



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Návrh optimalizace systému radiační měřicí sítě pro instituce a školy v ČR

Proposal for optimization of the radiation measurement network system for institutions and schools in the Czech Republic

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Petr Merunka

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petra Kadlec Linhartová

Kladno 2022



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Merunka** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **465304**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh optimalizace systému radiační měřicí sítě pro instituce a školy v ČR

Název diplomové práce anglicky:

Proposal to Optimize the Radiation Measurement Network System for Institutions and Schools in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce bude zaměřena na funkčnost radiační měřicí sítě pro vybrané instituce v ČR a pro vybrané základní a střední školy k zajištění včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí v ČR v rámci projektu RAMESIS. V teoretické části diplomové práce bude popsána Monitorovací radiační síť ČR. Dále bude v teoretické části práce popsána radiační měřicí síť, která funguje v systému občanské měřitelnosti radiační situace. V praktické části diplomové práce budou analyzována data z fixních stanic RAMESIS monitor radiace a mobilních detektorů SAFECAST umístěných na stanicích JSDH v krajích Vysočina, Jihomoravský a Jihočeský kraj, která budou metodou kvantitativního měření zpracována. V další části praktického měření bude provedena komparace vybraných detektorů SAFECAST v kalibrované laboratoři SÚRO, v. v. i. Na základě komparace všech získaných dat bude navržena optimalizace systému radiační měřicí sítě.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Vojtěch Ullmann, Jaderná a radiační fyzika, Ostravská univerzita, 2009, ISBN 978-80-7368-669-7
- [2] Jiří Matějka, Nové pokyny chemické služby, 2017, MV - GR HZS ČR, 1213-7057
- [3] Vladimír Wagner, Fukušima I poté, Novela Bohemica, 2018, ISBN 978-80-87683-45-3
- [4] Kol. autorů, Klinická radiobiologie, Praha: Grada, 2020, ISBN 978-80-271-1349-1

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petra Kadlec Linhartová

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Mgr. Barbora Marešová, Ing. Petr Kuča

Datum zadání diplomové práce: **04.10.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **22.09.2023**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Návrh optimalizace systému radiační měřicí sítě pro instituce a školy v ČR 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), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 09.05.2022

.....
Bc. Petr Merunka

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří Ing. Petře Kadlec Linhartové za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovala. Rád bych též poděkoval Mgr. Barboře Marešové a Ing. Petru Kučovi za odborné konzultace a podporu při získávání podkladů.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na funkčnost radiační měřicí sítě pro vybrané instituce v České republice a pro vybrané základní a střední školy k zajištění včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí v České republice v rámci projektu RAMESIS.

V teoretické části diplomové práce je popsán způsob institucionálního monitorování radiační situace na území České republiky. Dále je v teoretické části práce popsána radiační měřicí síť, která funguje v systému občanské měřitelnosti radiační situace.

V praktické části diplomové práce jsou analyzována data z fixních stanic RAMESIS umístěných ve zbrojnicích jednotek sboru dobrovolných hasičů v Kraji Vysočina, v Jihomoravském kraji a v Jihočeském kraji, která jsou metodou kvantitativního měření zpracována. V další části praktického měření je provedena komparace vybraných detektorů SAFecast v kalibrační laboratoři Státního ústavu radiační ochrany, v. v. i. Na základě komparace všech získaných dat byla navržena optimalizace systému radiační měřicí sítě.

Klíčová slova

Safecast; dávkový příkon; radiace; monitoring; ramesis

ABSTRACT

The thesis focuses on the functionality of the radiation measurement network for selected institutions in the Czech Republic and for selected elementary and secondary schools to ensure timely information and increase safety of citizens of towns and municipalities in the Czech Republic within the framework of the RAMESIS project.

The theoretical part of the thesis describes the way of institutional monitoring of the radiation situation in the Czech Republic. The theoretical part of the thesis describes the radiation measurement network that works in the system of civic measurability of the radiation situation.

The practical part of the thesis analyses data from fixed RAMESIS stations located in the armories of units of the volunteer fire brigade in the Vysočina Region, in the South Moravian Region and in the South Bohemian Region, which are processed by the quantitative measurement method. In the other part of the practical measurement, a comparison of selected SAFECAST detectors is performed in the calibration laboratory of the State Institute of Radiation Protection, v. v. i. Based on the comparison of all the obtained data, an optimization of the radiation measurement network system was proposed.

Keywords

Safecast; dose rate; radiation; monitoring; ramesis

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce a hypotézy	11
3	Přehled současného stavu.....	12
3.1	Radioaktivita	12
3.2	Radiační nehody a havárie	13
3.3	Detekce ionizujícího záření	14
3.4	Monitorování radiační situace v České republice.....	15
3.5	Radiační monitorování vnějšího prostředí	16
3.5.1	Měřicí místa Sítě včasného zjištění	16
3.5.2	Sít integrálního měření.....	17
3.5.3	Letecké monitorování	18
3.5.4	Pozemní monitorování	19
3.6	Havárie v jaderné elektrárně Fukušima I.....	20
3.7	Projekt SAFecast	22
3.8	Projekt RAMESIS	24
3.9	Zařízení používaná pro RAMESIS.....	25
3.9.1	Fixní stanice	25
3.9.2	Mobilní detektor SAFecast.....	25
3.9.3	CzechRad.....	26
3.10	Projekty občanského měření dávkových příkonů v některých dalších zemích	28
3.10.1	Francie	28
3.10.2	Polsko	29

3.10.3	Bělorusko	29
3.10.4	Rusko	30
3.10.5	Ukrajina.....	31
3.10.6	Spojené království	31
3.10.7	Spojené státy americké.....	32
3.11	Některé další způsoby občanských měření	32
3.11.1	Měření s využitím vestavěných senzorů mobilních telefonů ..	32
3.11.2	Měření štítné žlázy a potravin	33
4	Metodika.....	34
4.1	Kvantitativní měření	34
4.2	Komparace.....	39
4.3	OSINT.....	39
5	Výsledky	40
5.1	Institucionální měření v Jihočeském kraji.....	40
5.2	Občanská měření v Jihočeském kraji	42
5.3	Institucionální měření v Jihomoravském kraji.....	45
5.4	Občanská měření v Jihomoravském kraji	47
5.5	Institucionální měření v Kraji Vysočina.....	50
5.6	Občanská měření v Kraji Vysočina	52
5.7	Pozemní monitoring.....	54
6	Diskuze	56
7	Závěr	67
8	Seznam použitých zkratk.....	69
9	Seznam použité literatury	72

10	Seznam použitých obrázků	78
11	Seznam použitých tabulek.....	81

1 ÚVOD

Motivací pro vytvoření diplomové práce byla osobní účast autora v projektu a dlouhodobý zájem o projekt RAMESIS. Diplomová práce je zaměřena na funkčnost radiační měřicí sítě pro instituce a školy k zjištění včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí v České republice.

Projekt RAMESIS je součástí bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky, který řeší Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. ve spolupráci s ÚTEF ČVUT a společností NUVIA a. s. Projekt cílí na podporu vytvoření a provozování občanské měřicí sítě pro monitorování dávkového příkonu záření gama v České republice a na podporu porozumění problematice radiační ochrany veřejností.

V rámci práce budou představeny jednotlivé systémy zjišťování radiační situace na území České republiky. Následně bude proveden sběr dat zahrnujících naměřené hodnoty z jednotlivých sítí monitorování radiační situace.

V praktické části budou data sumarizována a dále budou porovnány výsledky institucionálního a občanského měření. Pro účely diplomové práce budou vyhodnoceny data ze stanicek používaných jednotkami sboru dobrovolných hasičů v Jihočeském kraji, Jihomoravském kraji a Kraji Vysočina. Do zmíněných krajů zasahují zóny havarijního plánování jaderných elektráren Dukovany a Temelín.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem diplomové práce je analýza dat z vybraných fixních stanic pro RAMESIS a mobilních detektorů Safecast. Data budou získávána metodou kvantitativního měření a na základě komparace všech získaných dat bude navržena optimalizace systému radiační měřicí sítě.

Radiační měřicí síť pro instituce a školy, tedy RAMESIS, slouží k včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí (1).

Naměřená data jsou získávána především od dobrovolníků z řad laické veřejnosti, kterým jsou detektory zapůjčovány Státním ústavem radiační ochrany. Fixní stanice jsou permanentně připojeny k internetu a v intervalu 10 minut se získaná data automaticky odesílají na server. Data z mobilních detektorů jsou extrahována a odesílána s protokolem o měření jednotlivými uživateli na e-mailovou adresu SÚRO a následně jsou po kontrole prezentována v mapách Safecast.

Hypotéza 1: Projekt RAMESIS je efektivně využíván laickou veřejností.

Hypotéza 2: Pro občanskou měřitelnost je vyvíjen dostatek přístrojů použitelných pro občanská měření.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Radioaktivita

Stejně jako radioaktivita, tak i záření, které produkuje, byly přítomny na Zemi dříve, než se na ní objevil život. Ve skutečnosti byly radioaktivní látky a jejich záření přítomny v kosmu od jeho vzniku a byly materiálem vyskytujícím se na naší planetě při jejím vytváření. Ale lidstvo objevilo tento fenomén až v posledních letech 19. století a stále se ještě učí novým cestám jeho využívání (2).

Radioaktivitou nazýváme jev, při němž dochází k rozpadu atomových jader a současně se uvolňuje neviditelné záření (3).

Radioaktivita se vyjadřuje v becquerelech (Bq). Radioaktivní přeměna je exponenciálně úměrná přeměnové konstantě, jež je charakteristická pro každý jednotlivý radionuklid (4).

Ionizující záření při průchodu látkou způsobuje ionizaci atomů dané látky. Z neutrálních atomů vytváří kladné a záporné ionty. Podle průběhu ionizačního procesu se dá záření dělit na přímo nebo nepřímo ionizující (5).

Kvanta přímo ionizujícího záření vyražejí či vytrhávají elektrony z atomů, proto s sebou nesou elektrický náboj. Naproti tomu kvanta nepřímo ionizujícího záření jsou elektricky neutrální, pouze předávají energii nabitým částicím v látce, kterou procházejí a ty poté látku ionizují (6).

Jádra atomů, která nejsou stálá v čase, se nazývají radioaktivními. Přeměnou radionuklidu může vzniknout jádro stabilní, nebo opět radioaktivní (7).

Heliová jádra složená ze dvou neutronů a dvou protonů mají kladný náboj a jsou označována částicemi alfa. Alfa částice mají krátký dolet a lze je jednoduše odstínit. Jedná se o částicové záření (8).

Při emitaci elektronů z jádra, vznikajících při samovolné přeměně neutronu na proton, elektron a antineutrino vzniká beta záření, většinou s nižší energií než

alfa záření. Jeho dolet se pohybuje v závislosti na prostředí od metrů v plynech až po milimetry v pevných látkách. V pevných látkách dochází k ionizaci a ke vzniku tzv. brzdného záření (5).

Záření gama je elektromagnetickým zářením tvořeným fotony s velmi krátkou vlnovou délkou. V pevných látkách dochází k interakcím, jako jsou fotoefekt, Comptonův rozptyl a tvorba párů elektron-pozitron. Tzv. čisté gama záření lze najít pouze u umělých radionuklidů. U přírodních radionuklidů je záření vždy doprovázeno zářením alfa nebo beta. Dolet nepřímo ionizujícího gama záření je závislý na energii a absorpčních vlastnostech prostředí (5).

Rentgenové záření má vlastnosti a interakce podobné jako záření gama. Vzniká jako brzdné záření urychlených elektronů v anodě. Jedná se o fotonové, elektromagnetické záření s velmi krátkými vlnovými délkami (5).

Neutronové záření vzniká v radionuklidových zdrojích, neutronových generátorech a jaderných reaktorech. K interakci dochází s jádry atomů a závisí na energii neutronů a vlastnostech látky. Při interakci vznikají jak přímo ionizující částice, tak i fotony, které dále interagují (5).

Ionizující záření na buněčné úrovni způsobuje zánik nebo modifikaci buněk. V případě usmrcení dostatečného množství buněk dochází ke smrti subjektu. Poškození buněk může vést ke vzniku rakoviny nebo k dědičnému poškození (9).

3.2 Radiační nehody a havárie

Radiační mimořádná událost je dle zákona č. 263/2016 Sb. ve znění zákona č. 183/2017 Sb. definována jako událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření a vyžaduje opatření, která by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajišťování radiační ochrany. Radiační mimořádné události jsou dle závažnosti kategorizovány na radiační mimořádné události prvního stupně, radiační nehody a radiační havárie. Atomový zákon uvádí

termín radiologická událost, což označuje událost při lékařském ozáření, která způsobuje chybné ozáření pacienta (10).

V roce 2017 byl vydán nový Řád chemické služby HZS ČR, kde došlo v souvislosti se změnou atomového zákona k přepracování přílohy č. 9, kde jsou uvedeny nové limity pro omezování ozáření, rozdělení radiačních zásahů, hodnoty dávkového příkonu a plošné aktivity pro hranici vnější, bezpečnostní a nebezpečné zóny a pro zřízení dekontaminačního stanoviště a hodnoty limitů pro kontaminaci osob, věcných prostředků a techniky. Dále byly změněny přílohy č. 10 a 11 se záznamy o kontrole kontaminace osob a techniky (11).

3.3 Detekce ionizujícího záření

Přístroje používané v radiometrii a metody měření ionizujícího záření se zakládají na vlastnostech záření a jeho interakcích s hmotným prostředím. V detektoru dochází k převodu energie dopadajícího ionizujícího záření na elektrický signál, ten je následně zpracován tak, aby byl zaregistrován a vyhodnocen. Přístroje jsou schopny registrovat jednotlivé impulzy z detektoru, nebo měří střední hodnotu proudu detektoru. Z hlediska účelu lze přístroje dělit na:

1. radiometry, které slouží ke stanovení úrovně radioaktivity v daném prostoru;
2. spektrometry měřící energii ionizujícího záření;
3. průmyslová radiometrická zařízení, jež jsou určena k širokému využití radionuklidů v průmyslu a jejichž obsahem je vhodný zdroj záření a měřicí aparatura (12).

Z kontinuálních detektorů je získávána průběžná informace o aktuální hodnotě detekovaného záření. Po ukončení expozice detektoru klesne jeho výstupní signál na nulu. Především v osobní dozimetrii, v lékařství a v radiační

chemii se uplatňují integrální detektory, u nichž se hodnota signálu zvyšuje po celou dobu, po kterou je detektor vystaven záření. Informace je v detektoru uchována i po ukončení expozice. Nejčastěji využívané detektory lze rozdělit do tří skupin dle principu detekce (12)

Ionizační komory, proporcionální a Geiger-Müllerovy počítače, krystalové a polovodičové detektory můžeme souhrnně nazvat elektrickými detektory, založenými na látkách, které při působení ionizujícího záření mění některé své elektrické vlastnosti (12).

Scintilační detektory využívají scintilace neboli luminiscenčního záření, vznikajícího působením ionizujícího záření. Jsou používány např. ve spektrometrech (12).

Samostatné detektory jsou založeny na látkách, které dlouhodobě mění své vlastnosti jako např. barvu, objem nebo složení. Příkladem jsou filmové dozimetry používané pro detekci beta, gama a rentgenového záření, nebo dozimetry termoluminiscenční. Vesměs se jedná o jednoduché, nenákladné detektory malých rozměrů, avšak vyhodnocení bývá složitým nebo nákladným procesem (12).

3.4 Monitorování radiační situace v České republice

Systematické plošné monitorování bylo zahájeno 29. dubna 1986, kdy byl měřen příkon dávkového ekvivalentu, objemová aktivita ovzduší a vodotečí a ostatních povrchových vod a atmosférický spad na zemský povrch. Na těchto základech později vznikla Radiační monitorovací síť. K podrobnému stanovení povrchové aktivity radionuklidů deponovaných v půdě došlo v červnu 1986. V současné době je závazným dokumentem pro osoby podílející se na monitorování radiační situace na území České republiky dokument nazvaný Národní program monitorování vydaný Státním úřadem pro jadernou

bezpečnost 1. 1. 2019. Každých pět let bude provedena revize a případná aktualizace dokumentu (13).

Na území České republiky se ve složkách životního prostředí nachází řada umělých radionuklidů pocházejících především ze zkoušek jaderných zbraní prováděných v 50. a 60. letech 20. století a z havárií jaderných elektráren v Černobylu 26. 4. 1986 a ve Fukušimě 11. 3. 2011. Jsou to zejména cesium ^{134}Cs , ^{137}Cs , stroncium ^{90}Sr , tritium ^3H , uhlík ^{14}C , jód ^{131}I , plutonium ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu a krypton ^{85}Kr (13).

3.5 Radiační monitorování vnějšího prostředí

Pro průběžné sledování radiační situace na území České republiky byla vytvořena Síť včasného zjištění (dále SVZ), na jejíž činnosti se podílejí SÚJB, SÚRO, v. v. i., ČHMÚ a AČR. V okolí jaderných elektráren Dukovany a Temelín je SVZ doplněna teledozimetrickými systémy (dále TDS), provozovanými společností ČEZ, a. s. Dlouhodobě měřené hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (dále PFDE) se na území ČR pohybují mezi 0,1 až 0,2 $\mu\text{Sv/h}$. Z míst provozovaných SÚJB a SÚRO jsou data exportována každých 10 minut do databáze MonRaS. Z míst provozovaných ČHMÚ a AČR jsou data zaznamenána v intervalu 10 minut a odesílána každou hodinu do MonRaS (14).

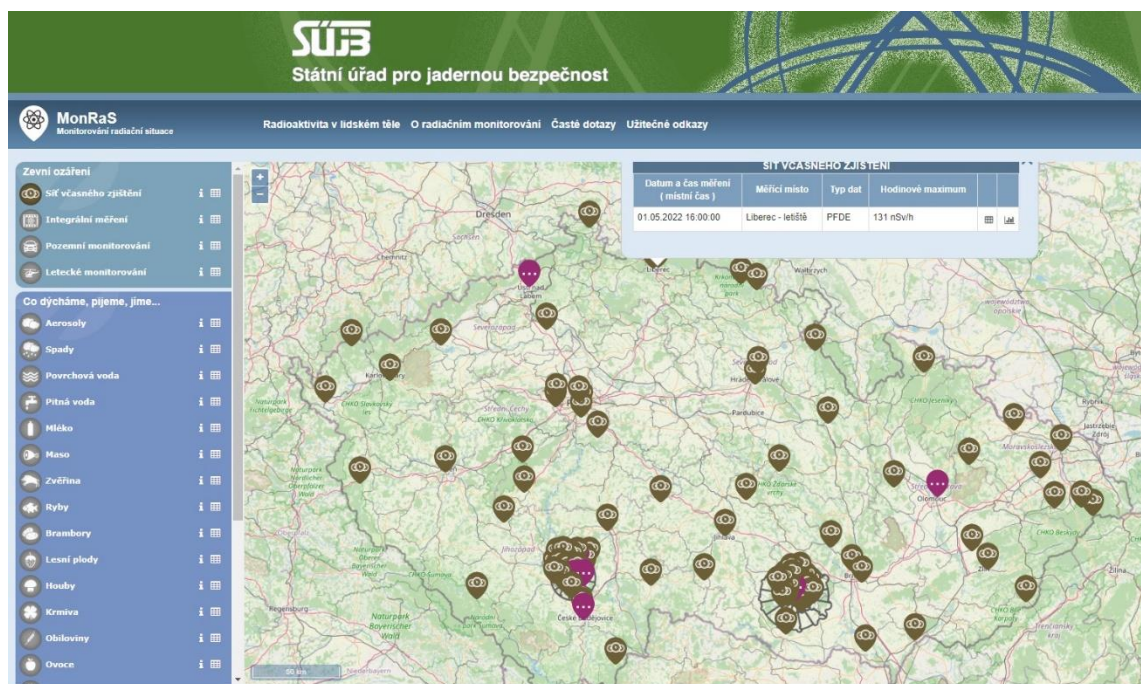
3.5.1 Měřicí místa Sítě včasného zjištění

SVZ je provozována pomocí 169 měřicích míst rozmístěných po celé České republice, z nichž je 51 v sítích TDS, v bezprostřední blízkosti jaderných elektráren a 15 v jejich okolí. Měřicí místa jsou na volném prostranství s přírodním povrchem, dostatečně vzdálena od budov, stromů a dalších útvarů, jež by ovlivňovaly kvalitu měření stíněním. Detektory jsou umístovány tak, aby geometrický střed objemu detektorů byl ve výšce 1 m nad zemí. Detekční jednotky obvykle obsahují dva detektory s různým rozsahem měření, takže lze

zaznamenat hodnoty v řádu desítek nSv/h až jednotek Sv/h. Na některých místech SVZ jsou umístěny spektrometry pro identifikaci jednotlivých radionuklidů v okolním prostředí, nebo přístroje pro sledování a předávání informací o meteorologické situaci (14).

Cílem měření je registrace a signalizace významných odchylek PFDE od hodnot přírodního pozadí (14).

TDS elektrárny Temelín tvoří 24 měřicích míst v areálu elektrárny a 7 míst v jejím okolí. Dukovanský TDS čítá 27 míst v areálu elektrárny a 8 míst v okolí. Měřicí místa jsou vybírána se záměrem eliminovat případná stínění, Geometrický střed objemu detektorů je ve výši 2 m nad úrovní okolního terénu. Činnost teledozimetrických systémů zajišťuje provozovatel jaderných elektráren (14).

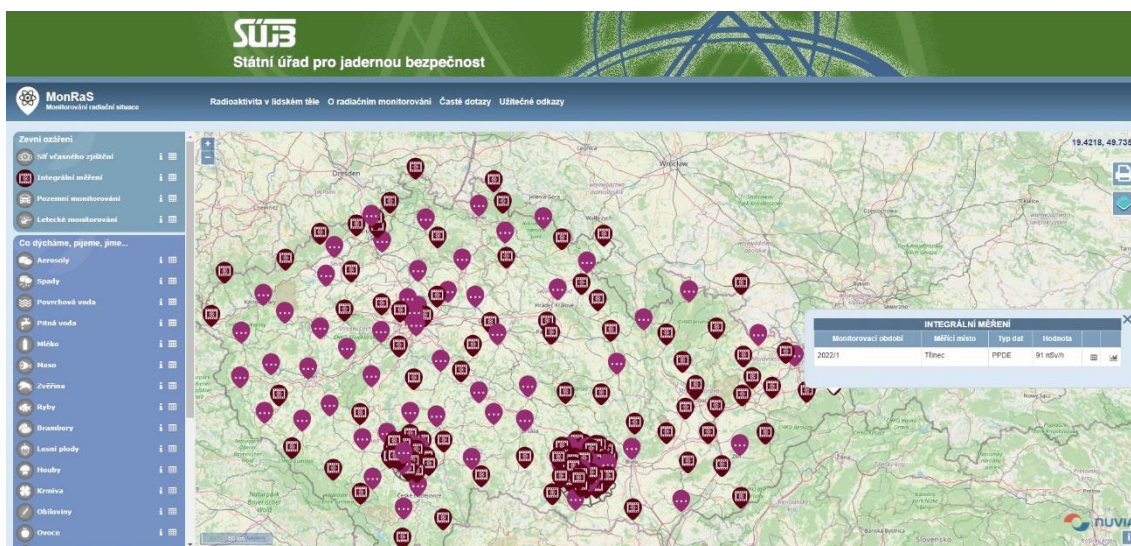


Obrázek 1 - Měřicí místa SVZ (14)

3.5.2 Síť integrálního měření

Integrální měření je zajišťováno termoluminiscenčními, respektive elektronickými dozimetry a slouží pro zjištění odchylek od dlouhodobého průměru příkonu fotonového, respektive prostorového dávkového ekvivalentu.

Na území ČR je rozmístěno cca 300 ks těchto dozimetru. Dozimetry jsou umístěny po 4 kusech v kazetách do výšky 1 m, případně 3 m nad okolním terénem. Výkyvy v naměřených hodnotách jsou dány kolísáním přírodního pozadí, způsobovaným především sezónními vlivy. Teritoriální síť pokrývá celou Českou republiku a čítá cca 210 měřících míst. Lokální sítě jsou vytvořeny v okolí jaderných elektráren Dukovany a Temelín. Jsou tvořeny celkem 98 měřícími místy. Dále jsou integrální detektory využívány přímo v elektrárnách, kde jsou rozmístěny okolo výrobních bloků, v meziskladu vyhořelého paliva, ve skladu vyhořelého paliva a v úložišti radioaktivních odpadů (14).

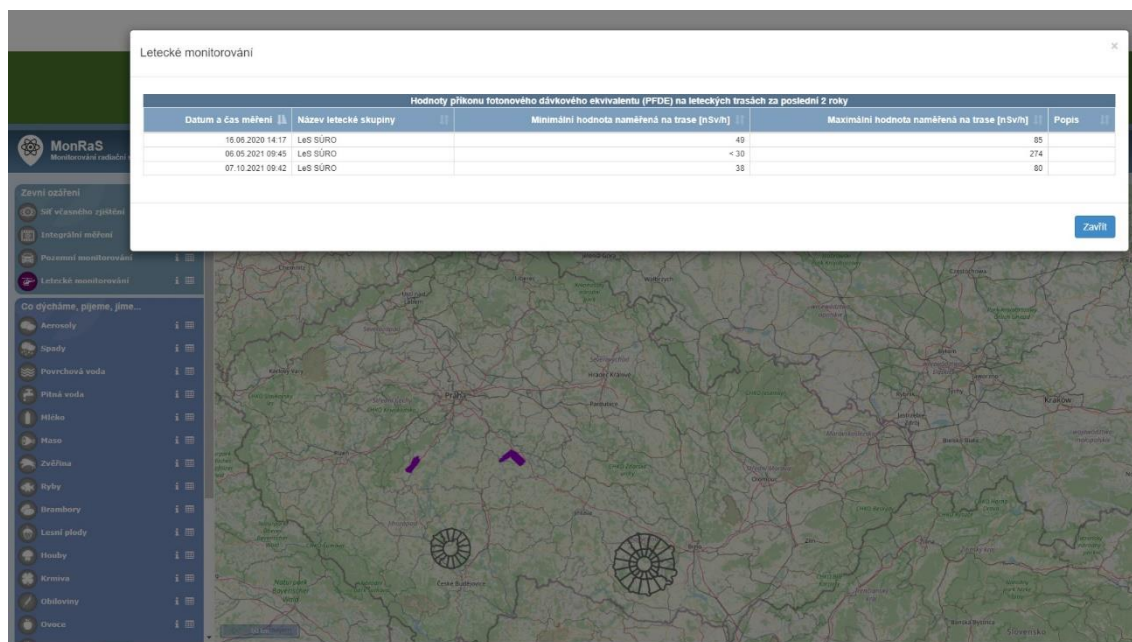


Obrázek 2 - Síť integrálního měření (14)

3.5.3 Letecké monitorování

Letecké monitorování by bylo využito v případě radiační havárie jaderného zařízení k rychlému, orientačnímu zmapování radiační situace na zasaženém území a ke zpřesnění informací o zasaženém území. V době obvyklé radiační situace je jednou až dvakrát ročně prováděno cvičné letecké monitorování vybraného území. Měření je prováděno z vrtulníku letícího cca 100 m nad zemí po vytyčené trase a následně jsou naměřená data přepočítána na hodnoty

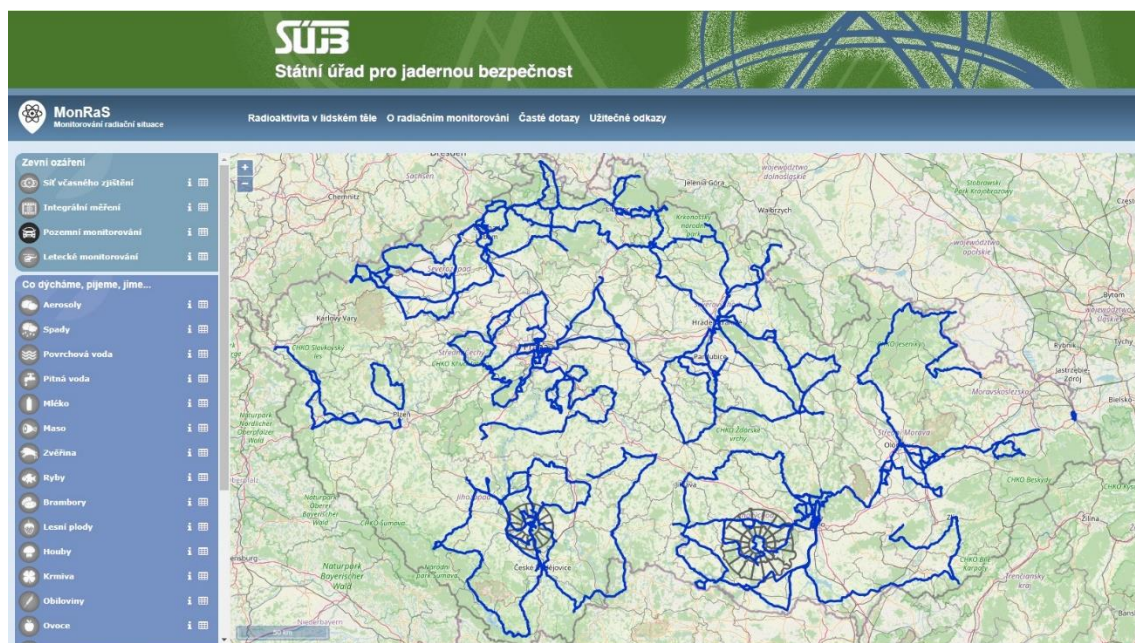
odpovídající hodnotám v 1 m nad zemí. Leteckého monitoringu bylo využito např. v roce 2011 v Japonsku, po havárii ve Fukušimě (14).



Obrázek 3 - Letecké monitorování ČR (14)

3.5.4 Pozemní monitorování

Monitoring je prováděn měřením PFDE z automobilu jedoucího po předem vytýčené trase rychlostí cca 40 km/h. Naměřené hodnoty se spolu s GPS souřadnicemi a časem měření zakreslují pomocí počítačového programu do map. Za obvyklé radiační situace je prováděn cvičný pozemní monitoring po vybraných trasách v délce cca 50 km jednou měsíčně. V případě radiační havárie by mohl být pozemní monitoring využit jako doplněk k leteckému monitorování. Na pozemním monitoringu se podílejí SÚJB, SÚRO, v. v. i., HZS ČR, Generální ředitelství cel, Armáda ČR, Policie ČR a ČEZ, a. s (14).



Obrázek 4 - Pozemní monitorování ČR (14)

Pro pozemní monitoring je využíván mobilní systém Mob-DOSE. Jedná se o přenosný monitorovací systém pro mobilní a terénní monitorování radiační situace pro měření příkonu dávkového ekvivalentu (PDE) záření gama. Hlavním účelem využití mobilního systému Mob-DOSE je monitorování mobilními skupinami v rámci prognózování vývoje radiační situace za plánované expoziční situace pro potřeby havarijního plánování, realizace cvičení, hodnocení nehodové expoziční situace a hodnocení existující expoziční situace pro potřeby realizace nápravných opatření. Systém byl navržen pro mobilní aplikace při detekci zevního záření gama, monitorování za jízdy a pro stacionární monitorování při měření na místě (15).

3.6 Havárie v jaderné elektrárně Fukušima I

Největší přístrojově zaznamenané zemětřesení v Japonsku nastalo 11. března 2011 v 6:46 hodin středoevropského času, po němž došlo ke vzniku vlny tsunami. Jako epicentrum je uváděno místo ležící cca 70 km východně od poloostrova Ošika, v hloubce 10 až 30 km. Síla zemětřesení dosáhla momentového magnituda 9,0, což ve veřejnosti známější Richterově stupnici odpovídá stupni 9. V průběhu šesti minut došlo k dalším otřesům s magnitudem až 7,9. Následně bylo

zjištěno, že došlo k celosvětovým účinkům, jako byl posun pólů o cca 16 cm a zkrácení dne o cca jednu mikrosekundu. Pokud jde o Japonsko, ostrov Honšú se posunul o 2,4 m východně a část Japonska, která byla nejbližší k epicentru, poklesla v délce zhruba 400 km o 0,6 m (16).

K vypnutí pracujících bloků jaderné elektrárny Fukušima I a k odpojení od rozvodné sítě došlo již při prvním otřesu. Vlna tsunami dosáhla téměř 15 m, namísto očekávaných tří metrů. Zaplavením elektrárny došlo ke zničení čerpadel mořské vody, elektrických rozvodů, diesellových agregátů a k poškození samotných budov. Částečným poničením a zatarasením komunikací bylo znemožněno havarijní chlazení reaktorů, což v konečném důsledku vedlo k vodíkovým explozím třetího a čtvrtého bloku. Hlavním zdrojem radioaktivního zamoření okolí jaderné elektrárny je označován výbuch v oblasti komory potlačení na druhém bloku (16).

Mezi 11. a 15. březnem 2011 byla nastavována preventivní opatření, jejichž součástí byla evakuace obyvatelstva. Z okruhu 20 km od jaderné elektrárny a některých přilehlých území se evakuace týkala přibližně 85 000 osob. Pro obyvatelstvo žijící ve vzdálenosti 20 až 30 km od elektrárny bylo vydáno doporučení ukryt se ve vlastních domech. Následně, v dubnu 2011, byla doporučena evakuace dalších 10 000 osob žijících severozápadně od elektrárny (9).

U pracovníků elektrárny nedošlo k úmrtí způsobeného ozáření, ani nebyla v souvislosti s nehodou zjištěna akutní nemoc z ozáření. V následujících 18 měsících se na nápravných opatřeních a navazujících aktivitách v areálu elektrárny podílelo zhruba 25 000 osob, u nichž činila průměrná efektivní dávka 12 mSv na osobu za celou dobu. U 6 pracovníků přesáhla kumulovaná dávka 250 mSv. Nejvyšší celkovou dávkou bylo 680 mSv u jednoho z pracovníků, což bylo z 90 % způsobeno vnitřním ozářením. U 12 pracovníků byla zjištěna dávka ve štítné žláze v rozmezí 2 až 12 Gy (9).

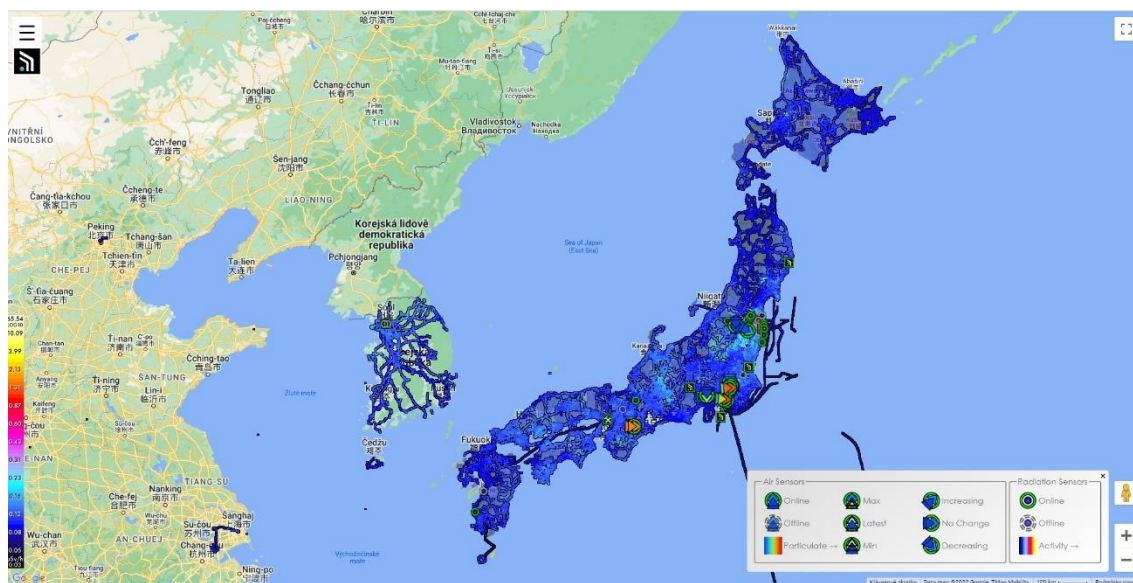
Pokud jde o obyvatelstvo, v evakuovaných oblastech prefektury Fukušima se odhaduje efektivní dávka 1 až 10 mSv pro období prvního roku. U dětí do jednoho roku stáří je odhad dvojnásobné efektivní dávky. Odhady horní hranice průměrných dávek ve štítné žláze činí 35 mGy u dospělých osob a 80 mGy u dětí do jednoho roku stáří (9).

3.7 Projekt SAFECAST

Katastrofa jaderné elektrárny Fukušima Daiči, která začala 11. března 2011, poskytla zásadní příležitost vyhodnotit stav příprav ze strany provozovatele elektrárny (TEPCO), příslušných japonských vládních agentur a mezinárodních dozorových orgánů, rychle shromáždit potřebné informace o radiačních rizicích a sdílet je s osobami, které mají za úkol reagovat na mimořádné události, i s širokou veřejností. Nedostatečnost této přípravy a chaotický charakter meziagenturní a mezivládní komunikace byly zaznamenány v několika oficiálních zprávách o katastrofě. V reakci na to byla 12. března 2011, den po začátku havárie, zahájena činnost Safecast, mezinárodní dobrovolnické organizace, která se věnuje monitorování a otevřenému sdílení informací o radiaci v životním prostředí a dalších znečišťujících látkách (17).

Motivací byla nedůvěra ve vnímání nespolehlivých a neúplných informací japonských úřadů a provozovatele jaderné elektrárny o radiační situaci (18).

Měření okolního dávkového příkonu prováděná občany měla ověřit a doplnit oficiální údaje. Pro tento účel byl navržen standardní nástroj, snadno použitelný a ovladatelný a ve srovnání s podobnými nástroji relativně levný. Modul GPS zaznamenává zeměpisnou polohu a zapisuje ji do log souboru spolu s datem, časem a údajem o dávkovém příkonu. Lze jej odeslat do databáze Safecast za účelem zobrazení na volně přístupné on-line mapě Safecast. V srpnu 2021 obsahovala databáze více než 168 000 000 měření po celém světě získaných z přibližně 3 000 detektorů. Hustota měření je však velmi proměnlivá, s vysokou hustotou většinou v Japonsku, některých evropských zemích a USA (18).



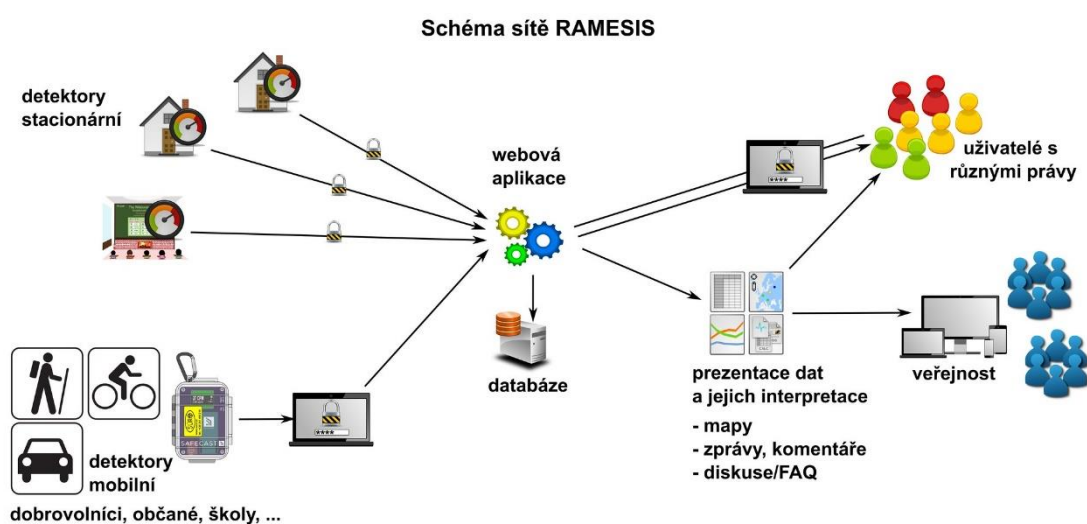
Obrázek 5 - Mapa Safecast (19)

Citizen Science znamená vědecký výzkum prováděný občany, kteří nejsou profesionálními vědci. Jejich zapojení se může pohybovat mezi účastí v různé míře na definovaných projektech a přípravou celých projektů. Konkrétní třída citizens science se někdy nazývá Citizen Sensing, zaměřená na získávání dat, typicky při monitorování životního prostředí. Zapojení občanů, kteří nejsou vzdělanými vědci, obecně přispívá k přírodovědnému vzdělání – v tomto případě k lepšímu pochopení radiační fyziky a účinků obecně a radiační ochrany vůbec, podstaty přírodního záření a jeho geografická variabilita a co měření znamená, včetně důležitosti pozorovacího protokolu a nejistoty. Může také pomoci pochopit problémy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, nejistoty různých typů a další statistické problémy. Možnost zúčastnit se a přispět viditelně podněcuje vědeckou zvědavost a zájem. Dále pomáhá při komunikaci s odbornými institucemi radioochrany, včetně utišení případné vzájemné nedůvěry a při osvojování si jejich znalostí. Velkou výhodou citizens science oproti institucionálnímu monitorovacímu šetření je to, že může získat množství dat, které institucionální monitorovací řešení jen stěží dokáže. Dokáže tak detekovat jevy a geografické vzorce okolního záření, které mohly uniknout institucionální pozornosti a napomáhat efektivnímu využití kapacit

profesionálních monitorovacích týmů. Protože občané obvykle nejsou obeznámeni s metrologií se zajištěnou kvalitou, jejich výsledky jsou ovlivněny nejistotou způsobenou odchylkami od standardních protokolů měření. Tyto nejistoty se obtížně kvantifikují a mohou zhoršit spolehlivost výsledků, ale analýza velkého množství dat generovaných občany může pomoci tyto nejistoty pochopit a dokonce je kvantifikovat (18).

3.8 Projekt RAMESIS

Při řešení radiálních havárií, k jakým došlo např. v Černobylu nebo Fukušimě, je důležitá důvěra veřejnosti a její participace na nezbytných ochranných opatřeních. K tomu napomáhá otevřený přístup veřejnosti k aktuálním informacím o nastalé radiální situaci. V rámci bezpečnostního výzkumu MV ČR vznikl projekt RAMESIS, do nějž se zapojují jednotlivci, instituce i školy. Jednotlivým subjektům jsou zdarma zapůjčovány měřicí přístroje výměnou za poskytování výsledků měření. Účastníkům projektu je ze strany SÚRO poskytována odborná a informační podpora, jak pro vlastní měření, tak i pro interpretaci jeho výsledků (20).



Obrázek 6 - Schéma sítě RAMESIS (21)

3.9 Zařízení používaná pro RAMESIS

3.9.1 Fixní stanička

Fixní staničky nejsou vzhledem ke své konstrukci určeny pro exteriér, pouze pro interiér. Nejsou prachotěsné ani vlhkotěsné. Instalují se na zeď pomocí dvou až čtyř šroubů. Staničky nesmí být vystavovány vysokým teplotám, např. za okno, kam svítí slunce, což by způsobovalo jejich nadměrné zatížení (22). Vlivem vlhkosti, prašnosti nebo extrémních teplot by mohlo dojít k nevratnému poškození přístrojů. Vhodné je umístění v místnosti, poblíž okna do výšky asi 1,5 m nad zemí, na stinné místo tak, aby byla stanička chráněna před přímým slunečním svitem (23).

3.9.2 Mobilní detektor SAFECAST

Jedná se o detektor typu Geiger-Müller s vestavěným GPS modulem. Kromě naměřeného dávkového příkonu zaznamenává GPS souřadnice, které jsou přiřazeny k naměřeným datům a posléze interpretovány v podobě map, grafů nebo tabulek. Aby bylo možné bezvadné použití detektoru v terénu, je umístěn ve vlhkotěsném pouzdře PELI 1010 Micro Case s krytím IP67. Pouzdro přístroj chrání před vodou a prachem, nikoli před nárazy. Z důvodu ochrany citlivého detektoru je pouzdro při měření uzavřeno. Pro jednoduchou instalaci je pouzdro opatřeno karabinou, pomocí níž ho lze připnout a oky pro provlečení popruhu nebo opasku. Lze ho tak mít např. vně batohu, na jízdním kole, na kočárku, za pasem atd (22).



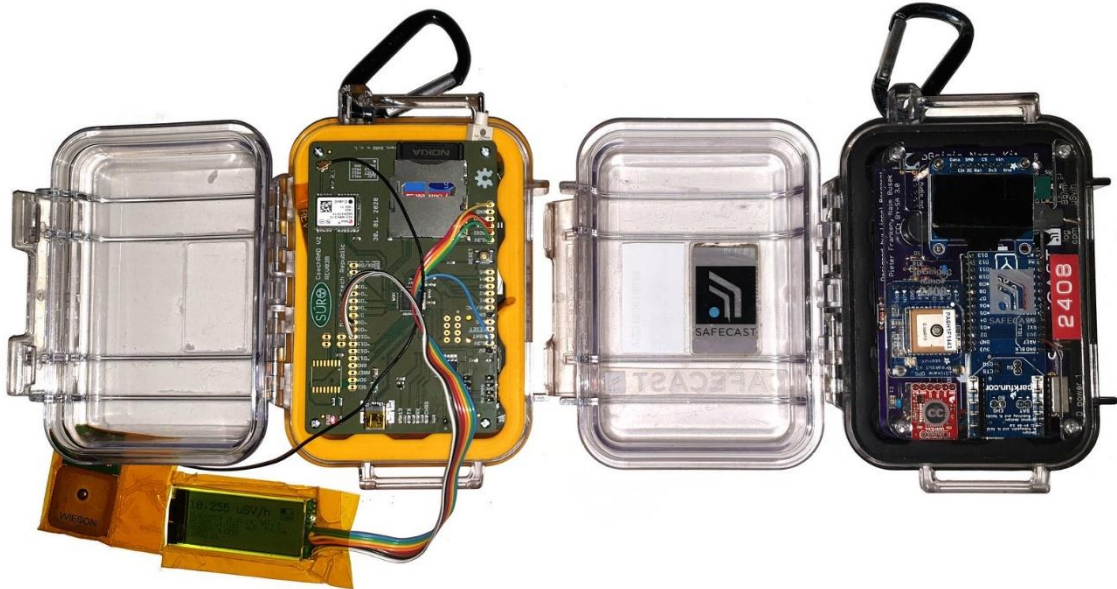
Obrázek 7 - Měření dávky pomocí Safecas bGeigie Nano (24)

Dalším možným nástupcem bGeigie Nano by mohl být přístroj bGeigie Zen představený Safecastem v dubnu 2021. Detektor je navržen na bázi M5Stack, což by mělo řešit problém s výrobou jednotlivých dílů pocházejících od jednoho dodavatele. Přístroj bGeigie Nano je složen z komponent pocházejících od různých výrobců. Další výhodou modulárního systému M5Stack je zjednodušení tvorby různých variant (mobilní, stacionární, sdílení naměřených dat prostřednictvím ethernetu či GSM v režimu on-line). Jednotlivé díly stavebnice jsou přidávány pouze nacvaknutím, bez nutnosti pájení. Mělo by být technicky možné nahrávat naměřená data do map bez použití dalšího zařízení s mobilní aplikací. Místo pancake Geiger-Müller detektoru by měl být osazen senzorovou deskou nazvanou SafePulse (25).

3.9.3 CzechRad

V rámci občanského měření bude alternativou k mobilnímu detektoru SAFECAST bGeigie Nano detektor CzechRad vyvíjený Státním ústavem radiční ochrany, jež si klade za cíl doplnit flotilu Safecastů, či je zcela nahradit. Jedná se o plnohodnotnou alternativu, kompatibilní s řešením Safecast, ať už se jedná o vlastní měření, tak i formát naměřených dat, jejich zpracování a předávání. Jedním z hlavních důvodů pro vývoj tohoto přístroje byla minimalizace

závislosti na dílech dostupných výhradně od dodavatelů z USA. Tím je zajištěn jednodušší a levnější servis přístrojů. Detektory dostaly také několika vylepšení (26).



Obrázek 8 - CzechRad vs. Safecast bGeigie Nano (27)

Díky použití GPS modulu NEO-M8 series, který je citlivější a podporuje systémy Galileo, GLONASS a BeiDou bylo dosaženo lepšího a rychlejšího určování polohy (26).

Černobílý grafický displej má oproti OLED displeji, použitému v Safecastu, nižší spotřebu a lepší čitelnost a kontrast i na slunci (26).

CzechRad bude osazen Geiger-Müller detektorem typu pancake v robustnějším provedení, než je tomu u Safecastu (25).



Obrázek 9 - Displej prototypu CzechRad (28)

3.10 Projekty občanského měření dávkových příkonů v některých dalších zemích

3.10.1 Francie

Francouzský projekt OpenRadiation je organizován jako občanský vědecký program, kdy jsou data publikována jako opendata pod licencí ODC-ODbL. V rámci projektu je provozován web www.openradiation.org obsahující kromě informací o projektu interaktivní mapu pro nahrání, stažení a zobrazení dat. V rámci projektu OpenRadiation byl vyvinut detektor neobsahující LCD. Data jsou přenášena prostřednictvím Wi-Fi nebo bluetooth do mobilního telefonu či tabletu, kde je lze zobrazit ve volně stažitelné aplikaci OpenRadiation. Aplikace je dostupná jak pro operační systém Android, tak i pro Apple iOS. V porovnání s detektorem bGeigie Nano má tento přístroj přibližně poloviční citlivost (25).

Dalším detektorem využitelným v projektu OpenRadiation je Rium GM. Dle dostupných informací se jedná o pouzdro s GM trubicí, zdrojem elektrické energie a elektronikou s možností exportu dat přes USB rozhraní nebo přes bluetooth modul. Detektor není osazen displejem, k zobrazení dat je třeba využít chytrý telefon nebo tablet s operačním systémem Android nebo Apple iOS, nebo počítač se systémem Windows (25).

Na webových stránkách projektu je uvedeno, že k získávání dat lze využít detektory Atom Tag, Radiation-watch Pocket Geiger Type 6, Polimaster Polismart II, RIUM GM, nebo Safecast bGeigie Nano s přidaným bluetooth modulem. Postupně budou zaváděna webová rozhraní, která umožní příjem dat z jednotlivých přístrojů (29).

Od roku 2019 je k dispozici pro přístroj pro spektrometrická občanská měření Rium Pro. Data jsou odesílána do chytrého zařízení s operačním systémem Android nebo Apple iOS a lze je sdílet v síti OpenRadiation (25).

3.10.2 Polsko

V roce 2012 vznikla komunita BOINC Polska, jejíž aktivitou je projekt nazvaný Radioactive@home, zahrnující stacionární detektory a vlastní webovou aplikaci. Hlavním cílem projektu je vytvořit bezplatnou a průběžně aktualizovanou mapu úrovně záření dostupnou pro každého, shromažďováním informací o záření gama pomocí senzorů připojených k počítačům dobrovolníků ochotných se projektu zúčastnit. Detektor je určen k použití uvnitř budov. Aktuálně naměřené hodnoty jsou zobrazovány na displeji přístroje. Napájení a přenos dat jsou řešeny USB kabelem. Pro odesílání dat je třeba mít nainstalovaný bezplatný software, který data automaticky odešle na web radioactiveathome.org, kde jsou k dispozici přibližně jeden měsíc. Poté jsou přemazána novými daty (30).

Zdá se, že byl projekt utlumen, ale detektory lze dále používat a získávání naměřených dat technicky lze prostřednictvím jiného software a detektory tak zahrnout do jiné monitorovací sítě (25).

U spektrometru RAYSID vyráběného v Polsku výrobce uvádí energetický rozsah 25 keV až 3 MeV. Pro mapování dávkového příkonu s využitím GPS souřadnic získávaných z připojeného mobilního telefonu slouží Raysid Map, podobné mapám SAFecast. Jako podklad jsou využívány mapy Google (25).

3.10.3 Bělorusko

Běloruský výrobce detekční techniky POLISMART vyvinul detektor a vlastní software pro měření občany a zobrazování výsledků v mapách. V detektoru lze předem nastavit prahové hodnoty, při jejichž překročení se spustí vizuální a akustický alarm. Přenos dat probíhá přes bluetooth do mobilního zařízení s operačním systémem Apple iOS nebo Android. Systém má být nastaven tak, aby naměřená data předával francouzskému systému OpenRadiation (25).

Elektronický osobní dozimetr PM1904A je navržen tak, aby nepřetržitě sledoval a kvantifikoval akumulovanou dávku, kterou obdržel z fotonového záření, a poskytoval vizuální a zvukové alarmy při překročení přednastavených prahových hodnot. PM1904A si s mobilním zařízením vyměňuje data v reálném čase prostřednictvím bezdrátového připojení Bluetooth 4.0 LE. Následně lze v mobilním zařízení s daty pracovat – prohlížet, filtrovat dle přednastavených preferencí, sdílet atd. Naměřené hodnoty lze prohlížet v módu dávka nebo dávkový příkon (31).

3.10.4 Rusko

V Rusku je k občanskému měření využíváno několik různých detektorů. Zařízení Do-Ra vyžaduje připojení k chytrému telefonu prostřednictvím 3,5 mm konektoru dříve užívaného pro připojení sluchátek, aby bylo možné na displeji zobrazit naměřená data (25).

Dalším detektorem s citlivostí pro běžné přírodní pozadí, což je cca 30 cpm, je Atom Simple. Nevýhodou je, tak jako v předchozím případě, připojení přes 3,5 mm jack. Funkčnost při použití redukce- 3,5 mm jack – USB-C není ověřena (25).

Atom Swift lze k chytrému zařízení připojit pomocí bluetooth. Výsledky měření jsou zaznamenávány do Google maps. Oproti Atom Simple je tento přístroj osazen detektorem asi 25x citlivějším (25).

Radiometr-dozimetr Atom Fast spolupracuje s chytrým zařízením přes bluetooth a zaznamenává gama a rentgenové záření. Napájení je zajištěno lithium-iontovým zdrojem. K jednomu mobilnímu zařízení lze připojit více detektorů (25).

Kapesní spektrometr RadiaCode-101 detekuje záření gama, vysokoenergetické beta a rentgenové záření v energetickém rozsahu 0,05 MeV až 3 MeV a dávkový příkon 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ až 1 mSv/h. Uživatel má na výběr ze dvou režimů, buď dávkový

příkon, nebo spektrometrie. V případě dávkového příkonu jsou kromě naměřených hodnot zaznamenávány i GPS souřadnice. Vše je možné zobrazit na mapě a následně vytvořit datový soubor pro další zpracování. Záznam spekter je třeba vyvolat manuálně. Výrobce uvádí, že spektrické mapování je otázkou software a není vyloučeno, že dojde v budoucnu k přidání takové funkce. V současné době jsou spektra ukládána ve formátu *.xml a lze je po drobné ruční úpravě dále zpracovávat v tabulkovém procesoru, nebo ve speciálně vytvořeném software (25).

3.10.5 Ukrajina

Na Ukrajině je využíván software GS Ecotest ve spojení s detektory gama záření Gamma Sapiens a s dozimetry MKS-05 TERRA a RKS-01 STORA-TU. Nepřetržitý přenos výsledků měření do programu GS Ecotest nainstalovaného v mobilním zařízení s operačním systémem Android je zajištěn přes bluetooth. Výsledky jsou ukládány do databáze, zobrazovány na mapách, umisťovány do tras atd. Z programu GS Ecotest lze na smartphonu v reálném čase vyčíst informace o úrovni radiace a akumulované dávce (32).

Dále lze v mapách zobrazit dozimetrické informace včetně souřadnic, automaticky generovat trasy dozimetrických měření dle předem zadaných kritérií. Aplikace umožňuje nastavení jednoho nebo několika prahů dávkového příkonu a dávky, při jejichž překročení je uživatel informován akustickým, vizuálním a vibračním alarmem. Aplikace umožňuje uchovávání dozimetrických informací v databázi a poté jejich prohlížení po libovolnou dobu. Exportovat data lze ve formátu KMZ, což umožňuje prohlížení v Google Earth a Google Maps a následně sdílet na sociálních sítích (25).

3.10.6 Spojené království

Pomocí USB kabelu, sluchátkového konektoru 3,5 mm nebo bluetooth lze připojit detektor Radiation-Watch k chytrému zařízení s operačním systémem

Apple iOS nebo Android, nebo k PC s operačním systémem Windows. Tento detektor nevyhniká svou citlivostí (25).

Dalším málo citlivým detektorem je Pocket Geiger. Jeho měřicí rozsah je uváděn v pásmu 0,05 $\mu\text{Sv/h}$ až 10 mSv/h (25).

3.10.7 Spojené státy americké

Mineralab je uzavřenou sítí. Stejnomená společnost provozuje weby GeigerCounters.com a radiationnetwork.com. V placeném software lze na mapách zobrazovat data z podporovaných přístrojů. Mapa je aktualizována v reálném čase každou minutu. Veřejnost si může na webu www.radiationnetwork.com zobrazit mapy z vybraných regionů ve formě obrázků, bez jakékoli interakce. Stahování dat není možné (25).

3.11 Některé další způsoby občanských měření

3.11.1 Měření s využitím vestavěných senzorů mobilních telefonů

Občanská měření lze provádět pomocí digitálních fotoaparátů vestavěných v mobilních zařízeních, jež jsou založeny na technologii CMOS. Tato technologie převádí zachycené signály ze světelných na elektrické a ty jsou dále převáděny z analogových na digitální. Díky malým rozměrům a nízké spotřebě elektrické energie jsou CMOS snímače ideální volbou. Sensory CMOS jsou citlivé na viditelné světlo, ale i na fotony s vyšší energií. Pro použití fotoaparátu v mobilním zařízení je třeba opatřit objektiv černou světlotěsnou páskou, případně kombinací pásky a aluminiové fólie, aby nedocházelo k falešné detekci záření. Interakce paprsků gama s čipy se projeví jako světlé body na tmavém pozadí a následně je videosoubor převeden na obrázky, na nichž speciální software provede jejich součet za zvolený časový úsek. Jednotlivá mobilní zařízení mají odlišnou odezvu, proto je nutné použití kalibračního koeficientu příslušného k danému typu fotoaparátu. Tento koeficient je buď obsažen v mobilní aplikaci, nebo jej lze získat z webových stránek výrobce.

Někteří výrobci již kalibrační křivky přestali poskytovat. Zásadním parametrem je kvalita čipu a jeho velikost. Z hlediska dávkového příkonu většina aplikací výrazně nadhodnocuje nebo podhodnocuje, nebo nejsou zkalibrovány. Některé aplikace poskytují kompenzaci přírodního pozadí, takže lze měřit a ukládat šum senzoru a emise na pozadí a dále je odečítat od jednotlivých vzorků. Aplikace jako jsou RadSensor a GammaPix Lite lze stáhnout z obchodu Google Play, ale některé aplikace je třeba stáhnout z webových stránek výrobce jako např. RadioactivityCounter nebo Gamma Guard (25).

3.11.2 Měření štítné žlázy a potravin

12 nespektrometrických detekčních přístrojů bylo v rámci evropského projektu CATHyMARA testováno pro možné terénní měření ^{131}I ve štítné žláze osob po havárii jaderného zařízení. Mezi testovanými přístroji byl i Safecast bGeigie Nano, jež se ukázal být velmi dobře použitelným při občanském měření aktivity radioaktivního jódu ve štítné žláze podle hodnot dávkového příkonu záření gama. Nově vyvíjený přístroj CzechRad obsahuje detektor se srovnatelnou citlivostí, tudíž i u něj lze předpokládat možné využití při takovém měření. Výše zmíněné výsledky testů dokládají uspokojivou úroveň připravenosti v Evropě, avšak není doklad o tom, že by podobná měření po radiační události proběhla (25).

Občanské detektory jsou použitelné pouze ke screeningu potravin kontaminovaných vyššími hodnotami umělých radionuklidů, zpravidla na úrovni desítek kBq/kg a více. Občanské měření by běžně probíhalo bez stínění a na malém vzorku potravin. 1 kg potravin kontaminovaný ^{137}Cs na úrovni 1 kBq/kg by činil ve vzdálenosti 0,1 m nárůst dávkového příkonu cca o 0,01 $\mu\text{Gy/h}$, což při běžné úrovni přírodního pozadí v České republice 0,05 – 0,1 $\mu\text{Gy/h}$ nelze odlišit při použití pouze detektoru dávkového příkonu. Dále může měření ovlivnit přítomnost ^{40}K obsaženého v některých potravinách (25).

4 METODIKA

4.1 Kvantitativní měření

Jedná se o sběr velkého množství dat poskytujících přesný, numerický výsledek. Data jsou získávána několika způsoby.

Základní metodou získávání dat o dávkovém příkonu je profesionální měření v rámci SVZ, kdy jsou používány sofistikované detektory, které jsou umístovány s ohledem na co nejpřesnější geometrii měření a v maximální míře je omezeno stínění. Díky použití detektorů s různým měřicím rozsahem je zajištěna detekce výkyvů způsobovaných např. přírodními vlivy. Tato měření jsou prováděna ve vybraných lokalitách a na předem vytipovaných trasách.

Mobilní systém Mob-DOSE je vybaven dvěma GM trubicemi a zařízení tak pokrývá široký rozsah příkonů dávkového ekvivalentu od 50 nSv/h po 400 mSv/h. Uživatelské rozhraní a systém sběru dat využívá operační systém Android a lze jej používat s chytrými telefony, tablety a notebooky. Komunikace mezi přístrojem Mob-DOSE a vybraným dataloggerem probíhá přes protokol bluetooth. Pokud je zařízení používáno s chytrým telefonem, dodaným s přístrojem Mob-DOSE, lze telefon vložit do úchyty na přístroji a propojit jej napájecím kabelem s detekční částí. Softwarové rozhraní umožňuje uživateli kontrolovat sběr dat v reálném čase, provádět kontinuální záznam veškerých měřených údajů, jako jsou PDE, poloha GPS a cps. Data jsou automaticky synchronizována s polohou a časem a ukládají se do paměti telefonu, případně na SD kartu v binárním formátu. Přesnost je udávána v rozsahu $\pm 20\%$ nad $1\ \mu\text{Sv/h}$ a $\pm 40\%$ do $1\ \mu\text{Sv/h}$. Vnitřní flash paměť přístroje je 32 MB, což odpovídá cca 50 000 kompletních záznamů. Napájení je zajištěno vestavěným akumulátorem (15).



Obrázek 10 – Mob-DOSE (33)

Další variantou získávání dat jsou občanská měření prováděná ve valné většině jednoduššími přístroji na bázi Geiger-Müllerova detektoru, ovládanými laiky. V rámci projektu RAMESIS jsou využívány fixní staničky pro stacionární měření a mobilní detektory Safecast bGeigie nano určené pro měření dávkového příkonu při pohybu v terénu.

Konstrukce fixní staničky je modulární, sestávající ze dvou modulů. Měřicí modul je osazen detekční jednotkou na bázi plastového scintilátoru s křemíkovým fotonásobičem a napájením. V řídicím modulu je uložen mikropočítač s operačním systémem GNU/Linux zajišťující automatický režim měření, zobrazování a ukládání naměřených hodnot a jejich transfer do centrální databáze (23).

Měřicí rozsah staniček je od hodnot dávkového příkonu na úrovni přírodního pozadí, obvyklé v ČR po desítky mSv/h. Přístroj v režimu standardního měření ukládá naměřené hodnoty do vnitřní paměti v podobě minutové akumulované hodnoty (34).

Stanička neobsahuje GPS modul, proto je nutné oznámit Státnímu ústavu radiační ochrany adresu, na které se nachází nebo GPS souřadnice. Po instalaci na vhodné místo a zapnutí přístroj okamžitě měří a zaznamenává naměřené

údaje ve formátu CSV do minutové akumulované hodnoty. Pro jejich přenos je třeba internetového připojení s podporou DHCP, kdy jsou v intervalech 10 minut automaticky odesílána do webové aplikace RAMESIS. Z webové aplikace lze pořídit výstupy v podobě map nebo grafů. Data lze stáhnout i lokálně s využitím Samba protokolu (22).



Obrázek 11 - Fixní stanička RAMESIS pro radiační monitoring (35)

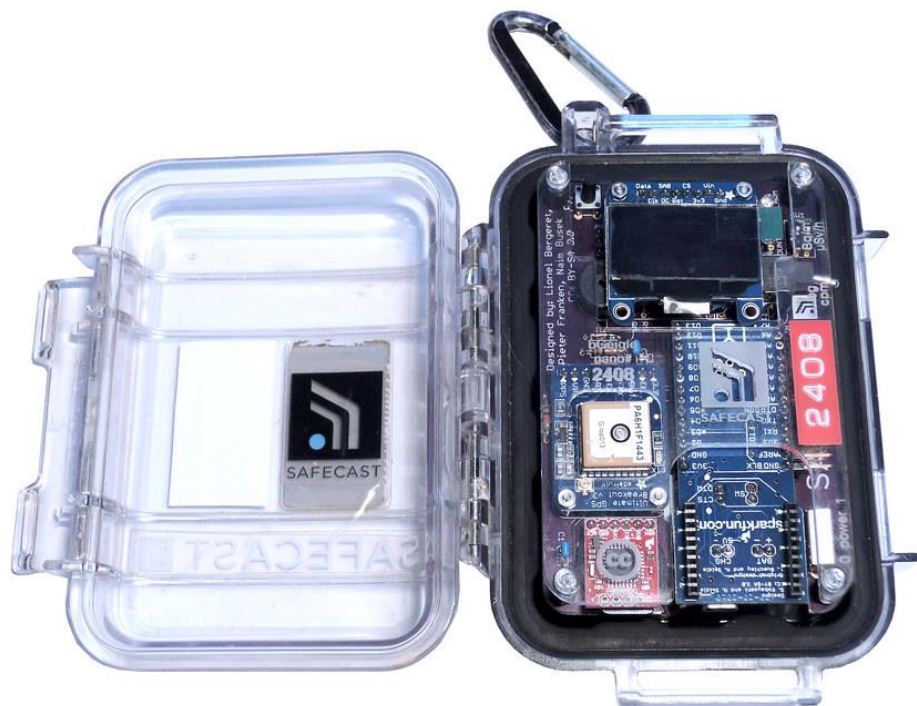
Většina fixních staniček je umístěna mimo zóny havarijního plánování, kde jsou již nainstalovány detekční přístroje sítě institucionálního monitorování.

Zóna havarijního plánování (dále jen ZHP) se dle zákona č. 224/2015 Sb. stanovuje pro objekty zařazené do skupiny B, kdy provozovatel objektu zpracuje podklady pro stanovení ZHP a zpracování vnějšího havarijního plánu a předloží je krajskému úřadu a Hasičskému záchrannému sboru ČR současně s předložením návrhu bezpečnostní zprávy. Na základě těchto podkladů stanoví krajský úřad ZHP. V případě zjištění, že by ZHP zasahovala do jiného kraje krajský úřad, v jehož správním obvodu se zdroj rizika nachází, vyzve dotčený krajský úřad k součinnosti při stanovení ZHP (36).

Safecast bGeigie Nano může pracovat ve dvou režimech. Přepínačem lze změnit režim měření ze standardního na režim experimentální, vhodný pro různá laboratorní cvičení nebo experimenty. V takovém režimu jsou data v pětisekundových intervalech ukládána do interní paměti přístroje, z níž je lze manuálně stáhnout v uživatelsky čitelném formátu CSV. Stažení dat bylo úspěšně otestováno na počítače s operačním systémem Windows 7 a Kubuntu linux. Experimentální režim měření je indikován diodou a symbolem kolečka na displeji (23).

Přístroj má dva ovládací prvky, vypínač pro zapnutí a vypnutí a přepínač pracovních režimů. V poloze označené symboly Bq/m² a μSv/h jsou na LCD zobrazeny naměřené hodnoty, datum a čas a není prováděn záznam dat. V poloze označené log/cpm displej zobrazuje hodnoty cpm a μSv/h, datum, čas, dobu měření, vzdálenost, na které bylo měření provedeno a počet satelitů GPS, na které je Safecast aktuálně navázán. Data se zaznamenávají, což je indikováno diodou vedle LCD. V případě, že není k dispozici signál GPS, je na LCD zobrazeno „No GPS“. V takovém případě není prováděn záznam dat (22).

Záznam veškerých dat je prováděn na microSD kartu, která je po ukončení měření z přístroje vyjmuta a vložena do kompatibilní čtečky. Následně jsou data odeslána prostřednictvím e-mailu na adresu SÚRO a po vyhodnocení jsou zveřejněna ve webové aplikaci RAMESIS. Jelikož mobilní detektory Safecast využívají soukromé osoby, lze data v souvislosti s ochranou citlivých informací ořezat např. tak, aby nebylo možné vysledovat bydliště dotčených osob. Na přání uživatelů lze data prezentovaná ve webové aplikaci doplnit jménem toho, kdo měření prováděl, popř. názvem organizace. U prezentovaných dat lze variantně vidět plné jméno uživatele (Petr Merunka (for SURO.cz)), přezdívkou (whimpy (for SURO.cz)), název organizace (HZS SZ (for SURO.cz)), nebo anonymní záznam RAMESIS (for SURO.cz) (22).



Obrázek 12 - Safecast bGeigie Nano (37)

4.2 Komparace

Vzhledem k tomu, že přístroje Safecast bGeigie Nano nejsou na rozdíl od přístrojů v SVZ a TLD stanovenými měřidly, není zaručena kvalita naměřených dat. V rámci výzkumu dojde k porovnání vzorku přístrojů vzájemně mezi sebou, kdy budou zjišťovány rozdíly naměřených dat.

Sledovány budou minimální, maximální a průměrná hodnota dávkového příkonu. Výsledná data institucionálního a občanského měření budou sumarizována a následně proběhne porovnání odchylek vyskytujících se v naměřených hodnotách.

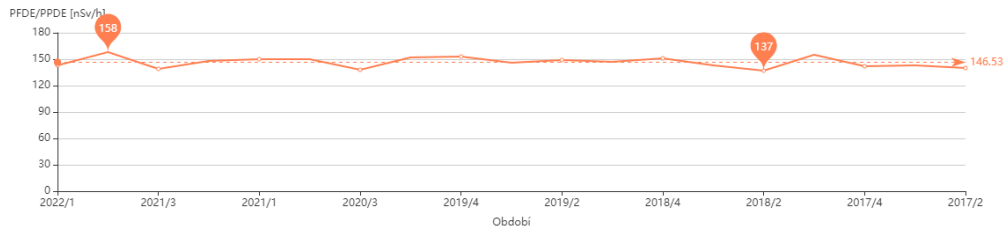
Na základě porovnání dojde k posouzení přínosu měřicích přístrojů určených pro občanská měření.

4.3 OSINT

Open Source Intelligence je metoda získávání informací výhradně z veřejně dostupných zdrojů, které jsou otevřeny všem s vysokým důrazem na ověřování relevance informací. Tuto metodu využívají zpravodajské služby, ale i firmy nebo jednotlivci. Důležitou součástí práce metodou OSINT je důkladné ověřování relevantnosti získaných dat.

5 VÝSLEDKY

5.1 Institucionální měření v Jihočeském kraji

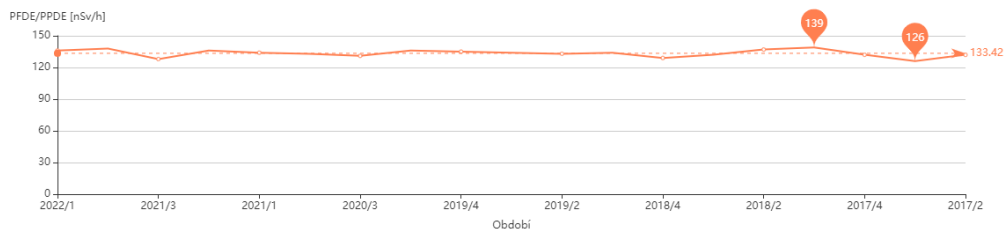


Obrázek 13 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Blatná za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,137 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,158 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,14653 $\mu\text{Sv/h}$

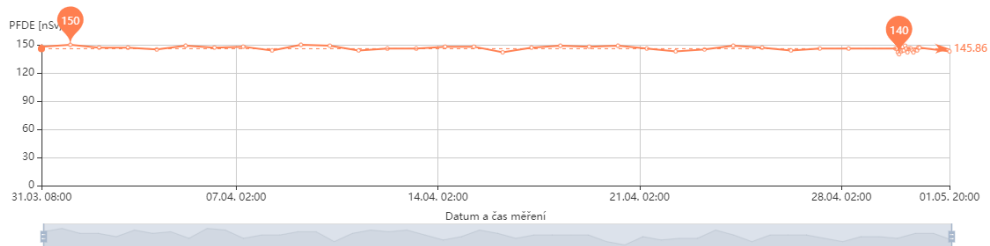


Obrázek 14 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Strakonice za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,126 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,139 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,13342 $\mu\text{Sv/h}$

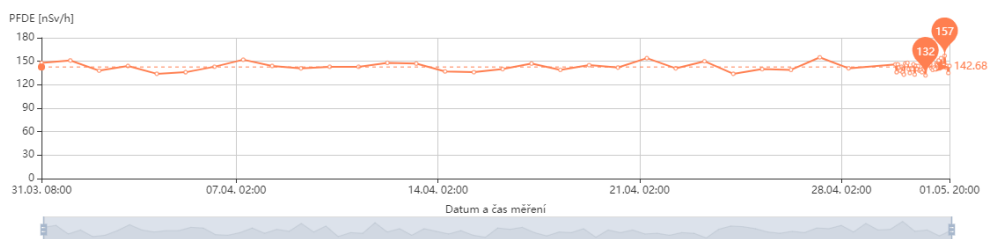


Obrázek 15 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě TE SRKO Albrechtice nad Vltavou za duben 2022 (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,140 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,150 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,14586 $\mu\text{Sv/h}$

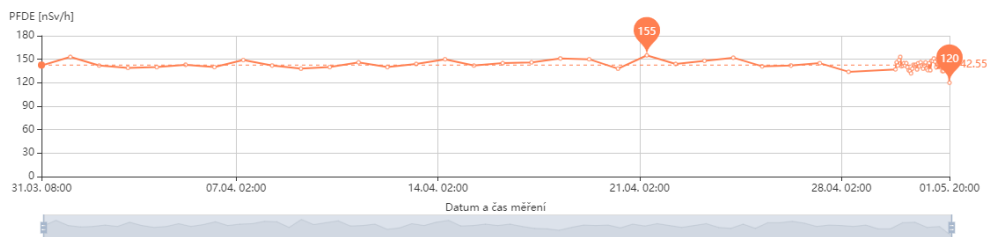


Obrázek 16 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě Týn nad Vltavou za duben 2022 (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,132 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,157 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,14268 $\mu\text{Sv/h}$



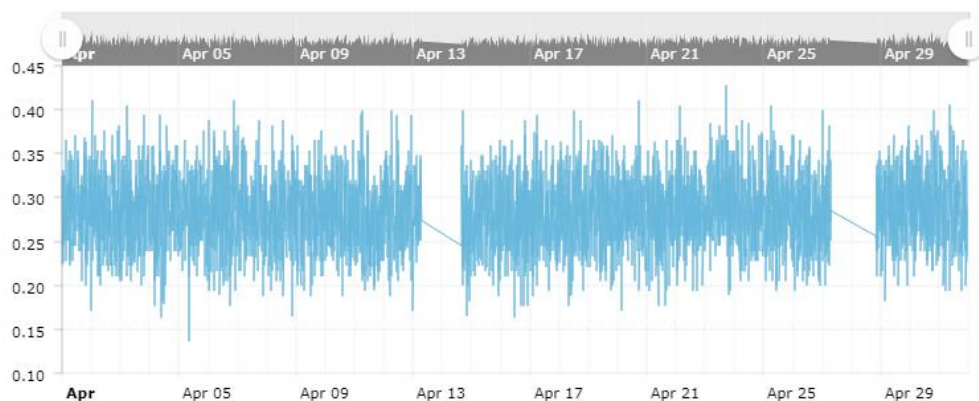
Obrázek 17 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě SRKO České Budějovice za duben 2022 (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,120 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,155 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,14255 $\mu\text{Sv/h}$

5.2 Občanská měření v Jihočeském kraji

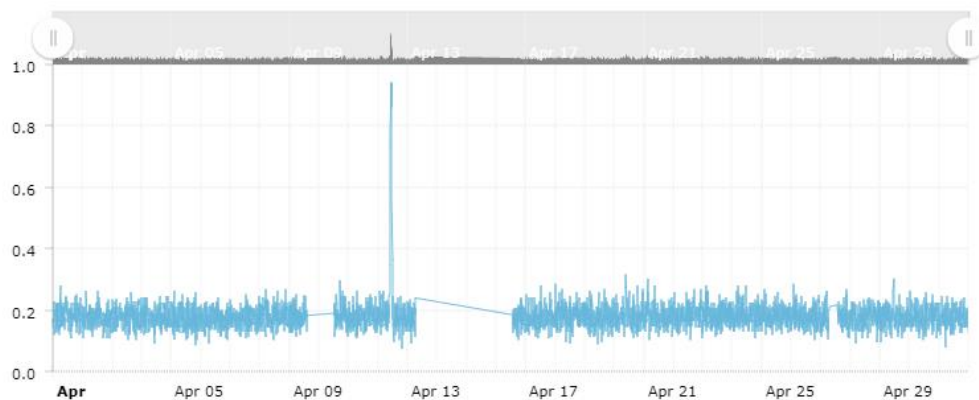


Obrázek 18 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_084: Čimelice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,1368 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,4275 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,283064297 $\mu\text{Sv/h}$



Obrázek 19 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_072: Strakonice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0741 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,9405 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,179444907 $\mu\text{Sv/h}$

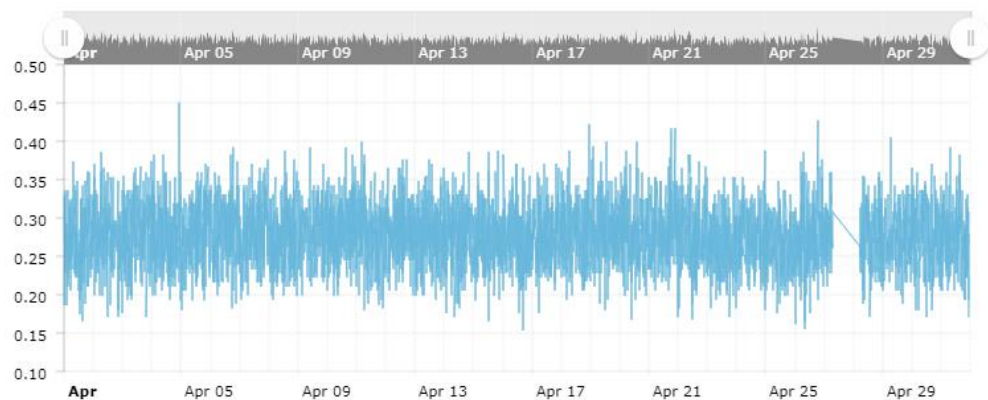


Obrázek 20 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_085: Albrechtice nad Vltavou (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0798 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,366873 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,218532205 $\mu\text{Sv/h}$

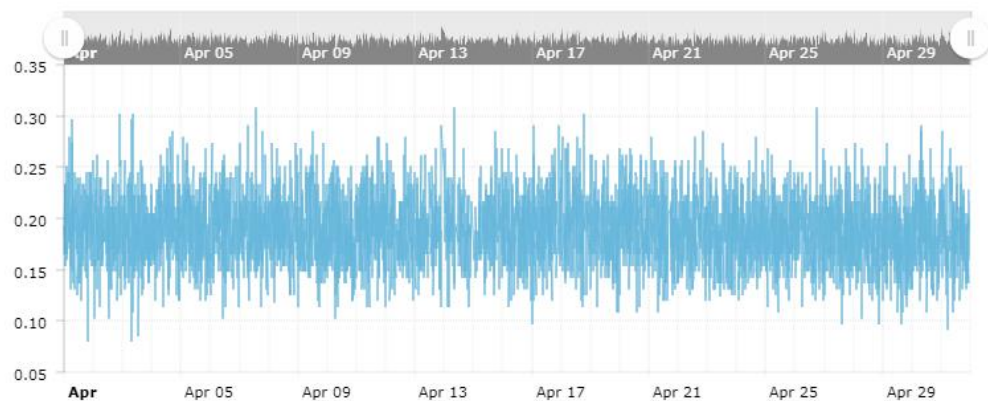


Obrázek 21 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_080: Dolní Bukovsko (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,1539 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,4503 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,27709971 $\mu\text{Sv/h}$



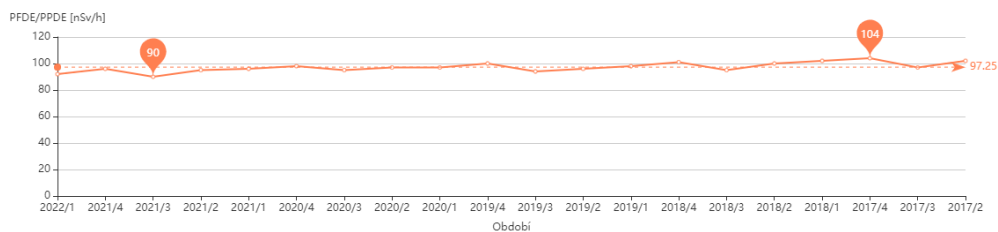
Obrázek 22 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_059: České Budějovice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0798 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3078 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,18854892 $\mu\text{Sv/h}$

5.3 Institucionální měření v Jihomoravském kraji

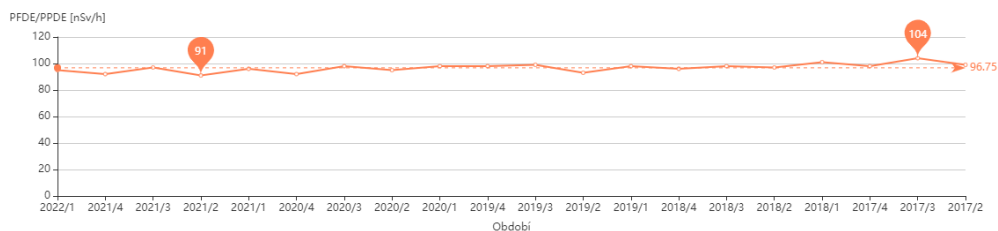


Obrázek 23 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Běhařovice za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,090 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,104 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,09725 $\mu\text{Sv/h}$

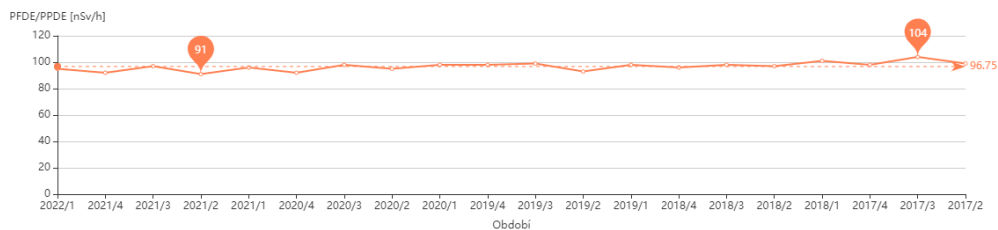


Obrázek 24 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Višňové za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,091 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,104 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,09675 $\mu\text{Sv/h}$

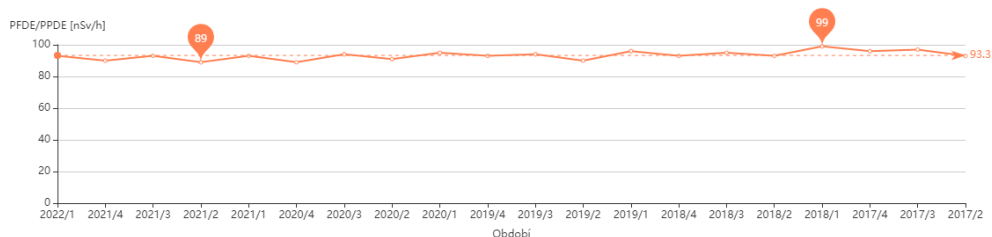


Obrázek 25 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Višňové za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,091 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,104 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,09675 $\mu\text{Sv/h}$

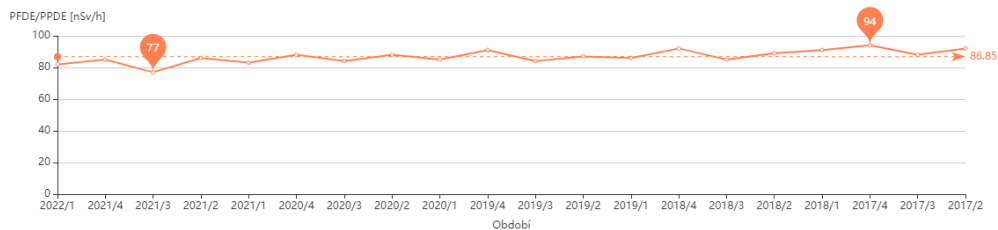


Obrázek 26 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Trstěnice za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,089 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,099 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,0933 $\mu\text{Sv/h}$



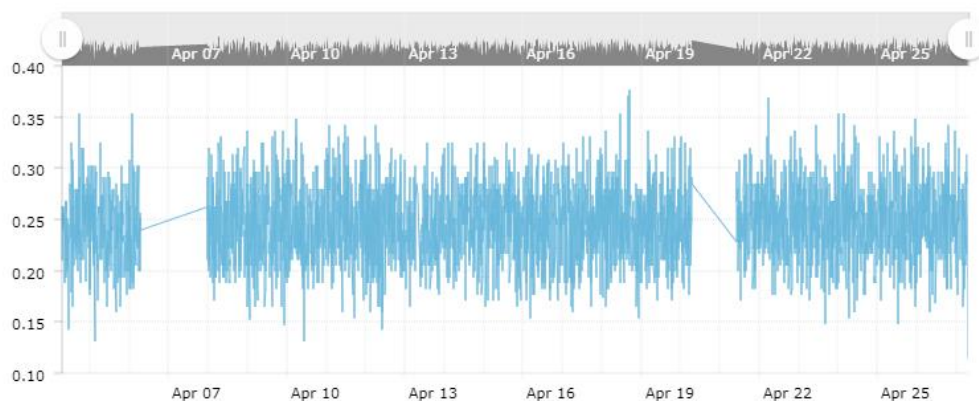
Obrázek 27 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Hostěradice za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,077 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,094 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,08685 $\mu\text{Sv/h}$

5.4 Občanská měření v Jihomoravském kraji

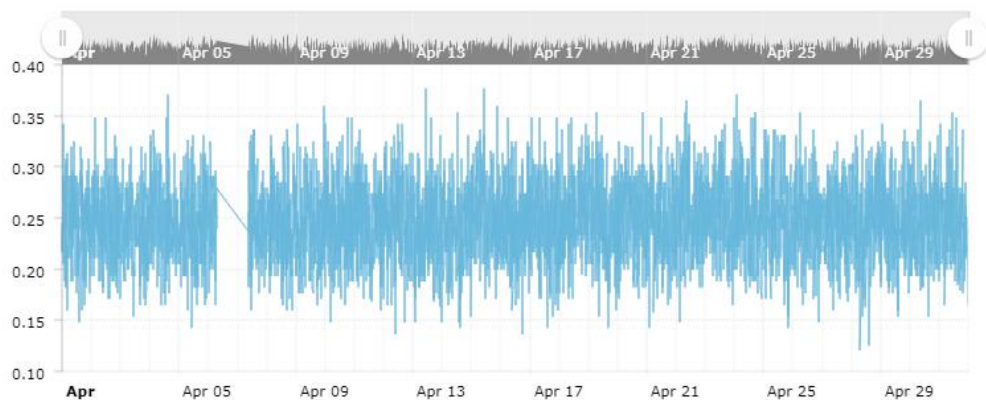


Obrázek 28 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_032: Běhařovice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,114 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3762 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,245469108 $\mu\text{Sv/h}$

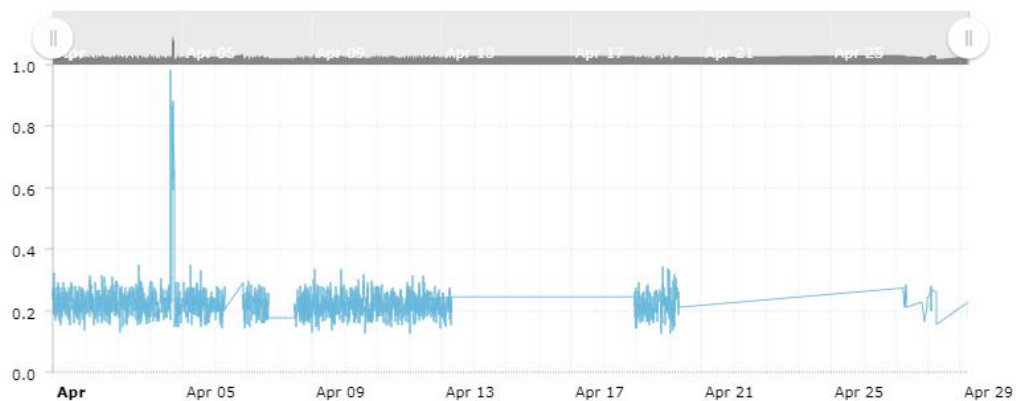


Obrázek 29 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_010: Višňové (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,121015 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3762 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,24680023 $\mu\text{Sv/h}$

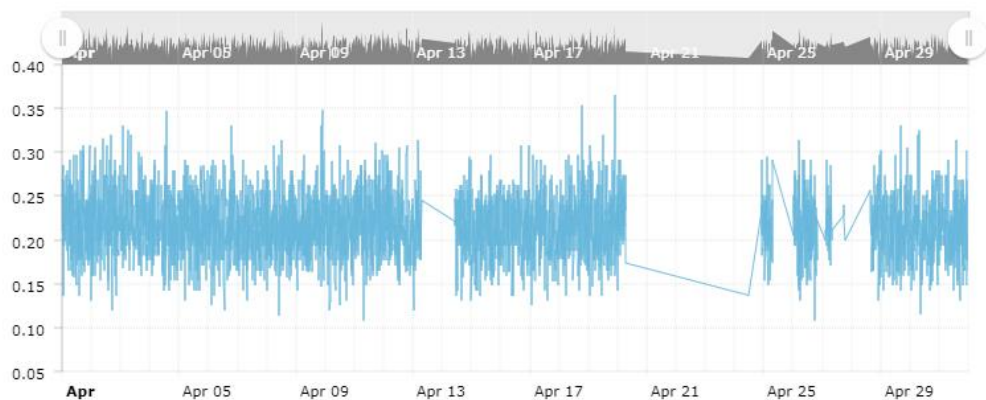


Obrázek 30 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_004: Miroslav (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,124362 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,9804 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,224477434 $\mu\text{Sv/h}$

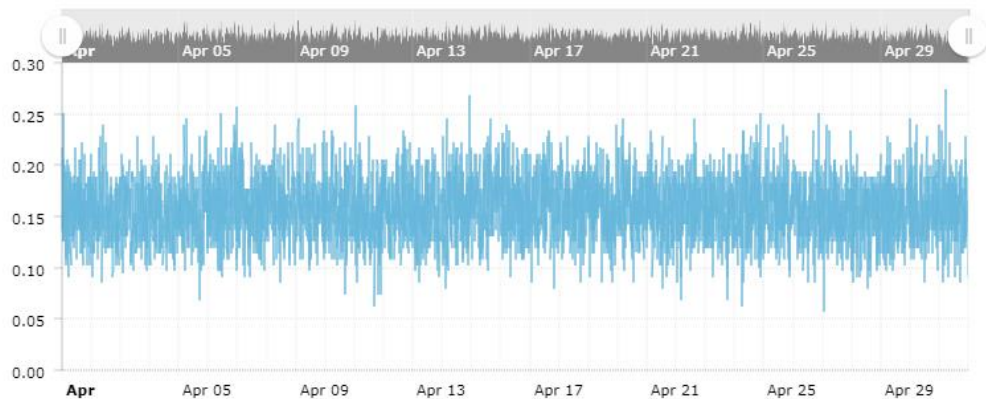


Obrázek 31 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_040: Trstěnice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,1083 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3648 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,216267673 $\mu\text{Sv/h}$



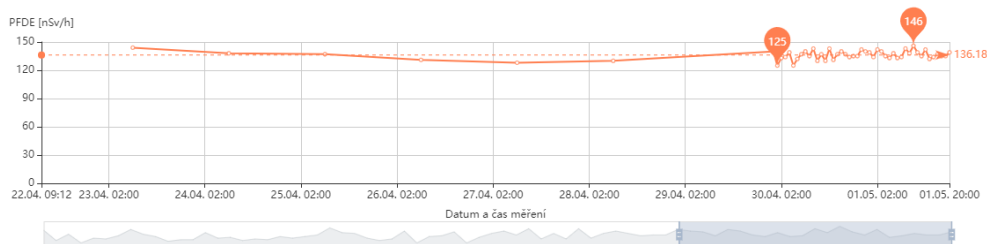
Obrázek 32 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_013: Hostěradice (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,057 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,2736 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,157190059 $\mu\text{Sv/h}$

5.5 Institucionální měření v Kraji Vysočina

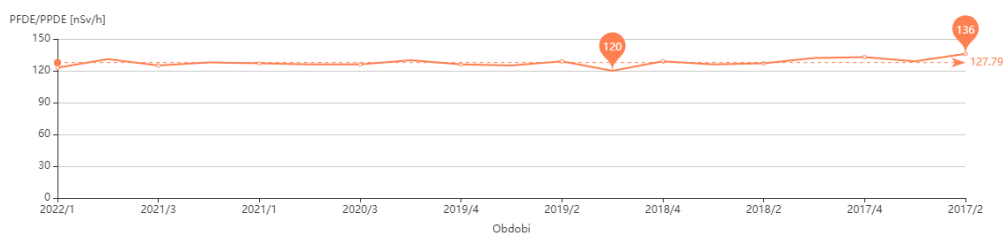


Obrázek 33 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě Kostelní Myslová za duben 2022 (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,125 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,146 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,13618 $\mu\text{Sv/h}$

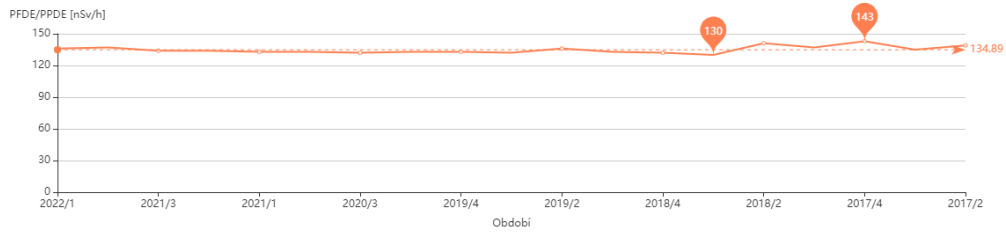


Obrázek 34 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Žďár nad Sázavou za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,120 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,136 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,12779 $\mu\text{Sv/h}$

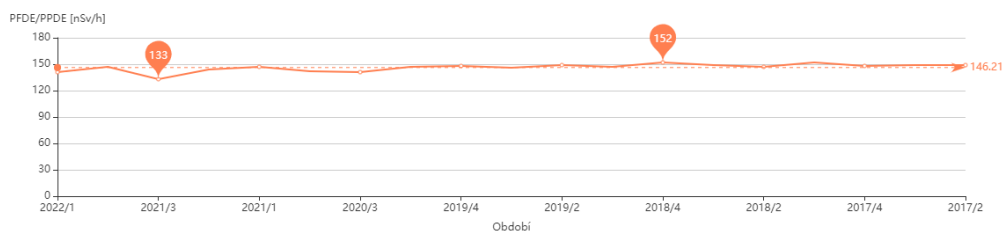


Obrázek 35 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Havlíčkův Brod b za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,130 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,143 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,13489 $\mu\text{Sv/h}$



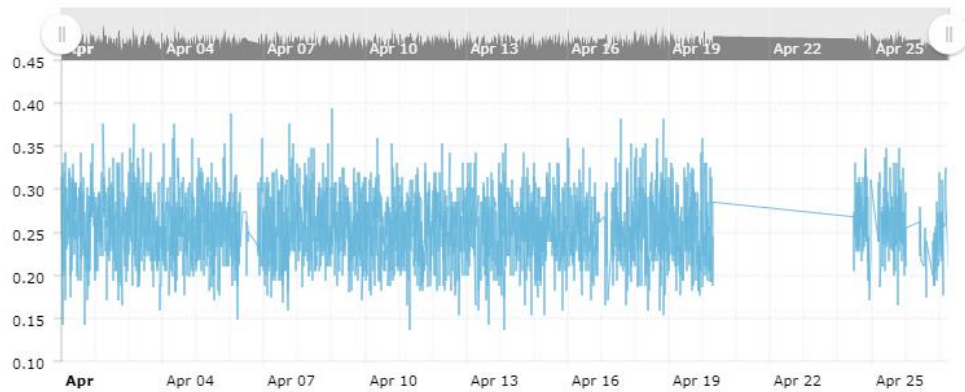
Obrázek 36 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Vír za 5 let (14)

Minimální hodnota za sledované období: 0,133 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,152 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,14621 $\mu\text{Sv/h}$

5.6 Občanská měření v Kraji Vysočina

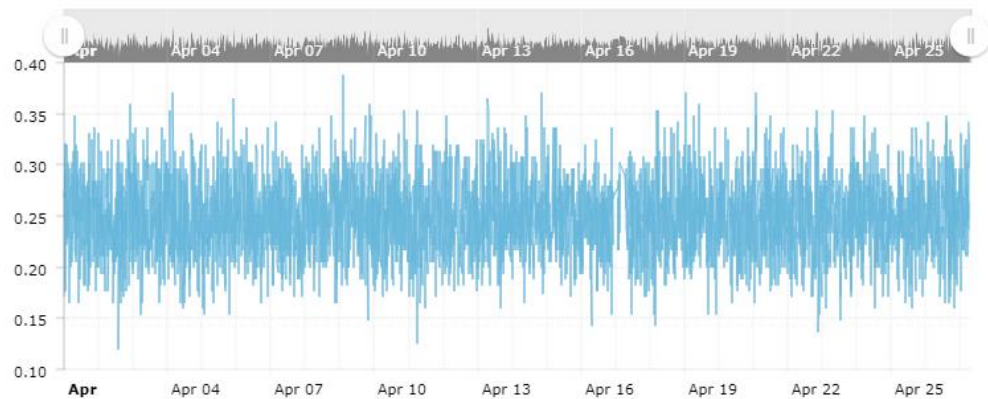


Obrázek 37 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_092: Telč (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,1368 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3933 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,254857304 $\mu\text{Sv/h}$

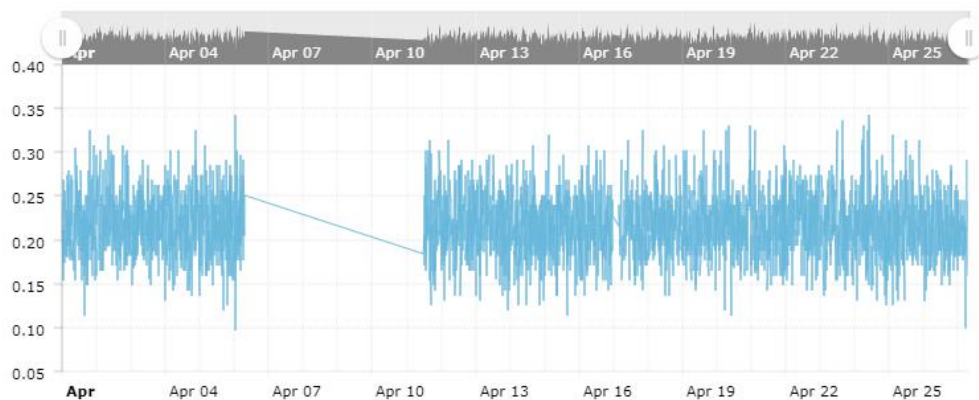


Obrázek 38 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_091: Žďár nad Sázavou (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,1197 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3876 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,24826834 $\mu\text{Sv/h}$

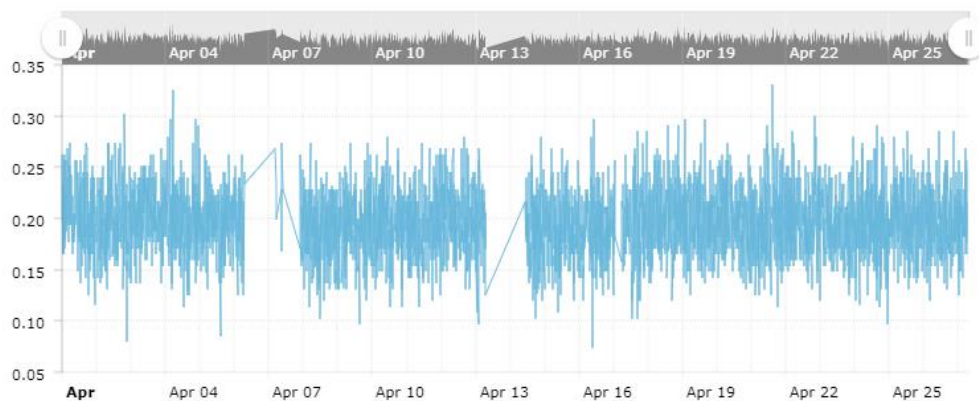


Obrázek 39 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_096: Havlíčkův Brod (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0969 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,342 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,21625884 $\mu\text{Sv/h}$

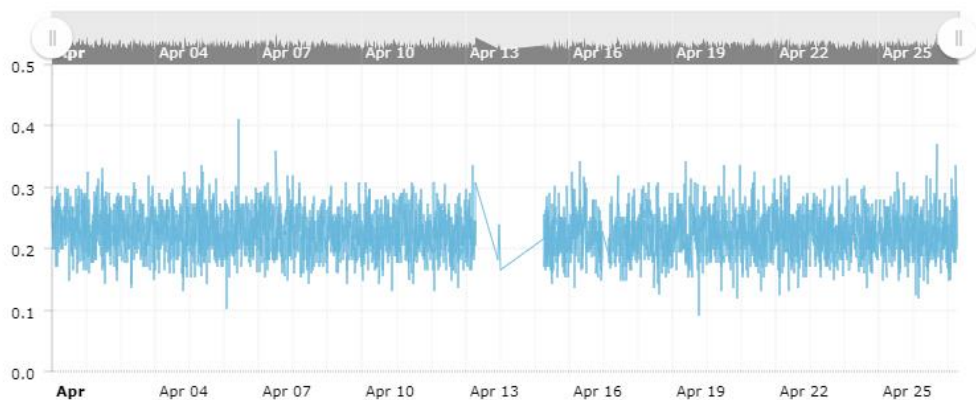


Obrázek 40 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_088: Ledec nad Sázavou (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0741 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,3306 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,196328771 $\mu\text{Sv/h}$



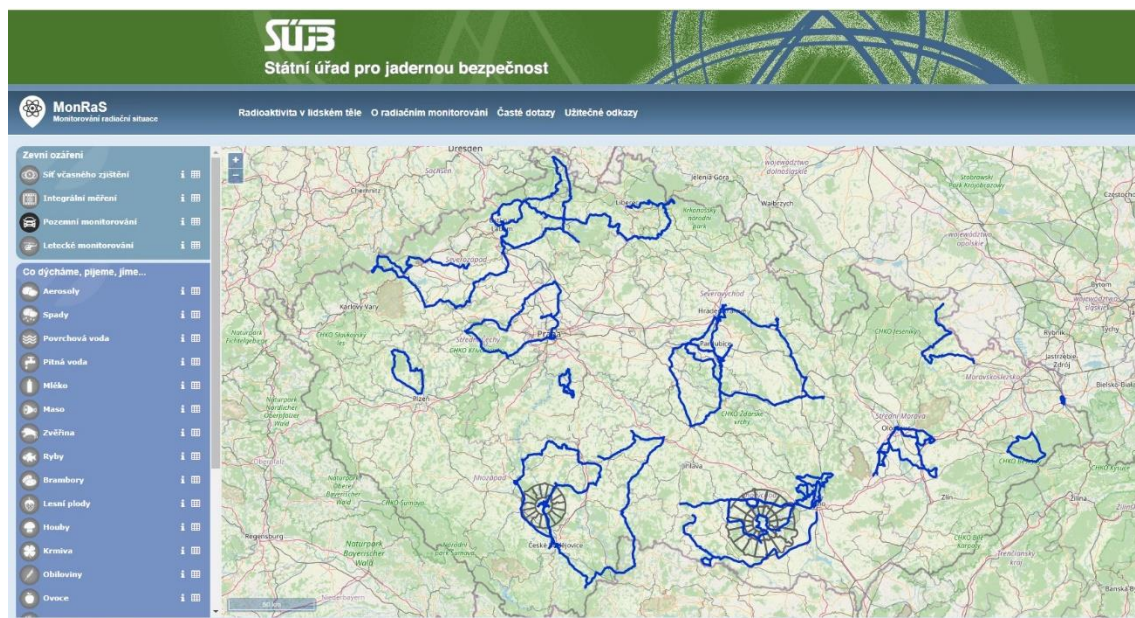
Obrázek 41 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_094: Bystřice nad Pernštejnem (38)

Minimální hodnota za sledované období: 0,0912 $\mu\text{Sv/h}$

Maximální hodnota za sledované období: 0,4104 $\mu\text{Sv/h}$

Průměrná hodnota za sledované období: 0,225797171 $\mu\text{Sv/h}$

5.7 Pozemní monitoring



Obrázek 42 - Pozemní monitoring (14)

Tabulka 1 - Pozemní monitoring (14)

datum měření	název mobilní skupiny	minimální hodnota na trase [$\mu\text{Sv/h}$]	maximální hodnota na trase [$\mu\text{Sv/h}$]
7. 4. 2022	1 MS RC České Budějovice	0,040	0,141
	1 MS RC Hradec Králové	< 0,030	0,468
	1 MS RC Brno	0,030	0,112
17. 4. 2022	1 MS Celní správa Brno	< 0,030	0,211
19. 4. 2022	5 MS ETE	0,033	0,275
	1 MS ETE	0,096	0,241
	1 MS HZS Lázně Bohdaneč	< 0,030	0,180
21. 4. 2022	3 MS Celní správa Hradec Králové	< 0,030	0,252
26. 4. 2022	1 MS Celní správa Brno	< 0,030	0,181
27. 4. 2022	2 MS Celní správa České Budějovice	< 0,030	0,431
29. 4. 2022	4 MS HZS Tišnov	< 0,030	0,118

6 DISKUZE

Na celém území ČR je od roku 1986 prováděno systematické sledování radiační situace pomocí Radiační monitorovací sítě, kterou řídí SÚJB. Na činnosti RMS se dále podílejí SÚRO, držitelé povolení k provozu jaderných zařízení, ČHMÚ, ČEZ, a. s., Ministerstvo financí, Ministerstvo obrany, Ministerstvo vnitra, Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí. Za obvyklé radiační situace pracuje RMS v tzv. režimu normálního monitorování. V případě nehodové expoziční situace přechází RMS do režimu havarijního monitorování. Tato síť čítá několik stovek detektorů rozmístěných po celém území ČR a mobilní týmy provádějící měření v terénu po předem stanovených trasách. Pro zjišťování radiační situace jsou využívány přesné, kalibrované detektory, na některých místech doplněné o spektrometry, nebo o meteorologické přístroje.

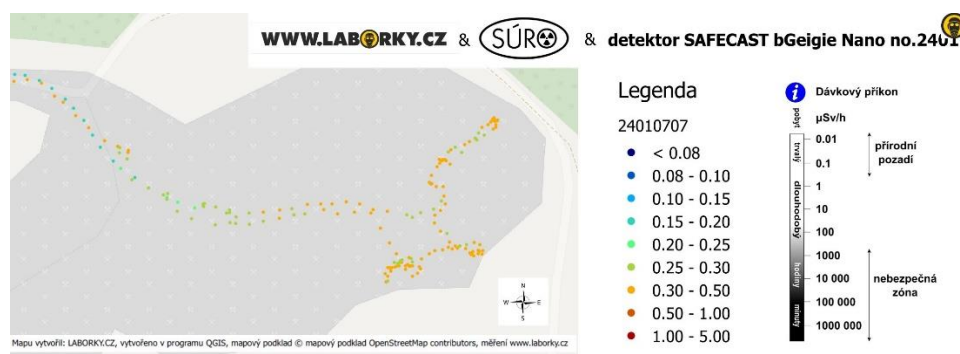
V případě RMS jsou používána stanovená měřidla, procházející pravidelným ověřováním a je dbáno na správnou geometrii měření, což zajišťuje stejné, nebo velmi podobné podmínky pro měření a zjednodušuje tak následné porovnání výsledků a detekci výchylek od běžných hodnot.

Pro občanská měření jsou používány detektory cenově dostupnější, zobrazující hodnoty s rozdílem až jednoho řádu oproti profesionálním přístrojům, leč s rozptylem naměřených hodnot podobným jako u profesionálních zařízení. Vzhledem k tomu, že jsou občanská měření prováděna laiky, je obtížné zaručit správnou geometrii měření, což může vést k nesprávné interpretaci výsledků měření. V případě mobilních detektorů uživatel spolu s naměřenými daty odesílá vyplněný záznam z měření, kde uvádí, v jaké výšce nad zemí bylo měření provedeno, v jaké pozici vůči směru chůze nebo jízdy byl detektor a některé další podrobnosti důležité pro správnou interpretaci výsledků měření.

Před zapůjčením detektoru je uživatel poučen o pravidlech týkajících se vlastního měření i interpretace výsledků. Např. odchylka od běžné úrovně přírodního pozadí, ke které došlo výjimečně nebo náhodně neznamena, že je daná oblast nebezpečná lidskému zdraví. Sdílení výsledků měření s takovou odchylkou na sociálních sítích by mohlo v krátkém časovém horizontu způsobit paniku obyvatelstva. Uživatel má možnost kdykoli navštívit webovou stránku zřizovanou SÚRO, týkající se projektu RAMESIS, kde je prezentována informační podpora, nebo se spojit s pracovníky SÚRO a nastalý problém vyřešit.

Projekt RAMESIS pomáhá k pochopení problematiky radiační situace, k prohloubení již nabytých vědomostí a k odstraňování radiofobie u laické veřejnosti. Je pravděpodobné, že se u laika provádějího měření, jejichž výsledky jsou velmi podobné zveřejňovaným výsledkům měření profesionálních sítí, zvyšuje míra důvěry k oficiálně zveřejňovaným datům. Tato důvěra je důležitá při prosazování opatření vyplývajících z případné havarijní expoziční situace.

Do projektu RAMESIS se zapojují školní zařízení, jako např. Gymnázium ve Slaném, provozující web www.laborky.cz, hasičské záchranné sbory podniků, jednotky sboru dobrovolných hasičů, ale i řadoví občané projevující zájem o problematiku monitoringu radiační situace.



Obrázek 43 - Ukázka měření v rámci školních aktivit (39)

Pro zjištění dávkového příkonu v okolí celé silniční sítě České republiky by při počtu 333 detektorů Safecast postačilo 24 hodin, za předpokladu správné organizace provádění měření, tzn. ideální rozplánování tras měření a pohyb vozidel rychlostí 40 km/h.

V souvislosti s ozbrojeným konfliktem na území Ukrajiny se prostřednictvím nejrůznějších médií rozšířila zpráva o požárech v Rudém lese a zvíření kontaminované půdy vlivem pohybu těžkých bojových vozidel, což mělo mít, dle zpráv, za následek zhoršení radiační situace a to i na území ČR. SÚRO vydal informaci, ve které uvádí, že nebyla zaznamenána zvýšená úroveň radioaktivity na žádném z měřicích míst na území České republiky, což dokládají použité grafy. Požáry v černobylské oblasti nejsou ojedinělým jevem. Např. v roce 2020 došlo v dané lokalitě k sérii velmi intenzivních a rozsáhlých požárů, což mělo ve vztahu ke zvýšení radiace pouze lokální efekt. Na území České republiky byla v té době detekována aktivita ^{137}Cs na úrovni $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, to odpovídá běžně detekovaným hodnotám (40).

Na základě občanských měření není možné z výše uvedených důvodů zavádět jakákoli opatření, mohou však být důvodem pro prozkoumání dané oblasti mobilním týmem zajišťujícím RMS.

Výsledky měření lze ověřovat a porovnávat sledováním dalších webových aplikací, jako jsou Windy, na kterých jsou kromě informací o počasí zobrazována i data o dávkovém příkonu přebíraná z webu EURDEP. EURDEP je oficiálním nástrojem EU pro výměnu radiologických údajů během mimořádné situace, ale údaje se vyměňují neustále a automaticky tak, aby byly stále k dispozici a aby bylo možné v případě mimořádné situace minimalizovat úsilí potřebné ke zjištění skutečného stavu. Za normální radiační situace mají účastníci povinnost předávat data jednou denně, ale při mimořádné události

je minimálním limitem jedna hodina. Výměna dat je upravena rozhodnutím Rady 87/600 a doporučením 2000/473/Euratom. Pro země mimo Evropskou unii je účast dobrovolná, ale v případě přistoupení k projektu je s těmito členy podepsáno správní ujednání, aby bylo zaručeno předávání údajů i během mimořádných situací. EURDEP vyvíjí a udržuje Společné výzkumné středisko Evropské komise. V období obvyklých expozic shromážděné údaje v zásadě odrážejí aktuální přirozené radiační pozadí. EURDEP není systémem rychlého varování. Včasné oznámení radiologické havárie nebo mimořádné situace se provádí prostřednictvím systému Evropské komise pro urgentní radiologickou výměnu (ECURIE), který provozuje Evropská komise 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Zkontrolované a agregované soubory jsou nahrávány do společné databáze a zrcadleny mezi několika geograficky oddělenými databázovými servery. Dále jsou sdíleny s MAAE v intervalu jedné hodiny.

Kalibrační laboratoř Státního ústavu radiační ochrany disponuje radionuklidovým kalibračním zařízením OG-8 se čtyřmi zdroji ^{137}Cs a dvěma zdroji ^{60}Co (41).

V období září – listopad 2021 proběhlo v kalibrační laboratoři SÚRO porovnávací měření 30 ks detektorů Safecast bGeigie Nano za použití homogenního kolimovaného svazku záření gama a předem definovaných podmínek měření stejných pro všechny použité detektory. Výsledná analýza dat umožňuje zohlednit rozdíly naměřených dat při použití detektorů Safecast bGeigie Nano k měření vývoje radiační situace. Porovnávací měření probíhalo během šesti různých dnů, vždy po 5 ks detektorů. Každý z nich byl vystaven čtyřem expozičním scénářům, z nichž byl ve 3 scénářích použit ZIZ ^{137}Cs o různé intenzitě dávkového příkonu. Čtvrtý expoziční scénář byl bez použití ZIZ, kdy bylo měřeno pouze přírodní radiační pozadí. Ačkoli byla každá pětice detektorů testována v jiný den, pokus proběhl vždy stejným způsobem a případná změna

přírodního radiačního pozadí je v porovnání s naměřenými hodnotami zanedbatelná (42).

Do přírodního pozadí je zahrnuto např. kosmické záření a kosmogenní radioaktivní nuklidy. Skládá se z protonů (cca 85 %), jader ^4He (cca 15 %) a z elektronů těžších jader prvků. V zemské kůře je obsaženo asi třicet radioaktivních prvků s poločasem přeměny delším než 10^9 roků, z nichž nejvýznamnějšími jsou ^{232}Th , ^{238}U a ^{40}K (43).



Obrázek 44 - Kalibrační místnost SÚRO (41)

Tabulka 2 - Průběh porovnávacího měření (42)

datum měření	použité Safecasty	expoziční scénář			čas měření
		ZIZ ¹³⁷ Cs	použitý příkon kermy [Gy/h]	nastavený čas [s]	
22. 9. 2021	2405 2410 2457 2462 2837	č. 1	1E-05	3 000	10:09 - 10:59
		č. 6	1E-04	3 000	11:00 - 11:50
		č. 5	1E-03	3 000	11:53 - 12:43
		bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:50 - 13:40
23. 9. 2021	2400 2458 2461 2836 2847	č. 1	1E-05	3 000	11:16 - 12:06
		č. 6	1E-04	3 000	10:24 - 11:14
		č. 5	1E-03	3 000	9:32 - 10:22
		bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:06 - 14:06
19. 10. 2021	2354 2449 3266 3273 3281	č. 1	1E-05	3 000	9:45 - 10:35
		č. 6	1E-04	3 000	10:38 - 11:28
		č. 5	1E-03	3 000	11:31 - 12:21
		bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:25 - 15:45
20. 10. 2021	2499 2843 2846 3336 3346	č. 1	1E-05	3 000	9:49 - 10:39
		č. 6	1E-04	3 000	10:42 - 11:32
		č. 5	1E-03	3 000	11:34 - 12:24
		bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:26 - 14:55

datum měření	použité Safecasty	expoziční scénář			čas měření
		ZIZ ¹³⁷ Cs	použitý příkon kermy [Gy/h]	nastavený čas [s]	
22. 11. 2021	2404	č. 1	1E-05	3 000	9:36 - 10:26
	2453	č. 6	1E-04	3 000	10:29 - 11:19
	2454				
	2459	č. 5	1E-03	3 000	11:29 - 12:19
2460	bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:20 - 15:12	
23. 11. 2021	2408	č. 1	1E-05	3 000	9:28 - 10:18
	2500	č. 6	1E-04	3 000	10:20 - 11:10
	2839				
	2851	č. 5	1E-03	3 000	11:12 - 12:02
3333	bez ZIZ (přírodní radiační pozadí)			12:03 - 15:48	

Z výsledků porovnání je zřejmé, že detektory Safecast spolehlivě indikují významně vyšší hodnoty dávkového příkonu, což vyhovuje jejich účelu, tedy občanským měřením. Testy prokázaly významné rozdíly v naměřených hodnotách při všech expozičních scénářích. K nejvýznamnějším rozdílům docházelo při testu se ZIZ č. 5, kdy u mnohých detektorů Safecast převyšoval dávkový příkon horní hranici jejich měřicího rozsahu (42).

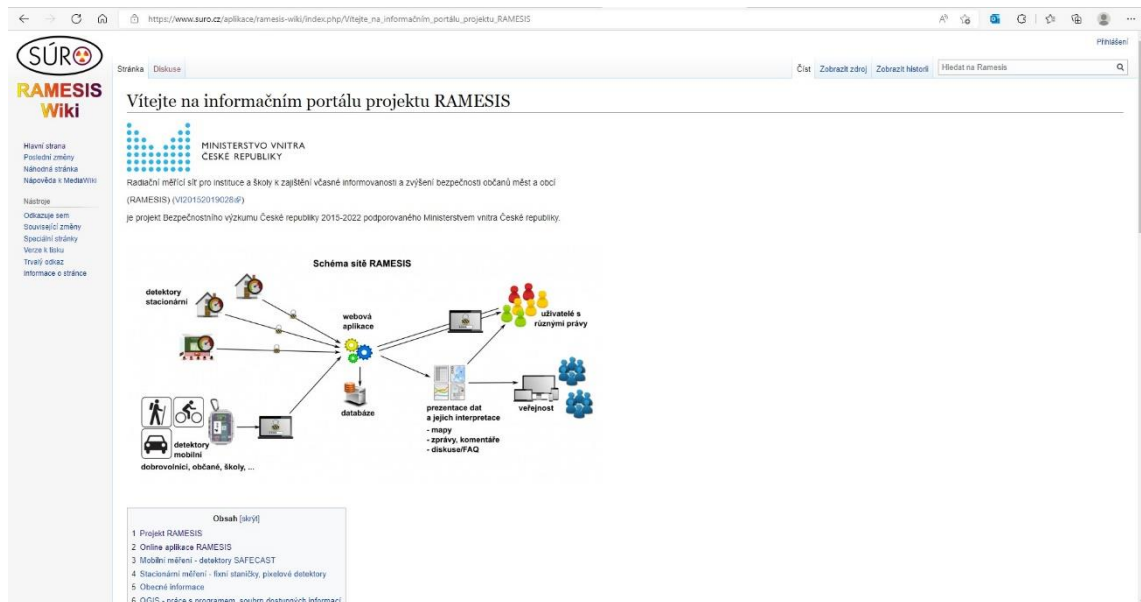
Jako vhodné se jeví porovnávací měření provést i u zbylých detektorů, aby bylo dosaženo celkového přehledu o možnostech používaných přístrojů a zpřesnil se výpočet průměrného rozdílu dat naměřených stanovenými a nestanovenými měřidly.

Hodnoty detekované integrálním měřením jsou k dispozici za období posledních pěti let. Výsledky měření v rámci Sítě včasného zjištění zveřejňuje portál MonRaS za posledních třicet dní. V obou případech je z grafů zřejmé, že za normální radiační situace nedochází k významným výchytkám oproti normálu. V tabulce 2 jsou uvedeny minimální a maximální hodnoty naměřené při pozemním monitoringu v období dubna 2022, v dotčených krajích. Pro porovnání byla vybrána data získaná v rámci projektu RAMESIS za stejné období jako v případě Sítě včasného zjištění se záměrem použití dat z období Rusko-Ukrajinského ozbrojeného konfliktu. Přestože byly u fixních stanic, stejně jako u detektorů Safecast, zjištěny odchylky v naměřených hodnotách, naměřená data nevykazovala významné výkyvy a odpovídala běžně měřeným hodnotám přírodního pozadí.

Občanská měření tedy lze využívat pro monitoring radiační situace v místech, která standardně nejsou pokryta systémy institucionálního měření a na jejich základě vytipovávat místa či oblasti vhodné pro profesionální měření odborníky vybavenými stanovenými měřidly. Zapojováním široké veřejnosti do projektů občanských měření se daří zvyšovat povědomí laiků o problematice spojené s monitoringem radiační situace a interpretace naměřených dat, což zvyšuje důvěryhodnost oficiálních zdrojů v dané oblasti a předpoklad ochoty přijmout a dodržovat opatření vydaná v souvislosti s případnou nehodovou radiační expozicí. Z výše uvedeného vyplývá přijetí hypotézy 1, tedy, že projekt RAMESIS je efektivně využíván laickou veřejností.

Negativním faktorem je fakt, že existuje málo knižních publikací, které by se věnovaly problematice občanských měření. Tento nedostatek je částečně kompenzován poměrně propracovaným webem www.ramesis.cz, který spravuje SÚRO, v. v. i. Pro vyhledávání informací týkajících se občanského měření dávkového příkonu lze využít metodu OSINT, tedy vyhledávání

informací výhradně z otevřených zdrojů. Na internetu existují stránky věnující se této problematice, ale je třeba dbát na ověřování relevantnosti získaných údajů. Proto byly k získávání dat přednostně využívány webové stránky Státního ústavu radiální ochrany, které se věnují občanskému měření.



Obrázek 45 - RAMESIS Wiki (44)

Pokud jde o monitoring radiální situace na území ČR, je Státním ústavem radiální ochrany podporován projekt Safecast, do kterého přispívají uživatelé fixních stanic a mobilních detektorů Safecast bGeigie Nano. Pro projekt RAMESIS byl vyroben určitý počet fixních stanic. Jednalo se o zakázkovou výrobu, dále již nepokračuje a nezvyšuje se tedy počet dostupných stanic. Detektorů Safecast bGeigie Nano bylo vyrobeno cca 3 000 ks, výroba již byla ukončena. V současné době nelze pořizovat nové. Detektor bGeigie Zen zatím není dostupný. Vývoj CzechRad, české verze mobilního detektoru byl přerušen z důvodu dočasné nedostupnosti komponent způsobené zprvu coronavirovou krizí a následně Rusko-Ukrajinským konfliktem. Poptávka zájemců o zapojení do projektu RAMESIS převyšuje možnosti Státního ústavu radiální ochrany.

V současné době není k dispozici dostatek detektorů použitelných pro občanská měření, přispívající k radiačnímu monitoringu na území ČR, proto byla zamítnuta hypotéza 2.

RAMESIS není třeba optimalizovat po funkční stránce, ale je žádoucí doplnit flotilu detekčních přístrojů o nové kusy, aby bylo uspokojeno větší množství dobrovolníků, kteří by rádi přispěli naměřenými daty.

7 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena především na občanskou měřitelnost dávkového příkonu na území České republiky. Zapojením jednotlivců, škol, ale i dalších institucí se prohlubují již nabyté vědomosti laiků se zájmem o občanské měření, případně tito dobrovolníci získávají nové informace týkající se radiační situace, což jim umožňuje lépe se orientovat v dané problematice. Díky nabytým zkušenostem budou mít při případné nehodové expozici lepší přehled o situaci a pravděpodobně budou ochotněji přijímat a dodržovat přijatá ochranná opatření.

V průběhu zpracovávání diplomové práce došlo k porovnávacímu měření vybraného vzorku detektorů pro zjišťování dávkového příkonu v terénu, ze kterého vzešel závěr, že tyto detektory lze využívat v rámci občanských měření k detekci významných odchylek od hodnot běžného přírodního pozadí. Díky těmto občanským aktivitám lze monitorovat části území, na nichž nejsou standardně vykonávány měření institucionální. V případě zjištění, že v určité oblasti dávkový příkon výrazně převyšuje hodnoty běžného přírodního pozadí, je to impulz pro uskutečnění měření profesionálním měřicím týmem.

V praktické části diplomové práce došlo k porovnání naměřených hodnot dávkového příkonu fixními stanicemi, rozmístěnými ve třech krajích, do kterých zasahují zóny havarijního plánování jaderných elektráren Dukovany a Temelín s hodnotami naměřenými v rámci Sítě včasného varování nebo Teledozimetrické sítě ve stejných nebo blízkých lokalitách. Porovnáním bylo zjištěno, že je možné s určitou tolerancí přispívat naměřenými daty do radiačního monitorovacího systému.

Na základě porovnání hodnot občanského a institucionálního měření lze konstatovat, že občanská měření mohou být využívána ke zjišťování výrazných výkyvů od normálních hodnot, nelze však na jejich základě stanovovat či přijímat ochranná opatření.

Na základě výsledků diplomové práce bylo konstatováno, že je projekt RAMESIS efektivně využíván laickou veřejností, čímž byla přijata hypotéza 1.

Hypotéza 2 byla zamítnuta, jelikož Státní ústav radiační ochrany disponuje množstvím detektorů k zapůjčení, které nepostačuje zájmu veřejnosti.

Je vhodné navýšit počty detektorů určených k zapůjčení a uspokojit tak více zájemců, potažmo získat větší množství dat.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

a. s.	akciová společnost
AČR	Armáda České republiky
Bq	becquerel
CAThYMARa	Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident
CMOS tranzistor	Complementary Metal Oxide Semiconductor field effect transistor
cpm	counts per minute
ČEZ	České energetické závody
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČVUT	České vysoké učení technické
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
ECURIE	Evropská komise pro urgentní radiologickou výměnu
ELD	elektronický dozimetr
EU	Evropská unie
EURDEP	EUropean Radiological Data Exchange Platform

GPS	Global Positioning System
Gy	gray
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
LCD	liquid crystal display
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
MonRaS	programový prostředek pro prezentaci dat z monitorování radiační situace
MV ČR	Ministerstvo vnitra České republiky
ODC-ODbL	uživatelská licence s povinností sdílet data stejným způsobem
OSINT	Open Source Intelligence
PDE	příkon dávkového ekvivalentu
PFDE	příkon fotonového dávkového ekvivalentu
PPDE	příkon prostorového dávkového ekvivalentu
RAMESIS	Projekt VI20152019028 – Radiační měřicí síť pro instituce a školy k zajištění včasné informovanosti a zvýšení bezpečnosti občanů měst a obcí (RAMESIS)
RMS	Radiační monitorovací síť

SD karta	paměťová karta Secure Digital
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO, v. v. i.	Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
Sv	sievert
SVZ	síť včasného zjištění
TDS	teledozimetrický systém
TLD	termoluminiscenční dozimetr
USA	Spojené státy americké
USB	univerzální sériová sběrnice
ÚTEF	Ústav technické a experimentální fyziky
ZIZ	zdroj ionizujícího záření

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Vítejte na informačním portálu RAMESIS - Ramesis. *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [Online] Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 8. prosinec 2021. https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/V%C3%ADtejte_na_informa%C4%8Dn%C3%ADm_port%C3%A1lu_projektu_RAMESIS.
2. autorů, kolektiv. *Ionizující záření: účinky a zdroje*. místo neznámé : Výbor OSN pro účinky atomového záření, 2016. ISBN: 978-92-807-3600-7.
3. Merunka, Petr. *Detektor SAFECAST a jeho využití při měření radiace v České republice jednotkami sboru dobrovolných hasičů obcí a hasičskými záchrannými sbory podniků. Bakalářská práce*. Kladno : autor neznámý, 2019.
4. Ullmann, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
5. Zdeněk, Prouza a Jiří, Švec. *Zásahy při radiační mimořádné události*. Frýdek-Místek : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. ISBN 978-80-7385-046-3.
6. Vojtěch, Ullman. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava : Ostravská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
7. Beneš, Jiří, Kyplová, Jaroslava a Vítěk, František. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory pro studium i praxi*. Praha : Grada, 2015. ISBN: 978-80-247-4712-5.

8. Matoušek, Jiří, Österreicher, Jan a Linhart, Petr. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2007. ISBN 978-80-7385-029-6.
9. Cohen-Unger, Susan a Evrensel, Ayhan. *Ionizující záření: účinky a zdroje*. místo neznámé : Program OSN pro ochranu životního prostředí, 2016. ISBN 978-92-807-3600-7.
10. Havránková, Renata a kolektiv. *Klinická radiobiologie*. Praha : Grada, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0.
11. Matějka, Jiří a Najmanová, Petra. Nový řád chemické služby HZS ČR. *112*. 2017, 7, str. 10.
12. kolektiv autorů. *Ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření*. Ostrava : Dům techniky Ostrava, 1998. ISBN 80-02-01230-5.
13. Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Monitorování radiační situace. *SÚJB*. [Online] [Citace: 3. duben 2022.] <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace>.
14. MonRaS - Monitorování radiační situace. *SÚJB*. [Online] [Citace: 1. květen 2022.] https://www.suro.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ#svz.
15. Marešová, Barbora. *Mobilní systém MobDOSE*. Praha : autor neznámý, 2022.
16. Wagner, Vladimír. *Fukušima I poté*. Praha : Novela bohémica, 2015. ISBN 978-80-87683-45-3.

17. Brown, Azby, a další. Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *Journal of Radiological Protection*. [Online] IOP Publishing Ltd, 16. červen 2016. [Citace: 2. duben 2022.] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/36/2/S82/meta>.
18. Kuča, P., Helebrant, J. a Bossew, P. *SAFECAST–CITIZEN SCIENCE FOR AMBIENT DOSE RATE MONITORING*. 2021. ISSN 2737-9973.
19. Safecast. Safecast Map. [Online] Safecast. [Cited: květen 1, 2022.] <https://map.safecast.org/?y=38.3&x=133.99&z=6&l=0&m=0>.
20. SÚRO, v.v.i. O projektu RAMESIS. *RAMESIS Wiki*. [Online] 11. září 2019. [Citace: 4. duben 2022.] https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/O_projektu_RAMESIS.
21. Helebrant, Jan. Schéma sítě RAMESIS (CC BY-SA). [Foto]. 2021.
22. —. *Praktické informace k využití detektorů RAMESIS*. [pdf dokument] Praha : Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., 2020.
23. Stacionární měření - fixní staničky RAMESIS - Ramesis. *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [Online] 2. červenec 2020. https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Stacion%C3%A1rn%C3%AD_m%C4%9B%C5%99en%C3%A1D_-_fixn%C3%AD_stani%C4%8Dky_RAMESIS.
24. Helebrant, Jan. *Měření dávky pomocí Safecast bGeigie Nano (CC BY-SA)*. [Foto] místo neznámé : SÚRO, v. v. i., 2020.
25. Helebrant, Jan, a další. Analýza stavu občanských měření. *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [Online] 31. prosinec 2021.

<https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/centrum-pro-podporu-obyvateilstva-pro-pripad-skutecneho-nebo-domneleho-vzniku-mimoradnych-jadernych-a-radiacnich-udalosti/analyza-stavu-obcanskych-mereni-souhrnna-vyzkumna-zprava/view>.

26. Státní ústav radiální ochrany, v.v.i. Výroční zpráva SÚRO, v.v.i. za rok 2019 - Státní ústav radiální ochrany, v.v.i. *Státní ústav radiální ochrany, v.v.i.* [Online] 29. červen 2020. https://www.suro.cz/cz/publikace/zpravy-o-cinnosti-suro/VZ2019_final.pdf/.

27. Helebrant, Jan. *Mobilní detektory CzechRad a SAFECAST bGeigie Nano.* [Foto] 2021.

28. —. *Mobilní detektor CzechRad - displej (CC BY-SA).* [Foto] 2020.

29. The Context OpenRadiation. *OpenRadiation.* [Online] [Citace: 4. březen 2022.] <https://www.openradiation.org/en/context>.

30. Radioactive@Home | BOINC | Open Science for the future. *Radioactive@Home.* [Online] [Cited: březen 4, 2022.] <http://radioactiveathome.org/en/>.

31. Polismart II | Radiation detector for iPhone. *Polismart II.* [Online] [Cited: březen 4, 2022.] <http://www.polismart.com/>.

32. Gamma Sapiens - Intellectual gamma radiation detector | ECOTEST. *Radiation Detection Equipment Manufacturer | ECOTEST.* [Online] [Cited: březen 4, 2022.] <https://ecotestgroup.com/products/gamma-sapiens/>.

33. SÚRO, v. v. i. *Mod-DOSE.* [Foto] Praha : SÚRO, v. v. i., 2021.

34. —. Stacionární měření - fixní staničky RAMESIS - Ramesis. *Ramesis - Radiální měřicí síť pro instituce a školy*. [Online] SÚRO, v. v. i., 2. červenec 2020. [Citace: 25. duben 2022.] https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Stacion%C3%A1rn%C3%AD_m%C4%9B%C5%99en%C3%A1D_-_fixn%C3%AD_stani%C4%8Dky_RAMESIS.

35. Kuča, Petr. *Fixní stanička RAMESIS pro radiální monitoring (CC BY-SA)*. [Foto] 2021.

36. Zákon č. 224/2015 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými směsmi a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, (zákon o prevenci závažných havárií). *zakonyprolidi.cz*. [Online] 12. srpen 2015. [Citace: 15. duben 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-224?text=z%C3%B3na%20havarijn%C3%ADho%20p1%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD&citace=1#cast1-hlava4-dil3>.

37. Helebrant, Jan. *mobilní detektor SAFECAST bGeigie Nano (CC BY-SA)*. [Foto] 2021.

38. SÚRO, v. v. i. RAMESIS Mapy. SÚRO. [Online] SÚRO, v. v. i. [Citace: 1. květen 2022.] <https://www.suro.cz/aplikace/ramesis/#/safecast>.

39. Laborky a projekt RAMESIS. *LABORKY.CZ*. [Online] [Citace: 1. květen 2022.] <http://www.laborky.cz/index.php/48-uncategorised/284-laborky-a-projekt-ramesis>.

40. SÚRO, v. v. i. Informace k požárům v okolí JE Černobyl. *Infoportál pro radiální mimořádné události*. [Online] 2022. [Citace: 20. duben 2022.] https://rmu.suro.cz/pozary_u_cernobylu.

41. *25 let Státního ústavu radiální ochrany. SÚRO, v. v. i. Praha : autor neznámý, 2020. ISBN 978-80-270-7659-8.*

42. Marešová, Barbora, a další. *Zpráva č. 99/2022: Posouzení vlastností detektorů Safecast bGeigie Nano s využitím kalibrační laboratoře SÚRO. Praha : SÚRO, v. v. i., 2022.*

43. Hála, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Brno : Konvoj, 1998. ISBN: 80-85615-56-8.*

44. SÚRO, v. v. i. RAMESIS Wiki. *SÚRO. [Online] SÚRO, v. v. i., 8. prosinec 2021. [Citace: 5. květen 2022.] https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/V%C3%ADtejte_na_informa%C4%8Dn%C3%ADm_port%C3%A1lu_projektu_RAMESIS.*

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Měřicí místa SVZ (14)	17
Obrázek 2 - Síť integrálního měření (14)	18
Obrázek 3 - Letecké monitorování ČR (14)	19
Obrázek 4 - Pozemní monitorování ČR (14)	20
Obrázek 5 - Mapa Safecast (19)	23
Obrázek 6 - Schéma sítě RAMESIS (21)	24
Obrázek 7 - Měření dávky pomocí Safecas bGeigie Nano (24).....	26
Obrázek 8 - CzechRad vs. Safecast bGeigie Nano (27)	27
Obrázek 9 - Displej prototypu CzechRad (28)	27
Obrázek 10 – Mob-DOSE (33)	35
Obrázek 11 - Fixní stanička RAMESIS pro radiační monitoring (35)	36
Obrázek 12 - Safecast bGeigie Nano (37).....	38
Obrázek 13 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Blatná za 5 let (14).....	40
Obrázek 14 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Strakonice za 5 let (14).....	40
Obrázek 15 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě TE SRKO Albrechtice nad Vltavou za duben 2022 (14)	41
Obrázek 16 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě Týn nad Vltavou za duben 2022 (14)	41
Obrázek 17 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě SRKO České Budějovice za duben 2022 (14)	42
Obrázek 18 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_084: Čimelice (38)	42
Obrázek 19 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_072: Strakonice (38)	43
Obrázek 20 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_085: Albrechtice nad Vltavou (38).....	43
Obrázek 21 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_080: Dolní Bukovsko (38).....	44

Obrázek 22 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_059: České Budějovice (38)	44
Obrázek 23 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Běhařovice za 5 let (14)	45
Obrázek 24 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Višňové za 5 let (14)	45
Obrázek 25 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Višňové za 5 let (14)	46
Obrázek 26 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Trstěnice za 5 let (14)	46
Obrázek 27 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Hostěradice za 5 let (14)	47
Obrázek 28 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_032: Běhařovice (38)	47
Obrázek 29 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_010: Višňové (38)	48
Obrázek 30 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_004: Miroslav (38)	48
Obrázek 31 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_040: Trstěnice (38)	49
Obrázek 32 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_013: Hostěradice (38)	49
Obrázek 33 - Hodnoty příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v měřicím místě Kostelní Myslová za duben 2022 (14)	50
Obrázek 34 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Žďár nad Sázavou za 5 let (14)	50
Obrázek 35 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Havlíčkův Brod b za 5 let (14)	51
Obrázek 36 - Hodnoty příkonu fotonového nebo prostorového dávkového ekvivalentu (PFDE/PPDE) v měřicím místě Vír za 5 let (14)	51
Obrázek 37 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_092: Telč (38)	52
Obrázek 38 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_091: Žďár nad Sázavou (38)	52

Obrázek 39 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_096: Havlíčkův Brod (38)	53
Obrázek 40 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_088: Ledec nad Sázavou (38)	53
Obrázek 41 - Graf naměřených dat kanálu: SURO_094: Bystřice nad Pernštejnem (38)	54
Obrázek 42 - Pozemní monitoring (14)	54
Obrázek 43 - Ukázka měření v rámci školních aktivit (39)	57
Obrázek 44 - Kalibrační místnost SÚRO (41)	61
Obrázek 45 - RAMESIS Wiki (44)	65

11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 - Pozemní monitoring (14)	55
Tabulka 2 - Průběh porovnávacího měření (42).....	62