterizovat sestavou hodnot v kontextu všech požadovaných stanovení (sestavě analyzovaných radionuklidů), maticích a na požadovaných hodnotách NDA.

Pro zvýšení kapacity a optimalizaci činností by bylo vhodné zakoupit do SÚRO Praha některá zařízení. Jedná se o 3 destilační kolony (náklady nejsou příliš velké), LSC spektrometr, automatický tavicí systém a zařízení pro elektrodepozici.

Rovněž by bylo vhodné zavedení tzv. „rychlých metod“ stanovení RN tam, kde je možnost měření. V laboratořích SÚRO jsou v současnosti dva LSC spektrometry v Českých Budějovicích, ale rychlá metoda na stanovení aktivity ⁹⁰Sr a ⁸⁹Sr není v ČB zavedena a stejně tak není zavedena v laboratořích VÚV.

Je nutné mít zaveden kvalitní screeningový systém, který alespoň řádově odhadne aktivitu ve vzorku, aby bylo možné vybrat vhodnou metodu pro stanovení, velikost analyzovaného vzorku a měřicí zařízení. Při HM bude vhodné, i když je to na úkor měřicí kapacity, některá zařízení vyčlenit pro stanovení nízkých aktivit, případně je „zakonzervovat“ a v době HM je vůbec nepoužívat. Podobně je nutné rozdělit i ostatní laboratorní pomůcky a zařízení a nejlépe určit i laboratoře pro zpracování

vzorků s vyššími aktivitami a s aktivitami nižšími, protože pravděpodobnost kroskontaminace je velmi vysoká. V našich podmínkách nelze na 1 místě zpracovávat vzorky s aktivitami ve větším rozpětí, než 4-5 řádů, resp. nelze zabránit, aby vzorek s určitou aktivitou nebyl kroskontaminován aktivitou téže velikosti, pokud by byl na tomtéž místě před tím zpracováván vzorek o aktivitě o 4-5 řádů vyšší.

Zcela nezbytné je pokračovat v pořádání ZKC každé 2 roky se zaměřením na ty RN a matrice, které se dosud nestanovovaly, jako je stanovení ^{90}Sr v mléku a ^3H ve vodě a v aerosolových filtrech ^{89}Sr a ^{90}Sr a TRU ^{239}Pu a ^{241}Am . A v dalších letech cvičení opakovat.

4 Literatura

ČSN 75 7613, 2014. ČSN 75 7613 Kvalita vod - Rychlá metoda stanovení celkové objemové aktivity beta, 2014.

Doporučení, 2015. Doporučení pro obecný postup zjištění a hodnocení rizika kontaminovaných plodin a jejich likvidace, Projekt MV ČR - BV - identifikační kód: VF20102015014, 2015.

Guide, 2010. Guide for Laboratories - Identification, Preparation, and Implementation of Core Operations for Radiological or Nuclear Incident Response“, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-10-002. June 2010.

TECDOC 1092, 1999. IAEA-TECDOC 1092 (1999), Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency, IAEA, 1999.

Metodika, 2015. Metodika pro systém odběru vzorků zemědělských/potravinářských produktů z hlediska radioaktivní kontaminace po radiační mimořádné události, včetně sběru kritických informací pro navržení opatření, Projekt MV ČR - BV - identifikační kód: VF20102015014, 2015.

Nařízení 52, 2016. Nařízení rady (Euratom) 2016/52 ze dne 15. ledna 2016, kterým se stanoví nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin a krmiv po jaderné havárii nebo jiném případě radiační mimořádné situace a zrušují nařízení (Euratom) č. 3954/87 a nařízení Komise (Euratom) č. 944/89 a (Euratom) č. 770/90.

NPM, 2018. Národní program monitorování, SÚJB, 2018.

Li, 2010. Li C, Vlahovich S., Dai X., Richardson RB., Daka JN., Kramer GH. Requirements for radiation emergency urine bioassay techniques for the public and first responders. Health Phys. 2010 Nov;99(5):702-7. doi: 10.1097/HP.0b013e3181de04ec.

Vyhláška 360, 2016. Vyhláška 360/2016 o monitorování radiační situace, 2016.

Zpráva SÚRO 25, 2015. Zpráva SÚRO 25/2015 - Závěrečná zpráva Projektu MV ČR - BV - identifikační kód: VF20102015014, kapitola e), část 7, 2015.

Zpráva SÚRO 49, 2015. Zpráva SÚRO 49/2015, 2015 - Certifikovaná metodika „Detekce a stanovení aktivity ^{90}Sr ve vzorcích životního prostředí měřením brzdného záření“, 2015.

Zpráva SÚRO 14, 2018. Zpráva SÚRO 14/2018, Zátěžové kapacitní cvičení laboratorní RMS vybavených spektrometrií gama, 2018.

5 Příloha - Metodika - Příprava a realizace kapacitních cvičení

		Státní ústav radiální ochrany, v.v.i.	
Metodika SÚRO XX-XX-XX			
Příprava a realizace kapacitních cvičení			
Vypracoval			
Jméno	Datum	Podpis	
RNDr. Petr Rulík	31.10. 2019		
Ing. Michal Sloboda	31.10. 2019		
Přezkoumal a schválil			
Jméno	Datum	Podpis	
RNDr. Petr Rulík	3.11. 2019		
Archivní označení	XXX	Číslo revize	0
Datum účinnosti	1.1. 2020		

Metodika SÚRO	List: 3 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

OBSAH

1	ÚČEL	4
2	POJMY, DEFINICE, ZKRATKY, SYMBOLY	5
3	ÚVOD	6
4	PŘÍSTROJOVÉ A MATERIÁLOVÉ ZAJIŠTĚNÍ	7
5	PŘÍPRAVA CVIČENÍ	7
5.1	Výběr radionuklidů a rozsahu aktivit ve vzorcích	8
5.2	Výběr položek a jejich reprezentantů pro cvičení	9
5.3	Příprava vzorků pro cvičení	11
5.4	Příprava cvičení	13
5.5	Odhady NVA	14
5.6	Harmonogram činností	14
6	PRŮBĚH ZKC - SLED A POPIS ČINNOSTÍ	15
6.1	Příprava laboratoří na ZKC	15
6.2	Průběh ZKC	15
7	VYHODNOCENÍ ZKC	18
7.1	Kontrola správnosti zápisu vzorku v databázi MonRaS	18
7.2	Kontrola správnosti výsledku	19
7.3	Zpracování výsledků	20
7.4	Kapacita laboratoře	20
8	ČASOVÁ A FINANČNÍ NÁROČNOST CVIČENÍ	21
9	VALIDACE A VERIFIKACE	22
10	VARIABILITA PŘÍPRAVY, PRŮBĚHU A HODNOCENÍ CVIČENÍ	22
11	SOUVISEJÍCÍ NORMY A DOKUMENTY	23
12	PŘÍLOHY	23
	Příloha 1 - Průvodka vzorku	23
	Příloha 2 - Informace pro laboratoře	24
	Příloha 3 - Příklady tabulkových a grafických výstupů	25
	Příloha 4 - Dotazník o průběhu cvičení	34

Metodika SÚRO	List: 4 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

1 ÚČEL

Metodika je určena především pro laboratoře vybavené polovodičovou spektrometrií gama začleněné do systému laboratoří měřících vzorky při havarijním monitorování (HM). Stanoví způsob přípravy, realizace a vyhodnocení kapacitních cvičení těchto laboratoří.

Požadavek na pořádání cvičení je uveden ve Vyhlášce SÚJB 360/2016 „o monitorování radiační situace“ v Příloze č. 7 v řádku „Porovnávací měření – kapacita měřící laboratoře“. Vyhláška uvádí opakování cvičení v intervalu 3 roky.

Účelem pořádání kapacitních cvičení je především pravidelně prověřovat, optimalizovat a rozvíjet měřící kapacitu laboratoří pro případ havarijního monitorování. Každé cvičení má za cíl i identifikaci problematických míst celého procesu (časově nejnáročnější místa, místa s maximem možných chyb apod.) počínaje příjmem vzorků a konče zadáním výsledků do databáze MonRaS.

Metodika nedává jednoznačný návod na pořádání cvičení ani na způsob jejich vyhodnocování, neboť jednotlivá cvičení mohou být zaměřena na rozdílné aspekty procvičovaných činností a způsob jejich pořádání a hodnocení se může časem měnit.

Metodika vychází ze zkušeností z těchto cvičení, která jsou pořádána od roku 2007.

Metodika SÚRO	List: 5 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

2 POJMY, DEFINICE, ZKRATKY, SYMBOLY

Mobilní aplikace - aplikace pro mobilní telefon pro zápis informací o vzorku v terénu a jejich přenosu do QR-kódu, která rovněž umožňuje generování štítků s QR-kódy fiktivních vzorků užitých při cvičení.

Průvodní list – dokument, který je předáván laboratoři spolu se vzorkem v okamžiku přebírání vzorku od odběratele. Jeho forma není jednotně předepsána, může se jednat o soupisku vzorků, může být předán ke každému vzorku samostatně, může být předán i jen v elektronické formě. Pokud je vzorek opatřen QR-kódem s popiskou informací, je toto považováno za průvodní list.

Smíšená strava – představuje při havarijním monitorování rozmixovanou směs konzumovaných pokrmů během 1 dne (nápoje je možno oddělit zvlášť). Běžně by se zajišťovala z provozoven hromadného stravování.

Soupiska vzorků – seznam všech vzorků, předaných do laboratoře. Podle něj se provádí inventarizace vzorků při jejich převzetí.

Vzorkovnice měřicí – vzorkovnice, do níž se ukládá vzorek na měření (Petriho miska, masťovka, Marinelliho nádoba apod.)

Vzorkovnice přepravní – obal, ve kterém je materiál vzorku umístěn pro přepravu do laboratoře (nádoba, kyblík, sáček, obálka, lahev apod.)

Zkratky

DMV	Dětská mléčná výživa
DP	Dávkový příkon
GA	Gama-automat (automatický systém pro měření a hodnocení vzorků vybavený 2 spektrometrickými trasami s HPGe detektory)
HM	Havarijní monitorování
HPGe	Polovodičový detektor z vysoce čistého germania
JE	Jaderná elektrárna
LabSys	Laboratorní systém evidující vzorky a výsledky analýz
MonRaS	Monitorování radiační situace - SW prostředek pro shromažďování, zveřejňování a archivaci dat
MS	Mobilní skupina
NVA	Nejmenší významná aktivita na hladině spolehlivosti 95 %
PŘ	Potravní řetězec
RN	Radionuklid
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
ZKC	Zátěžové kapacitní cvičení
ŽP	Životní prostředí

Metodika SÚRO	List: 6 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

3 ÚVOD

Při radiační havárii velkého rozsahu na našem území nebo na území blízkém ČR lze předpokládat vysokou a místně velmi rozdílnou kontaminaci životního prostředí (ŽP). Přesný návrh vzorkování v době havarijního monitorování není možné stanovit, protože bude pro každou situaci odlišný. Kromě měření aktivity radionuklidů (RN) v aerosolech, aktivity plyných forem jódu a aktivity RN ve spadech bude krátce po vzniku radiační havárie potřeba měřit i další vzorky ŽP a potravních řetězců (PŘ).

V prvních dnech po radiační havárii bude jedním z hlavních cílů monitorování především vymezení a upřesnění hranice různě kontaminovaných území, poskytnutí dostatku informací pro rozhodování o následných opatřeních (nakládání s rostlinnými a živočišnými produkty a půdou) a pro predikci vývoje kontaminace na zasaženém území a také pro kontrolu trhu včetně vývozu a dovozu produktů.

Struktura vzorků bude záviset na ročním období, kdy k radiační havárii dojde, a bude se také měnit v závislosti na spektru radionuklidů. Bude nutné také přihlédnout k rozložení regionální produkce složek PŘ a k vyšší akumulaci schopnosti některých z nich. Celkový počet denně měřených vzorků bude blízký kapacitním možnostem sítě laboratoří, neboť od jejich kapacity se počet bude odvíjet.

Vzorky připravené pro zátěžové kapacitní cvičení (ZKC) slouží k simulaci období vzorkování krátce po radiační havárii JE, kdy ještě může být měřitelný ^{131}I a současně už jsou významné i aktivity dalších RN ve všech možných komoditách ŽP a PŘ.

Personální obsazení laboratoří se spektrometrií gama je při monitorování za normální situace většinou takové, že laboratoře jsou schopny toto monitorování zajišťovat. Při havarijním monitorování (HM) jsou však nároky na počty analyzovaných vzorků a tím i počet pracovníků mnohem vyšší, takže se obecně předpokládá, že pracovníků bude nedostatek, čemuž musí být přizpůsoben i rozvrh činností.

Při HM se vzhledem k nedostatku pracovníků předpokládá práce ve většině laboratoří v 12ti hodinových směnách (pouze denních), které by tyto laboratoře byly schopny zajišťovat po dobu 14 dnů. Poté by laboratoře postupně přešly na normální denní pracovní režim.

Cílem ZKC je prověřit aktuální měřicí kapacitu laboratoří vybavených spektrometrií gama za současného technického stavu a personálního obsazení, procvičit činnosti při HM a vytipovat problematická místa celého procesu (časově nejnáročnější místa, místa s maximem možných chyb apod.) počínaje příjmem vzorků a konče zadáním výsledků do databáze MonRaS.

Doba konání ZKC by měla odpovídat pracovní době při skutečném HM, tedy celkem až 12 hodin.

Při cvičení by se mělo postupovat jako při běžném dnu při HM, ke kterému se váže dokument [VDI 129 - Činnosti laboratoří spektrometrie gama při havarijním monitorování](#).

Metodika SÚRO	List: 7 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

4 PŘÍSTROJOVÉ A MATERIÁLOVÉ ZAJIŠTĚNÍ

Přístrojové a materiálové zajištění laboratoří pro zátěžové kapacitní cvičení (ZKC) je uvedeno ve VDI 129. Kromě zmíněného, laboratoře, které chtějí využívat pro načítání informací o vzorku QR-kódy, musí být vybaveny příslušnou technikou. Rovněž pro přípravu vzorků značených QR-kódy (pro tzv „gama-automat“) musí být k dispozici potřebná technika.

Pro zajištění cvičení

- Radionuklidy – roztoky vybraných RN (nejlépe typu ER-25 od ČMI) ke kontaminaci vzorků
- Vzorky pro cvičení
- Běžné vybavení radiochemické laboratoře pro přípravu kontaminovaných vzorků
- Vybavení laboratoře se spektrometrií gama včetně přípravny pro práci s kontaminovanými vzorky (přepravní nádoby, sáčky na vzorky, přepravky apod.)

Pro využívání QR-kódů jsou potřebné

Pro přípravu ZKC

- Soubor *.csv s definicí popisků vzorků pro tvorbu QR-kódů pro cvičné vzorky značené QR-kódy
- Mobilní aplikace - aplikace pro mobilní telefon pro zápis informací o vzorku a jejich přenosu do QR-kódu.
- Tiskárna štítků - štítkovač (např. Brother QL-820NWB)
- Štítky do tiskárny (např. lepící páska DK-22205, šíře 62 mm, délka 30,48 m)
- Datový soubor Komodity.csv - číselník komodit (velikost 8 kB)
- Datový soubor Ku.csv - číselník katastrů (velikost 52 MB, obsahuje katastry a definici jejich hranice)

Pro cvičící laboratoře

- Čtečka QR-kódů (např. Datalogic QuickScan QM2430, 2D, USB-kit)
- LabSys se softwarovým rozšířením pro načítání QR-kódů

5 PŘÍPRAVA CVIČENÍ

Při reálném havarijním monitorování (HM) budou měřeny vzorky životního prostředí (ŽP), a to složky atmosféry (aerosoly, plynné formy jódu, spady), hydrosféry (voda dešťová, povrchová, podzemní, pitná, užitková, odpadní) a pedosféry (půda, rostlinné indikátory – jehličí, listí, lišejníky, mechy, tráva) a dále vzorky ze všech složek potravních řetězců (PŘ) včetně krmiv.

Některé komodity PŘ by byly v prvním období HM kontaminovány především spadem, tj. jednalo by se o povrchovou kontaminaci např. ovoce, zeleniny (může se jednat i o potraviny, které v období radiační havárie nedozrávají, ale kde ke kontaminaci může dojít např. ve velkoskladech prostřednictvím ventilačních systémů). Další komodity PŘ jako např. mléka a masa by byly kontaminovány v celém objemu komodity.

Protože u vzorků komodit, jako je zelenina a ovoce, půjde především zpočátku o kontaminaci povrchovou, bude u těchto vzorků vyšší riziko přenosu kontaminace než u vzorků s kontaminací v celém objemu.

Cvičení není možné pořádat v celém rozsahu položek ani v rozsahu monitorovaných RN jaké by se mohly vyskytovat při HM, ale je nutno vybrat snadno dostupné položky (i cenově) a RN

Metodika SÚRO	List: 8 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

s pokud možno krátkým poločasem přeměny, aby v případě kontaminace prostor laboratoře nebyl jejich vliv na pozadí v laboratoři dlouhodobý. Není vhodné volit kontaminaci ^{137}Cs z důvodu jeho výskytu v ŽP. Na druhou stranu výběr položek musí dostatečně reprezentovat reálnou situaci (například z hlediska obtížnosti přípravy vzorku k měření).

Přípravu cvičení je vhodné zahájit 1 až 2 měsíce před konáním cvičení.

5.1 Výběr radionuklidů a rozsahu aktivit ve vzorcích

Pro přípravu vzorků jsou využívány jednak materiály bez přidaného RN (mohou obsahovat velmi nízké aktivity ^{137}Cs), jednak materiály s vyšší „počernobylskou“ kontaminací ^{137}Cs (půdy, houby) a jednak materiály uměle kontaminované RN.

Při výběru radionuklidů pro umělou kontaminaci vzorků byla zvážena hlediska

- pro kapalně vzorky aby RN měl relativně krátký poločas přeměny a běžně se v měřených vzorcích nevyskytoval (z důvodu případné kontaminace laboratoře).
- pro pevně jemně mleté vzorky aby RN byl jednoduše mísitelný.

Aktivity přidaných RN ke vzorkům by měly být vyšší než 10 Bq/L, resp. 10 Bq/kg, resp. 10 Bq v měřeném vzorku (aerosolový filtr), aby při předpokládané délce měření byla překročena hodnota nejmenší významné aktivity (NVA) – viz níže.

Nariadení Rady (Euratom) 2016/52 uvádí tabulku nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin a krmiv po radiační havárii, které jsou pro dlouhodobé RN v rozsahu 400 – 1250 Bq/kg (pro izotopy jódu v rozmezí 150 – 2000 Bq/kg). Je vhodné připravit některé vzorky s aktivitou překračující v potravních komoditách tuto úroveň. Rovněž dle pokynu pro činnosti laboratoří při HM (VDI 129) se vzorky mají nejprve třídít pomocí měřiče dávkového příkonu (DP), a proto je vhodné, aby u některého vzorku byla překročena hodnota spodní hranice citlivosti měření DP, která je na úrovni řádově 1 kBq v závislosti na směsi RN. Maximální aktivita dodaná do vzorku není omezena, nicméně je vhodné ji volit nižší než cca 10 kBq/L (resp. kBq/kg nebo kBq/vzorek).

Vhodné je volit 3 úrovně aktivity RN ve vzorcích:

- 10 – 100 Bq/L, kg, vzorek
- 100 – 1000 Bq/L, kg, vzorek
- > 1000 Bq/L, kg, vzorek

Dotovaná aktivita se stanoví navážkou, v případě počernobylské kontaminace ^{137}Cs se referenční aktivita stanoví jako průměrná hodnota aktivity ^{137}Cs několika vzorků odebraných z homogenizovaného materiálu.

Radionuklidy se kontaminuje voda (reprezentuje všechny kapalně vzorky), smíšená strava (reprezentuje smíšenou stravu z rozmixovaných jídel ze stravovacích zařízení), aerosolový filtr a případně sypký materiál, např. mouka kontaminovaná pomocí KCl. Jednotlivé vzorky je vhodné kontaminovat i více RN, resp. měnit u konkrétního vzorku jak počet RN, tak velikost jejich aktivit.

Základní charakteristiky RN používaných při cvičeních jsou uvedeny v [tabulce 1](#); lze však použít i další. Pro dané ZKC je vhodné zvolit více RN, např. 3.

Metodika SÚRO	List: 9 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Tabulka 1 Základní charakteristiky RN používaných při cvičení

Nuklid	Poločas		En. fotonu (keV)	
⁴⁰ K	1,25x10 ⁹	r	1460,8	-
⁵⁷ Co	271,81	d	122,1	136,5
⁸⁵ Sr	64,85	d	514,0	-
⁸⁸ Y	106,63	d	898,0	1836,1
¹³¹ I	8,04	d	364,5	-
¹³⁴ Cs	2,06	r	604,7	795,9
¹³⁷ Cs	30,05	r	661,7	-
¹³⁹ Ce	137,64	d	165,9	-

RN se objednají u ČMI většinou ve formě roztoků ER-25 (cca 5 g roztoku o aktivitě cca 100 kBq/g). Draselná sůl ke kontaminaci položek ⁴⁰K se zakoupí v drogerii. RN s krátkým poločasem přeměny je vhodné objednat s dobou dodání cca 2 týdny před cvičením.

Objednávku RN je vhodné zaslat na ČMI minimálně 2 měsíce před cvičením a prověřit schopnost ČMI dodat požadované RN v dohodnutém termínu.

5.2 Výběr položek a jejich reprezentantů pro cvičení

ZKC by mělo procvičit schopnost analyzovat většinu typů vzorků, které by se při HM v laboratoři měřily, a to i s ohledem na jejich odhadované zastoupení.

Skutečné vzorky, které by byly při HM do laboratoří dodávány, se v mnoha případech nahrazují levnější alternativou. Návrh seznamu vzorků a jejich náhrady jiným materiálem (reprezentantem) ukazuje [tabulka 2](#). Seznam není pevně dán, je možno jej obměňovat a doplňovat; při určitých typech ZKC lze využívat i jen jeho část.

Dle zaměření ZKC, počtu účastníků se laboratoří a předpokládané kapacity laboratoře (z analýzy výsledků předchozích cvičení) se odhadne celkový počet připravovaných vzorků navýšený o rezervu umožňující laboratoři dosáhnout vyšší kapacity ve srovnání s předchozími ZKC. Dle celkového počtu připravovaných vzorků se stanoví počty vzorků jednotlivých komodit s vyznačením počtu kontaminovaných vzorků; příklad je uveden v [tabulce 2](#).

Ne všechny laboratoře obdrží všechny vzorky. Sestava vzorků se liší podle typu a dříve zjištěné kapacity laboratoře. Protože kontaminované vzorky slouží k porovnání správnosti stanovení aktivity v laboratořích, měly by laboratoře, bez ohledu na jejich předpokládanou kapacitu, obdržet dostatečný počet kontaminovaných vzorků.

Není-li stanoveno jinak, použijí se vzorky s přidanou kontaminací a vzorky nepodléhající zkáze (sorbet plyných forem jódu, půdy, ...) opakovaně ve všech laboratořích, a pokud to lze využijí se i při dalších porovnáních. Vzorky smíšené stravy je možno využít ve všech laboratořích jen v rámci daného cvičení. Vzorky krájené nebo jinak dělené (chleba, řepa, brambory, zelí ...) se připravují pro každou laboratoř zvlášť.

Metodika SÚRO	List: 10 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Tabulka 2 Seznam položek a jejich reprezentací a příklad volby radionuklidů a počtu vzorků

	Druh vzorku	Reprezentováno materiálem	RN	Počet vzorků celkem	Počet vzorků s přidanou aktivitou
1	Aerosolový filtr	Filtr	^{134}Cs , ^{85}Sr	24	15
2	Sorbent plyných forem jódu	Aktivní uhlí	-	16	0
3	Spad (na vodní hladinu)	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	10
4	Povrchová voda - vodní toky	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	5
5	Vodárny – úpravny vod	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	6
6	Pitná voda - veřejný vodovod	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	5
7	Mléko kravské	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	10
8	Mléko ovčí	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	9
9	Mléko kozí	Voda	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	5
10	Mléko sušené	Mouka	^{40}K	10	0
11	DMV - ostatní	Mouka	^{40}K	5	0
12	DMV - sunar	Mouka	^{40}K	5	0
13	Celodenní strava	Vločky s vodou	^{134}Cs , ^{85}Sr , ^{88}Y	10	5
14	Maso hovězí a telecí	Řepa	-	5	0
15	Maso drůbeží	Řepa	-	5	0
16	Maso skopové	Chleba	-	3	0
17	Jelen	Chleba	-	2	0
18	Divočák	Chleba	-	2	0
19	Muflon	Chleba	-	2	0
20	Srniec	Chleba	-	1	0
21	Chleba	Chleba	-	10	0
22	Mouka	Mouka	^{40}K	20	0
23	Ovesné vločky	Vločky	-	5	0
24	Zelí	Zelí	-	5	0
25	Hlávkový salát	Zelí	-	5	0
26	Špenát	Zelí	-	5	0
27	Rajčata	Brambory	-	5	0
28	Jablka	Brambory	-	5	0
29	Hrušky	Brambory	-	5	0
30	Meruňky a broskve	Brambory	-	5	0
31	Mrkev	Mrkev	-	5	0
32	Petržel	Mrkev	-	5	0
33	Třešně a višně	Granule pro psa	-	5	0
34	Rybíz červený a bílý	Granule pro psa	-	3	0
35	Rybíz černý	Granule pro psa	-	2	0
36	Borůvky	Granule pro psa	-	5	0
37	Jahody	Granule pro psa	-	3	0
38	Jahody lesní	Granule pro psa	-	2	0
39	Seno	Seno	-	5	0
40	Jetel	Seno	-	3	0
41	Vojtěška	Seno	-	2	0
42	Půda	Orná půda	^{134}Cs , ^{137}Cs	30	30
43	Půda	Substrát, hrabanka	^{134}Cs , ^{137}Cs	100	0
	Celkem			400	100

Poznámka

- Ve sloupci „RN“ se uvedou RN použité ke kontaminaci dané komodity a k nim ve sloupci „Počet vzorků s přidanou aktivitou“ celkový počet kontaminovaných vzorků dané komodity bez ohledu na to, zda ve vzorku bude použit 1 RN či více a bez ohledu na velikost přidané aktivity.
- Jako reprezentanta lze použít i jiné potraviny.
- ^{137}Cs – do půd se nepřidává, stanovuje se jeho aktivita pocházející z černobylské havárie

Metodika SÚRO	List: 11 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

5.3 Příprava vzorků pro cvičení

Příprava by měla být zahájena 1 měsíc před cvičením.

Za HM se předpokládá, že vzorky dodávané vzorky budou mít objem 1 L v případě kapalných vzorků a 1 až 2 L v případě pevných vzorků (po úpravě pro měření např. krájením by měl být objem cca 1 L). Je vhodné i při ZKC dodávat vzorky v podobném objemu.

Kapalné vzorky jsou předávány do laboratoře v 1 litrových šroubovacích lahvích, sypké vzorky v 2-3 litrových uzavíratelných kyblících a vzorky dalších potravin v igelitových sáčcích.

Vzorky reprezentované vodou a uměle kontaminované radionuklidy kromě ^{131}I se okyselují kyselinou HNO_3 (900 ml vody a 5 ml HNO_3 koncentrované na 65%), vodní vzorky kontaminované ^{131}I se okyselují roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (900 ml vody a 1 ml roztoku $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ s koncentrací 50 g/L). Vzorky reprezentované vodou se okyselují kvůli zamezení usazování aktivity na stěnách nádob. Vzorky představující celodenní smíšenou stravu jsou připraveny z 250 g vloček a 550 ml vody, navíc se přidává kyselina citrónová 50 g a sorbová 2 g (obě jsou krystalickou látkou) jako konzervant, protože časový interval mezi cvičením první a poslední laboratoře může být i cca dva týdny.

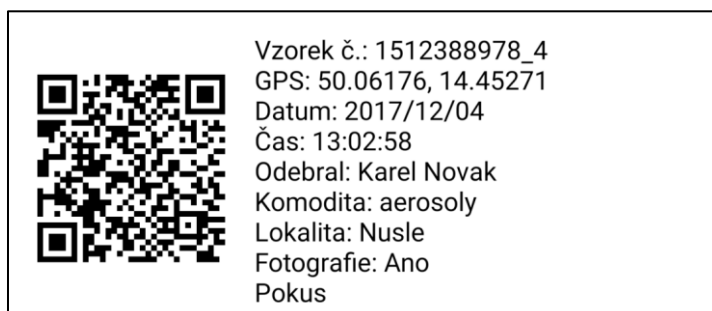
Laboratořím je vhodné dodat před cvičením i prázdné vzory 2-3 litrových kyblíků s víčkem a lahví, ve kterých budou některé vzorky předávány, ke stanovení hmotnosti vzorků v nich obsažených, případně údaje o hmotnostech prázdných nádob (i s víky). Znalost hmotnosti celého vzorku je nezbytná pro stanovení celkové aktivity v dodaném vzorku při měření pouze alikvótní části vzorků (obvykle v Bq/kg, popřípadě v Bq/L). Z celkové aktivity vzorku se poté stanovuje aktivita vyjadřovaná v jiných jednotkách než v Bq/kg nebo v Bq/L (spady - Bq/m², celodenní strava - Bq/den, sorbent jódu - Bq/m³, půdy - Bq/m² pro umělé RN).

Uskladněné vzorky z předešlých cvičení, které nepodléhají zkáze jako, půda, seno, uhlí, mouka atd. se zkontrolují a vyberou se vhodné pro připravované ZKC. Nevyhovující a chybějící vzorky jsou nahrazeny novými.

Protože některé laboratoře mají zaveden systém automatického přenosu informací o vzorku do laboratorního systému pomocí QR-kódu, je vhodné všechny připravované vzorky QR-kódem opatřit. Ukázka QR-kódu a informací v něm obsažených je uvedena na [obr. 1](#). Do poznámky popisky vzorku (v [obr. 1](#) v místě slova „Pokus“) se pro účely cvičení doplní pořadové číslo připraveného vzorku, aby se zjednodušila identifikace vzorku v LabSys a MonRaS a u půdy i odběrová plocha.

QR-kód se nalepí na obal vzorku a u vzorků s kontinuálním odběrem (filtr, sorbent plyných forem jódu a spad) se doplní druhým štítkem obsahujícím podrobnější informace o odběru.

Obr. 1 Štítek s QR-kódem



Metodika SÚRO	List: 12 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Všechny vzorky půd včetně hrabanky mohou být v přepravních nádobách zvlhčeny malým množstvím vody (z důvodu snížení prašnosti; za reálné situace by vzorky rovněž byly do laboratoří dodávány vlhké a sušeny by byly zřejmě až po změření) a promíchány.

Po skončení cvičení v poslední laboratoři je ovšem nutno vzorky ponechat několik dní otevřeny na vzduchu k jejich opětovnému vysušení (zabránění plesnivění vzorků).

Přidané aktivity do jednotlivých vzorků se zpracovávají v excelovské tabulce. Návrh je uveden v [tabulce 3](#).

Tabulka 3 Příklad záznamu informací s dotovanými aktivitami u jednotlivých vzorků

RN		Aktivita naředěného roztoku v Bq/g				
¹³⁴ Cs						
⁹⁰ Sr						
...						
	Označení	Druh vzorku	RN	Navážka [g]	Aktivita [Bq/L]	Poznámka
1	X - 1	Mléko kravské	Cs 134			
2	X - 1	Mléko kravské	Sr 85			
3	X - 2	Mléko kravské	Cs 134			
4	X - 2	Mléko kravské	Sr 85			
5	X-3 až X-10	Mléko kravské	Cs 134			
6	X-3 až X-10	Mléko kravské	Sr 85			
						

Poznámky

- Navážka je hmotnost naředěného etalonu. V případě stejných navážek u více vzorků je možno informaci zapsat zhuštěněji.
- Ve sloupci „Označení“ je vhodné mít vlastní označení kontaminovaných vzorků (nepřenáší se na vzorek, ale slouží jen k interním potřebám) a do poznámky zapsat skutečné označení vzorku kódem. Důvodem je to, že kontaminované vzorky se připravují v radiochemické laboratoři ještě před vytvářením kódů ke vzorkům.

Příprava csv souboru pro tisk štítků

Ke všem zvoleným vzorkům se doplní sada informací jako na příkladu štítku v [obr. 1](#). Tyto informace se nahrají do csv souboru; příklad hlavičky csv souboru s vyplněným 1 vzorkem je na [obr. 2](#).

Obr. 2 Příklad csv souboru s hlavičkou a zápisem 1 vzorku (informace odpovídají štítku z [obr. 1](#))

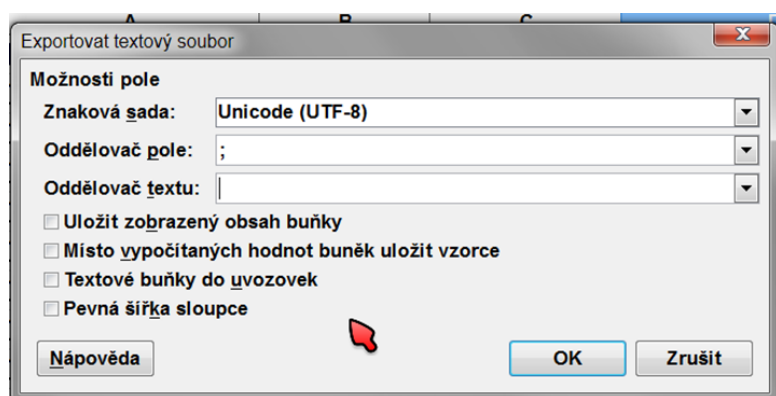
```
ID;DEVICEID;EPOCH;DATUM;ODEBRAL;KOMODITA_KOD;KOMODITA_POPIS;
POZNAMKA;GPS;LOKALITA_KOD;LOKALITA_POPIS;FOTOGRAFIE
1512388978_4;4;1512388978;2017/12/04 12:02:58;Karel Novak; 1010000; aerosoly;
Pokus; 50.06176, 14.45271; 728161; Nusle; Ano
.....
```

Metodika SÚRO	List: 13 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Soubor **Vzorky.csv** je možné podle [obr. 2](#) vytvořit přímo nebo pomocí csv souboru z minulých cvičení v LibreOffice následovně

1. V souboru **Vzorky.ods** zadat místo odběru, souřadnice, komoditu ...
2. Pracovat na listu *pracovní* a vyplnit jen *zelené sloupce*.
3. Přepnout na list **Vzorky_pro_CSV** soubor → uložit jako → typ text CSV → uložit → Použít formát Text CSV.
4. Uložit podle [obr. 3](#); pole *oddělovač textu* ponechat prázdné.
5. uložit zobrazený obsah buňky.
6. Uložený soubor zkopírovat do mobilu do složky SURO a přejmenovat na vzorky.csv; s jiným názvem mobilní aplikace nepracuje.
7. V mobilu otevřít aplikaci, kliknout na tři tečky pod sebou a zvolit *načíst demo data*.

Obr. 3 Vyplnění polí při exportu do csv souboru



Soubor **Vzorky.csv** je možné používat opakovaně také pro další roky konání ZKC jenom s úpravou data na konkrétní ZKC. Štítky se tisknou na každou přepravní nádobu jednou kromě vzorků potravin, které se porcují, a pro které se tisknou pro každou laboratoř zvlášť. Vzorky potravin se po nakrájení likvidují, další laboratoř obdrží nové potraviny.

V mobilní aplikaci se načtením csv souboru s fiktivními vzorky vytvoří požadovaný počet samostatných fiktivních vzorků a následně se vygeneruje odpovídající počet QR-kódů. Všechny připravené vzorky se opatří těmito vytištěnými QR-kódy; část vzorků je opatřena ještě dodatečným štítkem s informacemi, pokud se jedná o vzorek odebíraný kontinuálně po nějakou dobu (aerosoly, plynné formy jódu, spady) nebo o vzorek smíšené stravy (nedodává se do laboratoře celý). Navíc je pro každou laboratoř připraven soubor s QR-kódy pro případ, že by kódy na vzorcích byly poškozeny převozem z jedné laboratoře do druhé.

5.4 Příprava cvičení

Laboratoře, které by se měly účastnit cvičení jsou informovány s dostatečným předstihem formou „Pozvánky“. V ní se uvede předpokládaný termín konání ZKC s výzvou návrhu 2 termínů, kdy je laboratoř schopna se cvičení účastnit. Po obdržení informace se harmonogram konání ZKC v laboratořích „doladí“. Rozpětí termínů by mělo být maximálně 3 týdny. Mezi jednotlivými cvičeními by měl být cca 1 den volný k přípravě vzorků pro další laboratoř.

Metodika SÚRO	List: 14 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Po dohodnutí termínů se rozešle všem zúčastněným laboratořím informace k ZKC včetně dohodnutého harmonogramu a způsobu hodnocení (viz [Příloha 2](#)). Rovněž se laboratořím předá seznam RN, které se mají hodnotit; případně i RN, u kterých se má v případě nedetekování aktivity předat do MonRaS hodnota NVA.

Je možno dohodnout, že vzorky s přidanou kontaminací budou pro usnadnění viditelně označeny.

Pokud to bude vhodné, je možno uspořádat pro cvičící laboratoře ke cvičení seminář.

Formou interního sdělení je nutno předem informovat dohlízejícího pracovník o ZKC a úhrnných aktivitách, které budou využity při cvičení.

Několik dnů před cvičením se cvičící laboratoř znovu informuje o termínu cvičení a o čase předání vzorků.

5.5 Odhady NVA

Požadavky na NDA uvádí ([Vyhláška 360, 2016](#)) v tabulce 5 Přílohy 3, část B „Podrobnosti k monitorovaným položkám měřeným a vyhodnocovaným v teritoriální a hraničních sítích - havarijní monitorování“. Pro objemové vzorky se jedná většinou o hodnoty 10 Bq/kg, resp. 10 Bq/L. Pro dosažení těchto NDA je u většiny používaných HPGe detektorů (při uvažovaných geometriích) dostatečných 5 až 10 minut měření při nízkém pozadí jako je při normálním monitorování; při takto krátkých časech však u vzorků bez kontaminace může být v hodnocené oblasti spektra počet impulsů blízky nule a algoritmus pro stanovení NVA může selhávat (udává nesprávné hodnoty; při „0“ impulsch je i NVA = 0).

Vhodnější je proto definovat si nejnižší celkový možný počet impulsů v oblasti zájmu (např. oblast píku ^{137}Cs o šířce 3–4 keV), který je nutný pro tvorbu píku, na úrovni 5 až 10 impulsů a pro ten spočítat NVA/NDA. Tuto hodnotu pak považovat za definovanou nejnižší hodnotu NVA/NDA, a pokud software stanoví NVA/NDA nižší, nahradit ji takto definovanou hodnotou. Pro menší detektory a objemovou měřicí geometrii (mast'ovky, malé Marinelliho nádoby), vychází při délce měření 600 s takto stanovená nejnižší hodnota NVA/NDA na úrovni jednotek Bq/kg.

Při ZKC se předpokládá doba měření 1 vzorku 10 min a více. U aerosolových filtrů a sorbentu plyných forem jódu může být doba měření delší. Může být předepsána hodnota NVA, které je nutné při měření dosáhnout.

5.6 Harmonogram činností

Harmonogram činností je uveden v [tabulce 4](#).

Tabulka 4 Harmonogram činností

	Činnost	Termín	Poznámka
1	Informativní dopis laboratořím	3 měsíce před cv.	Návrh termínů pro laboratoře a reakce laboratoří, dohodnutí termínu cvičení jednotlivých laboratoří
2	Objednávka RN	2-3 měsíce před cv.	Krátkodobé RN nechat si dodat až cca 14 dnů před cvičením
3	Instrukce laboratořím	1 měsíc před	
4	Příprava vzorků	1-2 měsíce před cv.	
5	Informace dohlízející osobě		Interní sdělení o ZKC a úhrnných aktivitách
6	Seminář	1 měsíc před cv.	Pokud bude vhodné uspořádat

Metodika SÚRO		List: 15 z 34	
Příprava a realizace kapacitních cvičení		Datum vydání	xx.xx.2019

7	Cvičení	Max 3 týdny	Jednotlivé laboratoře
8	Vyhodnocení cvičení, dílčí zprávy pro jednotlivé laboratoře a souhrnná zpráva	2-3 měsíce po cv.	Porovnání s předchozími cvičeními
9	Vyjádření laboratoří ke zprávám	Do 1 měsíce po předání zprávy	Vyjádření bude obsahovat i vysvětlení k jednotlivým chybám
10	Seminář po cvičení	3 měsíce po cv.	Pokud bude vhodné uspořádat

6 PRŮBĚH ZKC - SLED A POPIS ČINNOSTÍ

Při cvičení by se mělo postupovat jako při běžném dnu při havarijním monitorování, ke kterému se váže dokument [VDI 129](#).

6.1 Příprava laboratoří na ZKC

Příprava pracoviště na ZKC je obvykle prováděna den předem vytyčením pracovních prostor s omezeným pohybem, kde je předpokládána možnost kontaminace při manipulaci se vzorky. Pracovní plochy se potáhnou igelity a připraví se potřebné pomůcky. Vymezí se a označí místa pro příjem, zpracování a uložení vzorků (před měřením a po měření, případně s vyznačením prostoru pro vzorky s vyšší aktivitou). Měřič DP se předem přibližně nakalibruje, např. pomocí ^{137}Cs pro geometrii objemných vzorků. V prostoru přípravy vzorků by se mělo pracovat v návlecích, případně by na výstupech z prostorů přípravy měly být nášlapné lepicí rohože pro dekontaminaci obuvi. Na hranici „špinavých“ a „čistých prostor“ se umístí koš na návleky.

Každému pracovníku se přidělí „role“ a procvičí se zadané dílčí činnosti, obzvláště v případě výpomoci studenty a prověří se funkčnost celého procesu až po předání výsledků do MonRaS. Nutné je secvičit přípravu kontaminovaných vzorků; nejlépe se pracuje ve dvojicích nebo trojicích s rozdělením úloh na „špinavý“ (připravuje vzorky) a „čistý“ (zapisuje údaje, manipuluje až se vzorky v povrchově nekontaminovaných obalech). Činnosti je nutné přizpůsobit zvyklostem, způsobu secvičenosti a prostorovým možnostem laboratoře.

Je dobré také naplánovat čas na oběd a střídání pracovníků na jednotlivých místech.

Připraví se dostatek pomůcek jako např. měřících nádob, mikrotenových sáčků, štítků pro popisky vzorků, odpadních pytlů, rukavic, návleků apod.

Zvolí se detektory, které budou použity při cvičení, a připraví se složky v PC, resp. se provede úklid, aby se cvičné vzorky nezamíchaly s normálními vzorky.

6.2 Průběh ZKC

ZKC by mělo trvat 10-12 hodin, aby cvičení dostatečně simulovalo reálnou situaci v době HM, a aby se u pracovníků již projevila značná únava.

Vzorky se předají laboratoři najednou. Se všemi vzorky je nutno zacházet jako se vzorky kontaminovanými včetně potravin, které se vzorkují krájením. Laboratoř by měla analyzovat vzorky tak, aby v případě, že nestihne změřit všechny dodané vzorky, byly ve změřených vzorcích zastoupeny všechny druhy dodaných komodit a rovněž většina vzorků s potenciálně vyšší aktivitou (např. dle DP z třídění vzorků).

Přejímka vzorků. Překontroluje se počet dodaných vzorků dle předané dokumentace (seznamu) a pohledem se prověří, zda nejsou porušeny obaly, či zda nedošlo k významnému

Metodika SÚRO	List: 16 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

úniku vzorku mimo obal. Pomocí měřiče DP se orientačně změří DP nad jednotlivými přepravkami. Měření slouží k vytipování přepravek se vzorky s vyššími aktivitami.

Rozdělení vzorků dle DP. Po přejímce je orientačně měřen DP od jednotlivých vzorků (nejlépe ve stínící olovené vaně); přístroj je přitom chráněn mikroténovým sáčkem proti kontaminaci. Vzorky jsou dle DP tříděny do tří skupin (lze i jen do 2) - na nízko, středně a vysoce aktivní vzorky. Konkrétní provedení záleží na přístupu laboratoře (např. jaké hodnoty aktivity, resp. DP přidělí jednotlivým skupinám). Vzorky s vyšším DP se na přepravních nádobách označí a značení se přenesou i na měřicí nádoby, aby jejich opětovné použití bylo umožněno až po prověření, že po vymytí jsou jen zanedbatelně kontaminovány. Značení je možno provést uvedením DP na nádobu nebo jednodušeji výraznou tečkou (případně více tečkami k rozlišení velikosti DP).

Zápis vzorků do databáze. Při příjmu je zapotřebí otírat všechny přepravní nádoby vzorků, protože z terénu mohou být povrchově kontaminovány. Po roztřídění vzorků dle DP jsou vzorky zaevidovány do databáze laboratoře. Protože některé laboratoře mají možnost přenášet informace o vzorku do laboratorního systému pomocí QR-kódů, mohou být vzorky kromě popisky značeny na obalu i pomocí QR-kódů. Do laboratorní databáze je nutno převést všechny údaje o vzorku. Vzorky se označí jako cvičné; tato informace se musí přenést do MonRaS.

Příprava vzorků k měření. Protože mohou být zpracovávány vzorky s aktivitami v rozpětí několika řádů, je nutno dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci se vzorky, aby nedošlo ke kontaminaci pracovníků či přenesení kontaminace z aktivnějších vzorků na méně aktivní opakovaným používáním měřicích nádob, kontaminací pracovních míst, pomůcek, rukou apod.

Po evidenci vzorků do databáze se vzorky převedou do měřicích nádob. Vzorky sypkých materiálů se homogenizují v přepravní nádobě promícháním (i když z hlediska cvičení by to nebylo nutné, jde ale o simulaci ztráty času při homogenizaci reálného vzorku za HM). Veškerou manipulaci s kapalnými a sypkými materiály je doporučeno provádět v digestoři.

Měřicí nádoby se před plněním označí evidenčním číslem vzorku, a to jak na víčku nádoby, tak i na vlastní nádobě.

Sypké vzorky se plní do měřicích nádob na fotomisce (nebo podobné nádobě) vyložené filtračním papírem s použitím lžice (lépe než přesypáním z důvodu prašnosti). Po přípravě každého vzorku je nutné lžicí otřít. Filtrační papír z fotomisky je nutné při zaprášení měnit.

Pevné nesypké vzorky (většina potravin) se dělí na podložce (z nesavého materiálu) nejlépe pokryté mikroténovou fólií. Po každém vzorku je nutné použít nový mikrotén a nůž otřít a v případě protržení mikrotenu i podložku omýt.

V případě pevných vzorků je možno umístit do měřicí nádoby mikroténový sáček a vzorek ukládat do něj k usnadnění čištění nádoby pro její opětovné použití. Toto je však třeba nacvičit, aby byla měřicí nádoba dobře vyplněna vzorkem bez vzniku vzduchových mezer.

Zelenina ani ovoce se nemýjí, pouze brambory se oškrabou; změřená aktivita by měla být horním odhadem hmotnostní aktivity. U vzorků ovoce a zeleniny se rovněž předpokládá nehomogenní kontaminace (aktivita pouze na povrchu). Proto i při ZKC je třeba vzorky zeleniny a ovoce homogenně (rovnoměrně z hlediska kontaminovaných povrchů) rozmístit v měřicí nádobě, aby byla zaručena správnost vyhodnocené aktivity.

Metodika SÚRO	List: 17 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Kapalné vzorky se připravují nejlépe z celé dodávky vzorků najednou. Do měřících nádob se převádějí přeléváním; pokud je to možné, tak v digestoři ve fotomisce vyložené buničitou vatou nebo filtračním papírem. Objem fotomisky musí být větší, než je objem dodaného vzorku (minimálně 2,5 litru). Okraj nádoby, ze které se vzorek přelévá, se obtočí buničitou vatou k odsátí kapek. Pozorně se sleduje, zda nedošlo k potřísnění měřicí nádoby; horní okraj láhve popřípadě i měřicí nádoby je vhodné po přelití otřít také buničitou vatou. Je možné využít nalévání po špejli, která se po přípravě každého vzorku likviduje. K přelévání vzorku je možno použít i odříznutá hrdla od PET lahví jako nálevky (na každý vzorek je nutná čistá nálevka).

V případě potřísnění rukavic či poškození jejich celistvosti je nutné rukavice okamžitě vyměnit.

Po převedení vzorku do měřicí nádoby se vzorek zváží (v případě použití více masťovek se zváží všechny najednou) a uloží na přenosný táč. Do laboratorní databáze se zaznamená objem vzorku použitého k měření a jeho hmotnost. V případě měření spadů, sorbentu plyných forem jódu, půd, celodenní stravy a moče se zaznamená i celkový objem, příp. celková hmotnost dodaného vzorku z důvodu pozdějšího přepočtu aktivity z měřené alikvotní části vzorku na aktivitu v jiných jednotkách (výsledné aktivity se nevztahují k hmotnosti ani k objemu měřeného vzorku).

Zbytky vzorků se přemístí na místa archivace a likvidace vzorků.

Potencionálně radioaktivní odpadní materiál (pracovní pomůcky, filtrační materiál) je nutné ukládat do připravených nádob – odpadkových košů vyložených pytlí, které se po naplnění přemístí do velkých polyetylenových pytlů.

Každá vzorkovnice se po naplnění umístí do mikroténového sáčku. Při použití Marinelliho nádoby se zasune do vybraní Marinelliho nádoby z vnějšku 200 ml masťovka, čímž se zajistí, že mikroténový sáček bude uvolněn tak, aby nádoba lehce dosedla na detektor bez poškození mikrotenu.

Měření vzorků. Měří se tak, aby bylo dosaženo požadovaných NVA. U níže vyjmenovaných vzorků musí být při měření alikvotní části vzorku aktivita přepočítána na celý vzorek a poté vyjádřena v požadovaných jednotkách

- spady a půdy - aktivita se uvádí v Bq/m², objem dodaných vzorků spadů bývá kolem 1 L
- celodenní strava - aktivita se uvádí v Bq/den, dodané množství bývá 0,5 - 1 kg
- sorbent plyných forem jódu - aktivita se uvádí v Bq/m³; celkový objem sorbentu je 0,5 L

Vyhodnocení. Laboratoře obdrží před cvičením knihovnu radionuklidů, se kterou se spektra budou vyhodnocovat. Před začátkem ZKC je vhodné si pro zrychlení vyhodnocování spekter nastavit vyhodnocovací sekvence pro daný detektor a geometrii. Pro vyznačené RN budou laboratoře vyhodnocovat i NVA.

Verifikace hodnot. Po změření vzorků a vyhodnocení spekter se provádí kontrola výsledků včetně parametrů vztahujících se ke vzorku (geometrie měření, hmotnost vzorku, označení detektoru, apod.

Předání výsledků do MonRaS. Po verifikaci výsledků se vzorky odešlou do MonRaS. Doporučuje se odesílat hodnoty do MonRaS průběžně v sérii cca 20 vzorků v průběhu cvičení z důvodu odhalení možných chyb.

Metodika SÚRO	List: 18 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Kontrola přítomnosti a správnosti dat v MonRaS. Je vhodné zkontrolovat alespoň namátkově přítomnost (počet) přenesených dat do MonRaS a namátkově i správnost výsledků (např. u těch vzorků, kde aktivita není vyjádřena v Bq/kg, resp. v Bq/L).

Likvidace vzorků a vrácení vzorků do přepravních kontejnerů. Na konci cvičení se všechny vzorky vracejí zpět z měřicích nádob do přepravních kontejnerů kromě vzorků potravin, které byly krájeny. Pokud v krájených vzorcích byla zjištěna aktivita pod uvolňovací úrovní, likvidují se s běžným komunálním odpadem. Pokud by v krájených vzorcích byla zjištěna aktivita nad uvolňovací úrovní, dopraví se zpět k pořadateli cvičení. Při návratu vzorků do přepravních nádob je nutno dbát, aby povrch přepravních nádob nebyl přitom kontaminován. Vhodné je všechny přepravní nádoby po převedení vzorku otřít.

Úklid pracoviště. Úklid se provádí jednak průběžně, a jednak na konci cvičení. Po skončení cvičení se ze všech pracovních ploch odstraní igelit, plochy se otřou a poté se z nich provede stěr, který se změří (v případě cvičení je měření možno provést přes noc nebo další den). Pokud je ve stěru detekován některý z použitých RN, provede se nová očista ploch a nový stěr, který se opět změří. Po skončení ZKC by měla zůstat laboratoř ve stavu, aby se druhý den mohlo pokračovat ve stejném režimu.

Zaslání dotazníku o průběhu cvičení. Ze cvičení se provádí zápis. Zaznamená se začátek a konec ZKC, počet pracovníků, počet použitých detektorů a jejich účinnosti, druh geometrie atd. Dále je potřeba zaznamenat všechny nestandardní situace a problémy, které se během přípravy i průběhu ZKC vyskytly, aby bylo možno se jich příště vyvarovat. Tato informace je důležitá pro poučení všech pracovníků systému. Dotazník o průběhu cvičení se zašle pořádající laboratoři. Příklad dotazníku je uveden v [Příloze 4](#).

7 VYHODNOCENÍ ZKC

Hodnocení výsledků laboratoří se obvykle skládá ze 3 částí

- kontrola správnosti zápisu vzorku v databázi MonRaS
- kontrola správnosti výsledků měření v MonRaS
- dosažená kapacita laboratoře

Hodnocení obsahuje slovní, tabulkové i grafické výstupy. Je vhodné se vždy inspirovat předchozími lety s ohledem na specifika každého cvičení.

7.1 Kontrola správnosti zápisu vzorku v databázi MonRaS

Je posouzena správnost přenesení informací z průvodky vzorku a jednotek aktivit do databáze MonRaS. Jedná se o následující údaje

- druh vzorku
- číslo vzorku
- místo odběru (včetně stálého a nestálého odběrového místa)
- souřadnice místa odběru
- datum a čas odběru
- referenční datum a čas
- kdo vzorkoval
- jednotka množství vzorku
- jednotka měrných aktivit
- použitá metoda

Metodika SÚRO	List: 19 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Zohledněna je závažnost chyb. Chyby jsou rozděleny na závažné a nezávažné, viz [Tabulka 5](#). Mezi chyby závažné jsou zařazeny takové, které mohou zásadně ovlivnit výsledky měření nebo přesnou identifikaci vzorku. Laboratoře se také mohou dopustit chyby v jednom parametru u většího počtu vzorků. Takové chyby jsou označeny jako systematické a jejich hodnocení podléhá stejným kritériím, jak uvádí [Tabulka 5](#) (např. laboratoř uvede u všech zadaných vzorků jednotné datum odběru, systematické chyby jsou započítány skutečným počtem, nikoliv jako 1 chyba). Nicméně v hodnocení je také uvedeno, jak by vypadala situace, kdyby se systematické chyby laboratoř nedopustila.

Tabulka 5 Pravidla posouzení správnosti zápisu

Druh chyby	Závažná
V druhu a v čísle vzorku	Ano
V místě odběru	Ano
Ve stálém vs. nestálém místě odběru	Ano
V souřadnici místa odběru	Ano
V množství vzorku nebo jeho jednotka	Ano, pokud s tímto množstvím byla vyhodnocena i měrná aktivita
V jednotkách měřených aktivit	Ano, výjimkou jsou Bq/kg místo Bq/l u vzorků vody nebo mléka
V datu nebo čase odběru	Ano, (nezávažná – čas)

7.2 Kontrola správnosti výsledku

Správnost výsledků se kontroluje pomocí relativní odchylky a zeta skóre.

Relativní odchylka v % je dána vztahem

$$R = \frac{A_L - A_{ref}}{A_{ref}} 100\%$$

Zeta skóre je dáno vztahem

$$\zeta = \frac{A_L - A_{ref}}{\sqrt{u_L^2 + u_{ref}^2}}$$

kde

- R - relativní odchylka
- A_L - hodnota udaná laboratoří
- A_{ref} - referenční hodnota
- ζ - zeta skóre
- u_L - kombinovaná standardní nejistota udaná laboratoří
- u_{ref} - kombinovaná standardní nejistota referenční hodnoty

Hodnotící kritéria

Vyhovující velikost relativní odchylky a ζ -skóre může být závislá na hodnoceném RN a použité aktivitě.

V ZKC se obvykle stanoví kritéria následovně

Relativní odchylka $|R| < 20\%$ nebo $|R| < 30\%$

ζ -skóre $|\zeta| < 2$ nebo $|\zeta| < 3$

Poznámka: MAAE používá následující nastavení kritéria ζ -skóre:

Metodika SÚRO	List: 20 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

$$1,95 > |\zeta| > 1,64$$

Udaná hodnota se pravděpodobně neliší významně od očekávané hodnoty Hladina významnosti 0,1 až 0,05.

$$2,58 > |\zeta| > 1,95$$

Není zcela jisté, zda se udaná hodnota neliší významně od očekávané hodnoty) Hladina významnosti 0,05 až 0,01.

$$3,29 > |\zeta| > 2,58$$

Udaná hodnota se pravděpodobně významně liší od očekávané hodnoty). Hladina významnosti 0,01 až 0,001.

Primární je kritérium relativní odchylky; kritérium ζ -skóre je pomocné.

7.3 Zpracování výsledků

Při zpracování výsledků je vhodné se inspirovat předchozími zpracováními. Zpracování výsledků lze obměňovat a přizpůsobovat charakteru a vývoji pořádání cvičení.

Při zpracování výsledků se stanoví jak počty výsledků, které vyhověly oběma kritériím, tak počty výsledků, které vyhověly pouze 1 z nich, případně ani jednomu z nich.

Podrobné hodnocení se vyhotoví pro každou laboratoř zvlášť i pro všechny laboratoře dohromady. Tabulky se doprovází slovním vyjádřením. Výsledky se zpracují i graficky například v následující formě

- grafu závislosti relativní odchylky daného RN na čísla vzorku nebo na velikosti seřazených relativních odchylek všech stanovení aktivit dané laboratoře (x-osa zobrazuje jednotlivá čísla vzorků) s vyznačením pásu odchylek od referenční hodnoty na úrovni 10, 20 a 30%;
- grafu závislosti ζ -skóre na relativní odchylce všech stanovení aktivity dané laboratoře s vyznačením obdélníku přijatelných hodnot (možno všechny RN do 1 grafu);
- graf závislosti vývoje kapacity v letech, kdy bylo prováděno cvičení.

Příklad grafických výstupů je uveden v [Příloze 3](#).

Z výsledků jednotlivých laboratoří se vytvoří souhrnná tabulka, v níž se uvede přehled o chybovosti nebo přehled úspěšnosti. Příklad je uveden v [Příloze 3](#). Laboratoře je možné anonymizovat nebo jmenovat.

7.4 Kapacita laboratoře

Kapacita laboratoře je posouzena s ohledem na předešlé výsledky podle vztahu

$$K_L = \frac{N}{N_{min}} 100\%$$

kde

- K_L - kapacita laboratoře v %
- N - počet vyhodnocených vzorků s výsledky převedenými do MonRaS
- N_{min} - počet vzorků vyhodnocených při minulých cvičeních; může to být průměr z více cvičení, může být vztažen k optimálnímu odhadu z minulého cvičení apod.

Z výsledků se vytvoří souhrnná tabulka uvádějící souhrn kapacit laboratoří. Příklad je uveden v [Příloze 3](#). Tabulka se doplní podrobným komentářem.

Metodika SÚRO	List: 21 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Provede se i celkové vyhodnocení cvičení, kde se slovně uvedou nejpodstatnější výsledky a komentář k nim. Vyhodnotí se úspěšnost stanovení jednotlivých RN a i matric. Zhodnotí se i počet zapojených pracovníků a celkové kapacity systému. Z odezvy laboratoří se vyhotoví souhrn z průběhu cvičení a rozeberou se důvody chybovosti. Zhodnotí se i falešně pozitivní stanovení (tj. pravděpodobná kroskontaminace). Navrhnu se zlepšení pro pořádání dalších ZKC a i pro optimalizaci systému. Zpracují se poznámky k průběhu cvičení a případně návrhy na změny postupů. Ze cvičení se vyhotoví podrobná zpráva, která se obvykle vydá ve formě „Zpráva SÚRO“, jejíž součástí může být i vyhodnocení cvičení v kontextu předchozích cvičení.

8 ČASOVÁ A FINANČNÍ NÁROČNOST CVIČENÍ

Finanční prostředky vynaložené na organizaci cvičení lze odhadnout následovně (k 2019).

Náklady na materiál

Materiál	Náklady	Poznámka
Etalony typu ER 25	40 000	3 RN, 10 000 – 15 000 Kč/ks
Potravin na přípravu vzorků	2 000	Část se kupuje pro každou laboratoř zvlášť
Pásky do tiskárny QR-kódů	1 000	
Plastové láhve, přepravní kontejnery, měřicí kontejnery	3 000	Využití i vzorkovnic z minulých cvičení
Další pomůcky	4 000	Mikrotenové sáčky, odpadní pytle, lepicí pásky, igelity, filtrační papíry, návleky, rukavice, dekontaminační roztok, čisticí prostředky. 500 Kč na laboratoř
Celkem	50 000	

Příprava a vyhodnocení cvičení pro 7 laboratoří - cena lidské práce SÚRO

Činnost	Člověko-dny	Cena (500 Kč/h)
Příprava – rozvaha, informace, pokyny, organizace, maily	4	16 000
Příprava databáze vzorků, tvorba a tisk QR-kódů a seznamů vzorků	2	8 000
Fyzická příprava vzorků (pro všechny laboratoře)	5	20 000
Příprava kontaminovaných vzorků	2	8 000
Doprovod vzorků do laboratoří a zpět – 7 laboratoří 3x Praha (SÚRO, SVÚ, VÚV), Olomouc, Hradec Králové, České Budějovice, Ostrava – po 2 dnech	10	40 000
Příprava na rozvoz do každé laboratoře (otírání vzorkovnic, kontrola vzorků, příprava setů)	7	28 000
Archivace vzorků, likvidace vzorků	2	8 000
Vyhodnocení cvičení – kontroly zápisů, zpracování dat z MonRaS, statistiky, tabulky, grafy, zpráva pro každou laboratoř a celková zpráva	20	80 000
Celkem	52	208 000

Činnost laboratoří při ZKC - pro 7 laboratoří - cena lidské práce

Činnost	SVÚ a VÚV	SÚRO	Celkem
	člověko-dny	člověko-dny	člověko-dny
Účast při cvičení – počet osob – každá 12h = 1,5 člověko-dne	36 (24 os)	60 (40 os)	96 (64 os)

Metodika SÚRO	List: 22 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Příprava na cvičení a úklid po cvičení na pracovištích - secvičná, rozdělení úkolů, poučení, příprava prostor a materiálu – pro každou laboratoř 2 člověko-dny	6	8	14
Celkem	42	68	110
Celkem v Kč (500 Kč/h)	168 000	272 000	440 000

Celkové náklady (jen SÚRO):

50 000 materiál + 208 000 příprava a vyhodnocení + 272 000 samotné cvičení = 530 000 Kč.

Celkové náklady na cvičení 7 laboratoří: 50 000 + 208 000 + 440 000 = 698 000 Kč.

9 VALIDACE A VERIFIKACE

Jedná se o využití standardní metodiky stanovení aktivity RN ve vzorcích metodou spektrometrie gama s vysokým rozlišením. Metodiku není tedy potřeba ani validovat ani verifikovat.

Základy metodiky byly položeny již po havárii JE v Černobylu. ZKC se však začala konat až v roce 2007 a další následovaly v letech 2013, 2014, 2016 a 2018. Na základě zkušeností z těchto ZKC byla vypracována tato metodika.

Metodika byla ověřena a bude i dále ověřována především během dalších kapacitních cvičení. Pokud dojde ke zjištění odchylek či vývoji a pokroku v nácvicích havarijní připravenosti, bude metodika revidována.

10 VARIABILITA PŘÍPRAVY, PRŮBĚHU A HODNOCENÍ CVIČENÍ

Kapacitní cvičení jsou určena nejen ke zjišťování aktuální kapacity laboratoří, ale i k nácviku specifických a i nestandardních činností. Proto se jednotlivá cvičení mohou lišit. Podle toho se bude lišit i způsob jejich vyhodnocení.

Například v současné situaci jen laboratoře SÚRO mohou využívat QR-kódů k přenosu informace. Z hlediska optimalizace činnosti jsou v kapacitě systému laboratoří rezervy; kapacita by mohla být vyšší nebo alespoň méně chybová. Optimalizací v podobě instalace dalšího gama-automatu by mohlo také dojít k dalšímu zvýšení kapacity. Na druhou stranu velká část vzorků přicházejících do laboratoře by zřejmě pocházela od inspektorů SZPI a SVÚ, kteří zatím terénní aplikací pro tvorbu QR-kódů nedisponují, takže tyto vzorky by byly i nadále doprovázeny průvodkou, ze které by bylo nutno informace do LabSys ručně přepisovat, což by vedlo ke snížení kapacity systému a zřejmě i k větší chybovosti v zápisu.

Lze uvažovat i o povrchové kontaminaci běžných potravin k posouzení „čistoty“ práce s kontaminovanými vzorky. Pro posouzení kontaminace prostředí lze využít přídavek fluorescenční látky viditelné pod UV lampou ke vzorkům s přidaným RN. UV barviva nabízejí např. https://hand-hygiene.com/wg-cart-uv-germ.htm#Contamination_Range. Dělají se i různé barvy, takže lze zjistit, ze kterých vzorků se co a kam přeneslo.

Metodika SÚRO	List: 23 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

11 SOUVISEJÍCÍ NORMY A DOKUMENTY

- Nařízení Rady (Euratom) 2016/52 ze dne 15. ledna 2016, kterým se stanoví nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin a krmiv po radiační havárii nebo jiném případě radiační mimořádné situace
- Technická dokumentace k přístrojům, návody k obsluze přístrojů a programů
- VDI 121 - Stanovení aktivity radionuklidů pomocí spektrometrie gama
- VDI 129 - Činnosti laboratoří spektrometrie gama při havarijním monitorování
- Vyhláška 360, 2016. Vyhláška 360/2016 o monitorování radiační situace, 2016.

12 PŘÍLOHY

Příloha 1 - Průvodka vzorku

Tabulka 1.1 Průvodka vzorku

Formulář	Poznámka
Číslo vzorku	Číslo identifikující jednoznačně cvičný vzorek 001 - 400
Komodita	Název komodity (např. mléko sušené)
Bližší specifikace	Bližší specifikace komodity (např. půda 0 - 5 cm z plochy 20 x 20 cm)
Datum odběru - od	
Datum odběru - do	Pokud je relevantní (u intervalových odběrů jako je odběr aerosolů a spadů)
Čas odběru - od	Pokud je relevantní (např. u aerosolů nebo spadů)
Čas odběru - do	Pokud je relevantní (např. u aerosolů nebo spadů)
Lokalita - Okres	
Lokalita - Obec	
Velikost komodity	Pokud je relevantní (např. objem aerosolů, plocha spadů, plocha půdy)
Jednotka	Pokud je relevantní (m ³ , m ² , kg, l)
Souřadnice - délka	V desetinném formátu
Souřadnice - šířka	V desetinném formátu
Souřadnice - délka	Ve stupních a minutách
Souřadnice - šířka	Ve stupních a minutách
Vzorkoval	Název organizace zajišťující vzorky (např. SVÚ, VÚV, VÚV, MS, MMKO)
Dávkový příkon	Doplněna až při příjmu vzorků v µGy/h

Metodika SÚRO	List: 24 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Příloha 2 - Informace pro laboratoře

Informace pro laboratoře

Příklad informací

1. Cvičit se má tak, aby denní režim byl udržitelný s vypětím sil po dobu cca 14 dnů.
2. Cvičení má prověřit kapacitu laboratoří během 12h pracovní směny, která se předpokládá za skutečné RaMS.
3. Předpokládá se následující režim: v 7:15 příchod na pracoviště, začátek cvičení v 8 hod, polední přestávka cca ve 12 hod (je ale možno se vystřídat).
4. Při cvičení i při přípravě na cvičení postupovat podle metodiky [VDI 129](#).
5. Výsledky je zapotřebí předávat do MonRaS ještě týž den (s výjimkou přes noc měřených vzorků na gama-automatu v Praze).
6. Počet vzorků dodaných do laboratoře bude stanoven na základě dosažené kapacity v předchozích ZKC a dohody s laboratoří.
7. Vzorky budou předány v lahvích, v kyblících a některé potravinové komodity jen v sáčcích. Hmotnost prázdných kyblíků s víčkem je 84,6 g (nižší) a 89,2 g (vyšší).
8. Každý dodaný vzorek bude na obalu označen QR-kódem včetně jednoduché popisky a zároveň obdrží každá laboratoř vytištěný seznam QR-kódů pro případ poškození kódů přepravou atd. Do laboratorní databáze je nutno převést všechny údaje o vzorku včetně souřadnice, a to buď načtením QR-kódu, kterým bude označena každá nádoba, nebo v případě komplikací načtením kódu ze seznamu, případně ručně z popisky.
9. Při příjmu je zapotřebí otírat všechny přepravní nádoby vzorků, protože je nutno předpokládat, že z terénu mohou být doručeny povrchově kontaminované.
10. Laboratoř by měla zpracovávat vzorky tak, aby byly odzkoušeny všechny druhy (komodity), a aby byla změřena většina vzorků s předkládanou vyšší aktivitou (např. na základě dávkového příkonu zjištěného při třídění vzorků) pro případ, že by nebyly doměřeny všechny připravené vzorky.
11. Některé druhy vzorků jsou představovány jiným snadno dostupným materiálem, viz seznam vzorků.
12. Ve vzorcích je přidána aktivita RN (*seznam použitých RN*), laboratořím bude dodána společná knihovna pro ZKC.
13. Vody jsou okyseleny HNO_3 . Do smíšené stravy (250 g vloček a cca 550 ml vody) je přidána kyselina citronová a kyselina sorbová.
14. Pozor na vzorky:
 - spadů a půd - aktivita se uvádí v Bq/m^2 a je nutné na alikvotní množství vzorku údaj přepočítat,
 - celodenní stravy - aktivita se uvádí v Bq/den a je nutné při vzetí alikvotního množství vzorku údaj přepočítat,
 - sorbentu plyných forem jódu - aktivita se uvádí v Bq/m^3 a je nutné při vzetí alikvotního množství vzorku údaj přepočítat, protože náplň je 0,5 L.

Na výpočet alikvótu si lze připravit výpočet předem (např. v Excelu).

Metodika SÚRO	List: 25 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

15. Aerosolové filtry. Filtr je přeložen aktivitou dovnitř, takže jej nechte minimálně složený „napůl“ a ponechte na něm i fólii, protože při nanášení aktivity její část mohla prosáknout.
16. Se všemi vzorky je nutno zacházet, jakoby v nich aktivita byla, včetně potravin, které se budou krájet. Např. po každém rozkrájení komodity je zapotřebí pečlivě otřít nebo omýt nůž a vyměnit fólii pod podložkou, dostatečně často měnit rukavice. Je dobré si uvědomit, že potraviny typu „maso“ jsou kontaminovány v celém objemu, ale u vzorků zeleniny a ovoce půjde o kontaminaci povrchovou, takže přenos kontaminace je rizikovější u vzorků zeleniny a ovoce, pozor na drobné materiály (např. zelí, květák). Dostatečný počet rukavic a návleků si laboratoře zajistí samostatně.
17. Vzorky reprezentované materiálem půda doporučujeme z důvodu prašnosti a kontaminace (^{134}Cs , ^{137}Cs) připravovat v digestoři.
18. Vzorky sypkých nebo krájených komodit, u nichž lze předpokládat nehomogenní rozdělení aktivity ve vzorku (např. v době spadu u zeleniny a ovoce jen na povrchu), je potřeba před převedením do měřicích nádob homogenizovat promícháním.
19. Je nutné vzorky orientačně rozdělit na začátku cvičení podle DP a předem měřič DP přibližně zkalibrovat, např. změřením DP od etalonu ^{137}Cs .
20. Vhodné je označit vzorky s vyšším DP i na měřicích nádobách. To může sloužit ke stanovení postupu při vymývání měřicích nádob, či o jejich likvidaci (po tekutých vzorcích).
21. Před začátkem cvičení, přes polední pauzu a po skončení cvičení je vhodné měřit pozadí na HPGe detektorech.
22. Po skončení cvičení je nutné provést ze všech pracovních ploch stěry (lze je změřit až další den).
23. Je vhodné změřit zbytkovou aktivitu v měřicích nádobkách (po jejich vymytí), kde byly neaktivnější vzorky (lze změřit až další den).
24. Co nejdříve po cvičení sepsat, postřehy, návrhy, vyplnit časy počátku a konce prováděných činností a vyplněný Formulář poslat pověřené osobě (***e-mail pověřené osoby***).

Příloha 3 - Příklady tabulkových a grafických výstupů

Při hodnocení výsledků laboratoří se obvykle hodnotí

- správnost zápisu vzorku v databázi MonRaS (bude posouzena správnost přenesení informací z průvodky vzorku, jednotek aktivit)
- správnost výsledků měření v MonRaS (pomocí relativní odchylky a zeta skóre)
- dosažená kapacita laboratoře

Obsahuje i grafické výstupy. Je vhodné se vždy inspirovat předchozími lety s ohledem na specifika každého cvičení.

Metodika SÚRO	List: 26 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Výsledky pro jednotlivé laboratoře

Správnost zápisu

Tabulka 3.1 Výsledná chybovost a správnost zápisu vzorků

Celkový počet analyzovaných vzorků: **xxx**

Druh chyby	Počet	Závažná (Ano/Ne)
Nesystematické chyby		
Druh vzorku		
Číslo vzorku		
Místo odběru (včetně stálého a nestálého OM)		
Souřadnice místa odběru		
Datum a čas odběru		
Referenční datum a čas		
Vzorkoval		
Jednotka množství vzorku		
Jednotka měrných aktivit		
Použitá metoda		
Počet nezávažných chyb		
Počet závažných chyb		
Počet vzorků se závažnými chybami		
Podíl vzorků se závažnými nesystematickými chybami (vzhledem k počtu analyzovaných vzorků v %)		
Správnost zápisu (v %) – systematické chyby (vzhledem k počtu analyzovaných vzorků; doplněk do 100% k řádce výše)		
Systematické chyby		
1. chyba - popis		
2. chyba - popis		
....		
Počet vzorků s nezávažnými systematickými chybami		
Počet vzorků se závažnými systematickými chybami		
Podíl vzorků se závažnými systematickými chybami (vzhledem k počtu analyzovaných vzorků v %)		
Počet vzorků se závažnými systematickými a nesystematickými chybami		
Podíl vzorků se závažnými systematickými a nesystematickými chybami (vzhledem k počtu analyzovaných vzorků v %)		
Správnost zápisu (v %) – systematické i nesystematické chyby (vzhledem k počtu analyzovaných vzorků; doplněk do 100% k řádce výše)		

Metodika SÚRO	List: 27 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Správnost výsledků

I když je kritérium relativní odchylky primární, při zpracování výsledků se stanoví jak počty výsledků, které vyhověly oběma kritériím, tak počty výsledků, které vyhověly pouze 1 z nich, případně ani jednomu z nich.

Tabulka 3.2 Správnost výsledků

Radionuklid	Počet stanovení	Správné výsledky (splnění R)		Splnění ζ -skóre		Splnění R i ζ -skóre		W	
	#	#	%	#	%	#	%	#	%
^{134}Cs									
^{137}Cs									
...									
Celkem									
Celkem vzorků									

Poznámky

- Sloupec „W“ – počet a podíl vzorků („warning“), které splnily podmínku pro relativní odchylku „R“, ale nesplnily podmínku pro „ ζ -skóre“ (je to rozdíl mezi sloupci „Správné výsledky“ a „Splnění R i ζ -skóre“)
- Řádek „Celkem“ – celkový počet stanovovaných aktivit
- Řádek „Celkem vzorků“ – započteny ty vzorky, u kterých je splněno kritérium „R“, resp. „ ζ -skóre“, pokud je dané kritérium splněno u všech RN přítomných ve vzorku

Přehled dosažených výsledků

Tabulka 3.3 Přehled dosažených výsledků laboratoře **xxx**

Celkový počet analyzovaných vzorků: **xxx**

	Správnost zápisu	Správnost výsledku (splnění R)	Chybné zápisy	Chybné výsledky	Koeficient úspěšnosti
Počet					
Podíl (%)					

Poznámky

- Sloupec „Správnost zápisu“ – počet, resp. podíl vzorků bez závažné chyby v zápisu (započítány systematické i nesystematické chyby). Pokud budou u laboratoře identifikovány i systematické chyby, vyplní se obdobná tabulka se započtením jen nesystematických chyb.
- Sloupec „Správnost výsledku“ – podíl vzorků, které vyhověly kritériu pro relativní odchylku „R“ (nemusely vyhovět kritériu pro ζ -skóre). Vzorek je započítán jako správně analyzovaný, pokud kritérium pro „R“ splňují všechny aktivity RN ve vzorku.
- Sloupec „Chybné zápisy“ – doplněk do 100% ze sloupce „Správnost zápisu“
- Sloupec „Chybné výsledky“ – doplněk do 100% ze sloupce „Správnost výsledku“
- Sloupec „Koeficient úspěšnosti“ – poměr mezi počtem správně vyhodnocených vzorků a celkovým počtem analyzovaných vzorků. Aby byl vzorek považován za správně analyzovaný, musí být jak jeho zápis bez závažných chyb, tak i všechny aktivity musí být správně stanoveny, tj. musí vyhovět relativní odchylce.

Metodika SÚRO	List: 28 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Dosažená kapacita laboratoře

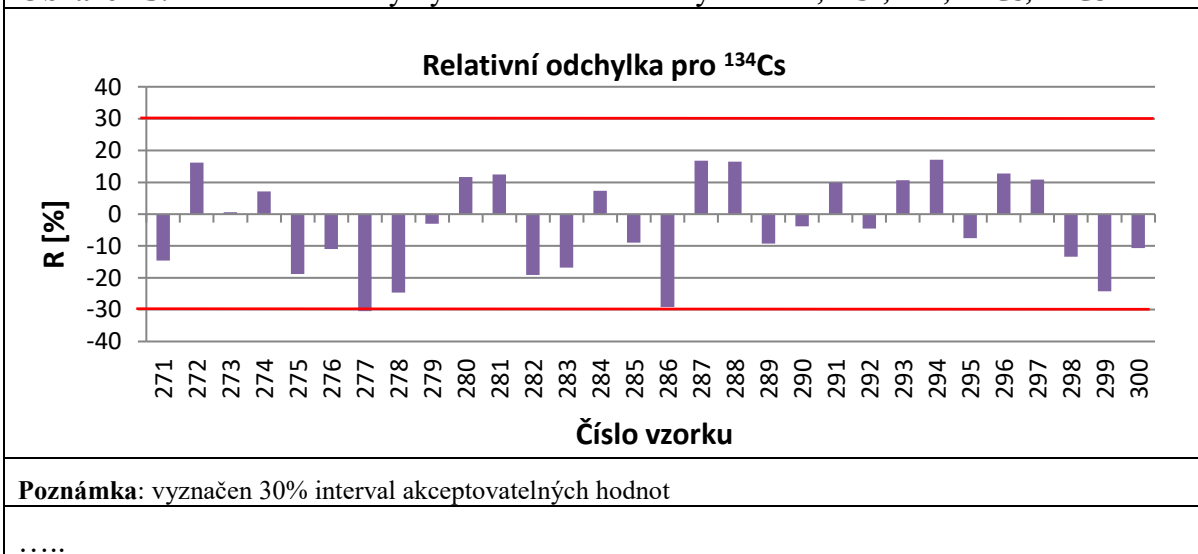
Tabulka 3.4 Počet osob, HPGe detektorů, analyzovaných vzorků a odhad kapacity

Datum konání	
Délka trvání (h)	
Počet osob	
Počet HPGe	
Počet vzorků předaných do MonRaS	
Počet vzorků na pracovníka	
Počet vzorků na detektor	
Odhad denní kapacity	
Porovnání s minulými ZKC *)	

Poznámky

- Počet osob - počet osob, které se účastnily ZKC (pokud se osoba účastnila jen ½ cvičení, je započítána ½).
 - Počet HPGe - počet HPGe zapojených do ZKC.
 - Počet vzorků na pracovníka - průměrný počet zpracovaných vzorků připadající na 1 pracovníka během směny.
 - Počet vzorků na detektor - průměrný počet zpracovaných vzorků připadající na 1 HPGe trasu během směny.
 - Odhad denní kapacity - odhad kapacity laboratoře, kdyby se cvičení účastnila většina osob, které by mohly být k dispozici a laboratoř cvičila po celou dobu cca 10-12 hodin bez problémů během cvičení.
 - Porovnání s minulými - poměr současné kapacity a kapacity zjištěné při minulém cvičení, či průměrem z minulých cvičení.
 - Pokud byl využit i gama-automat, a pokud se měřily přes noc i vzorky připravené během cvičení, uvede se tato skutečnost
 - *) Kapacita zjištěná při předchozích cvičeních: xxx vzorků
- Komentář: xxx

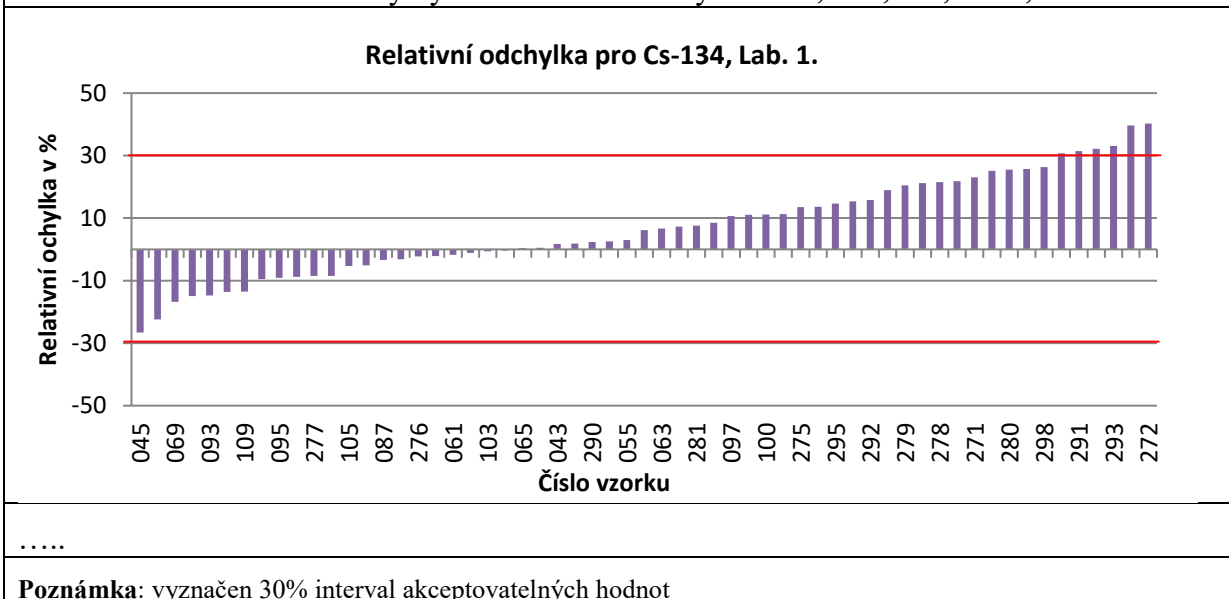
Obrázek 3.1 Relativní odchylky R stanovení aktivity RN ^{40}K , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{134}Cs , ^{137}Cs



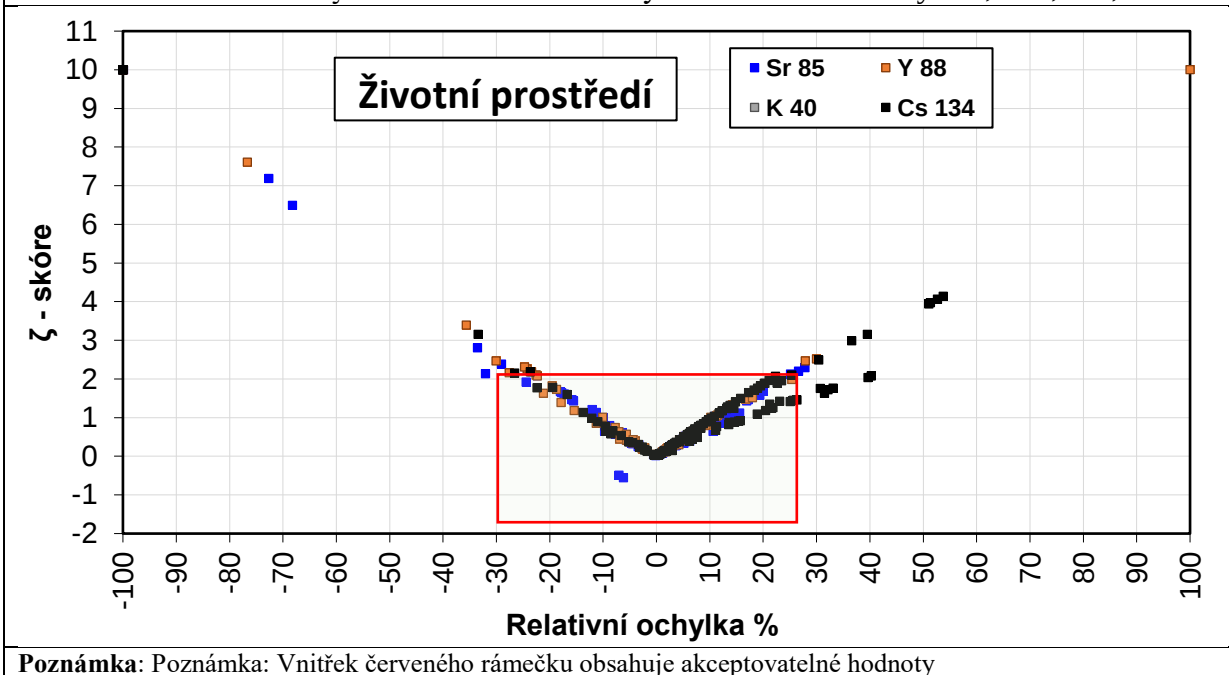
Metodika SÚRO	List: 29 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Nebo alternativní graf – viz níže.

Obrázek 3.2 Relativní odchylky R stanovení aktivity RN ^{40}K , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{134}Cs , ^{137}Cs



Obrázek 3.3 Závislost ζ -skóre na relativní odchylce stanovení aktivity ^{40}K , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{134}Cs



Metodika SÚRO	List: 30 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Souhrnné výsledky

Správnost zápisu

Tabulka 3.5 - Výsledná chybovost a správnost zápisu vzorků bez rozlišení laboratoří

Tabulka je shodná s [tabulkou 3.1](#).

Správnost výsledků

Platí to samé jako pro hodnocení jednotlivých laboratoří, a to, že i když je kritérium relativní odchylky primární, při zpracování výsledků se stanoví jak počty výsledků, které vyhověly oběma kritériím, tak počty výsledků, které vyhověly pouze 1 z nich, případně ani jednomu z nich.

Tabulka 3.6 - Správnost výsledků - členění na radionuklidy

Tabulka je shodná s [tabulkou 3.2](#).

Tabulka 3.7 Správnost výsledků - členění na laboratoře

Laboratoř	Počet stanovení	Správné výsledky (splnění R)		Splnění ζ -skóre		Splnění R i ζ -skóre		W	
		#	%	#	%	#	%	#	%
1									
2									
...									
Celkem									
Celkem vzorků									

Poznámky

- Sloupec „W“ – počet a podíl vzorků („warning“), které splnily podmínku pro relativní odchylku „R“, ale nesplnily podmínku pro „ ζ -skóre“ (je to rozdíl mezi sloupci „Správné výsledky“ a „Splnění R i ζ -skóre“)
- Řádek „Celkem“ – celkový počet stanovovaných aktivit
- Řádek „Celkem vzorků“ – započteny ty vzorky, u kterých je splněno kritérium „R“, resp. „ ζ -skóre“, pokud je dané kritérium splněno u všech RN přítomných ve vzorku

Metodika SÚRO	List: 31 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Tabulka 3.8 Přehled dosažených výsledků - členění na laboratoře

Celkový počet analyzovaných vzorků: **xxx**

Laboratoř	Správnost zápisu		Správnost výsledku (splnění R)		Chybné zápisy		Chybné výsledky		Koeficient úspěšnosti
	#	%	#	%	#	%	#	%	
1									
2									
...									
Celkem									

Poznámky

- Sloupec „Správnost zápisu“ – počet, resp. podíl vzorků bez závažné chyby v zápisu (započítány systematické i nesystematické chyby). Pokud budou u laboratoře identifikovány i systematické chyby, vyplní se obdobná tabulka se započtením jen nesystematických chyb.
- Sloupec „Správnost výsledku“ – podíl vzorků, které vyhověly kritériu pro relativní odchylku „R“ (nemusely vyhovět kritériu pro ζ -skóre). Vzorek je započítán jako správně analyzovaný, pokud kritérium pro „R“ splňují všechny aktivity RN ve vzorku.
- Sloupec „Chybné zápisy“ – doplněk do 100% ze sloupce „Správnost zápisu“
- Sloupec „Chybné výsledky“ – doplněk do 100% ze sloupce „Správnost výsledku“
- Sloupec „Koeficient úspěšnosti“ – poměr mezi počtem správně vyhodnocených vzorků a celkovým počtem analyzovaných vzorků. Aby byl vzorek považován za správně analyzovaný, musí být jak jeho zápis bez závažných chyb, tak i všechny aktivity musí být správně stanoveny, tj. musí vyhovět relativní odchylce.

Metodika SÚRO	List: 32 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Kapacita laboratoří

Tabulka 3.9 Počet účastníků se osob, zpracovaných vzorků a odhad kapacity
Délka trvání ZKC v laboratoři xx hodin

Laboratoř	Datum konání	Počet osob	Počet HPGe	Počet vzorků v MonRaS	Porovnání s minulými	Odhad denní kapacity
1						
2						
...						
Celkem						
Celkem v N lab.						
Počet vzorků na pracovníka						
Počet vzorků na detektor						

Poznámky

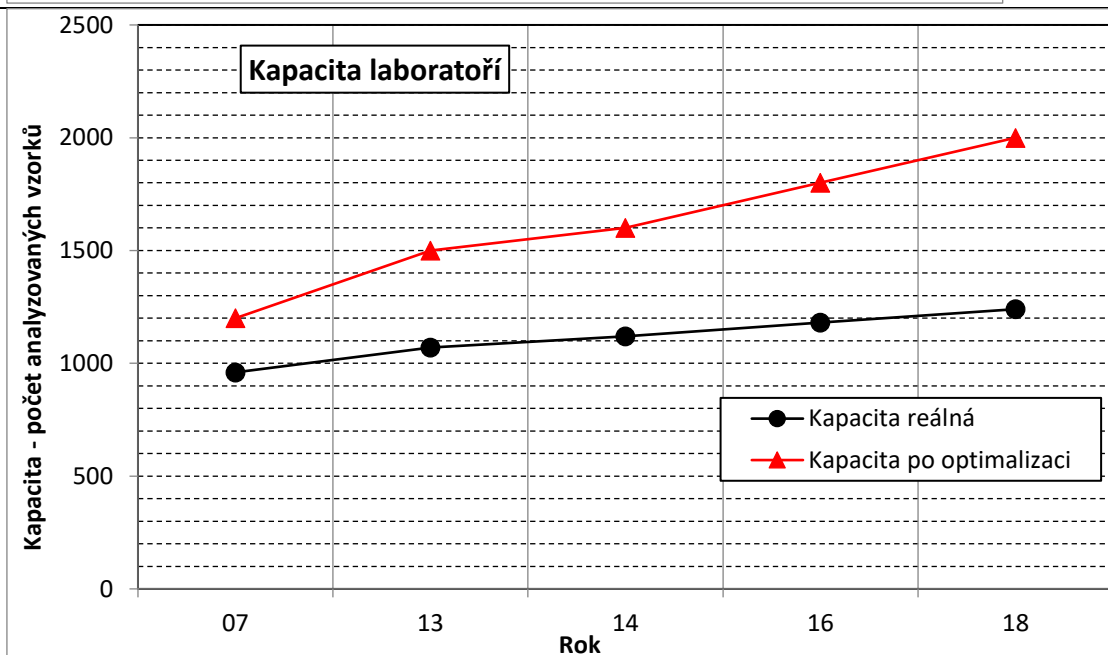
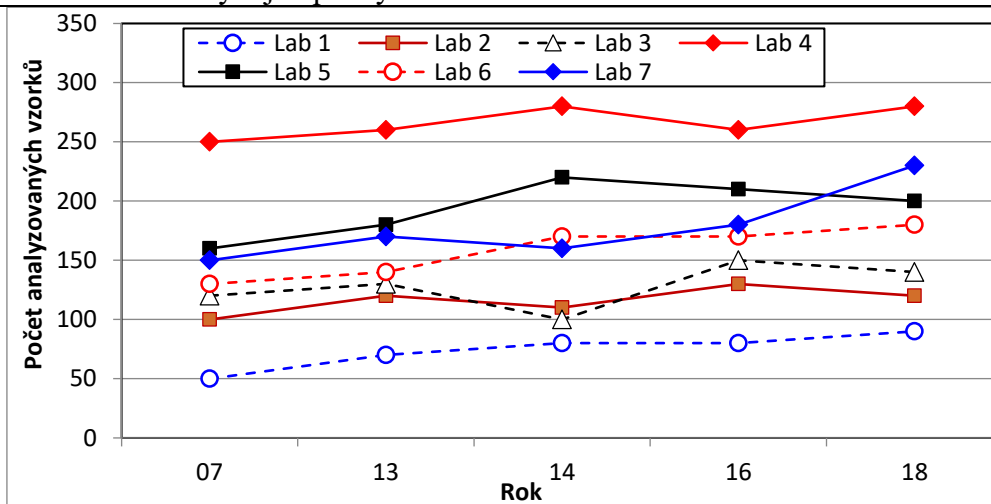
- Sloupec „Počet osob“ – počet osob, které se účastnily cvičení (pokud se osoba účastnila jen ½ cvičení, je započítána ½).
- Sloupec „Počet HPGe“ – počet HPGe zapojených do cvičení.
- Sloupec „Porovnání s minulými“ – obsahuje poměr současné kapacity a kapacity zjištěné při minulém cvičení, či průměrem z minulého cvičení, přičemž v individuálním vyhodnocení laboratoře se rozepíše, jaká hodnota byla vzata jako vztažná.
- Sloupec „Odhad denní kapacity“ – odhadnutá kapacita laboratoře, kdyby se cvičení účastnila většina osob, které by mohly být k dispozici a laboratoř cvičila po celou dobu cca 10-12 hodin bez objevivších se problémů během cvičení.
- Řádek „Celkem v N laboratořích“ – v případě, že se v některé z laboratoří cvičení nekonalo, je odhadnutá hodnota kapacity i pro tuto laboratoř a zahrnuta do součtu.
- Řádek „Počet vzorků na pracovníka“ - průměrný počet zpracovaných vzorků připadající na 1 pracovníka během směny.
- Řádek „Počet vzorků na detektor“ - průměrný počet zpracovaných vzorků připadající na 1 HPGe trasu během směny.
- Pokud byl v laboratoři SÚRO Praha využit i gama-automat se 2 HPGe detektory, a pokud se měřily přes noc i vzorky připravené během cvičení, uvede se tato skutečnost
- *) Kapacita zjištěná při předchozích cvičeních: xxx vzorků
Komentář: xxx

Pro grafické zobrazení souhrnných výsledků se využijí stejné typy grafů jako pro jednotlivé laboratoře. V grafu závislosti ζ -skóre na relativní odchylce je možno zobrazit každý RN zvlášť a barevně rozlišit laboratoře.

Metodika SÚRO	List: 33 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Závislosti vývoje kapacity v letech, kdy bylo prováděno cvičení.

Obrázek 3.4 Vývoj kapacity laboratoří



Metodika SÚRO	List: 34 z 34
Příprava a realizace kapacitních cvičení	Datum vydání xx.xx.2019

Příloha 4 - Dotazník o průběhu cvičení

Dotazník – Průběh cvičení a současné vybavení laboratoře pro analýzy pomocí spektrometrie gama

Dne:

Vyplnil:

Identifikace laboratoře:

Počet spektrometrických tras s HPGe (celkově v laboratoři/použitých při cvičení):

Počet pracovníků (stabilní zaměstnanci + výpomoc z jiných oddělení, studenti ...):

Použité geometrie měření:

Je daná metoda akreditována ČIA?:

Relativní účinnosti všech detektorů [%] v laboratoři:

Hardwarové vybavení (složení spektrometrické trasy):

Software pro vyhodnocení spekter:

Metoda (software) pro korekce na samoabsorpci ve vzorku:

Metoda (software) pro korekce na pravé koincidence:

Metoda (software) pro korekce na rozměr vzorku:

Průběh cvičení - činnosti

Od	Do	Činnost např. příprava, měření, hodnocení	Poznámka např. číslo skupiny vzorků nebo jejich počet, druh vzorků, problémy

Poznámky: