

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2019

**LADISLAV
KOJZAR**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Optimalizace a standardizace postupu zpracování a využití výstupů
z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely
Armády České republiky**

**Optimization and Standardization in Processing and Application
Outputs from Aerial Monitoring Radioactive Contamination for the
Army of The Czech Republic Purposes**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: kpt. Ing. Kateřina Valterová



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kojzar** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **434307**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace a standardizace postupu zpracování a využití výstupů z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely Armády České republiky.

Název diplomové práce anglicky:

Optimization and Standardization in Processing and Application Outputs from Aerial Monitoring of Radioactive Contamination for the Army of the Czech Republic Purposes.

Pokyny pro vypracování:

Předmětem práce bude stanovení optimálního postupu a jeho standardizaci v oblasti zpracování, a využití výstupů z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely Armády České republiky. V teoretické části diplomové práce bude objasněn vhodný postup na základě analýzy aktuálně používaných způsobů zpracování, prezentace a sdílení výstupů z detekce, identifikace a monitorování radioaktivní kontaminace aplikovatelných při mimořádných radiačních událostech, nehodách nebo haváriích. V praktické části bude zpracován modelový příklad optimálního zpracování a prezentace výstupů monitorování, včetně grafického zpracování naměřených hodnot. V práci budou použity metody: analýza informací z dostupných informačních zdrojů a interpolační metoda zpracování dat pro grafické zobrazení měřených veličin. V diskuzi budou komparovány způsoby zpracování a sdílení výstupů z monitorování při měření po použití jaderných nebo radiologických zbraní. Práce bude využitelná pro standardizaci postupů skupiny monitorování a leteckého průzkumu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] GERNDT, Josef a Petr PRŮŠA, Detektory ionizujícího záření, ed. 2., přeprac., České vysoké učení technické, 2011, ISBN 978-80-01-04710-1
- [2] APIKYAN, Samuel, Nuclear Terrorism and National Preparedness, Springer, 2015, ISBN 978-94-017-9891-4
- [3] KNOLL, Glenn F., Radiation detection and measurement, ed. 4., 2010, ISBN 9780470131480
- [4] PAVLÍK, Josef, Letecká gamaspektrometrie a monitorování radiační situace v podmínkách AČR, 2015

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Kateřina Valterová

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **01.10.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2020**

prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc., MBA, dr.h.c.
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.
podpis děkana(ky)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Optimalizace a standardizace postupu zpracování a využití výstupů z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely Armády České republiky vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 9. 5. 2019

.....
podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Kateřině Valterové za vedení diplomové práce, její rady, odbornou pomoc a vstřícnost při konzultacích. Také bych rád poděkoval všem kolegům a odborníkům, kteří mi vyšli vstříc, když jsem se na ně obracel s žádostmi o pomoc a kteří mě zahrnovali věcnými a konstruktivními připomínkami při psaní této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá specifickou oblastí detekce, identifikace a monitorování radioaktivní kontaminace leteckými prostředky při mimořádných radiačních událostech nebo haváriích. Konkrétně je zaměřena na analýzu postupů při zpracování, prezentaci a sdílení výstupů z této činnosti. Ve výsledcích práce jsou shrnuty klíčové faktory ovlivňující kvalitu výstupů měření a je zpracován návrh metodiky s postupem pro optimální využití dostupného aplikačního programového vybavení. Navržený postup statistického zpracování dat zahrnuje aplikaci vhodné interpolační metody pro účel grafické prezentace výstupů.

Jednotlivé fáze a dílčí kroky postupu byly konfrontovány s vedoucím práce a byly upraveny na základě údajů z dostupných informačních zdrojů se zaměřením na využití v prostředí Armády České republiky. Zpracovaný návrh postupu bude podkladem ke standardizaci činností operátora systému AIRIS.

Důvodem pro zaměření práce na tuto oblast je absence uceleného standardizovaného postupu zpracování dat a velké disproporce a nepřesnosti u veřejně prezentovaných výstupů z monitorování radiační situace. V práci jsou použita reálná data z měření leteckým monitorovacím systémem, která jsou anonymizována ve vztahu k prostoru a času prováděného monitorování.

Klíčová slova

Data; interpolační metoda; ionizující záření; letecké monitorování; letecký radiační průzkum; radiační událost; radioaktivní kontaminace.

Abstract

The diploma thesis deals with the specific subject which is detection, identification and monitoring of the radioactive contamination by aerial means during radiological accidents or incidents. Document is primarily focused on methods of processing, presentation and sharing data obtained from this kind of measurement. The results of the work summarize the key factors influencing the quality of measurement outputs and a methodology proposal with processes for optimized use of available application software. The proposed process of statistical data evaluation involves the application of an appropriate interpolation method for the purpose of graphical output presentation.

The individual phases and processes were discussed with thesis supervisor and were adjusted on the basis of available information from open sources with a focus on the Army of the Czech Republic use. The methodology draft stated in this document will be used as a knowledge base for processing AIRIS system operator's standard operating procedures (SOP).

The reason and main motivation for targeting this thesis to such a topic is absence of comprehensive standardized process for data evaluation and the large disproportion and inaccuracy in publicly presented outputs from aerial monitoring system measurements. Presented data from measurements are real-life data which are unidentified relating to the space and time of monitoring.

Keywords

Aerial monitoring; aerial radiation survey; interpolation method; data; ionizing radiation; radiation incident; radioactive contamination.

Obsah

1 Úvod.....	11
1.1 Radiační hrozby	11
1.1.1 Radiační situace.....	11
1.1.2 Letecká gamaspektrometrie	12
2 Současný stav.....	14
2.1 Úvod do problematiky radiačního průzkumu.....	14
2.2 Princip letecké detekce IZ.....	15
2.3 Používané systémy leteckého monitorování radiační situace	15
2.3.1 Systém AIRIS	17
2.4 Data z letecké detekce IZ.....	19
2.4.1 Gamaspektrometrické měření.....	20
2.4.2 Měření dávkového příkonu.....	20
2.4.3 Měření dalších souvisejících veličin	22
2.4.4 Získávání dat z leteckého měření	22
2.4.5 Vyhodnocení a zpracování dat	24
2.4.6 Sdílení dat	24
2.5 Analýza používaných metodik zpracování a prezentace dat.....	25
2.5.1 Metodické postupy dodané se systémem AIRIS.....	25
2.5.2 Metodiky používané mimo AČR.....	26
3 Cíl práce a hypotézy	28
3.1 Metodické postupy	28
3.2 Interpolační metoda zpracování dat.....	28
3.3 Použitý software	29

3.4	Mapové podklady.....	29
4	Metodika.....	30
4.1	Použité přístroje a zařízení.....	30
4.2	Popis vlastní práce.....	30
4.3	Použité statistické metody.....	30
5	Výsledky.....	32
5.1	Postup při zpracování prezentaci a sdílení dat.....	32
5.1.1	Charakteristika datového souboru.....	32
5.1.2	Vhodná interpolační metoda.....	33
5.1.3	Odůvodnění výběru vhodné metody.....	34
5.1.4	Faktory ovlivňující výstupy měření.....	35
5.1.5	Zpracování dat.....	37
5.1.6	Postup při prezentaci dat.....	37
5.1.7	Využití geografických informačních systémů (GIS).....	38
5.1.8	Sdílení dat a výsledků monitorování.....	39
5.2	Návrh metodiky zpracování dat.....	40
5.2.1	Náhled, kontrola a úprava dat před použitím.....	42
5.2.2	Zpracování v programu PEIconvert.....	42
5.2.3	Práce v programu PEIView.....	43
5.2.4	Export dat.....	46
5.2.5	Import dat, zpracování a zobrazení.....	47
5.2.6	Online mapová podpora.....	53
6	Diskuze.....	56
7	Závěr.....	75

8 Seznam použitých zkratk.....	76
9 Seznam použité literatury	78
10 Seznam použitých obrázků	82
11 Seznamu použitých tabulek	84
12 Přílohy.....	85

1 ÚVOD

1.1 Radiační hrozby

I přes to, že je riziko otevřeného konfliktu s použitím jaderných zbraní hodnoceno odborníky v oblasti bezpečnosti jako malé, existuje stále potenciál možnosti vzniku havárie v jaderné elektrárně, úmyslného použití radiologických zbraní, případně může dojít ke ztrátě nebo krádeži zdroje ionizujícího záření (IZ) [1].

1.1.1 Radiační situace

Vývoj radiační situace v případě nehody nebo havárie může být značně nekoherentní, a to obzvláště u větších havárií, při kterých dochází k déle trvajícím únikům radioaktivní kontaminace do atmosféry. Rozsah kontaminace je pak ovlivňován vývojem konkrétní situace a dále také fyzikálními procesy v okolním prostředí. Šíření kontaminantu a jeho depozice na terénu závisí na procesech, které se odehrávají v atmosféře a podobně jako lze s určitou mírou pravděpodobnosti předpovídat počasí, lze při znalosti parametrů události predikovat i rozsah a míru kontaminace. Protože postupy a zpracování předpovědi distribuce kontaminantu zahrnují komplex výpočtů, je běžnou praxí, že se provádějí pomocí sofistikovaných softvérových nástrojů umožňujících tyto kalkulace provést. Tyto výstupy jsou, a vždy budou zatíženy určitou chybou, protože postrádají oporu kontinuálního měření a vycházejí z okamžitých údajů. Kvalita zpracování předpovědi je přímo úměrná kvalitě a množství vstupů. I přes to je výsledek takové předpovědi cennou informací k získání rychlého přehledu o možném vývoji radiační situace, ale nemůže zcela věrohodně kopírovat skutečnou, reálnou situaci v terénu. Proto bude vždy důležitou součástí informací také výstup z monitorování radioaktivní kontaminace, samozřejmě za okolností, kdy lze toto monitorování provést s akceptovatelnou

mírou rizika. Konkrétní informace z provedeného průzkumu místa události a zpracované výsledky měření mohou zásadním způsobem ovlivnit rozhodovací proces orgánů krizového řízení, především výběr vhodných ochranných opatření a následně jejich včasnou aplikaci.

1.1.2 Letecká gamaspektrometrie

Při průzkumu a detekci IZ je jedním ze zásadně limitujících faktorů radiační ochrana osob, které tuto činnost provádí. Postup, kde lze velice efektivně využít základních principů ochrany - vzdálenost, čas a částečně i stínění je při aplikaci měření s využitím leteckých prostředků. Právě proto jsou tyto prostředky zavedeny a používány složkami zodpovědnými za radiační bezpečnost.

Již od padesátých let minulého století, se staly dostupnější detektory založené na krystalech jodidu sodného aktivovaného thaliem. Tímto byl umožněn rozvoj mobilní gamaspektrometrie s poměrně velkou účinností a uspokojivým energetickým rozlišením pro detekci polyenergetických zdrojů gama záření. Bylo jen otázkou času, kdy tyto poměrně robustní detektory budou osazeny do leteckých prostředků a budou využívány pro tento rychlý a účinný druh radiačního průzkumu. Tato výhoda je využívána i ve vojenském prostředí a Armáda České republiky má rovněž jeden z těchto detekčních systémů k dispozici [2].

Použití tohoto systému pro vojenské účely má svoje specifika a proto je důležité znát jeho možnosti a omezení, ale také plně pochopit potřebu a smysl jeho použití v kontextu požadovaných schopností v rámci NATO. Jedině rychle a bezchybně provedená práce operátora může poskytnout kvalitní výstup. Toho lze dosáhnout odbornými znalostmi a zkušenostmi obsluhy respektující postupy zpracované v metodikách činnosti. Jelikož standardně dodávané postupy výrobcem jsou zaměřeny pouze na dílčí oblasti, většinou zaměřené na možnosti

systemu, chci v této práci uvést širší náhled na zpracování metodiky pro použití konkrétního systému.

2 SOUČASNÝ STAV

2.1 Úvod do problematiky radiačního průzkumu

Radiační chemický a biologický průzkum je jedním ze základních úkolů, který plní specialisté chemického vojska Armády České republiky. K tomuto účelu jsou vycvičena družstva odborníků, která disponují speciální technikou a jsou vybaveni potřebným ochranným a detekčním vybavením. Jelikož lze předpokládat, že budou týmy nasazeny v kontaminovaném prostoru, je cílem vybavit tyto týmy spolehlivými a přesnými detekčními prostředky, které mají rychlou odezvu a minimální nároky na obsluhu. Ochranu osádky v prostředí kontaminovaném chemickými nebo biologickými látkami je možné řešit podle skutečné situace izolačními nebo filtračními ochrannými obleky. Většinou je za přesunu ochrana poskytována také filtroventilačním systémem průzkumného vozidla. V případě radioaktivní kontaminace, a to především při kontaminaci vysoce aktivními zdroji, může být tato ochrana nedostatečná. Karoserie vozidla nebo vrstva ochranného obleku může poskytovat dostačující ochranou v případě záření α nebo β , ale v případě záření γ nebo neutronového záření tomu tak není [3].

Proto jsou možnosti pozemního radiačního průzkumu omezeny a v případě provádění průzkumu v oblasti s plošnou depozicí kontaminantu je vozidlo i osádka této kontaminaci trvale vystavena a ohrožována. Navíc nerovnoměrné rozložení kontaminace může v případě přesunu přes oblasti například v blízkosti epicentra způsobit masivní kontaminaci a také přispět k obdržení vyšších dávek radiace příslušníků družstva. Jako vhodnou alternativu lze v tomto případě zvolit letecký radiační průzkum, jehož výsledky pak mimo jiné mohou posloužit pozemním týmům pro dílčí orientaci v kontaminovaném

prostoru, výběry vhodných tras přesunů nebo míst pro odběry vzorků, ale také pro posouzení radiačních rizik osádek vozidel.

2.2 Princip letecké detekce IZ

Základním princip u používaných leteckých prostředků detekce IZ spočívá ve využití výhod leteckého prostředku (rychlost, stupně volnosti, atd.) v kombinaci s vhodně zvoleným detektorem nebo detekčním systémem. Samotná detekce IZ se tak v principu nijak neliší od způsobů používaných stacionárními nebo mobilními prostředky na zemském povrchu, ale díky větší vzdálenosti mezi zdrojem a detektorem je nutné vhodně zvolit typ, případně větší objem detektoru. Účelová, většinou jednorázově provedená měření jsou ve vojenském prostředí nazývány průzkumem. Dlouhodobější mise, nebo měření s komplexnější podporou výstupů z dalších zdrojů měření, jsou nazývány monitorováním. Pro účely této diplomové práce lze tyto termíny vnímat jako synonyma. Letecká detekce IZ má také několik dalších omezení plynoucích ze základních fyzikálních principů nebo legislativně daných restrikcí. Důležitou roli při výběru systému jsou jeho možnosti dané technickými a taktickými parametry, včetně dalších benefitů, jakým může být například dálkový přenos dat v reálném čase. Rozhodujícími faktory pro výběr systému bude v každém případě jeho určení, dostupnost a také finanční možnosti pořizovatele.

2.3 Používané systémy leteckého monitorování radiační situace

V zásadě lze rozdělit aktuálně používané systémy dle charakteru použitého leteckého prostředku do čtyř skupin. Do první skupiny lze zařadit aerologické sondy s implementovaným detektorem IZ. Tyto sondy jsou většinou osazeny jednoduchým Geiger-Müllerovým (GM) detektorem. Po vypuštění balónu naplněného heliem nebo vodíkem, na kterém jsou připevněny jejich pohyb nelze

žádným způsobem řídit. Operátorem nebo obsluhou lze ovlivnit pouze místo a čas vypuštění aerologické sondy. Výstupy z měření jsou v podobě elektronických dat automaticky předávány radiovými vlnami na pozemní stanoviště k záznamu a dalšímu zpracování. Hlavním důvodem pro osazení sondy pouze jednoduchým GM detektorem je skutečnost, že sondy se po vypuštění nedohledávají a nelze je tak opakovaně použít [4].

Aktuálně populárním prostředkem s širší škálou použití a možností sofistikovanějšího způsobu detekce je měření s využitím Unmanned Aerial Vehicle (UAV), obvykle nazývaného termínem dron. Tento prostředek je ovladatelný/řiditelný s dnes již širší řadou připojitelných detektorů, než výše uvedená aerologická sonda. V současnosti lze nalézt mnoho používaných typů dronů, které se liší v technických parametrech jako je hmotnost, nosnost, druh pohonu, maximální doba a rychlost letu, způsob navigace nebo maximální horizontální nebo vertikální dosah. V České republice je jednou z organizací používající tento prostředek detekce Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce (SÚRO, v.v.i). Od roku 2014 má SÚRO, v.v.i v užívání systém Robodrone Kingfisher osazený detektory NaI(Tl) velikosti 2"x2" [5]. Druhou organizací, která se rovněž zabývá detekcí IZ pomocí dronů je Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i., který má pro tento účel zpracovanou certifikovanou metodiku [6].

Další možnou variantou je instalace detekčního systému do vrtulníku řízeného pilotem. V tomto případě je možné použít i sofistikovanější zařízení s vyšší hmotností nebo velkoobjemovými detektory. V případě, kdy je systém za letu obsluhován operátorem na palubě vrtulníku, je tak možné komunikovat s pilotem a interaktivně dle potřeby měnit parametry letu na základě vývoje situace. V ČR jsou aktuálně používané dva detekční systémy s možností zástavby do vrtulníku. Jedná se o letecký gamaspektrometr IRIS (Integrated Radiation

Information System), který je provozován institucí SÚRO, v.v.i. a obdobný systém AIRIS (Airborne Integrated Radiation Information System), který je ve vlastnictví Armády České republiky (AČR).

Čtvrtým způsobem letecké detekce IZ je montáž detekčního systému do kosmické lodě, která bude nasazena k plnění odborného úkolu. Detektory IZ jsou součástí vesmírných projektů již dlouhou dobu, ale účel detekce je zde primárně směřován k radiační ochraně posádky nebo k výzkumným účelům. Výstupy těchto měření tak nejsou určeny k řešení radiačních událostí na povrchu Země [7].

2.3.1 Systém AIRIS

Systém AIRIS používaný v AČR je využitelný v případech potřeby monitorování jak přírodních tak i umělých zdrojů IZ. Je primárně uzpůsoben k použití ve vrtulníku, ale lze jej využít i při provádění monitorování z vozidla nebo na stacionárním stanovišti. Hlavní částí je detekční jednotka osazená čtyřmi gamaspekromerickými detektory. Díky přesné navigační jednotce Global Positioning System (GPS), radarovému výškoměru a řídicí jednotce, která synchronizuje a zpracovává veškerá data, jsou prováděná měření přesně místně i časově identifikovatelná. Standardní frekvence ukládání dat z detektorů a ostatních připojených periférií je nastavena na jednu sekundu. Aby bylo zřejmé, jaké jsou možnosti tohoto systému, uvádím níže jeho podrobnější konfiguraci:

1. Detekční jednotka ve dvou jednotlivých, fyzicky oddělených boxech s obsahem:
 - a) 2 x detektor 2.1dm³ NaI(Tl) s fotonásobičem a elektronikou;
 - b) 2 x spektrometr AGRS s vícekanálovým analyzátozem pro až 8196 kanálů (s nastavením 256/512/1024/2048), energetický rozsah 30keV až 3MeV;
 - c) stabilizovaný zdroj napájení 6-40 V stejnosměrného napětí;

- d) interní teplotní sensor -30° až 80° $^{\circ}\text{C}$;
2. Řídící a zobrazovací jednotka – zodolněný notebook (Panasonic Toughbook);
 3. Sada aplikačního programového vybavení umožňující:
 - a) nastavení, vlastní měření (data acquisition) a zobrazování dat;
 - b) prohlížení dat, grafické a datové výstupy, QC měřených dat, prohlížení a hodnocení spekter, měření parametrů, kalibrace, export do různých formátů KMZ, GeoSoft, ASCII, atd.;
 - c) pro plánování průzkumu včetně ortho-korekce mapových podkladů měřené oblasti, vytváření měřených polygonů a letecké sítě profilů, poletová vizualizace zvoleného datového kanálu na letové dráze atp.;
 - d) základní konfiguraci HW systému, nastavení detektorů, korekce citlivosti, energetickou kalibrace, měření parametrů, atd.
 4. Navigační jednotka pilota s displejem;
 5. Modul obsahující dva energeticky kompenzované GM detektory:
 - a. s rozsahem příkonu dávkového ekvivalentu $50 \text{ nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ až $10 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$,
 - b. energetický rozsah $H^*(10)$ 40keV až 3MeV pro Cs 137,
 - c. oba instalované v jedné detekční jednotce;
 6. GPS přijímač Hemisphere R330 s externí anténou;
 7. Digitální kombinovaný sensor pro externí měření teploty, vlhkosti a tlaku;
 8. Radarový výškoměr s externí anténou;
 9. Geoimage modul pro snímkování za letu. Max. snímkovácí frekvence 1 s, s volitelným rozlišením;
 10. Převážné boxy, propojovací konektory a kabeláž.

Systém AIRIS umožňuje provádění následujících úkolů (misí) [8]:

- plánování prostoru a trasy mise;
- provedení leteckého radiačního průzkumu vybraného území s hodnotami úrovně radiace od přírodního pozadí a vyšší;

- vyhledávání zdroje IZ (zdroj gama záření) v terénu;
- spektrální analýzu s vyhodnocením úrovně kontaminace;
- oddělené ukládání dat z jednotlivých detektorů (bez součtů spekter);
- rychlou poletovou grafickou prezentaci důležitých veličin nad mapovým podkladem;
- zpracování detailnější spektrální analýzy po dokončení mise, konverzi a export vybraných dat do dalších formátů;



Obrázek 1 Systém AIRIS. (zdroj vlastní)

2.4 Data z letecké detekce IZ

V obecné rovině lze data získaná z leteckého monitorování radiační situace chápat jako údaje vztažené k pozorovanému objektu, v tomto případě zdroji IZ a popisující určité děje, jevy, stavy nebo vlastnosti tohoto zdroje, nebo

souvisejícího prostředí [9]. Data z detekce IZ leteckým systémem AIRIS je možné rozdělit do několika charakteristických skupin viz níže v bodech 2.4.1 až 2.4.3.

2.4.1 Gamaspektrometrické měření

Klíčovou detekční částí systému AIRIS je čtveřice scintilačních detektorů NaI(Tl) s fotonásobičem a elektronikou o celkovém objemu 16,4 dm³. Díky tomuto detekčnímu objemu je systém schopen zaznamenávat radioaktivní záření na úrovni přírodního pozadí na území ČR z výšky několika desítek metrů nad zemí. Běžně používanou výškou je 100 metrů. Výškový dosah při provádění měření ovlivňuje objem detektoru technické možnosti vrtulníku a legislativní restrikce při plnění konkrétní mise. K dalšímu ovlivnění přispívá vrstva atmosféry (vzduchu) nacházející se mezi zdrojem záření pocházející s terestriálního zdroje a detektorem. Ve výšce 500 metrů nad terénem a výše při monitorování hodnot na úrovni přírodního pozadí již měření s použitím systému AIRIS nemá praktický význam. V těchto výškách systém detekuje a zaznamenává pouze hodnoty kosmického záření a pozadí vrtulníku včetně jeho nákladu. Při monitorování radiační situace systémem AIRIS je takový typ měření ve výšce 500 metrů nebo výše prováděn po krátký časový úsek záměrně. Účelem takto získaných dat je vytvoření souboru, který lze použít ke kompenzaci některých naměřených veličin, právě ve vztahu k hodnotám pozadí vrtulníku a kosmickému záření v dané oblasti. Systém AIRIS je sofistikovaným zařízením umožňujícím kontinuální měření a ukládání dat souběžně ze všech detektorů a periferních zařízení.

2.4.2 Měření dávkového příkonu

Zařízení AIRIS má dva na sobě nezávislé detektory umožňující měření příkonových hodnot dozimetrických veličin. První část tvoří dvojice GM detektorů měřící příkon fotonového dávkového ekvivalentu v nSv.h⁻¹ s rozsahem

uvedeným v kapitole 2.3.1, a druhou variantou měření je výpočet hodnot dávkového příkonu v $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ z údajů naměřených všemi čtyřmi gamaspektrometrickými detektory NaI(Tl). Důvodem pro umožnění nezávislého měření těmito principiálně odlišnými způsoby je skutečnost, že scintilační detektory nejsou z principu schopné měřit vyšší úrovně příkonových hodnot. Při počtu sta tisíc pulzů za sekundu (cps) a více na jeden krystal scintilačního detektoru dochází k jejich zahlcení a data již dále nelze považovat za relevantní. V případě vyšších hodnot až do úrovně $10 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ se využívá dat z měření výše zmíněného GM detektoru. Z uvedeného lze odvodit, že při překročení určitých hodnot dávkového příkonu, již nejsou k dispozici spektrometrické údaje. Závislost objemu scintilačního detektoru na rozsahu měření dávkového příkonu od výrobce systému AIRIS je uvedena v Tabulce 1. Vysoké hodnoty detekovatelné GM sondami jsou čistě teoretické, protože v blízkosti detektoru se nachází osádka vrtulníku včetně operátora systému.

Tabulka 1 Rozsah měření dávkového příkonu ve vztahu k objemu detektoru NaI(Tl). (zdroj Radiation Monitoring System – Specification)

Objem NaI (Tl) detektoru	Rozsah měření dávkového příkonu
0,58 dm ³	10 nGv.h ⁻¹ - 100 μGv.h ⁻¹
1,05 dm ³	3 nGv.h ⁻¹ - 40 μGv.h ⁻¹
2,1 dm ³	2 nGv.h ⁻¹ - 15 μGv.h ⁻¹
4,2 dm ³	1 nGv.h ⁻¹ - 5 μGv.h ⁻¹

Měření uvedených příkonových veličin je technicky proveditelné a hodnoty poskytované jednotlivými subsystemy jsou periodicky ověřovány při pravidelném výcviku. Důležitým faktem měření je to, že hodnoty na palubě vrtulníku za letu ve výšce 100, 150 nebo 200 metrů nad zemí jsou zlomkem hodnot detekovatelných na terénu. Aby mohl být výstup měření použitý pro konkrétní činnosti nebo opatření je údaj dávkového příkonu kalkulovaný pro standardizovanou výšku 1 metr nad terénem. Z tohoto důvodu má používaný systém připojený radarový výškoměr, který na rozdíl od GPS poskytuje

skutečnou, nikoli nadmořskou výšku. Aplikační programová výbava systému obsahuje algoritmus pro přepočet, a to nejen těchto veličin, ke zmíněné referenční výšce.

2.4.3 Měření dalších souvisejících veličin

Primárním cílem leteckého průzkumu je získání reprezentativních hodnot dozimetrických veličin. Samostatně publikované hodnoty například dávkového příkonu bez dalších doplňujících (podpůrných) dat znemožňují jejich přesnou časoprostorovou orientaci a následně i interpretaci a prezentaci. Bez některých důležitých údajů by tato data neměla význam distribuovat a sdílet. Aby data tvořila smysluplný soubor v jasně strukturovaném kontextu, musí být časově a prostorově orientována ve vztahu k místu měření na zemském povrchu. Proto údaje z GPS doplňují informaci měření o polohu měřeného bodu. Souřadnice jsou v systému AIRIS ukládány ve dvou běžně používaných formátech, zeměpisná délka a šířka a souřadnice UTM v metrech ve třech rozměrech, včetně nadmořské výšky. Nadmořská výška sice není dále zpracována, ale může zpětně sloužit pro ověření správné funkce radarového výškoměru. Radarový výškoměr udává vzdálenost vrtulníku od zemského povrchu což je v podstatě, za ideálních podmínek, vzdálenost detektoru od zdroje IZ. Tato hodnota je důležitým vstupem pro kalkulaci výše zmíněných příkonových hodnot, ale také při výpočtech hmotnostních nebo plošných aktivit některých radioizotopů. Jako další veličiny jsou měřeny teplota, tlak a relativní vlhkost vzduchu. Ačkoli aktuální hodnoty tlaku, teploty a relativní vlhkosti nejsou přímým vstupem do výpočtů, lze použít při výpočtech na korekci letové výšky [8].

2.4.4 Získávání dat z leteckého měření

Proces získávání dat a především jejich následná kvalita se začíná utvářet již ve fázi přípravy k plnění odborného úkolu, jakožto důležité součásti mise před

samotným zahájením leteckého měření. V této fázi tzv. předletové přípravy probíhá konfrontace požadavků na provedení monitorování s možnostmi systému, kde má hlavní slovo operátor a dále pak s možnostmi a omezeními leteckého prostředku, kde se vyjadřuje pilot a osádka. Nejdůležitějšími faktory a výstupy této fáze jsou:

1. stanovení příletové trasy a hranic prostoru monitorování;
2. stanovení trasy, výšky a rychlosti monitorování uvnitř monitorovaného polygonu;
3. zabezpečení radiační ochrany posádky;
4. stanovení případných nebezpečných úseků, stanovení způsobu komunikace za letu.

Při provádění měření dozimetrických veličin s využitím systému AIRIS je po spuštění systému nastaveno automatické zpracování a ukládání dat v elektronické podobě. Automaticky jsou ukládána data, jejichž dílčí přehled je uveden v Tabulce 2

Tabulka 2 Přehled měřených veličin s tabulkovým záhlavím. (zdroj Zkrácený návod k obsluze systému AIRIS)

Tabulkové záhlaví	Popis veličiny
Line No	číslo letové linky
RECS	číslo záznamu
UsedAlt	používaná letová výška v metrech
Ghead	azimut ve stupních
Gspeed	rychlost vzhledem k zemi v km.h ⁻¹
Xco	X-ová souřadnice v UTM
Yco	Y-ová souřadnice v UTM
Lat	zeměpisná šířka v WGS84 (z GPS)
Lon	zeměpisná délka v WGS84 (z GPS)
Galt	nadmořská výška (z GPS) v metrech
GPSFix	příjem GPS signálu
Epoch	čas epoch z GPS
HdosL	dávkový příkon z GM trubice v nGy.h ⁻¹
Th	četnost pulsů v okně Th
U	četnost pulsů v okně U
K	četnost pulsů v okně K

Co	četnost pulsů v okně Co
Cs	četnost pulsů v okně Cs
DosL	dávkový příkon lokální v nGy.h ⁻¹
DosG	dávkový příkon přepočtený na zem v nGy.h ⁻¹
Dos1700XX	dávkový příkon na příslušném krystalu v nGy.h ⁻¹
Dos1700XY	dávkový příkon na příslušném krystalu v nGy.h ⁻¹
Dos1700XZ	dávkový příkon na příslušném krystalu v nGy.h ⁻¹
Dos1700XW	dávkový příkon na příslušném krystalu v nGy.h ⁻¹
ISPD	četnost na „downwards looking“ krystalech
ISPU	četnost na „upwards looking“ krystalech
Altsp	letová výška v metrech
Barsp	tlak v kPa
TMPsp	teplota ve stupních C
HUMsp	relativní vlhkost v %
cU	hmotnostní aktivita U v Bq/kg
cK	hmotnostní aktivita K v Bq/kg
cTh	hmotnostní aktivita Th v Bq/kg
cCo	plošná aktivita Co60 v Bq/m ²
cCs	plošná aktivita Cs137 v Bq/m ²
ConcK	koncentrace K v %
ConcU	koncentrace U v ppm
ConcTh	koncentrace Th v ppm

2.4.5 Vyhodnocení a zpracování dat

Vyhodnocení a zpracování dat je prováděno zpravidla bezprostředně po ukončení leteckého monitorování. K tomuto účelu je používáno výrobcem dodané aplikační programové vybavení a pro další zpracování také některé geografické aplikace umožňující práci s georeferencovanými daty. Proces vyhodnocování je prováděn obsluhou zařízení a liší se podle zadaného odborného úkolu. Při hledání konkrétního zdroje gama záření je možné se zaměřit na konkrétní energetickou hladinu spektra, při plošné, směsné kontaminaci bude pozornost věnována příkonu fotonového dávkového ekvivalentu vztaženého k výšce 1 metr nad terénem.

2.4.6 Sdílení dat

Data získávaná z leteckého monitorování radiační situace prostředky AČR nejsou veřejně k dispozici. Důvodů je hned několik. Jednak jejich nativní formát neumožňuje bez patřičného programového vybavení jejich prohlížení

a bez bližších informací je náročné data správně interpretovat. Také v době mimořádné radiační události, po havárii, použití radiologické nebo jaderné zbraně jsou tyto informace citlivé, a jejich předčasnou, neodbornou prezentací může dojít k problematickým situacím, například ke ztrátě důvěry obyvatelstva v navrhovaná opatření. Výjimkou ve sdílení dat je smluvně ošetřená spolupráce AČR se SÚJB a SÚRO, v.v.i., kterým jsou v rámci společných akcí a výcviků data předávána. Některé vybrané veličiny jsou následně prezentovány na internetových stránkách SÚJB https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ v aplikaci MonRaS pro informování veřejnosti. Ke sdílení dat také dochází v případě operací NATO, v souladu s přijatými standardy tzv. STANAG (Standartisation Agreement). Konkrétně se v tomto případě jedná o STANAG číslo 2103 a 2497, které definují systém monitorování radiační chemické a biologické situace, včetně předávání informací o událostech a dat z průzkumu v podobě zpráv CBRN.

2.5 Analýza používaných metodik zpracování a prezentace dat

Obvykle používané postupy zpracování a prezentace dat získaných z leteckého radiačního průzkumu zcela nebo částečně kopírují postupy dodané výrobcem konkrétního zařízení nebo systému. Dílčí metodiky jednotlivých součástí systému (zařízení nebo detektorů), které nebyly cíleně zpracovávány pro výše zmiňovaný způsob použití, jsou obecné a jsou zaměřeny na popis funkcionalit aplikačního programového vybavení příslušného podsystému.

2.5.1 Metodické postupy dodané se systémem AIRIS

Postupy dodané výrobcem tohoto zařízení obsahují zkrácené návody k jednotlivým specializovaným programům uvedených v bodě 3.3, a zkrácený návod na obsluhu leteckého spektrometru. Ačkoli se jedná o zkrácené verze, postupy jsou zde uvedeny v několika stovkách dílčích kroků na desítkách stran textu včetně

mnoha názorných vyobrazení. Dodaný návod k obsluze v několika bodech charakterizuje systém, jeho jednotlivé součásti a způsob jejich propojení. Dále je zde popsána příprava systému k činnosti, provádění měření, vypnutí systému a v přílohové části je uveden popis některých důležitých parametrů v datovém souboru. Oblast přípravy, zpracování a rychlého zobrazení dat je všeobecně popsána ve vztahu k možnostem jednotlivých programů. Je tak plně v rukou operátora, který konkrétní postup nebo jejich kombinaci si zvolí pro plnění odborného úkolu.

2.5.2 Metodiky používané mimo AČR

Na tomto místě bych chtěl přiblížit postupy certifikovaných metod používaných pro stanovení a zvládání radioaktivní kontaminace. Jedná se konkrétně o metodiku SÚRO, v.v.i. pro detekci radioaktivních látek na zasaženém území – pro činnost mobilních skupin při monitorování radiační havárie. Certifikační autoritou je v tomto případě SÚJB, který vydal k této metodice osvědčení čj. SÚJB/RCČB/10622/2015. Metodika je rozdělena do několika dílčích postupů:

- postup 1, měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu;
- postup 2, stanovení plošné (hmotnostní) aktivity radionuklidů v půdě pomocí spektrometrie in situ, kvalitativní stanovení obsahu radionuklidů v ovzduší;
- postup 3, odběry vzorků životního prostředí;
- postup 4, měření povrchové (plošné) kontaminace;
- postup 5, hodnocení radiační situace v dané lokalitě pomocí měřiče příkonu dávky DC-3E-17;
- postup 6 svoz/rozvoz TLD;
- postup 7, odhady aktivity radionuklidů v objemných vzorcích v terénních podmínkách [10].

Další metodikou, která byla certifikována a zabývá se oblastí leteckého monitorování radiační situace je metodika zpracovaná odborníky Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i. (SÚJCHBO, v.v.i). Je to metodika Měření radiačních veličin s užitím nízkoletící multikoptéry (dronu) v oblastech zasažených hornickou činností spojenou s dobýváním a úpravou uranových rud. Dle anotace metodiky je cílem tohoto postupu popis měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu v definované oblasti s UAV, vytvoření mapy rozložení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu v této oblasti a lokalizace míst se zvýšeným příkonem prostorového dávkového ekvivalentu s možnou identifikací zdroje [6].

3 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem práce je zpracování návrhu aplikovatelného a funkčního postupu pro zpracování, prezentaci a sdílení výstupů z detekce IZ po provedeném leteckém monitorování. V práci jsou shrnuty významné faktory ovlivňující kvalitu možného výstupu. Jako výchozí zdroj byly použity dostupné informační zdroje, kontakty s odborníky v této oblasti a částečně vlastní zkušenosti. Postupy jsou doplněny o konkrétní specifika vztahující se k použití těchto prostředků v AČR. V části 5 Výsledky je zpracován návrh metodiky, využitelný jako součást standardních operačních postupů skupiny monitorování a leteckého průzkumu. Jelikož cílem práce je zpracovat prakticky aplikovatelný postup, nebyly v práci vytyčeny hypotézy.

3.1 Metodické postupy

Zpracovaná metodika s konkrétním postupem vychází z používaných metodik SÚRO, v.v.i., praktických zásad, navazuje, rozšiřuje a upřesňuje obecné postupy dodané výrobcem systému. U dílčích postupů jednotlivých komponentů systému byly vybrány a ověřeny podstatné kroky a upraveny dle konkrétních požadavků. Vzorový postup je strukturován jako stručný a chronologicky uspořádaný sled činností operátora přizpůsobený reálné praxi využitelné potřebám AČR při tomto způsobu monitorování se systémem AIRIS. Jedná se o metodiku zpracování a prezentace výstupů celého systému obsahující chronologicky uspořádané kroky a zahrnující vstupy periferních zařízení.

3.2 Interpolační metoda zpracování dat

Jelikož součástí postupu při vyhodnocování dat je volba vhodné interpolační metody pro zpracování tohoto konkrétního typu dat, je v rámci výsledků práce doporučen a odůvodněn výběr dvou vhodných variant.

3.3 Použitý software

Při zpracování diplomové práce byly použity aplikace dodané výrobcem systému AIRIS společností NUVIA:

1. PEIView, pro zpracování, selekci a export dat do uživatelsky otevřenějších formátů;
2. PEIConvert, pro přípravu mise a její rychlé vyhodnocení po dokončení;
3. AGIS, pro nastavení parametrů mise, ovládání systému za letu a online zobrazování vstupů.

Další v práci použité programy pro zpracování dat jsou SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) verze 6.4.0, který umožňuje analýzu prostorově orientovaných dat nad mapovým podkladem a program Q GIS, někdy označovaný jako Quantum GIS, který patří mezi používané svobodné geografické informační systémy s licencí typu General Public License (GPL). Výhodou tohoto programu je jeho pravidelná aktualizace a zdokonalování. V době zahájení zpracování práce byla používána verze 3.4 a v době dokončování verze 3.6. Data použitá v této práci byla upravována a anonymizována s využitím programu Microsoft Excel 2013. Veškerý software byl používán v souladu s licenčními ujednáními na osobním počítači s operačním systémem Windows 10.

3.4 Mapové podklady

Jako mapové podklady při zpracování a prezentaci výstupů bylo použito prohlížečích síťových služeb Geoportálu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Konkrétně data Web Map Service (WMS) publikovaných ve standardu OGC WMS 1.3.0.

4 METODIKA

Stanovený optimální postup v oblasti zpracování a využití výstupů z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely AČR je zpracován na základě analýzy informací z dostupných informačních zdrojů, konzultací se specialisty v této oblasti. Výběr vhodné interpolační metody zpracování a prezentace dat je orientován tak, aby splňoval požadavky na rychlost, kvalitu a reprodukovatelnost postupu.

4.1 Použité přístroje a zařízení

V práci byla použita anonymizovaná data produkovaná a ukládána systémem AIRIS výrobce NUVIA.

4.2 Popis vlastní práce

V úvodní, teoretické části je shrnut současný stav problematiky řešené v této práci, včetně důležitých podoblastí, které umožňují hlubší orientaci ve výsledcích práce a dalším textu. Výsledky práce v jednotlivých kapitolách uvádějí klíčové faktory a zjištění vycházejících z analýzy dostupných informací, které rozhodujícím způsobem ovlivňují postupy při zpracování, vyhodnocování a prezentaci výstupů z leteckého monitorování radiační situace. V diskusi je porovnáván přístup k této oblasti v historickém kontextu a ve vztahu k přístupu jiných subjektů, včetně zahraničních. Samotný návrh metodiky je zpracován v přílohové části práce.

4.3 Použité statistické metody

V rámci kapitoly s výsledky práce je popsána jedna z částí zpracování dat, která se zabývá výběrem vhodného způsobu interpolace jakožto statistické metody pro úpravu výstupů pro jejich prezentaci. V této části je odůvodněn

výběr statistické metody B-Spline a IDW, obě běžně používané v oblasti geostatistika. Tyto metody jsou v práci dále aplikovány na soubor vzorových dat zpracovávaných v návrhu metodiky.

5 VÝSLEDKY

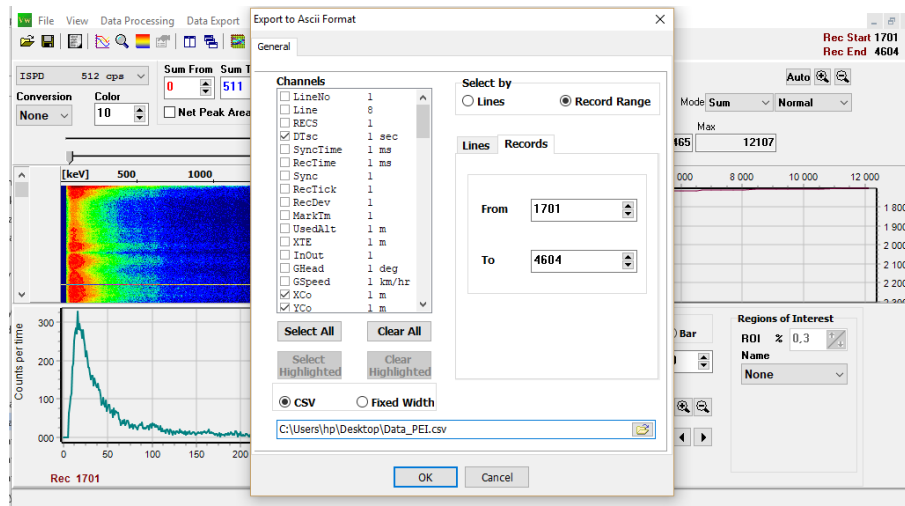
5.1 Postup při zpracování prezentaci a sdílení dat

Díky komplexnímu přístupu výrobce systému AIRIS k požadovaným schopnostem tohoto systému monitorování jsou data z provedeného měření chronologicky uspořádána a asociována s přesnou souřadnicí místa měření. Z tohoto důvodu lze na uvedená data aplikovat statistické výpočty, podobné těm, které se používají v oboru geostatistika. Před prováděnými výpočty bylo nutné ze souboru získaných dat identifikovat ta, která budou součástí dalšího zpracování a exportovat je do uživatelsky editovatelné podoby. Aby bylo možné vytvořit vhodný soubor s potřebnými daty, byl obsah souboru průběžně konfrontován s navrhovaným postupem jejich zpracování s ohledem na specifikované výstupy.

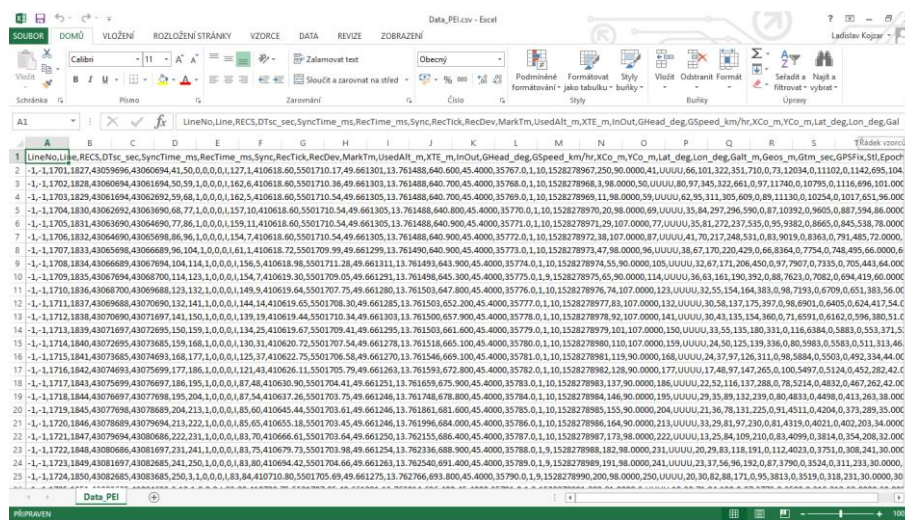
5.1.1 Charakteristika datového souboru

Data z monitorování systémem AIRIS jsou nahrávána a po ukončení mise uložena do souboru s názvem začínajícím písmenem B následovaným časovými údaji (rok, měsíc, den, hodina, minuta) oddělených spodní mezerou např. B2018_07_06_13_57.PEI. Tento soubor lze otevřít a případně dále editovat pouze v aplikačním programovém vybavením dodaném výrobcem systému. Pro další použití dat je umožněn export až 91 položek (některé obsahují i více údajů) do souboru, kde jsou jednotlivé položky odděleny čárkou (Comma Separated Value - CSV) viz Obrázek 2. Volba názvu souboru a cesty k jeho uložení je na operátorovi. Doporučován je jednoznačný a snadno identifikovatelný název bez použití české diakritiky, která někdy znesnadňuje použití v cizojazyčných aplikacích. Vytvořený soubor je možné otevřít a spravovat v běžně dostupných tabulkových nebo textových editorech počínaje běžně dostupným Poznámkovým blokem, který je instalován v základní sadě

programů MS Windows až po aplikace GIS, umožňující import tohoto formátu. Samotný náhled na data zobrazená v prohlížeči neposkytuje reprezentativní obraz situace, a bez dalších úprav je obtížně prezentovatelný, viz Obrázek 3.



Obrázek 2 Export dat z programu PEIView. (zdroj vlastní)



Obrázek 3 Datový soubor v náhledu programu MS Excel. (zdroj vlastní)

5.1.2 Vhodná interpolační metoda

Jednotlivá naměřená data z leteckého průzkumu jsou pevně spjata s časem a místem měření, což je v podstatě bod definovaný souřadnicí a vzdáleností od zemského povrchu. Hustota těchto bodů je charakterizována frekvencí měření, což je u systému AIRIS 1 sekunda, vzdáleností letových linek a rychlostí

letu. Presentace těchto bodů s individuálními hodnotami je možná poměrně jednoduše pomocí programu PEIconvert viz Obrázek 6. Pro komplexní zhodnocení situace je tento způsob nedostačující a bez vyloučení nereprezentativních hodnot ze souboru může být i zavádějící. Z tohoto důvodu jsou data před prezentací zpracovávána a součástí postupu je volba vhodné interpolační metody pro následnou grafickou prezentaci prostorových dat. Volba metody by měla splňovat určitá hlediska: [11]

1. průběh interpolace by měl korespondovat s představou o chování veličiny;
2. výsledná funkce by měla mít formální matematické vlastnosti;
3. minimalizace chyb způsobených interpolací;
4. výstup musí být srozumitelný a prezentovatelný.

Pro volbu vhodné metody prostorové interpolace je důležitá odborná erudice zpracovatele, který musí mít alespoň rámcovou představu o měřených veličinách, jejich kvalitě, přesnosti, vzájemných vztazích a chování. Pak lze přistoupit k analýze dat, v úvodu zahájené náhledem jednotlivých bodů v ploše. Pro přehlednost lze doporučit volbu vhodné barevnou škály ve vztahu k rozměru veličiny. Takto připravený náhled umožňuje pohledem prověřit hustotu bodů, jejich rozložení v polygonu a průběh sledované veličiny [11].

5.1.3 Odůvodnění výběru vhodné metody

Jednou z vhodných interpolačních metod pro zpracování výstupů leteckého radiačního průzkumu je metoda B-Spline. Při použití této metody výsledná aproximační křivka (plocha) neprochází přímo danými body a změna pozice bodu ovlivňuje pouze body v blízkém okolí, což je vzhledem k hodnotám dozimetrických veličin žádoucí. Při použití metody prostého Spline křivka

prochází zadanými body měření a případná změna pozice bodu by ovlivnila celou křivku [12].

Výhodou metody je její jednoduchost a malá náročnost na výpočetní kapacitu, což v důsledku znamená rychlou dostupnost reprezentativního výstupu. Atraktivita je také dána dostupností metody v několika rozšířených softwarových aplikacích a praktické zkušenosti z ní činí příhodnou variantu pro zpracování dat po leteckém radiačním průzkumu.

Další variantou je interpolace metodou inverzní vzdálenosti (IDW z anglického Inverse Distance Weighted). Tato metoda vychází z předpokladu, že hodnota veličiny v určitém bodě je výsledkem váženého aritmetického průměru hodnot okolních bodů. Váha je definována pro každý bod zvlášť jako inverzní hodnota vzdálenosti k měřenému bodu. Zjednodušeně lze říci, že čím bližší bod je, tím je jeho váha větší. Kvalitní výsledky lze dosáhnout při velkém množství měřených bodů, které jsou pravidelně rozmístěné v interpolovaném prostoru. Proto i tuto metodu lze aplikovat v případě monitorování plošné kontaminace [13].

5.1.4 Faktory ovlivňující výstupy měření

V procesu měření, zpracování a vyhodnocování dat byla identifikována celá škála činitelů ovlivňujících kvalitu prezentovaného výstupu. Tyto činitele lze rozdělit do tří základních skupin.

Do první skupiny, která má zásadní význam, patří vše před zahájením měření. Lze sem zařadit výběr vhodného detektoru, leteckého prostředku ve vztahu k plánované misi. U detektoru s příliš velkým objemem může v případě masivní kontaminace dojít překročení horní meze detekce, nebo naopak malý objem nebude schopen zabezpečit požadovanou citlivost (například u hledání

bodového zdroje). U systému AIRIS lze regulovat objem detektoru připojením, nebo odpojením detekčních jednotek. Také nelze podcenit nastavení detektoru a celého systému dle požadovaného úkolu. Jako další v řadě faktorů je vše, co je spojené s průběhem měření od doby jeho zahájení, až do ukončení plnění úkolu. Sem lze zařadit především aktuální koncentraci radonu či thoronu v ovzduší, tlak vzduchu, počasí, ale také pozadí leteckého prostředku. Letecký prostředek, který má na palubě detektor, může být vyroben z materiálů, které obsahují malé množství radionuklidů, popřípadě na palubě mohou být přístroje obsahující radionuklidy. Je tomu tak u některých starších typů vrtulníku Mi-17 vybavených detektorem námrazy, jenž obsahuje zdroj IZ. Jedná se o zařízení RIO-3 s obsahem radioaktivního stroncia a yttria ^{90}Sr s aktivitou do 925 MBq. Tento zdroj je sice zdrojem β , ale způsobuje tzv. brzdné záření, které se jeví jako spojitě spektrum gama v nízkoenergetické oblasti. Elektronů s maximální energií 2.2 MeV u ^{90}Sr - ^{90}Y však vytvářejí významný efekt u prvků s nízkým protonovým číslem například v hliníku, což je většinový materiál konstrukce vrtulníku Mi-17 [14].

Poslední skupinou faktorů, které ovlivňují výsledky měření, jsou postupy a procesy spojené se zpracováním dat. Sem patří například již v předešlé kapitole zmiňovaná volba vhodné interpolační metody, ale také správné použití GIS aplikace a mapového podkladu.

Míra ovlivnění výsledků měření u většiny výše uvedených faktorů záleží na erudici, přístupu operátora, ale také na času, který je dostupný pro provedení měření a vyhodnocení dat. Pravidelným výcvikem a doplňováním odborného vzdělání lze předejít chybám systematickým, odhalovat chyby náhodné a rychleji provádět korekce měření [15].

5.1.5 Zpracování dat

Zpracování dat z monitorování je důležitou součástí měření a zvolené postupy, stejně tak jako kvalita jejich provedení zásadně ovlivňuje výsledky použité pro další prezentaci nebo sdílení. V úvodu zpracování je zapotřebí vybrat vhodná uložená data ve vztahu k prováděnému úkolu/misi. Jako možný případ plnění odborného úkolu lze uvažovat periodické monitorování oblastí s historicky způsobenou kontaminací, průzkum oblasti s plošnou kontaminací po radiační mimořádné události nebo také vyhledávání radioaktivního zdroje. V případech, kdy je cílem mise nalezení konkrétního zdroje IZ například ^{60}Co nebo ^{137}Cs je nezbytné zahrnout mezi důležitá data také hodnoty ze spektrometrického měření. Konkrétně se pak orientovat na údaje z charakteristických energetických oken specifických pro konkrétní zdroj IZ. Systém AIRIS má pro některé zdroje IZ tato okna již přednastavená a proto není nutné tato data složitě vyhledávat z celého spektra. Dalším krokem po definování potřebných veličin datového souboru je jejich export do volně přístupného a editovatelného souboru, který je možné dále zpracovat, případně sdílet nebo archivovat. Při exportu je nutné, aby tento nově vytvořený soubor zachoval kvalitu originálních dat a nedošlo k žádným chybám. Definování potřebných veličin a jejich export do souboru je důležitým krokem a vynechání klíčových segmentů dat, jakými jsou například souřadnice nebo čas, nenávratně poškodí vytvořený zdrojový soubor.

5.1.6 Postup při prezentaci dat

V praxi jsou zavedena dvě základní pojetí, jak prostorová data v digitální podobě prezentovat. Jeden způsob je vektorový a druhý rastrový. Při přípravě dat je důležité vědět který z těchto dvou způsobů preferovat, jelikož po zpracování výstupu není vždy možný vzájemný převod. U vektorové prezentace

jsou jeho jednotlivé součásti definovány velikostí a směrem, vektorem. K zobrazení dat se používají základní tři prvky [16]:

- body (point);
- linie (line);
- polygony (polygon).

Výhody vektorového zobrazení jsou především v malé velikosti datových souborů a možnost zvětšování a zmenšování zobrazení kdy jednotlivé prvky zachovávají svoji pozici. Také je možné atributovou tabulku rozšířit o další informace, které při přenosu dat zůstávají zachované pro dalšího uživatele. Rastrové zobrazení reprezentuje celý povrch a je často používáno pro starší digitalizované mapy, které byly nasnímány z analogového podkladu, případně analogové letecké či satelitní snímky. Podstatou rastrového formátu je pokrytí povrchu pravidelnou nebo nepravidelnou sítí buněk (pixel, cell). Nepravidelná síť umožňuje věrněji reprezentovat danou lokalitu. Buňka vyjadřuje hodnotu sledovaného jevu na konkrétní pozici zobrazení prostoru. Při reprezentaci rastrem je důležité vhodně zvolit vhodné rozlišení, jinak může dojít k zbytečnému ukládání mnoha dat na disk, nebo ke ztrátě prostorových informací [17].

Výstupy z monitorování systémem AIRIS lze díky použití geografického informačního systému poskytovat v obou formátech, ale pro praktický přehled a pro předání výstupů mimo okruh odborníků je za potřebí výstup opatřit dodatečnými popisky viz Obrázek 25.

5.1.7 Využití geografických informačních systémů (GIS)

GIS jakožto dostupný elektronický systém pro management geografických informací je prostředkem k pokročilému zpracování, prezentaci a často i ke sdílení dat v běžně používaných elektronických formátech. Je nezbytnou součástí procesu vyhodnocování a umožňuje širokou škálu operací s daty. Důležité je především umožnění matematických operací s daty včetně interpolace

a „usazení“ vytvořených vrstev s daty na vhodnou a aktuální podkladovou mapu. V praxi lze doporučit použití aplikačního programového vybavení uvedeném v bodě 3.3. Díky velkému množství dat je dnes prakticky nepředstavitelné jejich zpracování bez podpory specializovaného aplikačního programového vybavení, mezi které se GIS aplikace řadí. Volbou vhodné a jednoduché a nenáročné aplikace lze dosáhnout rychlého, kvalitního a reprodukovatelného výstupu.

5.1.8 Sdílení dat a výsledků monitorování

Sdílení výsledků měření je možné provádět několika způsoby. Jako ideální postup je zpřístupnění veškerých dat z měření s jejich popisem a charakteristikou parametrů mise všem zainteresovaným subjektům. Tento způsob je standardně praktikován mezi odborníky znalými tohoto konkrétního způsobu monitorování s tímto specifickým systémem. Data jsou v tomto případě ponechána v jejich původní podobě, tak jak byla vyprodukovaná a uložená systémem. Další variantou je selektivní export předem definovaných veličin a přidružených dat do uživatelsky editovatelného souboru a umožnění sdílení tohoto souboru. Tento způsob je uživatelsky pohodlnější, ale každý další uživatel již nemá k dispozici originální soubor a tak není schopen zkontrolovat případné chyby, nebo doplnit soubor o další veličiny. Specifickou variantou je sdílení těchto informací v rámci NATO, které se musí řídit pravidly upravenými standardizačními dohodami a předávání dat má předepsanou formu a hierarchii postupu.

Výstupy v podobě obrázků, mapových vrstev, vektorových nebo rastrových souborů s graficky zpracovanými výsledky měření lze snáze sdílet. Vyjma některých typů vektorových souborů tyto výstupy již neobsahují vstupní data a odpovídají záměru a zpracování operátora. Proto je důležité takový výstup

opatřit důkladným popisem, který usnadní orientaci a přesně charakterizuje a vysvětlí grafický výstup. Popis by měl obsahovat následující údaje:

- jedná-li se o reálný výstup monitorování, nebo výstup predikce;
- datum a čas měření;
- měřenou veličinu s bližším určením rozměru případně postupu měření;
- legendu s odpovídající škálou;
- měřítko použitého mapového podkladu a jeho orientace k severu;
- údaj kde, kdy a kým bylo měření provedeno.

5.2 Návrh metodiky zpracování dat

Uvedená metodika je určena ke zpracování a prezentaci dat z leteckého monitorování radiační situace po provedeném průzkumu oblasti s plošnou kontaminací. Navrhované postupy jsou koncipovány tak aby bylo optimálně využito dostupného aplikačního programového vybavení. Při zpracování jsem se zaměřil na minimalizaci počtu procesních úkonů a tím k vytvoření předpokladu k dosažení jednoduchého a reprodukovatelného postupu. V oblasti výstupů bylo cíleno na stručnost, přesnost, přehlednost a pochopitelnost. Základním programovým vybavením, které je potřebné ke zpracování dat, jsou jednak programy dodané výrobcem a dostupné GIS aplikace. První program je PEIView. Tento program umožňuje prohlížení a zobrazení data jako jednoduché grafy dat pořízených přístrojem AIRIS. Program disponuje i souborem dalších funkcí jako například převod binárních dat souborů PEI do ASCII formátu pro standardní použití v jiných programech, konverzi do formátu ANSI N42, tvorbu souborů KML/KMZ pro zobrazení dat v GoogleEarth, stanovení rozlišení spektrálních hodnot v naměřených spektrech, sloučení více datových souborů do jednoho nebo import ASCII dat do binárního PEI souboru. Program umožňuje také provádění některých oprav a korekcí dat [18].

Druhý, výrobcem systému dodávaným softwarem je PEIconvert. Program je základním nástrojem k přípravě projektu pro letecké monitorování radiace, tj. především stanovení polygonu nad zvoleným mapovým podkladem a rozvržení hlavních linek průzkumu (survey lines) a svazovacích linek (tie lines). Program vytvoří elektronické soubory daného projektu, které se nakopírují do leteckého gamaspektrometru AIRIS a použijí se při navádění pilota během leteckého průzkumu a provádění měření. V programu PEIconvert lze použít širokou škálu map v elektronické podobě nebo digitální snímek mapy, kterému program umožňuje přiřadit všechny potřebné informace, především provést georeferencování mapy s využitím geografických souřadnic získaných z navigačních systémů GPS/Glonass a uložit výstup ve formátu BMP pro další použití jako podkladová mapa při měření leteckým gamaspektrometrem AIRIS. Uživatel může vybrat typ odpovídající projekce mapových souřadnic mezi UTM, UPS a Lambert. Po ukončení měření lze tento program použít pro zobrazení výsledků na podkladové mapě buď přímo na PC používaném se systémem AIRIS nebo na jiném externím počítači splňujícím minimální požadavek na spuštění programu. Jednou z využitelných utilit tohoto programu je program Google Maps Extractor, který umožňuje zjednodušit a zrychlit výběr mapy, její stažení a kalibraci ze serverů Google Map, které jsou volně přístupné v síti internet [18].

Zpracovaná metodika je rozdělena do těchto částí:

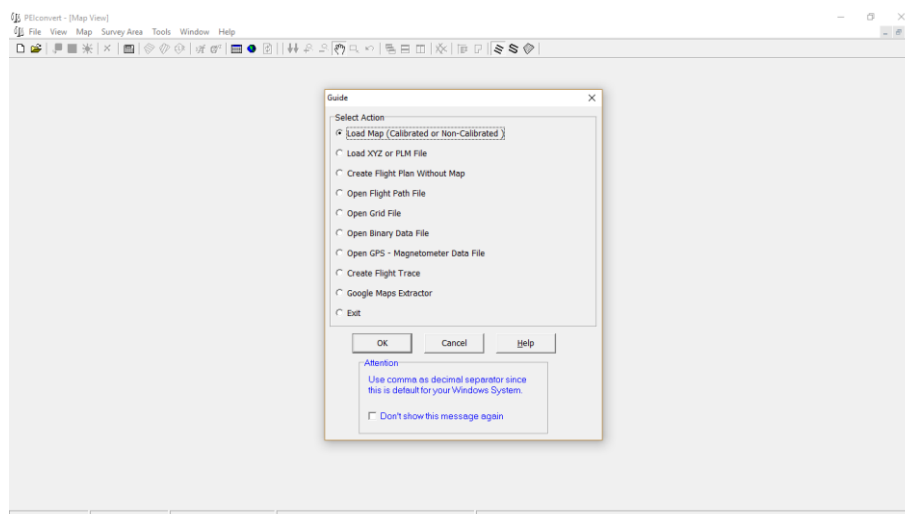
- zpracování v programu PEIconvert;
- zpracování v programu PEIView;
- export dat;
- import dat, zpracování a zobrazení;
- online mapová podpora.

5.2.1 Náhled, kontrola a úprava dat před použitím

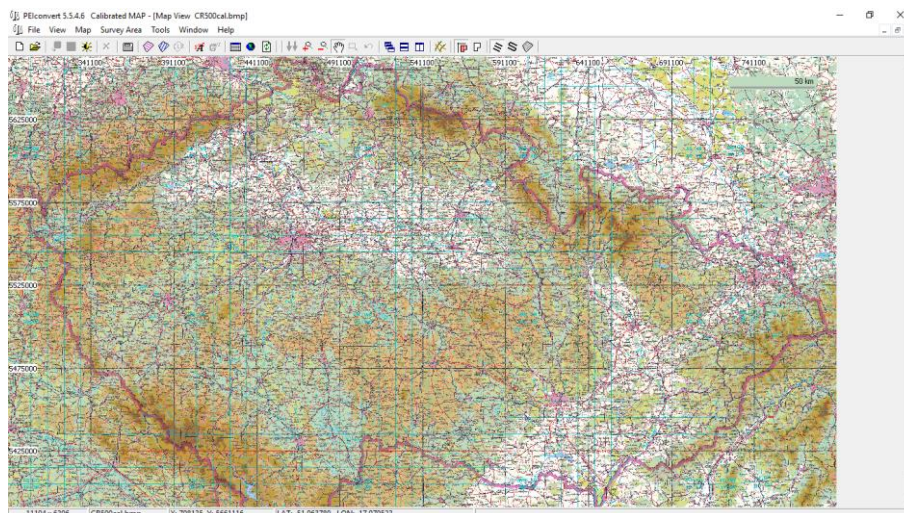
Základní vstupní informací jsou údaje o konkrétní prováděné misi, minimálně je nutné znát, co bylo účelem mise a jaký typ monitorování byl prováděn. Vstupními daty jsou pak soubory se záznamem měřených veličin v průběhu monitorování uložené v digitální podobě. Podle délky a způsobu monitorování může být soubor jediný, v případě déletrvajících měření možné, že data jsou uložena v několika jednotlivých souborech. Pro další práci je lépe vytvořit soubor jediný s potřebnými daty.

5.2.2 Zpracování v programu PEIconvert

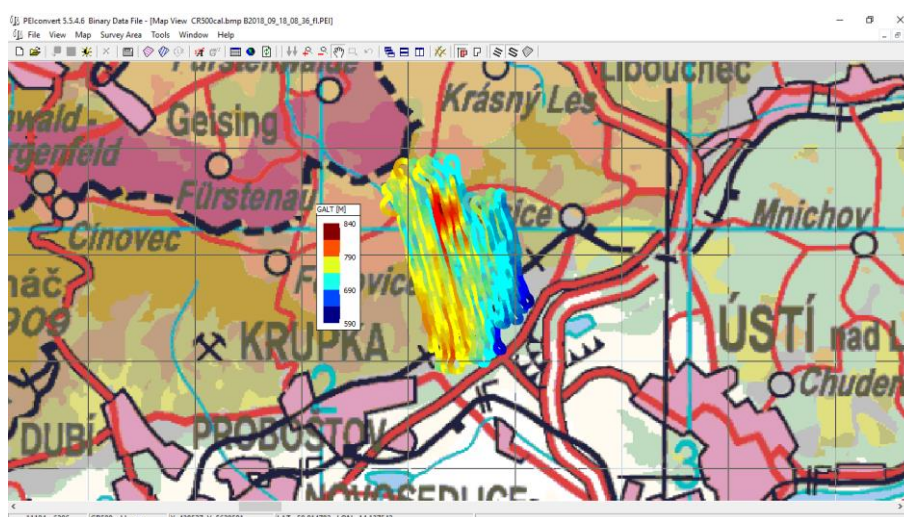
Program lze nejnázne spustit dvojklikem na ikonu PEIconvert.exe a po té označit volbu **Load Map (Calibrated or Noncalibrated)** a potvrdit stiskem nabídky **OK** viz Obrázek 4. V otevřeném dialogovém okně vybrat ve složkách soubor s vhodným mapovým podkladem. Nejlépe je zvolit totožnou mapu, která byla použita pro přípravu polygonu při plánování mise. Po výběru mapy, se tato otevře v náhledovém okně programu viz Obrázek 5. Po otevření souboru s měřenými daty volbou **File, Open**, jsou body měření zobrazeny nad mapou viz Obrázek 6.



Obrázek 4 Úvodní obrazovka programu PEIconvert. (zdroj vlastní)



Obrázek 5 Náhled na zvolenou mapu PEIconvert. (zdroj vlastní)



Obrázek 6 Náhled dat nad mapou v PEIconvert. (zdroj vlastní)

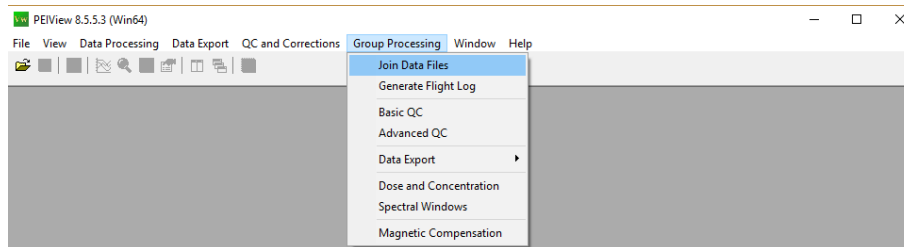
5.2.3 Práce v programu PEIView

Pro další práci se soubory je nutné spustit program PEIView dodávaný výrobcem zařízení dvojklikem na ikonu programu PEIView.exe.



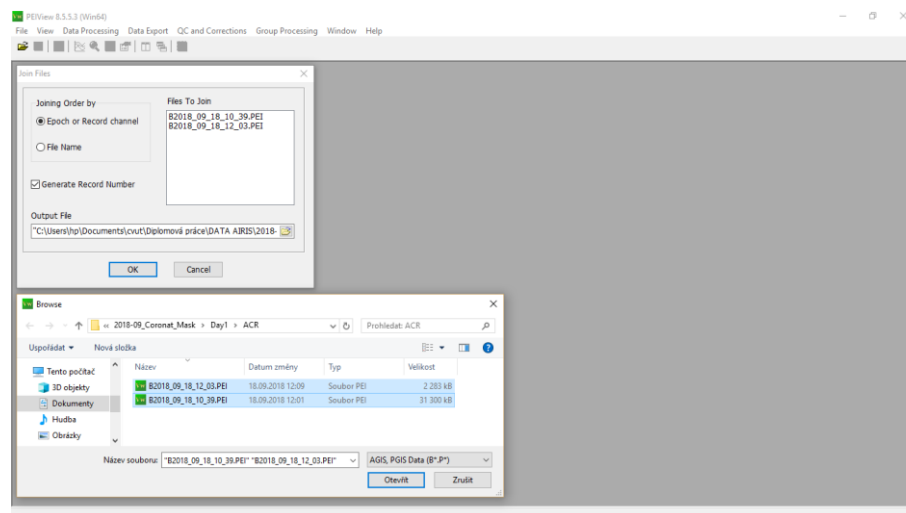
PEIView.exe

V případě, kdy je výstupem monitorování několik souborů je vhodné jejich sloučení do jediného souboru s použitím volby **Group Processing – Join Data Files** viz Obrázek 7.



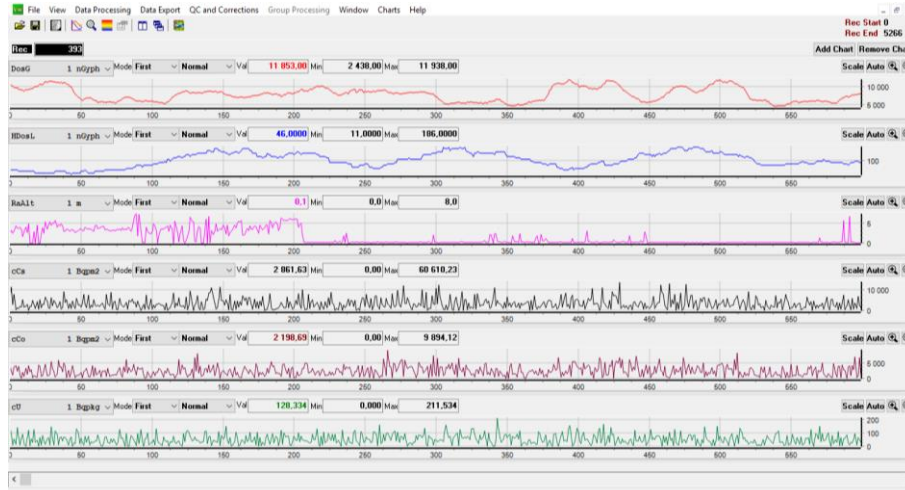
Obrázek 7 Postup Group Processing. (zdroj vlastní)

Soubory je možné načíst a zpracovávat z libovolného paměťového zdroje, ke kterému má uživatel práva čtení a zápisu. Je nutné pamatovat na potřebné volné místo pro nově vytvořený soubor, který je vložen do složky zdrojových souborů. Konkrétní postup uvádí Obrázek 8.



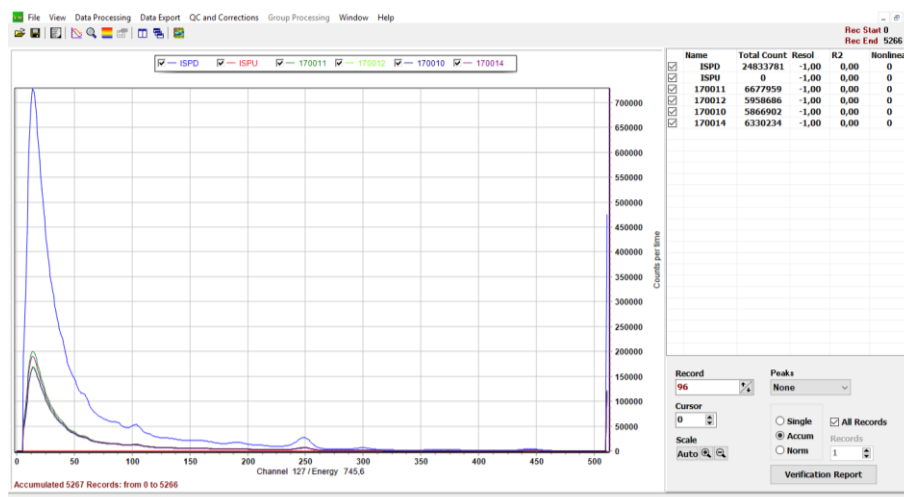
Obrázek 8 Slučování souborů v programu PEIView. (zdroj vlastní)

V dalším kroku je zapotřebí otevřít datový soubor, **File – Open**. Po otevření zvoleného souboru je zobrazen grafický přehled dat v několika grafech, u kterých je možné editovat zobrazovanou veličinu, a způsob zobrazení grafu viz Obrázek 9.



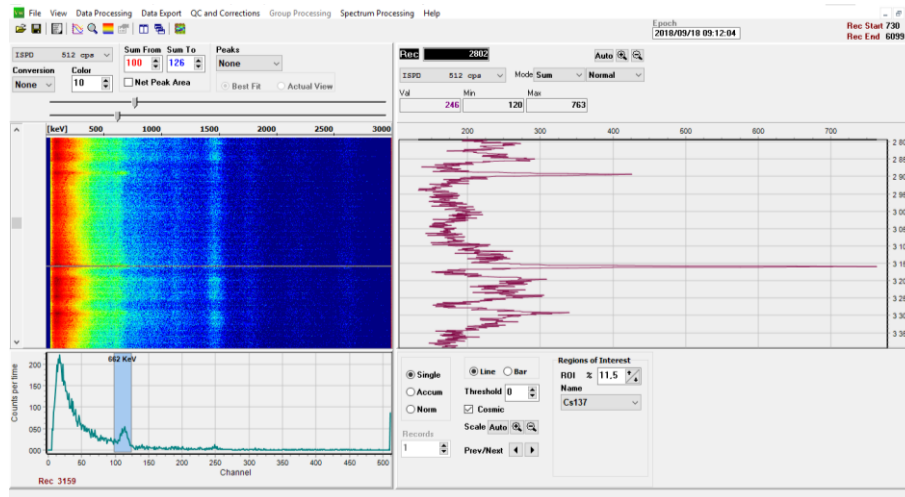
Obrázek 9 Grafický náhled souboru v programu PEIView. (zdroj vlastní)

Grafický náhled lze změnit na náhled spekter po jednotlivých krystalech se sumou spekter a možností zobrazení akumulovaného spektra za celou dobu měření viz Obrázek 10.



Obrázek 10 Náhled spekter v programu PEIView. (zdroj vlastní)

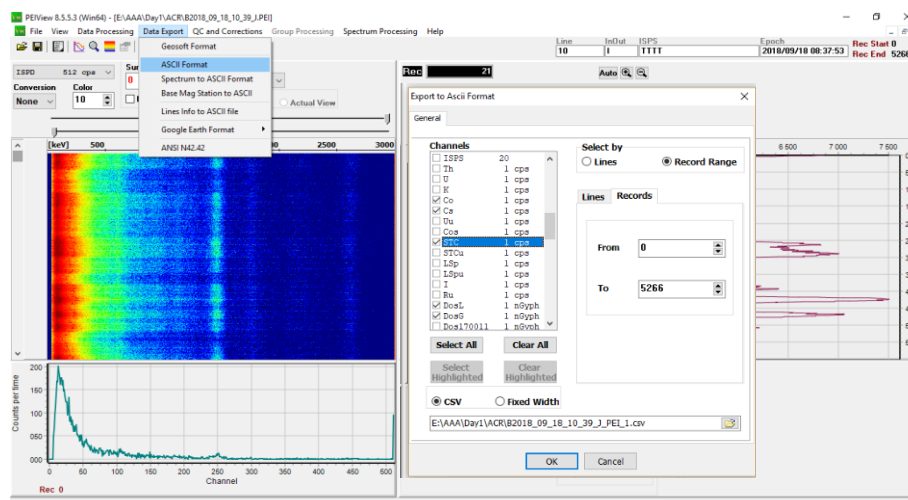
Další z možností je zobrazení barevného náhledu průběhu spekter viz Obrázek 11. U každého z použitých zobrazení monitorovaných veličin je možné postupným prohlížením zjistit případné anomálie nebo důležité informace, například nejvyšší hodnoty dávkového příkonu, atp.



Obrázek 11 Barevný náhled průběhu spekter. (zdroj vlastní)

5.2.4 Export dat

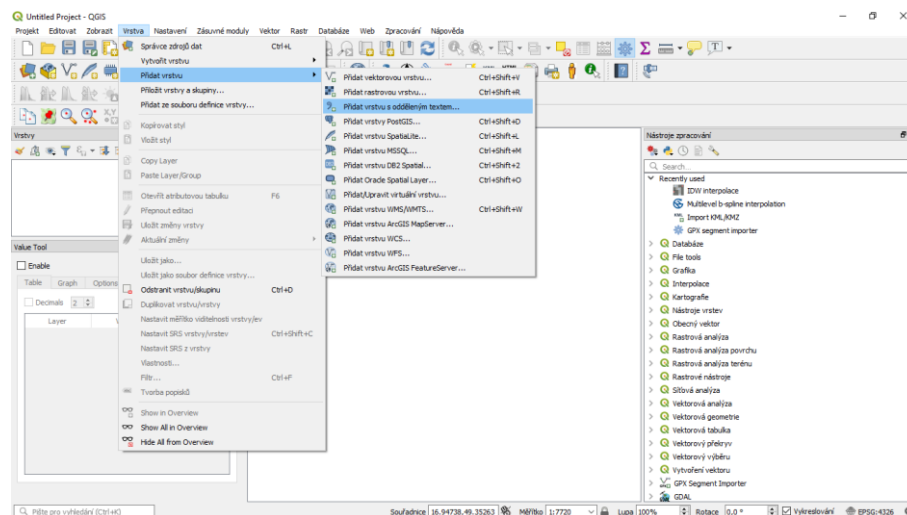
Kliknout na záložku **Data Export**, zvolit **ASCII Format** viz Obrázek 12. V otevřeném dialogovém okně v záložce **Channels** zvolit veličiny, které budou převedeny do souboru k dalšímu zpracování. Pro zrychlení postupu je doporučenou volbou vybrat vše stiskem tlačítka **Select All**. I při zpracování velkých datových souborů je export velice rychlý a při volbě všech veličin odpadá následné opakování při požadavku na rozšíření parametrů již exportovaného souboru.



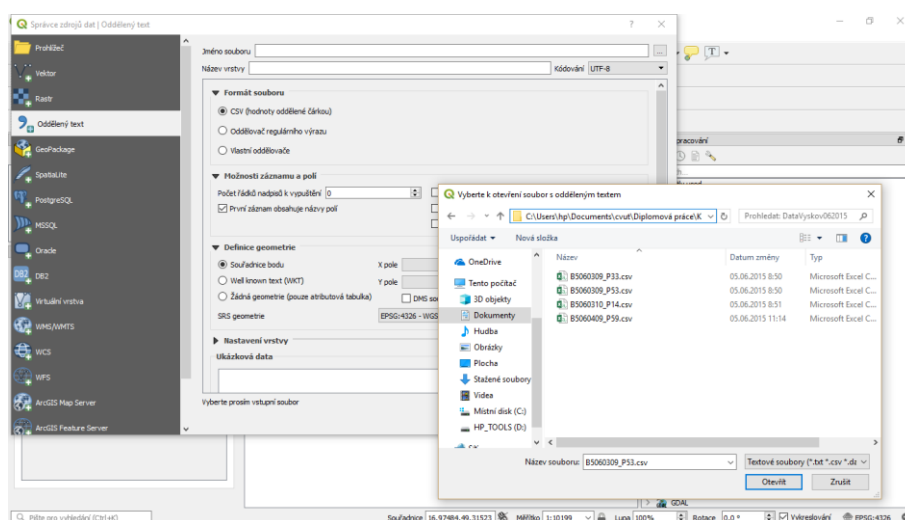
Obrázek 12 Export dat do formátu ASCII. (zdroj vlastní)

5.2.5 Import dat, zpracování a zobrazení

Dvojklikem na ikonu spustit program Q GIS. Po spuštění programu spustit **Nástroje zpracování**, kdy v záložce **Nástroje** zvolit nabídku **Sada nástrojů**, nebo použít klávesovou zkratku **Ctrl+Alt+T**. Po té v záložce **Projekt** vybrat nabídku **Nové** pro vytvoření nového projektu. V novém projektu otevřít připravený soubor, kdy je zapotřebí v záložce **Vrstva** zvolit **Přidat vrstvu** a následně **Přidat vrstvu s odděleným textem** viz Obrázek 13 a Obrázek 14.

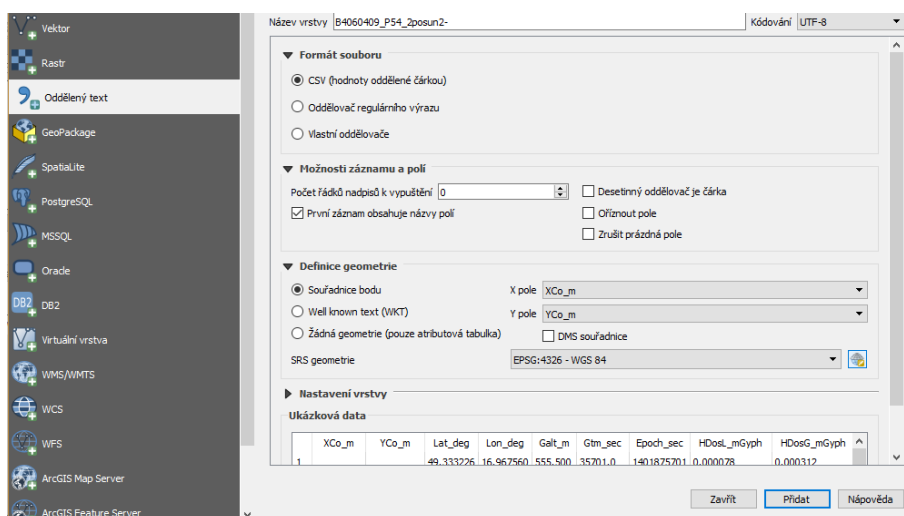


Obrázek 13 Import datového souboru do programu Q GIS. (zdroj vlastní)

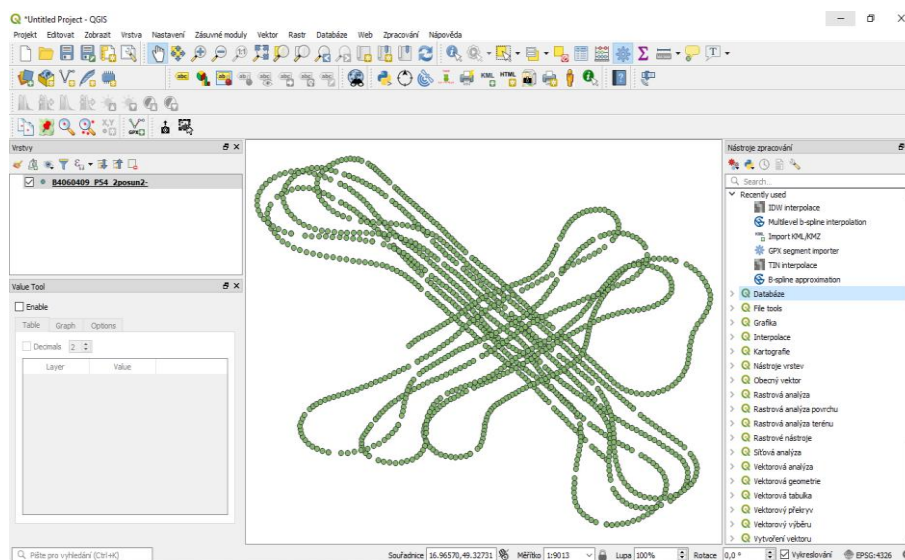


Obrázek 14 Import datového souboru do programu Q GIS. (zdroj vlastní)

V nastavení souboru je důležité vybrat sloupce se souřadnicemi a správně přiřadit k ose X sloupec **XCo_m** a ose Y sloupec **YCo_m** viz Obrázek 15.



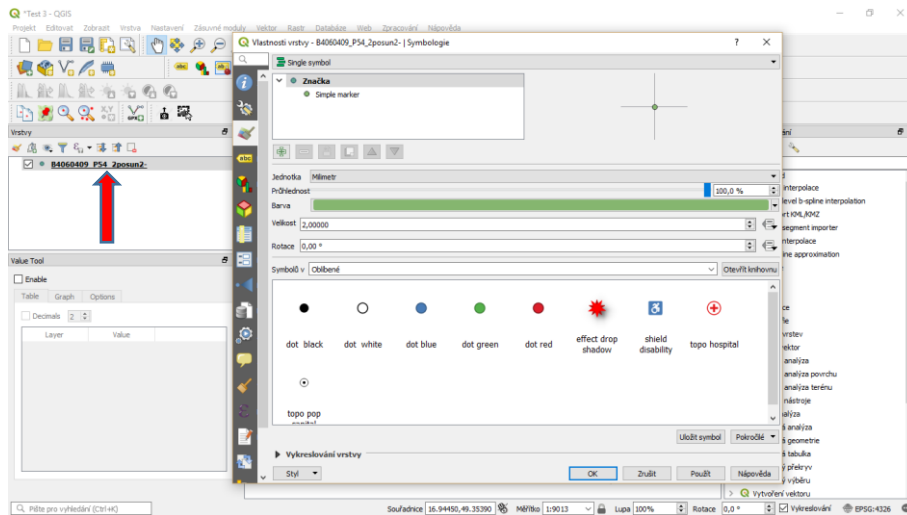
Obrázek 15 Náhled nastavení před importem souboru v Q GIS. (zdroj vlastní)



Obrázek 16 Náhled vrstvy s body měření v programu Q GIS. (zdroj vlastní)

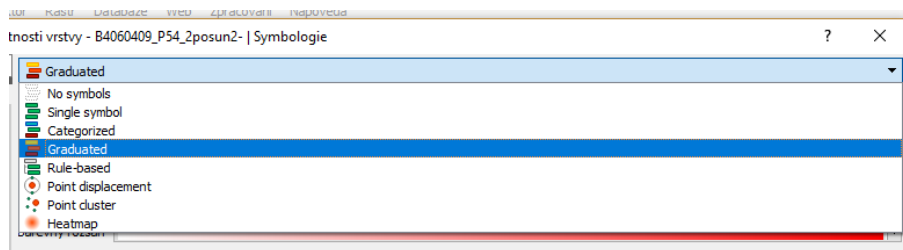
Po načtení souboru se otevře dialogové okno s náhledem vrstvy v předdefinovaném nastavení, viz Obrázek 16.

Pro další práci se zvolenou vrstvou otevřít nabídku **Vlastnosti vrstvy** dvojklikem na soubor zobrazený v záložce **Vrstva**. Poté je zobrazeno okno, kde je možné editovat vlastnosti, viz Obrázek 17.

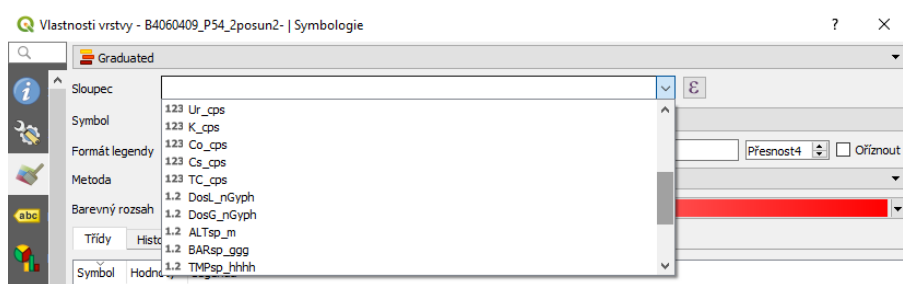


Obrázek 17 Práce s datovou vrstvou v programu Q GIS. (zdroj vlastní)

V zobrazeném okně vybrat **Graduated** viz Obrázek 18 a v nabídce **Sloupec** zvolit **DosG_nGyph** viz Obrázek 19.

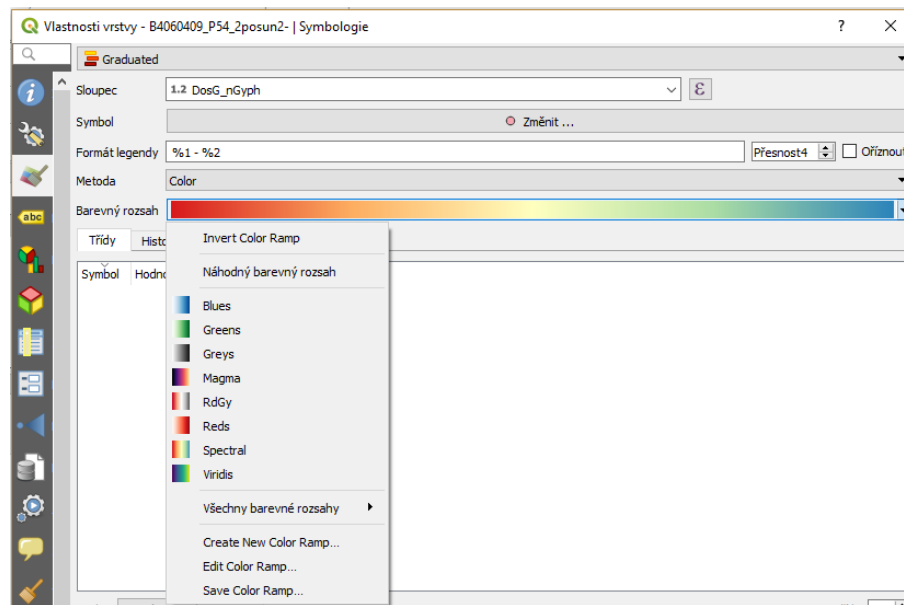


Obrázek 18 Nastavení vlastností vrstvy v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



Obrázek 19 Výběr veličiny pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS. (zdroj vlastní)

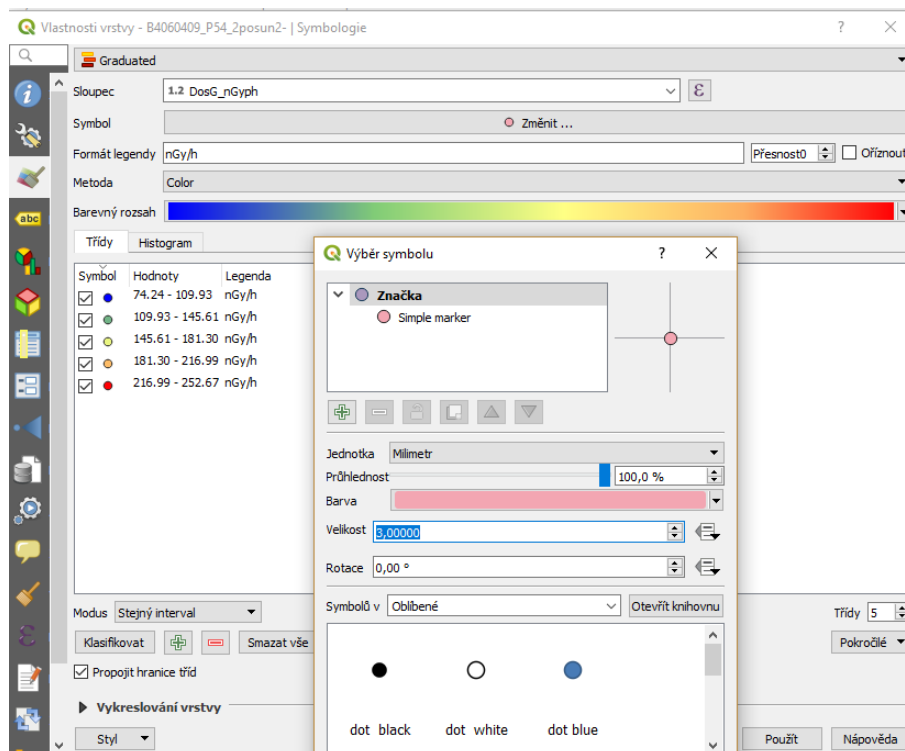
Pro volbu barevné škály je možné zvolit buď vlastní rozsah, nebo vybrat



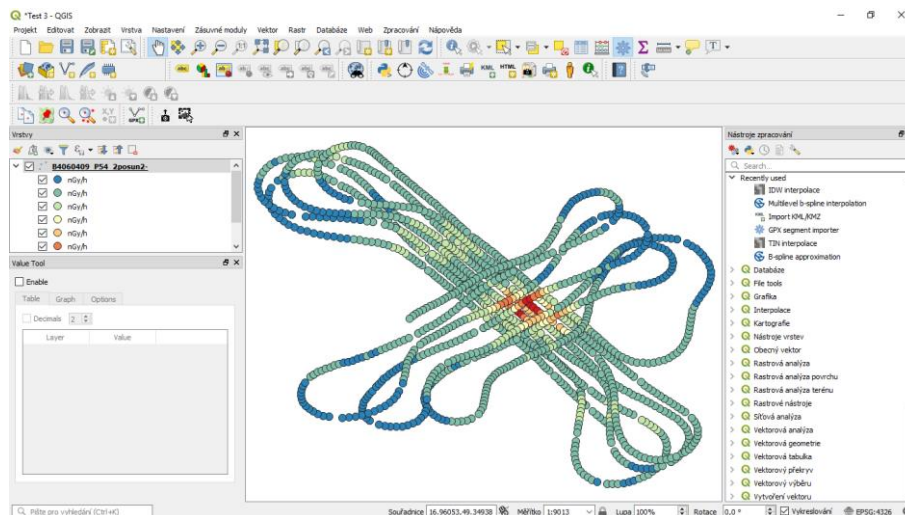
Obrázek 20 Výběr barevného rozsahu pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS.
(zdroj vlastní)

předdefinovaný rozsah **Spectral** viz Obrázek 20. Jelikož je v rozsahu **Spectral** pro nejnižší hodnoty nastavena červená a pro nejvyšší modrá lze stisknutím nabídky **Invert Color Ramp** tento rozsah obrátit.

Z dalších parametrů je možné nastavit velikost a tvar zobrazovaného bodu v nabídce Symbol, počet tříd se nastaví v nabídce **Třídy** a potvrdí stiskem tlačítka **Klasifikovat**. V nabídce **Modus** lze upravit rozsahy hodnot pro jednotlivé klasifikované třídy. Po potvrzení nabídky je zobrazena vrstva s body měření ve zvolené barevné škále viz Obrázek 22.



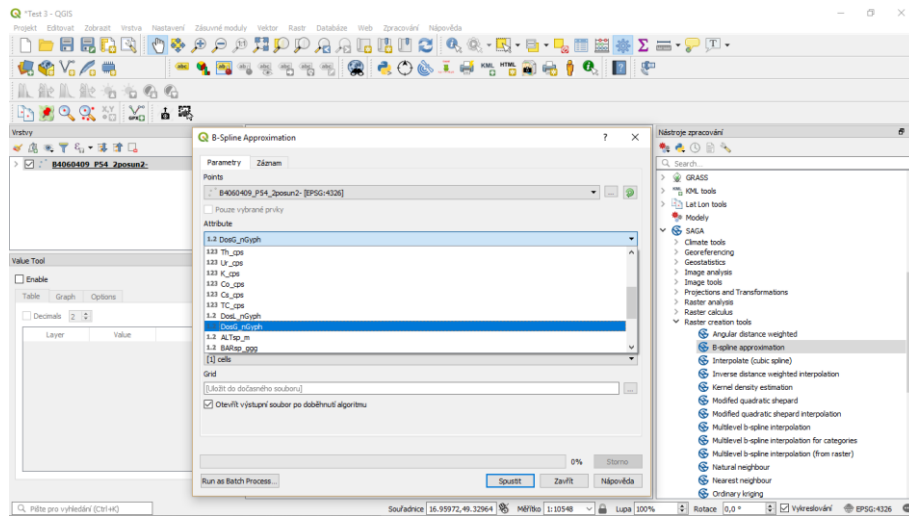
Obrázek 21 Nastavení dalších parametrů pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



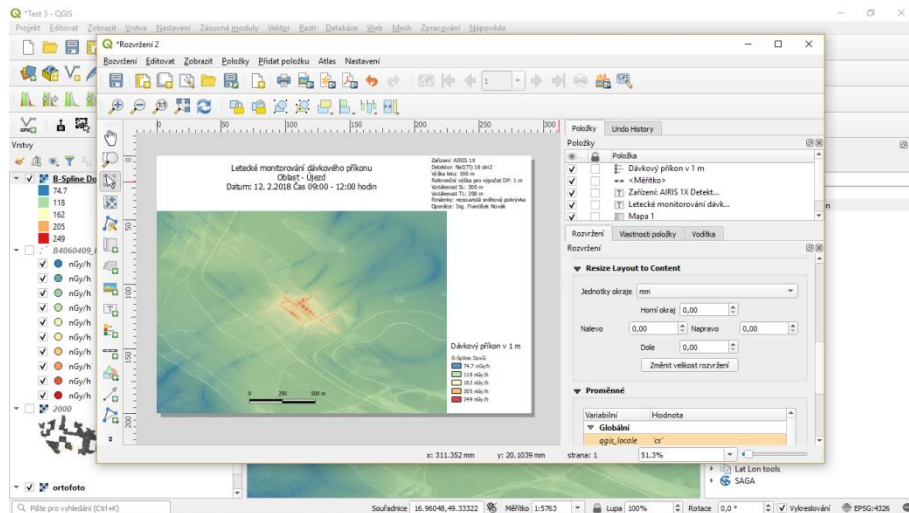
Obrázek 22 Zobrazení bodů měření ve vrstvě v programu Q GIS. (zdroj vlastní)

V případě, kdy se jedná o měření plošné kontaminace, nebo jsou bodové výstupy nereprezentativní, je dalším postupem proveden statistický výpočet hodnot pro celý polygon měření. V okně Nástroje zpracování v záložce Saga

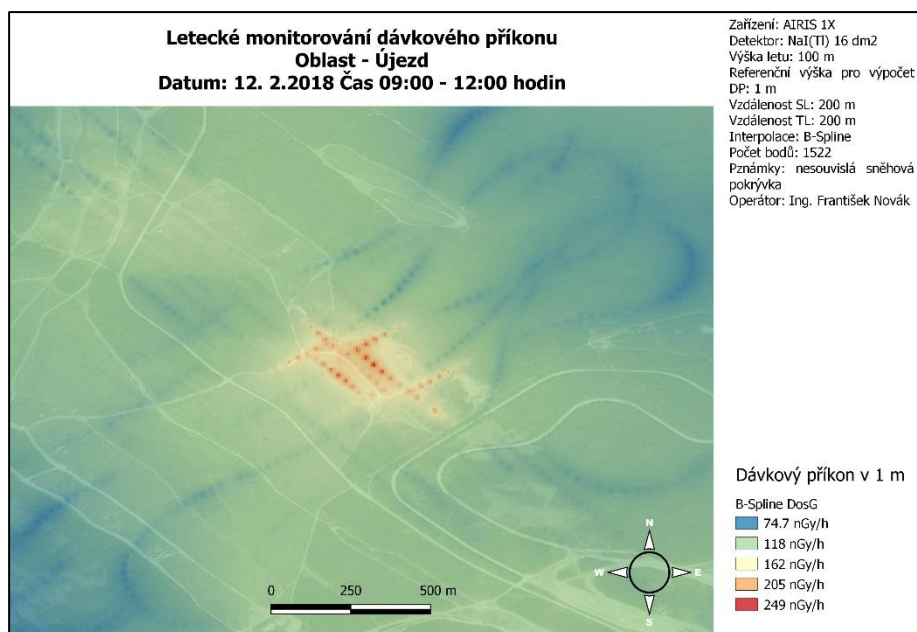
kliknout na nabídku **Raster creation tools** a vybrat **B-Spline Aproximation**.
V zobrazeném okně zadat požadované parametry.



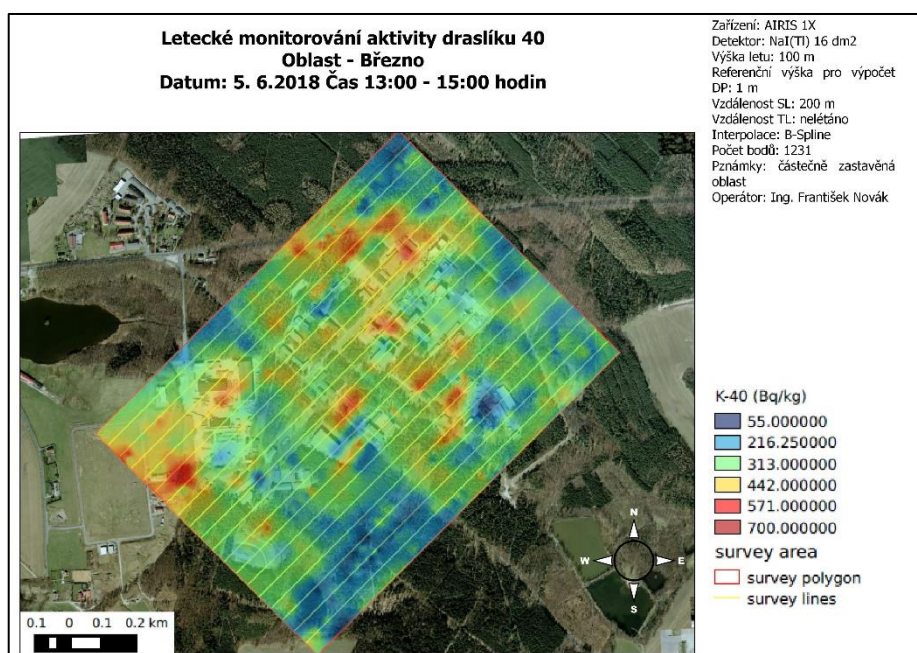
Obrázek 23 Nastavení B-Spline aproximace v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



Obrázek 24 Úprava výstupu pro tisk a export v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



Obrázek 25 Příklad zpracovaného výstupu v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



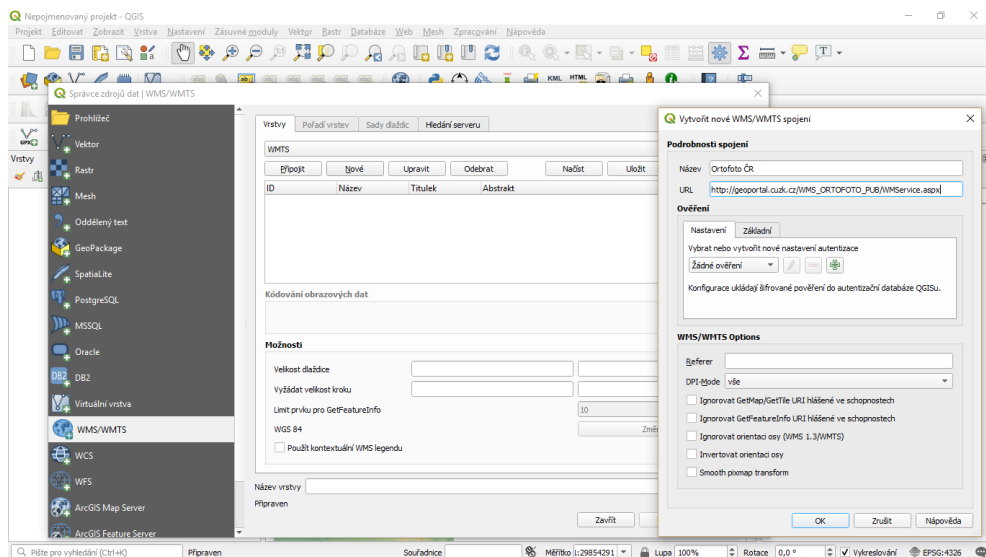
Obrázek 26 Příklad zpracovaného výstupu v programu Q GIS. (zdroj SÚRO, v.v.i.)

5.2.6 Online mapová podpora

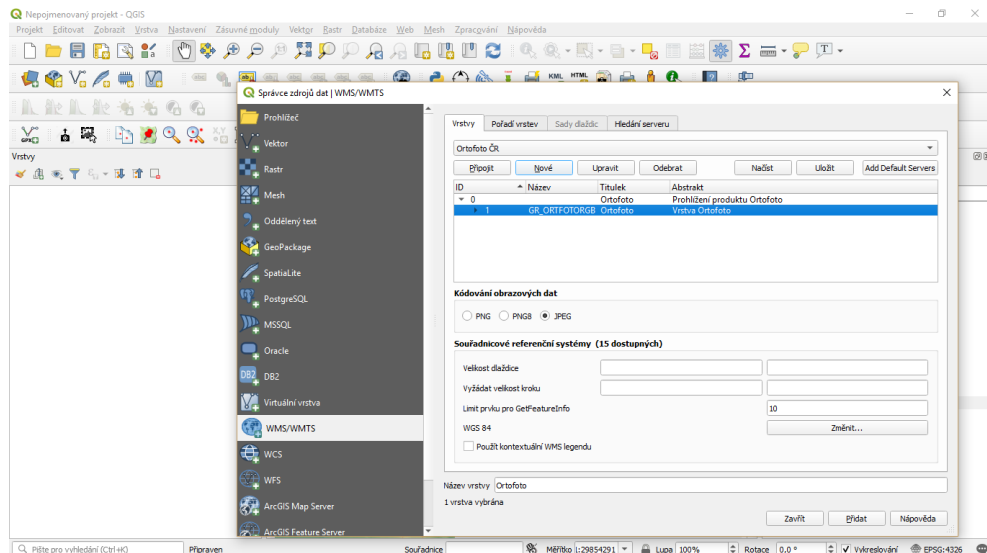
Pro zobrazení výstupů měření nad mapovým podkladem lze využít dostupných datových služeb několika internetových poskytovatelů. Pro mapy území ČR je dostupná oficiální mapová podpora poskytovaná přes internetové

rozhraní pro přístup k prostorovým datům pořizovaným a aktualizovaným v gesci ČÚZK. Tento portál poskytuje on-line prohlížečí služby ve formě WMS (Web Map Services), WMTS (Web Map Tile Services) podle standardu Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC) a prohlížečí služby poskytované technologií Esri ArcGIS Server, a to včetně tzv. IMAGE služeb určených k zobrazování výškopisných dat. Tyto služby jsou poskytovány zdarma a bez nutnosti registrace. Podmínky užití jsou uvedeny v metadatech každé služby [19].

V programu Q GIS v záložce **Vrstva** zvolit **Přidat vrstvu** a pak potvrdit nabídku **Přidat WMS/WMTS vrstvu**. Po otevření dialogového okna stisknout tlačítko **Nové** a vyplnit položku **Název** a **URL**. Položku **URL** doplnit dle informací poskytovatele, v tomto případě Prohlížečí služba WMS – Ortofoto z nabídky Geoportálu ČÚZK viz Obrázek 27, případně jinou vhodnou mapou. Příklady mapových podkladů WMS jsou uvedeny v přílohové části práce v Tabulce 3.



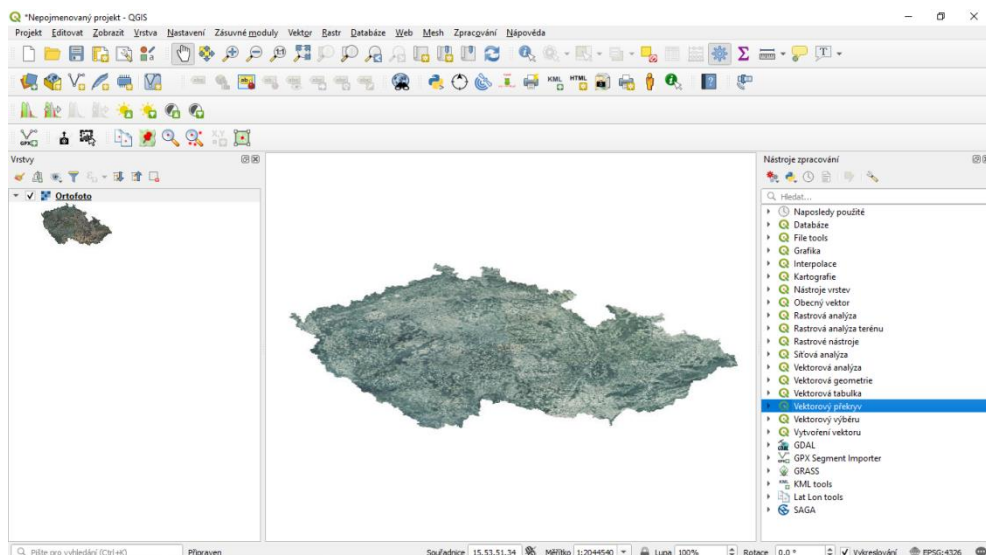
Obrázek 27 Nastavení prohlížečí služby WMS v programu Q GIS. (zdroj vlastní)



Obrázek 28 Připojení prohlížečící služby WMS v programu Q GIS. (zdroj vlastní)

Pro potvrzení nového spojení stisknout **OK**. Poté dojde k návratu do hlavní nabídky vrstvy. Pro připojení ke službě a výběru konkrétních vrstev stisknout **Připojit**, vybrat požadovanou vrstvu a stisknout tlačítko **Přidat**, viz Obrázek 28.

Vrstva je pak automaticky otevřena v novém projektu Q GIS viz Obrázek 29.

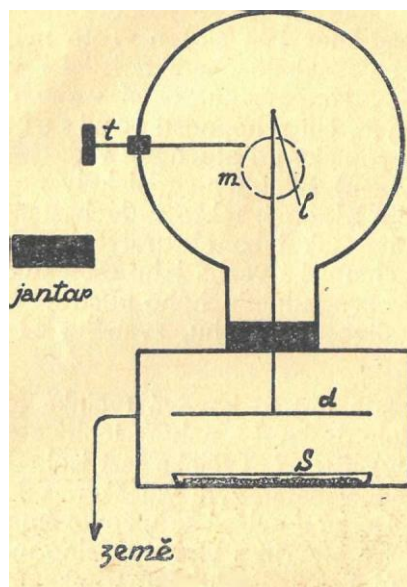


Obrázek 29 Zobrazení vrstvy WMS v programu Q GIS (zdroj vlastní)

6 DISKUZE

Stejně jako ve své bakalářské práci, tak i zde bych chtěl vzdát hold člověku, který se aktivně podílel na výzkumu a popularizaci radiologie, vědnímu oboru, který byl v jeho době na počátku a teprve čekal na postupné odhalování mnoha faktů a zákonitostí. V Běhounkových odborných knihách je používán natolik popisný styl, který dokáže nejen zaujmout, ale také předat důležité informace pro správné pochopení řešené problematiky. Při pročitání jeho několika publikací jsem si uvědomil, jak důležitá je volba vhodné formy prezentace výstupů odborné práce ve vztahu k auditoriu a proto jsem do části diskuse zařadil jeden z úryvků jeho knihy.

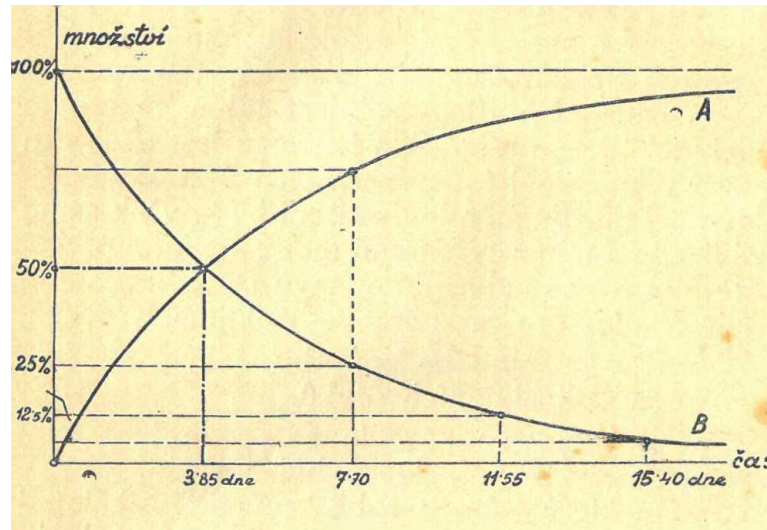
„Abychom pochopili, jakým způsobem taková proměna jednoho radioaktivního prvku v druhý se děje, sledujme určitý případ. Především však nutno se zmíniti o prostředku, který nám dovoluje tuto proměnu radioaktivních prvků sledovati. Řekli jsme již při popisu prací pí Curieové, že se řídila při izolaci neznámého prvku měřením intenzity Bequerelových paprsků, které prováděla při odloučení každé jednoduché součásti, z nichž smolinec jest složen. Toto měření pak dalo se na základě charakteristické vlastnosti Bequerelových paprsků, činiti vzduch elektricky vodivým, čili schopnosti ionisační. Becquerelovy paprsky při průchodu vzduchem (nebo jiným plynem) štěpí jeho molekuly na elektrony kladné a záporné, takže vzduch stane se vodivým právě tak jako elektrolyt, v němž byla uvolněna chemická vazba jeho molekul. V praxi užíváme velice jednoduchého přístroje ku zjištění této vodivosti vzduchu, zvaného elektroskop.



Obrázek 30 Schématický nákres elektroskopu. [20]

V podstatě jest to kovová tyčinka (obr. 30.), nesoucí dole desku d a nahoře lehký aluminiový (nebo zlatý) lístek l . Tyčinka jest izolována ebonitovým nebo jantarovým válečkem od kovového obalu. Deska d nalézá se v kovovém válci, jehož plášť lze otevřít a vložit na dno misku, obsahující sůl s radioaktivním prokem. Pomocí tyčinky t (rovněž izolované od obalu) lze udělit tyčince (a tím i lístku l a desce d) určitý náboj, kdežto obal jest spojen se zemí, jejíž napětí pokládáme za rovno nule. Máme tedy nyní elektrické pole mezi tyčinkou, lístkem a deskou s jedné strany a obalem se strany druhé. Lístek l jest při tom vychýlen z původní rovnovážné polohy, má stejné náboj jako tyčinka, která jej nese, a jsou tedy jí odpuzován. Jeho polohu sledujeme pomocí drobnohledu m , který má uvnitř dělenou škálu, na níž odečteme dílek, zaujatý lístkem. Pokud není v elektroskopu látky činící vzduch elektricky vodivým, podrží lístek velmi dlouho svoji polohu, ježto neionisovaný vzduch jest výborným izolátorem. Jakmile však vložíme do elektroskopu uzavřeného, která zase je způsobena Bequerelovým zářením při proměně emanace vydávaným, a sestrojíme-li čáru (grafické znázornění) udávající, jak se měnila tato intenzita proudu s časem (při čemž vycházíme v počítání času od okamžiku, kdy jsme emanaci ve válci uzavřeli), dostaneme křivku znázorněnou křivkou B obrázku 31. Jest to křivka, která v nekonečnu splývá s osou, na níž jsme nanesli čas; křivka udává nám ionisaci, tato ale jest přímo úměrná onomu množství atomů emanace, které se právě

nalézá ve stavu proměny. Matematický rozbor této křivky, který nelze zde podati, vede k důležitému zákonu, určujícímu proměnu radioaktivních prvků, který zní: máme-li libovolné množství nějakého radioaktivního prvku, potom z tohoto množství se za určitou dobu promění určitá část (anebo určité procento) všech přítomných atomů. Vidíme tedy, že množství proměňujících se atomů jest vždy úměrnou celkovému počtu všech



Obrázek 31 Prezentace výstupů měření [20]

přítomných, dosud neproměněných atomů onoho prvku.“ [20]

Důvodů proč začít oblast optimalizace a standardizace postupu zpracování a využití výstupů z leteckého monitorování radioaktivní kontaminace pro účely AČR citací z Běhounkovy knihy je hned několik. Na necelých dvou stranách textu popisuje vše podstatné a navíc jazykem poutavým, ale nevědeckým. Jeho způsob prezentace výstupu práce a doprovodný popis v textu jednoznačně vystihuje uvedenou problematiku. V celé kapitole 5 Výsledky byly analyzovány veškeré dostupné podklady, především s cílem maximální optimalizace postupu, při zachování vysoké kvality. Zpracovaný návrh metodiky toto respektuje.

Z úryvku knihy akademika Běhounka je patrné, jakým způsobem docházelo k postupnému odhalování postupů detekce IZ, které má dnes za sebou téměř jedno století objevů a neustále prochází dalším vývojem. V relativně nedávné

historii byla tato oblast na mezinárodní úrovni ovlivněna několika zásadními událostmi. Prvním z nich je založení Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) v roce 1957. Dalším milníkem byl rok 1976, kdy se Mezinárodní zdravotnická organizace (WHO) a IAEA zasloužili o vznik mezinárodní sítě referenčních laboratoří Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDL) s cílem zabezpečit kalibraci detektorů primárně používaných ve zdravotnictví a při sterilizaci potravin. Další zlomový okamžik byl 26. dubna 1986, kdy po černobylské havárii došlo k narušení do té doby vesměs pozitivního přístupu veřejnosti k mírovému využívání jaderné energie. Prakticky tato havárie znamenala také zlomový okamžik v dozimetrii IZ, kdy nárazově vzrostla poptávka po vývoji a výrobě detektorů IZ [21].

Odůvodnění potřeby leteckých detekčních systémů lze nalézt v nedávné historii radiačních havárií, kdy tyto systémy tvořily a ve vztahu ke globálním následkům černobylské i fukušimské havárie dodnes tvoří zásadní složku v systému monitorování radiační situace. Druhým a neméně důležitým argumentem je obsah schválené bezpečnostní strategie ČR, která na základě provedené analýzy hrozeb vyjmenovává konkrétní hrozby. Mezi hrozby ve strategii přímo citované patří šíření zbraní hromadného ničení a jejich nosičů a terorismus. Logickým argumentem je taktéž zabezpečení důležité informační podpory pozemním průzkumným týmům pro usměrňování jejich činnosti s cílem zvýšit efektivitu a zajistit maximální úroveň radiační ochrany.

Konkrétními postupy jsem se již zabýval ve své bakalářské práci, proto zde jen obecně shrnu podstatné zásady. Opěrným bodem bezchybného postupu je správná, periodicky ověřovaná a především funkční metodika pro všechny činnosti související s detekcí IZ s použitím leteckých prostředků. Hlavním vodítkem přesně definovaných postupů je požadavek na reprezentativnost a vysokou kvalitu výstupů měření. Dalším hlediskem musí být implementace

radiační ochrany osob provádějících průzkum a také tlak na maximální efektivitu v důsledku poměrně vysoké ceny letové hodiny. Zpracované metodiky musí vycházet ze specifik pro použití konkrétního přístroje nebo systému a při tom respektovat omezení plynoucí z jeho použití, omezení daných možnostmi obsluhy a legislativních restrikcí.

V digitálním světě dochází k exponenciálnímu nárůstu jak v množství, tak i ve velikosti a detailech elektronických informací. Odhad McKinsey Global Institutu hovoří o 40% nárůstu ročně. Tento jev se týká i výstupů leteckého monitorování radioaktivní kontaminace. Je to logický důsledek modernizace a pokroku v oblasti výpočetní techniky, detekčních systémů a systémů pro přenos informací. Zjednodušeně se dá říci, že motivací a důvodem k tomuto je snaha maximálně využít veškeré nabízené možnosti. Cílem by ale spíše mělo být udržení rovnováhy mezi cenou a reálným přínosem, nebo přidanou hodnotou těchto dalších a objemnějších dat. V některých případech je zvýšení kvality naprosto zřetelné, například při nahrazení černobílé kamery kamerou barevnou, navíc v rozlišení HD [9].

Tento nárůst se zákonitě odráží v nutnosti propracovaného datového managementu. Datový management je nutné ošetřit již na základní úrovni u operátora zařízení, který musí mít vhodně nastavená oprávnění k přístupu a případné editaci dat. Jestliže prezentovaná data mají splňovat alespoň základní požadavky na hodnověrnost, je nepostradatelnou součástí procesu manipulace se získanými daty omezení a jasné definování osob, které mají k datům přístup a mohou s nimi nakládat. V případě obsluhy zařízení AIRIS je počet osob omezen na příslušníky skupiny monitorování a leteckého průzkumu a navíc bez aplikačního programového vybavení dodaného výrobcem zařízení (program PEIView) je téměř nemožné data zobrazit, editovat a převést do volně editovatelného souboru.

Proces zpracování dat musí být vždy přizpůsoben několika faktorům, které jej zásadně limitují. Jedním z nejdůležitějších omezení je čas, který je pro zpracování zapotřebí. V případě, kdy mají podklady z měření zásadní vliv na aplikaci neodkladných ochranných opatření, je nutné uvažovat v širším kontextu, a nezaměřit pozornost pouze čas potřebný pro zpracování dat a jejich prezentaci, ale kalkulovat i s následnou přípravou návrhů řešení a opatření, výběr optimální varianty a následnou realizaci odsouhlasených opatření. Dalším omezením je potřeba speciálního vybavení pro zpracování a prezentaci dat. Množství naměřených hodnot a veličin není reálné zpracovávat analogovým způsobem pouze s využitím tužky a poznámkového bloku. Nelze také opomenout kvalifikaci a odbornou erudici osoby operátora nebo skupiny, která jednotlivé dílčí postupy provádí.

Na tomto místě bych taktéž rád poukázal na elementární funkci času v procesu zpracování dat z leteckého monitorování radiační situace. Jistou roli při zpracování dat má časový horizont, do kdy mají být data vyhodnocena nebo prezentována, tak aby ještě byla relevantní, nebo aby bylo možné včas aplikovat neodkladná ochranná opatření. Ale čas je především zásadním referenčním údajem prováděných měření a to hned v několika rovinách. V první řadě se jedná o časový údaj ve struktuře dat z detekce, který jednoznačně identifikuje, kdy bylo měření provedeno. Dalším neméně důležitým údajem je čas radiační nehody, havárie, provedeného jaderného výbuchu, nebo také datum produkce hledaného zdroje IZ. Tento časový údaj může být použit k výpočtům aktivit na monitorovaném území, ale také jej lze dosadit jako referenční čas výpočtu některých dozimetrických veličin.

V praxi se lze setkat s jistou nejednotností, jakým způsobem je datum a čas zaznamenáván nebo prezentován. V případech, kdy se událost týká jediného státu, je většinou použit lokálně zaužívaný systém, který je srozumitelný

místnímu obyvatelstvu. Při událostech, kdy je ohroženo nebo zasaženo více států je s ohledem na různá časová pásma nebo nejednotné používání letního času nutná bližší specifikace. Někdy může situaci zkomplikovat také rozdílný způsob zaužívaného digitálního zobrazení 12 nebo 24 hodin. Často se proto přistupuje ke korekci času na čas Universal Time Coordinated (UTC) nebo Greenwiche Mean Time (GMT) označovaný v některých bezpečnostních složkách jako ZULU. Jelikož je rozdíl mezi nimi minimální (do 1 sekundy) lze je pro účely monitorování radiační situace považovat za zaměnitelné [22].

Podstatnou úlohu času je zapotřebí vnímat také při práci s detekčními systémy a jejich zdrojem časového údaje pro datové reference. Někdy bývá použit jako zdroj časového údaje systémový čas z používaného operačního systému počítače, ale běžnější je implementace časového údaje z GPS. Další z možných úskalí časové reference měřených dat je jejich skutečná přesnost a vzájemná provázanost. Jedná se o to, že automatizovaný proces měření zpracování a ukládání dat má pevně daný algoritmus a stanovené priority v prováděných procesech. Ty mohou být ale narušeny výpadkem signálu GPS, nebo závadou na některé z detekčních jednotek a proces časové synchronizace tak může být narušen. Již při posunu v rámci několika sekund budou data zatížena velkou chybou, která naruší statisticky věrohodné zpracování. Pro ilustraci uvedu příklad, kdy je rychlost letu $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a při použité frekvenci monitorování 1 sekunda znamená posun času ve vztahu k datům o 2 sekundy vzdálenost přibližně 55,5 metru. Tyto posuny lze odhalit při průzkumu prostoru prováděném po letových linkách, které jsou navzájem kolmé a existují tak průsečky trasy, kde na totožném místě, nebo v jeho těsné blízkosti proběhlo měření dvakrát pouze v jiném čase. Při grafickém, nejlépe barevně diferencovaném zobrazení je pak patrný atypický rozdíl hodnot v blízko ležících bodech měření. Při posunu dat oproti času jedním nebo druhým směrem lze pozorovat rozostření, nebo zaostření zobrazení. Nastavení funkce systému a jeho

nakládání s časovými údaji je nejlépe prakticky ověřovat v rámci výcviku. Podoba časového údaje v rámci ukládaných dat může být v podobě tzv. Epoch time systému GPS, což je vyjádření času, které má svoje vlastní pravidla a přepočítání na běžně používané vyjádření data a času je lépe provést pomocí speciální aplikace, nebo nastavením výpočtu pomocí vzorce v běžně používaných tabulkových editorech [23].

Odborně zpracovaná a vyhodnocená data z měření dozimetrických veličin v podobě prezentace s jednou nebo více vrstvami zobrazení je vhodný způsob, jak názorně a rychle sdílet aktuální přehled o situaci v monitorované oblasti. Pro tvůrce podkladů je důležité vědět, kdo bude adresátem prezentace nebo dílčího výstupu. Popisy podkladů a připravovaný komentář se bude lišit, v případě určení pro krizový management, odborníky v oboru radiační bezpečnost nebo na pro masmédiá. Pro odbornou veřejnost není zapotřebí soustředit se na detaily v popisech metod, principů, a lze se tak zaměřit na klíčová fakta a podrobněji se věnovat relevanci provedeného měření a okolnostem mise. Naopak u laické veřejnosti, je důležité citlivě volit způsob, ale například i načasování, tak aby nedošlo ke zbytečné panice doprovázené iracionálním chováním, které může zásadně narušit prováděná nebo plánovaná ochranná opatření.

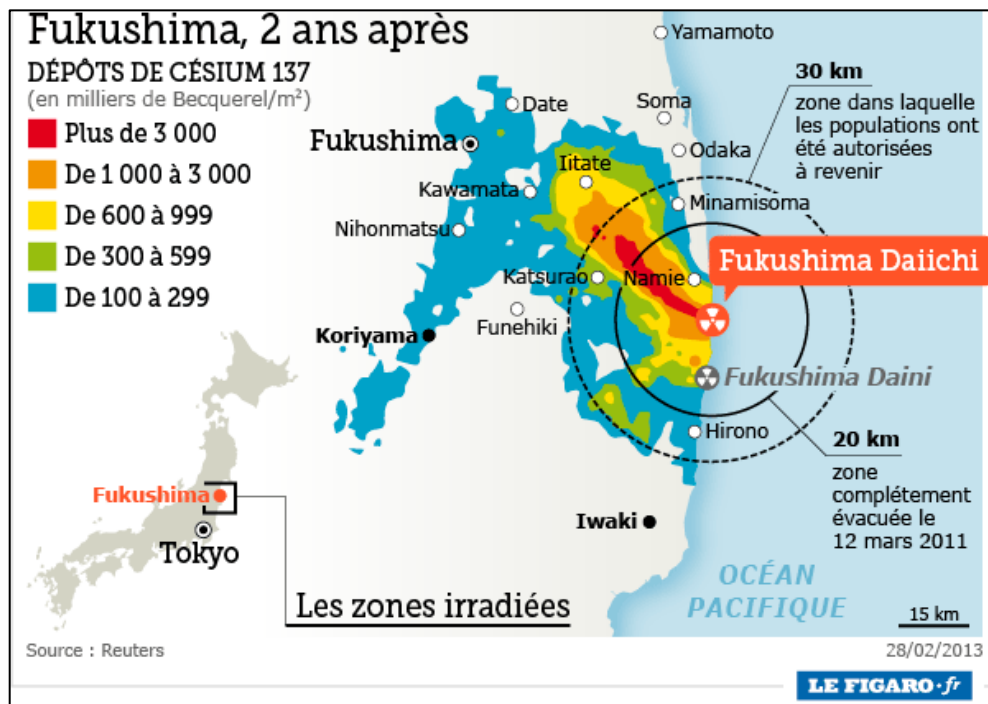
Výhradní postavení ve skupině „téměř“ laické veřejnosti mají členové a řídicí orgány krizového řízení s rozhodovací pravomocí. Prezentace cílená na tuto skupinu osob, musí přehledně shrnovat fakta s návrhy opatření a potenciálními scénáři při jejich aplikaci. Prezentace musí maximálně objektivně, s racionálním pohledem na událost. Zpracované návrhy musí být v souladu s platným legislativním rámcem. Návrh by měl obsahovat několik variant se stručným zhodnocením výhod, nevýhod a případných dopadů při jejich akceptaci.

Na níže uvedených prezentacích z různých zdrojů jsem se pokusil ilustrovat nejednotnost v přístupu jednak zobrazení, ale také v popisu zobrazení. Některé příklady tak není možné bez dalších doplňujících informací správně interpretovat.



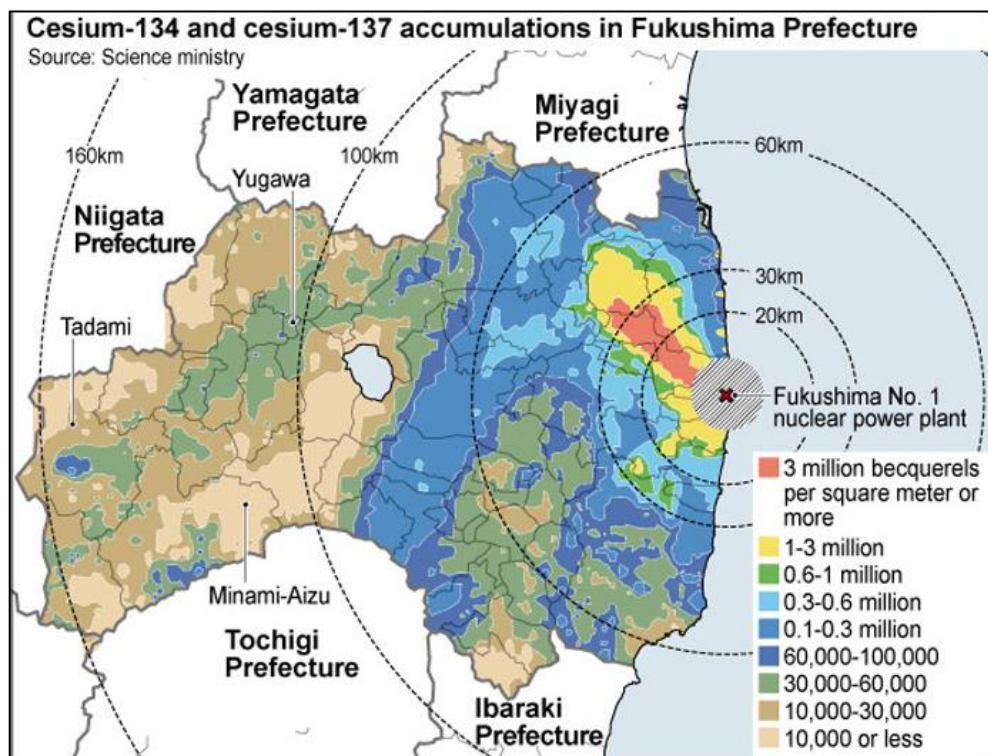
Obrázek 32 Prezentace výstupů kontaminace po havárii v jaderné elektrárně Fukušima. [33]

Z popisu Obrázek 32 nelze identifikovat základní údaje například datum, zda se jedná o prezentaci reálně naměřených hodnot, nebo výstup predikce na základě zadaných parametrů události. Jednotka RAD je dnes používána zřídka a prezentovat oblast spadu na mořské hladině, navíc s několika denní perspektivou, postrádá význam. Také absence měřítka mapy znesnadňuje orientaci a ztěžuje představu o rozsahu možné kontaminace.



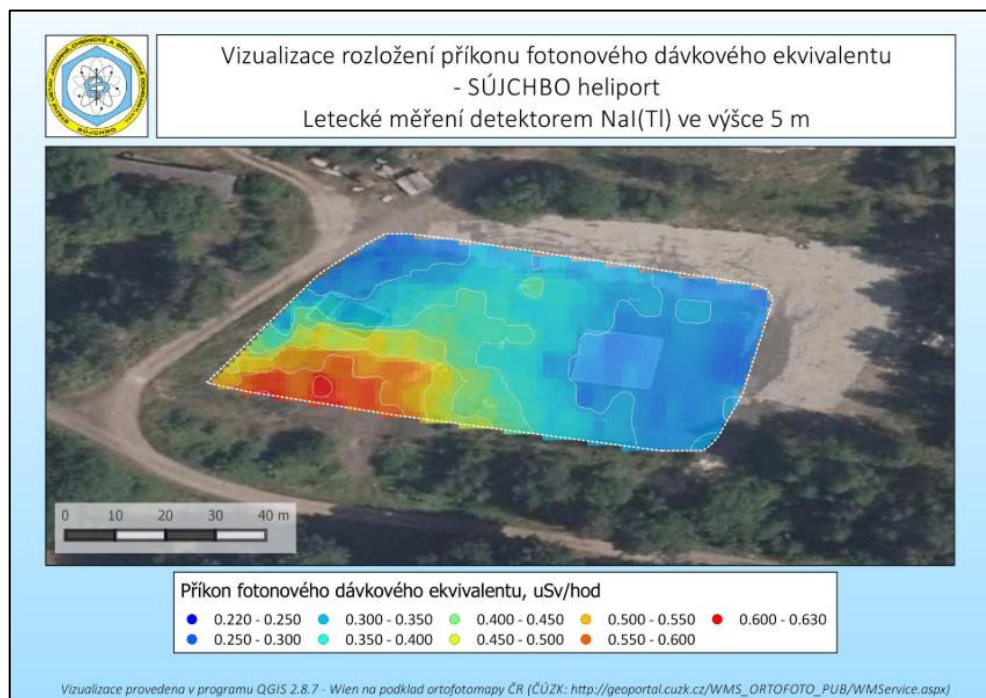
Obrázek 33 Presentace depozice cesia 2 roky po havárii Fukušima. [35]

Obrázek 34 v zobrazených údajích uvádí, že prezentuje výstupy z monitorování kontaminace cesia 134 a 137.



Obrázek 34 Presentace výstupů po monitorování cesia 137 a 134 po havárii v japonské Fukušimě. (zdroj <https://www.global2000.at/en/node/5407>)

Z uvedené legendy však nelze zjistit kdy, a jak toto monitorování bylo prováděno. Při porovnání s předchozím snímkem, řešícím taktéž havárii jaderné elektrárny v japonské prefektuře Fukušima je patrný velký rozdíl v poloze kontaminované oblasti ve vztahu k místu události. V popisu je použita jednotka plošné aktivity Becquerel na čtvereční metr ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$), ale zřejmě pro zdůraznění a navození větší důležitosti směrem k laické veřejnosti jsou jednotky uváděny v tisících a milionech bez zaužívaných latinských předpon mega, giga atd. Obrázek 33 zobrazuje de facto totožnou situaci, jako Obrázek 34, což je patrné z tvaru a rozsahu kontaminované oblasti, v popisu je uvedeno, že se jedná o depozici cesia 137 s uvedenými plošnými aktivitami dva roky po havárii. Na rozdíl od předchozích prezentací je snímek opatřen měřítkem, ale chybí podkladová mapa.



Obrázek 35 Prezentace prostorového rozložení PFDE. (zdroj Certifikovaná metodika SÚJCHBO, v.v.i.)

Poslední Obrázek 35 je uveden jako příklad mapového výstupu certifikované metodiky SÚJCHBO, v.v.i. U tohoto příkladu prezentace lze předpokládat, že na rozdíl od předešlých snímků nebude součástí veřejně sdílených informací a bude doplněn dalším komentářem operátora nebo autora. Bez dalších doplňujících

informací například o datu provedeného měření ani tento snímek není vhodný k archivaci nebo sdílení.

Na výše uvedených příkladech zpracovaných a prezentovaných výstupů jsem se pokusil objasnit důležitou úlohu odborného a věcného popisu snímku, tak aby poskytl relevantní informaci a maximálně objasnil výstup provedeného měření. V případech, kdy se předpokládá, že měření budou prováděna standardizovaným postupem, například dle certifikovaných metodik, lze doporučit zpracování formalizovaných šablon, s již předpřipravenými legendami, do kterých se údaje pouze doplní nebo vloží. Benefitem takto připravených maticí je eliminace chyb a opomenutí při zadávání základních údajů. Dále také jednotně podávaný výstup adresáta nezdržuje seznamováním se s novým umístěním legendy, jejím rozsahem, používanými veličinami, jejich jednotkami a barevnou škálou.

Hlavním účelem sdílení informací je jejich včasné a pokud možno přesné předání dalším osobám nebo subjektům. Na autorovi případně zadavateli úkolu záleží jaká data či informace ke sdílení poskytne, v jaké podobě, jak a komu umožní přístup. Archivace dat musí být nastavena tak, aby byl dlouhodobě zabezpečen autorizovaný přístup uživatele k datům v originální nezměněné podobě.

Monitorování jako jedno z opatření mimořádné radiační události má být prováděno na základě předem připravené strategie. Zákon 263/2016 Sb., atomový zákon ukládá SÚJB povinnost do dvou let ode dne nabytí účinnosti tohoto zákona zpracovat národní program monitorování. Tímto programem se pak bude každý řídit po uplynutí dvou let od jeho vydání. V tomto programu je zahrnuto i letecké monitorování radiační situace. Faktická úroveň rozsahu

a způsobu předávání dat mezi jednotlivými složkami monitorování je stanovena písemnou formou v podobě smlouvy, nebo v případě AČR dohody se SÚJB [24].

Na mezinárodní úrovni je oblast mírového využívání jaderné energie potažmo jaderné bezpečnosti a radiační ochrany zastřešována mezinárodní agenturou pro atomovou energii (International Atomic Energy Agency – IAEA). Tato organizace reprezentuje nezávislou mezivládní organizací v systému OSN pro vědu a technologii, jejíž mandát je upraven stanovami. ČR je v jaderné oblasti řazena mezi rozvinuté státy, které jsou členy „Programu na podporu záruk IAEA“ (Safeguards Support Programme) [25].

IAEA v rámci své působnosti vydává mnoho standardů, zpráv a doporučení. Jedním z těchto dokumentů je obecné bezpečnostní doporučení (General Safety Guide) číslo RS-G-1.8 o monitorování zdrojů a prostředí za účelem radiační ochrany, které klade důraz na monitorování obzvláště v případě mimořádných radiačních událostí, jakožto důležitý zdroj informací pro podporu rozhodovacího procesu a oprávněnosti přijatých opatření. Mimo jiné, je zde také přímo řešena oblast možných chyb, které mohou být způsobeny technickými nepřesnostmi, nereprezentativností měření, ale také lidským selháním nebo omylem. Ačkoli chyby nelze zcela eliminovat, je cílem jejich zredukování na minimum, čehož lze dosáhnout prostřednictvím postupů zajišťujících kvalitu, pravidelným výcvikem a cvičeními [26].

Právě nastavení aplikovatelných, správných metodických postupů je důležitým krokem k získání kredibility výstupů z práce monitorovacích skupin. Na mezinárodní úrovni je rovněž důležité sdílení informací a to včetně informací z monitorování mimořádných radiačních událostí. Z tohoto důvodu se postupně na mezinárodním poli řeší přechod na jednotný formát předávání dat International Radiological Information Exchange (IRIX).

Již na přelomu roku 2003 a 2004 organizace IAEA spustila jeden z akčních plánů, jehož hlavním cílem je posílení krizové připravenosti (Emergency Preparedness and Response – EPR). Náplň akčního plánu byla rozdělena do dílčích náplňových činností tří hlavních pracovních skupin. Skupina pro komunikaci (International Communication Working Group) jejíž náplň bylo definování vhodného datasetu, vývoj příslušného XML schématu a zpracování návrhu architektury a implementace této služby do prostředí internetu. Další skupina (International Assistance Working Group) řešila podporu systému včetně například atmosférických disperzních modelů, jako podklad rozhodovacího procesu. Poslední skupina (Sustainability Working Group) která měla v gesci implementaci systému v dlouhodobém horizontu [27].

Tento formát byl vyvinut IAEA ve spolupráci s členskými státy a mezinárodními organizacemi a je koncipován pro výměnu relevantních informací v prostředí internetu s využitím značkovacího jazyka Extensible Markup Language (XML). Cílem používání společného formátu je zkrácení času potřebného k výměně informací na mezinárodní úrovni a jeho součástí je již používaný systém Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies (USIE). Níže je uveden příklad aplikace formátu IRIX na data z monitorování ve formátu XML:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
Cirix:Report ver3ion="1.0" xmlns:irix="http://www.iaea.org/2012/IRIX/Format" xmlns:
  id="http://www.iaea.org/2012/IRIX/Format/Identification" xmlns:
  loc="http://www.iaea.org/2012/IRIX/Format/Locations"
  xmlns:base="http://www.iaea.org/2012/IRIX/Format/Ba3e"
  xmlns:html="http://www.w3.org/1999/xhtml">
  <id:Identification
  <mon:Measurement3 ValidAt="2012-01-15T10:00:00Z"
    xmlns:mon="http://www.iaea.org/2012/IRIX/Format/Measurement3">
    <mon:DoseRate>
      <mon:DoseRateType
      >Gamma</mon:DoseRateType>
    <mon:MeasuringPeriod>
      <mon:StartTime>2012-01-15T09:00:00Z</mon:StartTime>
      <mon:EndTime>2012-01-15T09:00:00Z</mon:EndTime>
    </mon:MeasuringPeriod>
    <mon:ApparatusType>Xanena - Solid State Detector</mon:ApparatusType>
  <mon:Description>This dataset contains measurement data collected using a portable gamma dose rate
  meter for purposes of verifying the readings reported by the stationary detector at Fantasy NPP
  MPI.</mon:Description>
  <mon:Measurements>
    <mon:Measurement>
      <loc:Location>
        <loc:Name>Fantasy NPP Radiation Monitoring Post 1 (MPI)</loc:Name>
```

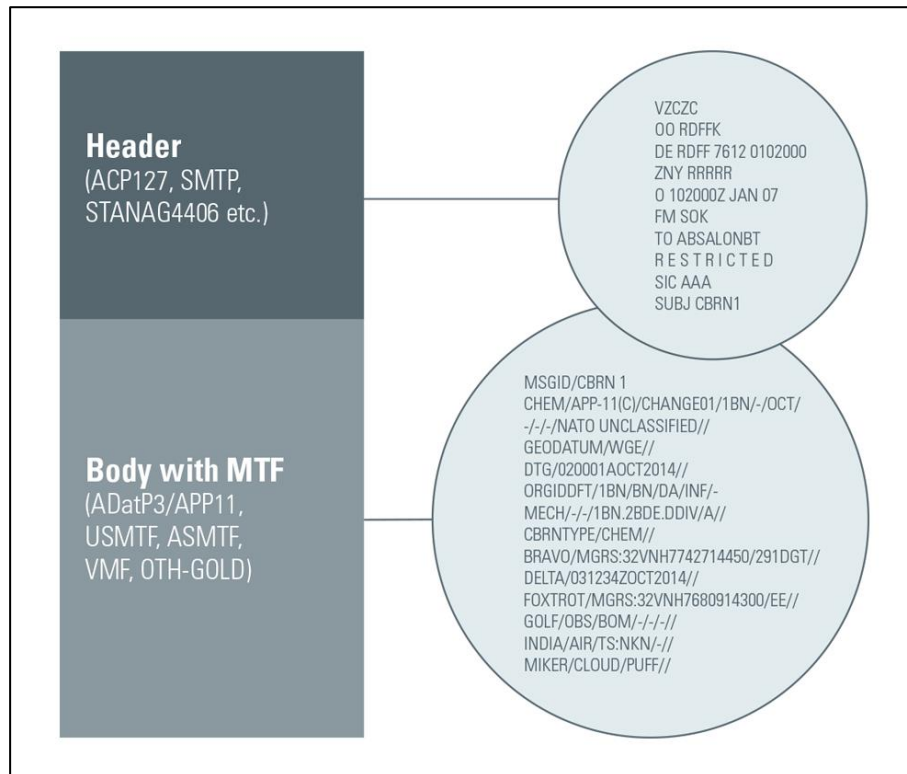
```

<loc:GeographicCoordinates>
  <loc:Latitude>6 0.403300</loc:latitude >
  <loc:Longitude>18.166602</loc:Longitude>
</loc:GeographicCoordinates>
<loc:Municipality>Fantasy Municipality</loc:Municipality>
<loc:AdministrativeUnit>Fantasy State</loc:AdministrativeUnit>
<loc:Country>SE</loc:Country>
<loc:AccuracyType>Exact Location</loc:AccuracyType>
<loc:Description>This monitoring location is located at the north-west site
boundary of the Fantasy NPP site.</loc:Description>
</loc:Location<loc:locationOffset>
  <loc:Distance Unit="m">5</loc:Distance>
  <loc: Direction Dnit="DegreesFromNorth">360</loc: Direction
</loc:locationOffset>
<mon:Value Constraint="LI" Dnit="Sv/s">5.0e-10</mon:Value>
<mon:Uncertainty Type="DI." Dnit="Sv/s">5.0e-10</mon:Dncertainty>
<mon:Timebase>PT10 S</mon:Timebase >
<mon:Background>
  <mon:Value Dnit="Sv/s">4.0e-7</mon:Value>
  <mon:Dncertainty Unit="5v/s" Type="SD">1.0e-8</mon:TJncertainty>
  <mon:Timebase>PT10S</mon:Timebase>
</mon:Background>
<mon:Validated>Not Validated</mon:Validated>
<mon:Description>The quality of this measurement value has not yet been
checked.</mon: Description
</mon:Measurements>
</mon:Do3eRate>
</mon:Measurements>
</irix:Report>

```

V následující části bych chtěl zdůraznit základní odlišnosti vojenského přístupu proti běžnému (civilnímu) monitorování za existující eventuálně nehodové expoziční situace po radiální nehodě nebo havárii spojené s mírovým využíváním jaderné energie. Pro vojenské účely je většinou požadován širší rozsah použití. Například to, aby byl použitý systém schopen provozu a měření nejen na úrovni přírodního pozadí, ale také nasazení do oblasti kontaminace za situace po jaderném úderu, kde lze předpokládat velkou koncentraci vysoce aktivních kontaminantů. Potřeba sdílení dat a informací má v rámci států NATO důležitou roli a je jedním z klíčových cílů procesu standardizace. Proto je výměna prováděna v souladu se zavedenými standardy a publikacemi NATO. Obecnou normou je katalog zpráv NATO, APP-11 (NATO Message Catalogue). Systém monitorování radiální situace včetně typů a struktury předávaných informací je definován standardizační dohodou STANAG 2103 a 2497. Tyto dohody NATO jsou krycími dokumenty pro publikace ATP-45 a AEP-45, které podrobně popisují uvedenou problematiku. Vzhledem ke skutečnosti, že dokumenty

nejsou veřejně dostupné, využiji pro ilustraci alespoň příkladu z již dříve veřejně publikované části, starší edice uvedené dohody. Jedná se o příklad formátu informací v podobě zpráv CBRN se strukturovaným záhlavím dle STANAG 4406 viz Obrázek 36



Obrázek 36 Příklad formátu předávání informací v rámci NATO. [36]

Aby zpracovaná metodika byla schopná zahrnout maximum možných situací a poskytovala tak operátorovi pevnou oporu pro jeho rozhodování neobejde se bez trvalého testování, prověřování a experimentování. Experimentování je také základním klíčem ke zjišťování a rozšiřování možností jednak detekčního systému, ale také použitého leteckého prostředku a samozřejmě i operátora. Experimenty tak lze reálně ověřit detekční možnosti systému a jeho možná omezení. Dílčí výstupy lze následně využít pro přípravy monitorovacích misí, nebo k posouzení vhodnosti nasazení konkrétního systému pro určitý úkol. I v případě leteckého systému používaného v AČR byly prováděny některé

experimenty. V letech 2008 až 2011 se jednalo o ověřování algoritmu, který provádí výpočet dávkového příkonu k referenční výšce 1 m nad zemí. Bylo využito reálných podmínek a prováděno měření z vrtulníků nad plochami s již pozemně změřeným dávkovým příkonem stanoveným pomocí několika sérií měření v rozsahu kolem $100 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ (včetně příspěvku kosmického záření). Takto byla tak například stanovena linearita dávkového příkonu používaného systému v rozsahu od $50 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$ až cca $1000 - 2000 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. I když se při experimentech absolutní hodnoty lišily $\pm 50 \%$ v rozsahu dávkového příkonu přírodního pozadí, bylo zřetelné, že zařízení je vysoce citlivé a relativní změny dávkového příkonu jsou dobře detekovány. S následnými korekcemi v aplikačním programovém vybavení PRAGA3 byly vypočítané hodnoty dávkových příkonů k 1 m v rozsahu -25% až 0% . I tyto testy samozřejmě mají svá omezení, jelikož není možné využít možnosti masivní kontaminace pro ověření maximálních rozsahů měření v horních mezích detekovatelnosti. Proto je nutné pamatovat na skutečnost, že měření byla prováděna pouze v dolním rozsahu měření systému, za specifické situace (tlak vzduchu, přítomnost radonu, pozadí vrtulníku, atd.) a samozřejmě s limitovaným počtem měření [8].

Používaný systém byl schopen měřit hodnoty dávkových příkonů na úrovni přírodního pozadí přibližně $50 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. Minimální detekovatelné aktivity draslíku, uranu a thoria byly stanoveny pro ^{40}K přibližně 120 Bq/kg , ^{238}U 16 Bq/kg a ^{232}Th 8 Bq/kg (pro 95 % interval spolehlivosti, 1 sekundové spektrum a výšku měření 100 metrů, 4×4 litry NaI(Tl) krystaly) [8].

Již v kapitole Faktory ovlivňující výstupy měření jsem se zmínil, jakým způsobem může být ovlivněno samotné měření, eventuálně kvalita výstupů. Ale i v případě, kdy budou výstupy po monitorování radioaktivní kontaminace odpovídat realitě, je důležité při prezentaci výstupů zdůraznit faktor času. Platnost naměřených hodnot je pevně svázána s okamžikem jejich měření. Jelikož radioaktivní přeměny neustále probíhají a aktivita kontaminace klesá exponenciálně s časem, není možné získané hodnoty dozimetrických veličin

prezentovat jako fixní a trvale neměnné. Fyzika těchto přeměn je již poměrně dobře probádána a popsána, ale stále se pracuje s určitou mírou pravděpodobnosti. Tomu odpovídá i exponenciální zákon radioaktivní přeměny, kdy jsou pro jednotlivé izotopy stanoveny hodnoty rozpadové konstanty λ udávající v podstatě pravděpodobnost rozpadu atomu daného izotopu za jednotku času [28] [29].

Faktický stav za reálné situace může být o to komplikovanější, protože vzniklá radioaktivní kontaminace nemusí být čistě homogenní směsí izotopů, které postupně podléhají individuálním radioaktivním přeměnám. Tato nehomogenita může například způsobit chyby při statistických výpočtech, kdy vypočítané extrapolované hodnoty příkonových dozimetrických veličin na následující období nemusí být reprezentativní pro celou monitorovanou oblast.

I v případě, kdy je kontaminace na volném terénu tvořena jediným izotopem, radioaktivní přeměna není jediným činitelem, který bude ovlivňovat vývoj a rozsah radiační situace. Například při zkoumání chování radioaktivního jódu ^{131}I po jaderném výbuchu na kontaminované vegetaci ve Spojených státech amerických byly zjištěny nezanedbatelné odchylky. Ačkoli je tabelární hodnotou poločasu rozpadu 8,04 dne, tak měření na terénu odpovídalo hodnotám 5,5 dne. V roce 1962, kdy byly tyto pokusy prováděny, byla tato hodnota nazvána efektivním poločasem rozpadu (Effective half-life). Samozřejmě to neznamena, že byl nějakým způsobem ovlivněn poločas rozpadu radiojódu, ale fyzikálními procesy účinkem sublimace nebo mechanickým odstraňováním a vlivem meteorologických podmínek došlo ke snížení koncentrace radiojódu na terénu a tím k poklesu aktivity [30].

V budoucnu lze přepokládat tlak na rychlejší zpracování výstupů monitorování, rychlejší přípravu přehledných prezentací a bezodkladné sdílení.

Také je možné očekávat úpravy dostupného aplikačního programového vybavení s cílem maximálního využití dostupného výpočetního potenciálu. Dále posun ke komplexnímu zpracování dostupných dat z monitorovaných tras, monitorovacích sítí a jejich implementaci do standardizovaného přehledu o situaci sdíleného mezi jednotlivými zainteresovanými složkami IZS. Problematickou oblastí může být fáze verifikace dat a výstupů, dále pak jejich zabezpečení v případě, kdy bude docházet ke sdílení dat v prostředí internetu. Jako důležitou oblast, kde je aktuálně co vylepšovat je včasná a vhodná prezentace výstupů a opatření směrem k veřejnosti. V současnosti je v případě mimořádných událostí příznačný velký zájem médií, která zaplavují informační kanály kusými informacemi a sekundárně tak vyvolávají poptávku po informacích u jejich publika. Právě absence cílené prezentace relevantních výstupů bývá často suplována neodbornými a někdy i nesmyslnými komentáři reportérů nebo samozvaných „odborníků“, které mohou spustit neadekvátní reakci veřejnosti.

7 ZÁVĚR

I když riziko vzniku radiační případně jaderné havárie nebo cíleného útoku není s ohledem k možnosti vzniku jiných mimořádných událostí vysoké, stále se ale jedná ve vztahu k možným následkům o hrozbu, která musí mít jasně vymezenou a nastavenou reakci krizového řízení. Aby bylo možné efektivně a adekvátně reagovat je nutné rozhodovací proces podpořit rychle dostupnými, reálnými informacemi o rozsahu události, s předem definovanou srozumitelnou a přehlednou strukturou. Z tohoto důvodu je důležité disponovat relevantními zdroji informací a operátory, kteří mají jasně stanovené metodické postupy pro jednotlivé varianty krizových situací. Tyto klíčové informace lze obdržet z leteckého měření radiační situace, kdy odpovídající kvalitu výstupů umožňuje standardizovaný proces zpracování.

Na základě výstupů analýzy dostupných informačních zdrojů a částečně z vlastních zkušeností jsou v práci shrnuty vybrané konkrétní faktory ovlivňující proces nakládání a zpracování dat. Ve výsledcích této práce je navržen vhodný postup pro zpracování a prezentaci dat.

Navržený postup umožňuje efektivní zpracování veškerých dostupných údajů se zachováním vysoké úrovně reprezentativnosti výstupů při akceptovatelné časové náročnosti zpracování. V diskusi jsou pak dílčí výstupy analýzy konfrontovány s dalšími aspekty, které ovlivňují přesnost a rychlost. Jelikož byly v návrhu postupu použity reálně naměřená data a aktuální programové vybavení, byla zároveň prověřena jeho funkčnost. Tento dokument bude použit jako podkladový materiál pro reálnou činnost skupiny leteckého monitorování.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AEP – Allied Engineering Publication (spojenecká publikace)

APP – Allied Procedural Publication (spojenecká procedurální publikace)

ATP – Allied Technical Publication (spojenecká technická publikace)

CSV – Comma-separated Values (soubor s hodnotami oddělenými čárkou)

GSM – Groupe Spécial Mobile (sítě mobilních operátorů)

GM – Geigerův-Müllerův (čítač)

HD – High-definition (vysoké rozlišení obrazu)

HPGe – High Purity Germanium detector (polovodičový HPGe detektor)

IAEA – International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)

IDW – Inverse Distance Weighted (Metoda vážené inverzní vzdálenosti)

INES – The International Nuclear Event Scale (mezinárodní stupnice hodnocení radiačních událostí)

IRIX – International Radiological Information Exchange (mezinárodní formát výměny radiologických informací)

IZ – ionizující záření

IZS – integrovaný záchranný systém

JE – jaderná elektrárna

JEZ – jaderné energetické zařízení,

keV – kiloelektronvolt

NATO – North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická aliance)

NaI(Tl) – jodid sodný s příměsí thalia (scintilační detektor)

NMEA – National Marine Electronics Association

QC – Quality control (kontrol kvality)

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚJCHBO, v.v.i. – Státní úřad jaderné, chemické a biologické ochrany veřejná výzkumná instituce

SÚRO, v.v.i. – Státní ústav radiační ochrany veřejná výzkumná instituce

SVZ – síť včasného zjištění

USIE – Unified System for Information Exchange in Incidents and Emergencies
(systém používaný IAEA k výměně informací)

XML – Extendible Markup Language (rozšiřitelný značkovací jazyk)

α – alfa, druh ionizujícího záření;

β – beta, druh ionizujícího záření;

γ – gama, druh ionizujícího záření;

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Kolektiv autorů, pod vedením Ministerstva zahraničních věcí ČR. www.vlada.cz. *Bezpečnostní strategie ČR*. [Online] 2015. [Citace: 3. Leden 2019.] <https://www.vlada.cz/assets/ppov/brs/dokumenty/bezpecnostni-strategie-2015.pdf>. 978-80-7441-005-5.
2. Knoll, Glenn F. *Radiation Detection and Measurement*. New York : John Wiley, 2000. ISBN 0471073385.
3. Apikyan, Samuel. *Nuclear Terrorism and National Preparedness*. místo neznámé : Springer, 2015. 9789401799355.
4. Aerologie - měření radioaktivity. [Online] 2010-2011. [Citace: 13. únor 2017.] http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/sondaz_radac.html.
5. Robodrone. Státní ústav radiační ochrany. *Robodrone*. [Online] Robodrone industries s.r.o, 2014. [Citace: 21. srpen 2018.] www.robodrone.com/suro.
6. Ing. Černý, Radek. Měření radiačních veličin s užitím nízkoletící multikoptéry (dronu) v oblastech zasažených hornickou činností spojenou s dobýváním a úpravou uranových rud. *Certifikovaná metodika*. [Online] 2016. [Citace: 26. Únor 2019.] https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/metodiky/Mereni_radiačních_veličin_s_uzitim_dronu.pdf.
7. Siddiqi, Asif A. *Challenge to Apollo: the Soviet Union and the space race, 1945-1974*. Washington, D.C. : National Aeronautics and Space Administration, NASA History Div., Office of Policy and Plans,, 2000. NASA SP, 4408.
8. ENVINET, a.s. Technická zpráva k projektu IN-SITU - MO0-OS. *Gamaspektrometrie v systému monitorování radiační situace a limity jejího použití při leteckém a mobilním monitorování radiační situace a nestandardních typech monitorování*. Třebíč : ENVINET, a.s., 2012.

9. DWBIConcepts, Team. Classifying data for successful modeling. [Online] 15. September 2014. [Citace: 24. Srpen 2018.] <https://dwbi.org/data-modelling/dimensional-model/16-classifying-data-for-successful-modeling>.
10. Češpírová, Irena. Metodika detekce radioaktivních látek na zasaženém území - Činnost mobilních skupin při monitorování radiální havárie. *Certifikovaná metodika*. [Online] 7. Duben 2015. [Citace: 25. Únor 2019.] https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/metodiky/Methodika_detekce_radioaktivnich_latek_na_zasazenem_uzemi.pdf.
11. Ježek, Josef. *Geostatistika a prostorová interpolace*. Praha : Univerzita Karlova v Praze, 2015. ISBN 978-80-246-3076-2.
12. Felkel, Petr. CourseWare Wiki. *Plochy a křivky II*. [Online] 5. Květen 2016. [Citace: 11. Únor 2019.] https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/b0b39pgr/11-krivkyii.pdf.
13. prof Dobrovolný, Petr. Metody prostorové interpolace. *Geostatistika*. [Online] 2006. [Citace: 8. Duben 2019.] https://is.muni.cz/el/sci/jaro2006/Z8102/um/Geostatistika_6.pdf.
14. РАДИОИЗОТОПНЫЙ СИГНАЛИЗАТОР ОБЛЕДЕНЕНИЯ РИО-3. *Руководство по технической эксплуатации*. [Online] 1977. [Citace: 22. Únor 2019.] http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/Sistemi/RIO-3_RTYE.pdf.
15. Červinka, Milan. *Zpracování fyzikálních měření*. Praha : katedra fyziky FEL-ČVUT, 2013.
16. Remmel, Tarmo K. a Perera, Ajith H. *Mapping forest landscape patterns*. New Yoork : Springer Science+Business Media, 2017. ISBN 9781493973293.
17. Holman, Lukáš. Přírodovědecká fakulta UK. *Prostorová data*. [Online] 2014. [Citace: 12. Únor 2019.] <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/projekty/moderni-geoinformacni-metody-ve-vyuuce-gis-a-kartografie/prostorova-data/>.

18. a.s., NUVIA. *PEIConvert & PEIDataViewer Softwarové vybavení pro přípravu projektu a rychlé zobrazení dat naměřených leteckým gamaspektrometrem IRIS Zkrácený návod na obsluhu*. Třebíč : NUVIA a.s., 2017.
19. Geoportál ČÚZK. [Online] Český úřad zeměměřický a katastrální, 7. Listopad 2017. [Citace: 24. Březen 2019.] [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(uohmbq0gp3wtpbptkgrpzmdro\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=about&side=about&menu=2](https://geoportal.cuzk.cz/(S(uohmbq0gp3wtpbptkgrpzmdro))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=about&side=about&menu=2).
20. Běhounek, František. *Radium a paprsky X: (tajemství hmoty a energie)*. Praha : Matice lidu, 1924.
21. Mann, W.B., Rytz, A. a Spernol, A. *Radioactivity Measurements: Principles and Practice*. místo neznámé : Pergamon Press, 2012. ISBN 978-0080370378.
22. Burt, Stephen. *The Weather Observer's Handbook*. místo neznámé : Cambridge University Press, 2012. ISBN 9781107026810.
23. Milner, Greg. *Pinpoint: How GPS is Changing Technology, Culture, and Our Minds*. místo neznámé : W. W. Norton & Company, 2016. ISBN 9780393244991.
24. IAEA. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. [Online] 2015. [Citace: 12. Prosinec 2018.] https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P_1708_web.pdfv. 9789201057150, No. GSR Part 7.
25. MZV, ČR. Stálá mise České republiky při OSN, OBSE a ostatních mezinárodních organizacích. [Online] [Citace: 15. Prosinec 2018.] https://www.mzv.cz/mission.vienna/cz/organizace_v_pusobnosti_mise/ostatni_mezinarodni_organizace/mezinarodni_agentura_pro_atomovou/index.html.
26. IAEA. Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. [Online] 2005. [Citace: 12. Prosinec 2018.] https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1216_web.pdf. 9201134045, No. RS-G-1.8.

27. De Vries, Gerhard. <https://www.unece.org>. [Online] 2010. [Citace: 22. Únor 2019.] https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/teia/doc/pointsofcontact-4/07_IRIX-intro-for-IAN-Zagreb-v3.pdf.
28. Beneš, Jiří, Kyplová, Jaroslava a Vítek, František. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory*. místo neznámé : Grada Publishing a.s., 2015. ISBN 9788024795508.
29. Pavlík, Josef. *Letecká gamaspektrometrie a monitorování radiační situace v podmínkách AČR*. Vyškov : Univerzita obrany, 2015.
30. Bustad, L. K. *Biology of Radioiodine: Proceedings of the Hanford Symposium on the Biology of Radioiodine*. místo neznámé : Elsevier, 2013. ISBN 9781483282763.
31. Willkommen auf OWS terrestris ! *OWS terrestris Dokumentation*. [Online] Terrestris GmbH & Co. KG. Mit Sphinx 1.1.3 erstellt. [Citace: 4. Duben 2019.] <http://ows.terrestris.de/>.
32. SÚJB. O radiačním monitorování. [Online] [Citace: 14. září 2018.] <https://www.sujb.cz/monras/info/informace.html#z0>.
33. Burr, Edmondo. <https://www.globalresearch.ca>. *Fukushima: Uranium and Plutonium Contamination of Large Areas of Oceans, Ground-water, Soils*. [Online] 29. March 2015. [Citace: 8. Leden 2019.] <https://www.globalresearch.ca/fukushima-uranium-and-plutonium-contamination-of-large-areas-of-oceans-ground-water-soils/5439271>.
34. Bhansali, Neera. *Data Governance: Creating Value from Information Assets*. místo neznámé : CRC Press, 2013. ISBN 9781439879146.
35. Martin, Joseph. Quatre études de santé sur les conséquences de Fukushima. *RSE Magazine*. [Online] 22. Leden 2014. [Citace: 17. Únor 2019.] https://www.rse-magazine.com/Quatre-etudes-de-sante-sur-les-consequences-de-Fukushima_a465.html.
36. APP-11 and ADatP-3. *Systematic*. [Online] [Citace: 6. Duben 2019.] <https://systematic.com/defence/capabilities/c2/interoperability/app-11-and-adatp-3/>.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Systém AIRIS.	19
Obrázek 2 Export dat z programu PEIView.	33
Obrázek 3 Datový soubor v náhledu programu MS Excel.	33
Obrázek 4 Úvodní obrazovka programu PEIconvert.	42
Obrázek 5 Náhled na zvolenou mapu PEIconvert.	43
Obrázek 6 Náhled dat nad mapou v PEIconvert.	43
Obrázek 7 Postup Group Processing.	44
Obrázek 8 Slučování souborů v programu PEIView.	44
Obrázek 9 Grafický náhled souboru v programu PEIView.	45
Obrázek 10 Náhled spekter v programu PEIView.	45
Obrázek 11 Barevný náhled průběhu spekter.	46
Obrázek 12 Export dat do formátu ASCII.	46
Obrázek 13 Import datového souboru do programu Q GIS.	47
Obrázek 14 Import datového souboru do programu Q GIS.	47
Obrázek 15 Náhled nastavení před importem souboru v Q GIS.	48
Obrázek 16 Náhled vrstvy s body měření v programu Q GIS.	48
Obrázek 17 Práce s datovou vrstvou v programu Q GIS.	49
Obrázek 18 Nastavení vlastností vrstvy v programu Q GIS.	49
Obrázek 19 Výběr veličiny pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS.	49
Obrázek 20 Výběr barevného rozsahu pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS.	50
Obrázek 21 Nastavení dalších parametrů pro zobrazení ve vrstvě v programu Q GIS.	51
Obrázek 22 Zobrazení bodů měření ve vrstvě v programu Q GIS.	51
Obrázek 23 Nastavení B-Spline aproximace v programu Q GIS.	52
Obrázek 24 Úprava výstupu pro tisk a export v programu Q GIS.	52
Obrázek 25 Příklad zpracovaného výstupu v programu Q GIS.	53

Obrázek 26 Příklad zpracovaného výstupu v programu Q GIS.....	53
Obrázek 27 Nastavení prohlížečící služby WMS v programu Q GIS.	54
Obrázek 28 Připojení prohlížečící služby WMS v programu Q GIS.	55
Obrázek 29 Zobrazení vrstvy WMS v programu Q GIS	55
Obrázek 30 Schématický nákres elektroskopu.	57
Obrázek 31 Presentace výstupů měření	58
Obrázek 32 Presentace výstupů kontaminace po havárii v jaderné elektrárně Fukušima.....	64
Obrázek 33 Presentace depozice cesia 2 roky po havárii Fukušima.....	65
Obrázek 34 Presentace výstupů po monitorování cesia 137 a 134 po havárii v japonské Fukušimě.....	65
Obrázek 35 Presentace prostorového rozložení PFDE.....	66
Obrázek 36 Příklad formátu předávání informací v rámci NATO.....	71

11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Rozsah měření dávkového příkonu ve vztahu k objemu detektoru NaI(Tl).....	21
Tabulka 2 Přehled měřených veličin s tabulkovým záhlavím.....	23
Tabulka 3 Příklady WMS služeb s adresami pro Q GIS	85

12 PŘÍLOHY

Tabulka 3 Příklady WMS služeb s adresami pro Q GIS [19] [31]

Území	Typ mapy	Lokalizace služby (URL pro zadání do Q GIS)
ČR	Ortofoto	http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
ČR	Archivní ortofoto	http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_ARCHIV/WMSservice.aspx?
ČR	Přehledové mapy	http://geoportal.cuzk.cz/WMS_PREHLEDKY/WMSservice.aspx
ČR	Topografická databáze	http://geoportal.cuzk.cz/WMS_DATA200/WMSservice.aspx
Svět	Open street map	http://ows.terrestris.de/osm/service