



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Analýza a hodnocení detekčních přístrojů pro měření radiace
využívaných složkami Integrovaného záchranného systému

Analysis And Evaluation Of Integrated Rescue System's
Detection Devices For Measuring Radiation

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Lucie Kučerová
Vedoucí diplomové práce: Ing. René Mildorf



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kučerová** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **461616**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Ochrana obyvatelstva**
Studijní obor: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza a hodnocení detekčních přístrojů pro měření radiace využívaných složkami integrovaného záchranného systému

Název diplomové práce anglicky:

Analysis And Evaluation Of Integrated Rescue System's Detection Devices For Measuring Radiation

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude analýza a hodnocení detekčních přístrojů pro měření radiace využívaných složkami IZS. Teoretická část bude zaměřena na popis a parametry používané techniky a nejnovější trendy v dané oblasti. V praktické části budou na základě vybraných mimořádných událostí s únikem radiace analyzovány kvalita a provozní parametry techniky IZS pro detekci radiace. Současně bude také analyzována technika dalších výzkumných institucí v oblasti měření radiace. Dále bude provedena komparace využívané měřicí techniky v České republice oproti Slovenské republice a Polsku. Na základě získaných výsledků bude provedena SWOT analýza, která určí detekční techniku s nejlepšími provozními vlastnostmi. Výstupem práce bude dále zhodnocení, v jakém rozsahu a kvalitě je Česká republika vybavena odpovídající detekční technikou pro případ vzniku radiační havárie

Seznam doporučené literatury:

- [1] PODZIMEK, František, Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.
- [2] SINGER, Jan, Dozimetrie ionizujícího záření. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005. ISBN 80-7040-752-2.
- [3] FUKÁTKO, Tomáš, Detekce a měření různých druhů záření. Praha: BEN - technická literatura, 2007. Senzory neelektrických veličin, 5. ISBN 978-80-7300-193-3.

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. René Mildorf

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Petra Kadlec Linhartová

Datum zadání diplomové práce: **23.09.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2021**


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


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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Analýza a hodnocení detekčních přístrojů pro měření radiace využívaných složkami Integrovaného záchranného systému“ vypracovala 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 14.05.2020

.....
Bc. Lucie Kučerová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Ing. René Mildorfovi za jeho vstřícnost a konstruktivní rady, které mi byly velikým přínosem při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala své konzultantce Ing. Petře Kadlec Linhartové za její ochotu při komunikaci a poskytování cenných rad a informací, které byly stěžejní pro tuto práci. Jako další bych chtěla poděkovat Ing. Aleši Píchovi, PhD., Ing. Radkovi Volnému, Ing. Zdeňkovi Petříkovi a Ing. Blance Novotné, kteří mi byli nápomocni nehledě na obtížnost současné situace.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá popisem detekčních přístrojů pro měření radiace, zejména pak jejich vlastnostmi a možnostmi použití. Cílem diplomové práce je analýza a hodnocení detekční techniky, využívané složkami Integrovaného záchranného systému, a určení, která technika je z hlediska svých vlastností nejlepší volbou pro zasahující složky.

V teoretické části se nalézá popis základních vlastností ionizujícího záření a s tím spojené základní veličiny a jednotky. Dále je zde popsána oblast dozimetrie a základy z oblasti detekční techniky. Následně jsou charakterizovány jednotlivé detekční přístroje využívané složkami Integrovaného záchranného systému a ostatními institucemi v České republice. Poslední oblast teoretické části je věnována ostatní detekční technice v oblasti detekce radiace a aktuálním trendům.

V praktické části je na základě vybraných mimořádných událostí s únikem radiace provedena analýza vybraných detekčních přístrojů, která se zejména zaměřuje na jejich silné a slabé stránky. Dále je provedeno pomocí Check list metody zhodnocení a porovnání zmíněných detekčních přístrojů z hlediska jejich vlastností. Součástí praktické části je také analýza a zhodnocení detekčních přístrojů využívaných v Polsku.

Diskuze se zaměřuje na porovnání vybraných detekčních přístrojů mezi sebou z hlediska získaných výsledných hodnot z praktické části. Součástí diskuze je také potvrzení nebo vyvrácení stanovených hypotéz. Poté je provedeno porovnání výsledků s jinými, podobně zaměřenými akademickými pracemi. Jako poslední je provedena komparace mezi detekčními přístroji využívanými Českou republikou a Polskem.

Klíčová slova

Ionizující záření; radiace; detektor; dozimetr; radiační ochrana

ABSTRACT

This Diploma thesis discuss a description of detection devices for measuring radiation, particularly of their features and possibilities of using. The aim of work is analysis and evaluation of Integrated rescue system's detection devices and determination which technology is from the point of view of their own features the best option for intervening forces.

In the theoretical part is found description of ionizing radiation's basic characteristics and with that related basic quantities and units. Then it focuses on field of dosimetry and basics from radiation protection. Afterwards there are described individual detection devices used by forces of Integrated rescue system and by other institutions in Czech republic. The last area of theoretical part is devoted to other detection technique in field of radiation detection and current trends.

In the practical part is performed an analysis of selected detection devices based on selected emergencies with radiation leak, focusing especially on their strengths and weaknesses. After that is performed an evaluation and comparison of mentioned detection devices by Checklist method in terms of their features. One part of the practical part is also an analysis and evaluation of detection devices used in Poland.

Discussion is focused on comparison between selected detection devices from the point of view of their final values obtained from practical part. Confirmation or falsification of determination hypotheses is also a part of discussion. The comparison of results with other academic work similarly focused is performed after that. The comparison between detection devices used in Czech republic and Poland is performed at last.

Keywords

Ionizing radiation; radiation; detector; dosimeter; radiation protection

Obsah

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 10 |
| 2 | Cíle práce a hypotézy | 11 |
| 3 | Přehled současného stavu..... | 12 |
| 3.1 | Základní fyzikální vlastnosti ionizujícího záření | 12 |
| 3.1.1 | Ionizující záření..... | 12 |
| 3.1.2 | Zdroje ionizujícího záření | 12 |
| 3.1.3 | Druhy záření..... | 13 |
| 3.1.4 | Základní veličiny a jednotky ionizujícího záření | 15 |
| 3.2 | Dozimetrie | 17 |
| 3.2.1 | Detektory ionizujícího záření | 17 |
| 3.2.2 | Osobní dozimetrie | 19 |
| 3.3 | Radionuklidy | 20 |
| 3.4 | Typy detektorů složek IZS a ostatních institucí..... | 22 |
| 3.4.1 | Utra-Radiac URAD 115 | 22 |
| 3.4.2 | DC-3H-08..... | 24 |
| 3.4.3 | DC-3E-98 | 26 |
| 3.4.4 | SOR/R DMC 22 | 27 |
| 3.4.5 | GR-135..... | 28 |
| 3.4.6 | InSpector 1000 | 29 |
| 3.4.7 | Virtuoso | 30 |
| 3.4.8 | MKS-11GN Spectra | 31 |
| 3.4.9 | Falcon 5000..... | 31 |
| 3.4.10 | RadEye | 32 |
| 3.4.11 | IdentiFinder | 33 |
| 3.4.12 | Radiation Pager | 33 |
| 3.5 | Typy detektorů využívané v Polsku..... | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5.1 | PM1401 GN | 34 |
| 3.5.2 | RK 100..... | 34 |
| 3.5.3 | DMC 3000 | 35 |
| 3.6 | Aktuální trendy | 36 |
| 3.6.1 | ACT-LC..... | 36 |
| 3.6.2 | PDS-100 Series..... | 37 |
| 3.6.3 | Dozimetr SOEKS Quantum | 38 |
| 3.6.4 | Colibri survey meter..... | 39 |
| 3.6.5 | Radiagem 2000 | 40 |
| 3.6.6 | RDS-31 | 40 |
| 3.6.7 | ACCURAD | 41 |
| 3.7 | Složky IZS a ostatní instituce | 42 |
| 3.7.1 | Hasičský záchranný sbor České republiky..... | 42 |
| 3.7.2 | Policie České republiky..... | 43 |
| 3.7.3 | Národní centrála proti organizovanému zločinu | 44 |
| 3.7.4 | Státní úřad pro jadernou bezpečnost | 45 |
| 3.7.5 | Státní ústav radiační ochrany, v.v.i..... | 45 |
| 3.7.6 | Celní správa České republiky..... | 46 |
| 4 | Metodika | 47 |
| 5 | Výsledky | 48 |
| 5.1 | Detekční technika využívaná v ČR | 48 |
| 5.1.1 | Mimořádné události | 48 |
| 5.1.2 | SWOT analýza DC-3H-08 | 49 |
| 5.1.3 | SWOT analýza DC-3E-98..... | 50 |
| 5.1.4 | SWOT analýza MKS-11GN Spectra..... | 51 |
| 5.1.5 | SWOT analýza Ultra-Radiac URAD-115 | 53 |
| 5.1.6 | SWOT analýza GR-135 | 54 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.1.7 | SWOT analýza InSpector 1000 | 55 |
| 5.1.8 | SWOT analýza SOR/R..... | 56 |
| 5.2 | Detekční technika využívaná v Polsku..... | 57 |
| 5.2.1 | SWOT analýza DMC 3000 | 57 |
| 5.2.2 | SWOT analýza RK 100 | 58 |
| 5.3 | Metoda Check list..... | 60 |
| 5.3.1 | Check list 1 | 60 |
| 5.3.2 | Check list 2..... | 61 |
| 5.3.3 | Check list 3..... | 62 |
| 6 | Diskuze..... | 63 |
| 6.1 | Komparace přístrojů využívaných v ČR | 63 |
| 6.1.1 | Komparace DC-3H-08 a DC-3E-98 | 63 |
| 6.1.2 | Komparace DC-3H-08 a URAD-115 | 64 |
| 6.1.3 | Komparace MKS-11GN Spectra a InSpector 1000..... | 65 |
| 6.1.4 | Komparace MKS-11GN Spectra a GR-135 | 65 |
| 6.2 | Komparace s Polskem | 66 |
| 6.2.1 | Komparace RK 100 s vybranými přístroji..... | 66 |
| 6.2.2 | Komparace DMC 3000 a SOR/R..... | 68 |
| 7 | Závěr | 70 |
| 8 | Seznam použitých zkratk | 71 |
| 9 | Seznam použité literatury..... | 72 |
| 10 | Seznam použitých obrázků | 80 |
| 11 | Seznam použitých tabulek | 81 |

1 ÚVOD

Po havárii v Černobylské elektrárně dostala oblast radiační ochrany hlubší význam. Byly schváleny nové zákony a vyhlášky, které upravují nakládání s radioaktivním materiálem, ale také byl kladen větší důraz na výzkum v oblasti detekční techniky. Oblast detekce a dozimetrie je důležitou součástí nejen na jaderných zařízeních, ale také pro složky Integrovaného záchranného systému (dále jen „IZS“). V posledních letech se z důvodu výskytu teroristických útoků začalo také uvažovat o možnosti zneužití zdroje ionizujícího záření. Tato možnost je sice malá, ale je nutné být vždy připraven i na malou pravděpodobnost vzniku nepříznivé situace. Složky se mohou setkat s výskytem ionizujícího záření při jakémkoli zásahu, ať již se jedná o nález starého zdroje ionizujícího záření, který byl tzv. zapomenut na místě, nebo o zásah u dopravní nehody automobilu, který převážel zdroj ionizujícího záření. Ve všech případech je nutná ochrana formou včasné detekce, tak aby nikdo nebyl ohrožen. Za posledních několik let se oblast detekční techniky posunula obrovským krokem vpřed a existuje již široký výběr z produktů, které jsou svými vlastnostmi speciálně upraveny pro jednotlivé uživatele. Z toho důvodu je také občas složité se mezi jednotlivými produkty orientovat.

Téma diplomové práce jsem si vybrala z toho důvodu, že neexistuje žádné přehledné porovnání mezi jednotlivými detekčními přístroji, které jsou v rámci složek IZS využívány. Vzhledem k tomu, že každý přístroj má své určité vlastnosti a možnosti použití, je dle mého názoru také vhodné zpracovat ucelený přehled o jejich výhodách a nevýhodách, které sebou přinášejí.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem diplomové práce je v teoretické části přinést ucelený popis ohledně základů dozimetrie a s tím spojené základní druhy a formy detekce ionizujícího záření. Dále je zde popsána detekční technika pro měření radiace využívaná složkami IZS a ostatními institucemi v oblasti radiační ochrany. V poslední řadě se teoretická část zaměřuje na detekční techniku, která není využívána v České republice a na aktuální trendy v této oblasti.

Cílem praktické části je pomocí SWOT analýzy zhodnotit aktuálně využívanou detekční techniku složek IZS. Zejména pak zanalyzovat jejich silné a slabé stránky a na základě těchto analýz určit, která detekční technika je nejvíce vhodná pro zasahující složky. Dílčím cílem praktické části je komparace detekční techniky oproti využívané detekční technice v Polsku.

Hypotéza 1: Přístroj DC-3H-08 je v porovnání s přístrojem DC-3E-98 vhodnější pro složky IZS.

Hypotéza 2: Osobní dozimetr SOR/R z hlediska svých vlastností převyšuje osobní dozimetr DMC 3000.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Základní fyzikální vlastnosti ionizujícího záření

3.1.1 Ionizující záření

Ionizující záření (dále jen „IZ“) je takové záření, které má schopnost vyvinout dostatek energie, tak aby bylo schopno vyrazit elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovalo. Tento proces se jinak nazývá ionizace. Při ionizaci dochází k tomu, že atom v důsledku odtrženého elektronu získá kladný nebo záporný náboj. Základní rozdělení IZ se dělí na záření přímo ionizující a záření nepřímo ionizující. Přímé IZ má schopnost přímo ionizovat atomy látky, na kterou dopadá. Oproti tomu nepřímo IZ takovou schopnost nemá, z toho důvodu předá svoji energii nejprve nabitým částicím v látce a ty poté přímo ionizují atomy látky [1].

3.1.2 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje IZ lze rozdělit na přírodní zdroje a umělé zdroje. Mezi přírodní zdroje patří kosmické záření, záření ze zemské kůry a ze vzduchu. Obecně to znamená, že každý člověk obdrží za svůj život určitou dávku IZ. Pro obyvatele v České republice se tato hodnota pohybuje v rozmezí 1-3 mSv za rok. Tato hodnota převážně zahrnuje záření kosmické a přírodní radionuklidy radonu [1].

Radon vzniká z jedné z rozpadových řad uranu, který je přítomný v mnoha horninách. Po přeměně radon vystupuje ze zemské kůry ve formě plynu, který proniká do podzemních vod a do vzduchu. Nejčastější kumulace radonu se vyskytuje v uzavřených prostorách, jako jsou doly nebo budovy. Z toho důvodu je možné v některých starších budovách naměřit vyšší hodnotu radiace. Poločas přeměny radonu je 3,8 dne, což znamená, že nevydrží příliš dlouho bez proměny. Následná proměna radonu zapříčiní vznik tzv. dceřiných produktů radonu, mezi které patří i záření alfa. Toto záření je schopna zachytit lidská pokožka. Pokud ale radon vdechneme, následné záření alfa pronikne do plic, jelikož tomu již nic jiného nebrání [2].

Umělé zdroje IZ se v dnešní době využívají v nejrůznějších oblastech, ať již v lékařství, nebo ve výrobě elektrické energie. V oblasti lékařství je použití umělých

zdrojů IZ nejrozsáhlejší, což znamená, že po přírodních zdrojích IZ nejvíce přispívá k celosvětové expozici obyvatel. Dalším výskytem jsou radionuklidy vyskytující se v životním prostředí po havárii jaderné elektrárny nebo po použití jaderných zbraní při zkouškách [1].

Mezi umělé zdroje IZ můžeme zařadit uzavřené a otevřené radioaktivní zářiče. Jejich využití je převážně v radioterapii nebo nukleární medicíně. V případě uzavřeného radioaktivního zářiče je radioaktivní látka zapouzdřena, tak aby se zamezilo jejímu přenosu vně zářiče. Zmíněné pouzdro však nezabrání pronikání radioaktivního záření, může jej pouze omezit. Mezi tyto zářiče můžeme začlenit rentgenové přístroje. Oproti tomu otevřené radioaktivní zářiče, jak již zmiňuje název, nemají žádné zapouzdření. V tomto případě je nutná opatrná manipulace, tak aby se zamezilo povrchové nebo vnitřní kontaminaci. Pod pojmem otevřený radioaktivní zářič si můžeme představit různé radioaktivní roztoky nebo plyny, které jsou využívány v nukleární medicíně [3].

3.1.3 Druhy záření

Záření alfa

Záření alfa je tvořeno jádry hélia, které jsou uvolňovány z jader rozpadajících se prvků jako je například uran, thorium nebo radium. Záření alfa je tzv. korpuskulární záření, také nazývané částicové. Jelikož je záření alfa tvořeno kladně nabitými částicemi hélia, při interakci s látkou mohou nastat dvě situace. První možností je, že je vytržen valenční elektron z atomu, který je následně ionizován. Druhou možností je, že částice alfa nepředá elektronu dostatečnou energii tak aby došlo k ionizaci atomu, ale pouze dojde k jeho excitaci. Z těchto popsaných možných interakcí vyplývá, že záření alfa během krátké vzdálenosti ztrácí velkou část své energie. Odstínění záření alfa je velice snadné, již pouhý list papíru je schopný zachytit toto záření. Pokud je ale záření vdechnuto nebo požit, dojde k ozáření organismu [4].

Záření beta

Záření beta také patří mezi korpuskulární záření, což mu umožňuje přímo ionizovat látku na kterou dopadá. Záření je možno rozdělit na přeměnu β^+ a β^- . Obecně záření beta jsou elektrony nebo pozitrony vznikající při radioaktivním rozpadu. Záření β^+ je tvořeno

kladně nabitými pozitrony, které vznikají rozpadem protonu. Oproti tomu β^- je tvořeno elektrony, které vznikají rozpadem neutronu. Záření beta je částečně podobné záření alfa z toho důvodu, že při interakci s látkou dochází k ionizaci atomu nebo k jeho excitaci. Ačkoli v tomto ohledu jsou si tato záření podobná, záření beta má delší dolet částic. To znamená, že jeho pronikavost je vyšší než u alfa záření. Pro odstínění je potřeba použít materiál o tloušťce nejlépe několika centimetrů, například z hliníku [4].

Záření gama

Záření gama je elektromagnetické záření o vysoké energii, pomocí které je schopno proniknout do lidského těla. Nejčastěji vzniká pospolu se zářením alfa nebo beta při radioaktivním rozpadu jader. Pokud je vyzářena částice alfa, jádro může být stále v excitovaném stavu. Aby se zbavilo této přebytečné energie, vyzáří foton gama záření. I když záření gama není přímo ionizující jako předešle zmíněná záření, může mít velice ničivé účinky na organismus člověka. Může způsobit jak popáleniny na kůži, tak vznik nádorových onemocnění nebo genové mutace. Pro odstínění je vhodné použít materiál s vyšší hustotou a vyšším atomovým číslem [5].

Rentgenové záření

Rentgenové záření je typem elektromagnetického záření s vlnovou délkou 10 nanometrů až 1 pikometru, také nazývané jako záření X. Toto záření bylo objeveno již v roce 1895 německým fyzikem Röntgenem, který jako první vytvořil rentgenový snímek ruky. Rentgenové záření je tvořeno přirozenými zdroji jako je kosmické záření nebo umělými zdroji, které jsou využívány v lékařské diagnostice. Z důvodu silných ionizačních účinků je schopné proniknout téměř jakýmkoli materiálem, proto je i jeho odstínění náročné. Z hlediska existence je záření děleno na dva druhy. Brzdné rentgenové záření, jehož rychle letící elektrony jsou zpomaleny po dopadu a změni svoji dráhu. Ztracená energie elektronů se vyzáří ve formě brzdného rentgenového záření. Druhý typ je nazýván charakteristické rentgenové záření, které je nejvíce využíváno v analytické chemii [3].

Neutronové záření

Neutronové záření je tvořeno proudem rychle letících neutronů, které mají vysokou pronikavost. Z důvodu toho, že neutrony nenesou žádný elektrický náboj, nemohou být zachyceny elektromagneticky v atomech látky. Energie neutronu je ztracena pouze v případě srážky s jádrem. Neutronové záření lze vyvolat při jaderné explozi nebo v jaderných reaktorech. Mezi nebezpečí tohoto záření patří zejména tzv. neutronová aktivace, což je schopnost vyvolat radioaktivitu u látek na které dopadá [5].

3.1.4 Základní veličiny a jednotky ionizujícího záření

Účinnost záření podléhá několika charakteristikám jako je druh záření, jeho energie nebo počet částic. Součástí je také popis zdroje záření pomocí veličiny zvané aktivita [4].

Aktivita je počet radioaktivních přeměn v radionuklidu za určitou jednotku času. U jaderné přeměny nelze přesně určit, která jádra podlehnou přeměně, ale lze statisticky určit kolik přeměn by se mělo uskutečnit za zmíněnou jednotku času [6].

Doba za kterou se rozpadne polovina jader je nazývána rozpadovým poločasem radionuklidu. Ve chvíli, kdy se rozpadne polovina jader radionuklidu, aktivita také klesne na polovinu své hodnoty. Jednotkou aktivity je 1 Bq, který znázorňuje jednu přeměnu aktivity za jednu sekundu. V praxi se převážně používají vyšší hodnoty jako kBq nebo MBq. Aktivita také závisí na počtu jader v radionuklidu, čím více jader radionuklid obsahuje, tím více přeměn se uskuteční [6].

Dozimetrie IZ se zabývá účinky záření na látku, specificky na vlastnosti interakcí a obdrženou dávku záření, kterou látka absorbovala. Fyzikálně-chemické účinky záření na látku jsou závislé na množství vzniklých iontů, které jsou následně úměrné koncentraci záření, které látka obdržela. Základní dozimetrická veličina, která nám je schopna charakterizovat již zmíněné fyzikálně-chemické účinky, se nazývá absorbovaná radiační dávka [7].

Absorbovaná radiační dávka (používaná zkratka „D“) je množství vyzářené energie o určité hmotnosti, které je absorbované v ozařované látce. Jednotkou absorbované dávky je 1 Gy. Mezi další základní veličiny patří dávkový příkon, který nám měří přírůstek dávky

za jednotku času. Jednotkou dávkového příkonu je Gy/s, v praxi se spíše používá $\mu\text{Gy/h}$ [8].

Při hodnocení účinků nepřímo IZ na látku se také můžeme setkat s veličinou nazývanou kerma. Kerma je definována jako součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic v určitém objemu látky. Jednotkou kermy je stejně jako u absorbované radiační dávky Gy. Další veličinou je kermový příkon, který nám znázorňuje přírůstek kermy za časový interval [7].

Pro popis absorbovaného ionizujícího záření živou tkání se používá jako veličina absorbovaná dávka. Avšak jednotlivé druhy záření mají rozdílný dopad na živou tkáň, z toho důvodu byly zavedeny následující veličiny [1].

Ekvivalentní dávka je dána součinem absorbované dávky a jakostního faktoru. Jinými slovy, představuje množství energie IZ pohlceného živou tkání. Jednotkou ekvivalentní dávky je 1 Sievert (Sv). Jako absorbovaná dávka má ekvivalentní dávka také ekvivalentní dávkový příkon, který zobrazuje přírůstek dávkového ekvivalentu za jednotku času [1].

Z důvodu toho, že každý druh záření má odlišné účinky na živou tkáň a organismus, je potřeba alespoň odhadnout riziko vzniku poškození. Pro tyto účely byla zavedena veličina efektivní dávka. Tato veličina je součtem ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních a tkáňovým váhovým faktorem. Jednotkou efektivní dávky je již zmíněný Sv [1].

Tabulka 1 Veličiny a jednotky

| VELIČINA | JEDNOTKA |
|--------------------|---------------------------|
| Aktivita | Bq [s^{-1}] |
| Absorbovaná dávka | Gy [J kg^{-1}] |
| Dávkový příkon | Gy [s^{-1}] |
| Kerma | Gy [s^{-1}] |
| Ekvivalentní dávka | Sv [J kg^{-1}] |
| Efektivní dávka | Sv [J kg^{-1}] |

3.2 Dozimetrie

Dozimetrie IZ je obor s dlouholetou historií, zabývající se vlastnostmi IZ, a tím i jeho veličinami nebo účinky na ozařovanou látku. Pomocí dozimetrie je tak možné charakterizovat zdroje záření, jejich účinky na živou látku nebo pole IZ. V rámci tohoto tématu se budeme zabývat různými druhy detekčních přístrojů, ale také oblastí osobní dozimetrie [9].

3.2.1 Detektory ionizujícího záření

V dnešní době existuje veliké množství detektorů ionizujícího záření, které se ale liší různými charakteristikami, jako je například konstrukce samotného detektoru nebo jeho fyzikální principy, na kterých pracuje. Detektory je možné rozdělit do několika skupin podle určitých kritérií. První skupina se zaměřuje na časový průběh detekce. Druhá skupina se zaměřuje na samotný princip detekce a poslední skupina dělí detektory podle komplexnosti měřené informace [3].

Podle časového průběhu detekce rozeznáváme dva typy detektorů. Prvním typem je kontinuální detektor, který poskytuje průběžnou informaci o aktuální intenzitě záření nebo počtu kvant ionizujícího záření. Přestane-li být detektor ozařován hodnota postupně klesne na nulu, což znamená, že tento typ detektoru neshromažďuje data. Druhým typem je kumulativní detektor, který postupně shromažďuje výsledek měření a tato informace zůstává uchována v detektoru i po skončení expozice [3].

Podle principu detekce rozeznáváme tři skupiny detektorů, a to fotografické, elektronické a materiálové. Mezi fotografické detektory patří zejména tzv. filmové dozimetry, které jsou založeny na fotochemických účincích. Elektronické detektory mají schopnost část absorbované energie IZ převést na impulzy nebo elektrické proudy, které jsou následně vyhodnoceny v elektronických převodech. Do této skupiny patří Geiger-Mullerův (dále jen „GM“) detektor nebo scintilační detektory. Materiálové detektory pracují na principu přeměny látky v dlouhodobějším měřítku. Do této skupiny patří zejména stopové detektory nebo křemíkové diody s dlouhou bází. Pokud jsou detektory ozařovány, ionizující záření vytvoří mikroskopické poruchy v krystalické mřížce určitého materiálu, a u těchto poruch se následně počítá jejich hustota [3].

Podle komplexnosti měřené informace rozeznáváme dvě skupiny detektorů. Do první skupiny patří detektory, které měří počet kvant záření nebo intenzitu záření, ale již nejsou schopny podat informaci o typu záření a jeho energii. Do této skupiny patří zejména již zmíněné GM detektory, filmové a termoluminiscenční dozimetry nebo ionizační komory [3].

Do poslední skupiny patří spektrometry IZ, které na rozdíl od detektorů jsou schopny určit i další charakteristiky jako je energie kvant záření a další. Do této skupiny patří zejména scintilační detektory nebo polovodičové detektory [3].

Fotografická detekce

Fotografické detektory obsahují fotografický materiál, který je tzv. detekčním médiem detektoru. Tento materiál nejčastěji obsahuje halogenidy stříbra jako je například bromid stříbrný, a pokud ionizující záření pronikne do tohoto materiálu, dojde k fotochemické reakci. Již v historii bylo využíváno fotografických materiálů k indikaci radioaktivity, tímto způsobem objevil H. Becquerel radioaktivitu uranové rudy. K fotochemické reakci dojde po dopadu světla, v tomto případě kvant záření na materiál, výsledkem je uvolňování atomů stříbra a vznik latentního obrazu. Po expozici je hustota zčernání materiálu úměrná hustotě ionizace, tedy množství energie ionizujícího záření. Následným makroskopickým sledováním lze určit intenzitu záření [10].

Geigerovy-Müllerovy detektory

Geiger-Müllerův detektor je ionizační komora, která je naplněna nízkotlakým plynem. V případě kontaktu ionizujícího záření s ionizační komorou dojde k vytvoření nových iontů, které následně vytvářejí elektrický proud. Tímto způsobem lze určit množství radiace [11].

Detektor obsahuje trubici, která je naplněna plynem, který nejčastěji tvoří směs argonu a etylalkoholu, v některých případech neónu s malou příměsí halogenů. Tato trubice je napojena na zdroj vysokého napětí. Nacházejí se zde také dvě elektrody, jedna je tvořena pláštěm trubice, a druhá je tvořena vnitřní tyčinkou. Následný průlet ionizujícího záření způsobí výboj mezi dvěma elektrodami, což zapříčiní zkrat

v elektrickém obvodu. Tento zkrat je zaznamenán jako impulz. Halogen v trubici poté funguje jako zhašecí plyn, který zastaví výboj po průletu částic, tak aby trubice byla schopná zaznamenat další částici [11].

Scintilační detektory

Scintilační detektory fungují na principu převodu energie IZ na energii fotonů patřící do ultrafialové části spektra, která se také označuje jako luminiscence. Z důvodu toho, že tento proces není závislý na skupenstvích, můžeme luminiscenci pozorovat jak u látek tuhých, kapalných nebo plyných. Historicky se jedná o jeden z nejstarších způsobů detekce těžkých nabitých částic, kdy bylo vyvinuto zařízení nazývané se spintariskop. V dnešní době patří scintilační detektory mezi jedny z nejpoužívanějších. Důvodem je několik vlastností, které sebou detektor přináší. Pomocí hmotnosti scintilačních látek lze dosáhnout vysoké detekční účinnosti, zejména v případě záření gama. Další výhodou je, že výstupní signál je dostatečně veliký, takže není potřeba zesilovačů jako v jiných případech detektorů [11].

3.2.2 Osobní dozimetrie

Oblast osobní dozimetrie je poměrně nová disciplína, která našla uplatnění převážně kolem 2. světové války. V této době začalo se zdroji IZ pracovat více osob a z toho důvodu bylo nutné zavést určité monitorovací metody. V rámci těchto metod bylo využíváno především tzv. ionizačních komůrek. Až později v 70. letech byl vyvíjen větší tlak na výzkum v této oblasti, ke kterému přispěl zejména rozvoj jaderné energetiky. Následně byl zahájen vývoj osobních dozimetrů, kterému se věnovalo nespočet odborníků. Nejprve byly dozimetry zaměřeny pouze na měření zevního ozáření osob, až později se zjistilo, že zevní ozáření je doprovázeno i vnitřním ozářením. Z toho důvodu se odborníci v rámci osobní dozimetrie také začali zabývat stanovením úrovně vnitřní kontaminace. Osobní dozimetrie je především směřována k pracovníkům se zdroji IZ, ať již na jaderných elektrárnách nebo ve zdravotnictví [9].

Filmový dozimetr

Každá země má určité standardy pro používání osobních dozimetrů. Takovýmto standardem v České republice je používání filmových dozimetrů. Tento typ je převážně

využíván z hlediska svých schopností, pomocí kterých je schopen rozlišit energii, typ a směr dopadu záření. Dozimetr obsahuje různé typy kazet pro různé druhy záření. Využívání filmových dozimetrů na jaderných zařízeních je doplněno speciálním typem kazety, která umožňuje měřit tepelné neutrony [9].

Termoluminiscenční dozimetr

Na jaderných zařízeních se nejčastěji používá kombinace dvou dozimetrů, a to dozimetru filmového a termoluminiscenčního. Termoluminiscenční dozimetr je schopný měřit v rozmezí delšího časového intervalu, na rozdíl od filmového. Tento typ detektoru pracuje na principu zachycení IZ, které díky vhodné krystalické látce vyvolá excitaci. Tyto látky jsou nejčastěji doplněny stopovými prvky LiF, BeO nebo CaF₂ [12].

Dalším typem je radiofotoluminiscenční dozimetr, který je velice podobný termoluminiscenčnímu. Zmíněný typ dozimetru byl vyvinut již v 70. letech pro měření havarijních dávek. Oproti předchozímu termoluminiscenčnímu dozimetru nese určité výhody, kterými je příkladně vyšší stabilita, pomocí které se výsledná informace neztrácí [12].

Neutronový dozimetr

Jeden z typů u nás používaných dozimetrů je tzv. stopový detektor v pevné fázi, neboli neutronový dozimetr. Stopový detektor je vybaven různými druhy fólií jako je například fólie typu U-235 nebo Th-232. Neutronové dozimetry tvoří skupina tří typů detektorů. Patří sem detektory se štěpnými radiátory, detektory odražených protonů a detektory založené na (n, α) reakci [13].

3.3 Radionuklidy

Radionuklid je nuklid, který má nestabilní jádro což znamená, že má přebytečnou energii, kterou potřebuje vyzářit nebo předat. V dnešní době známe mnoho radionuklidů, ať již ty, které se vyskytují v přírodě nebo ty, které jsou uměle vytvořené. V této kapitole se zaměříme na radionuklidy, se kterými se nejčastěji setkáváme v radiační ochraně, zejména při zásazích u mimořádných událostí [14].

Radium-226

Radium je vysoce radioaktivní prvek vznikající z rozpadové řady thoria a uranu. Izotopy radia podléhají rychlé přeměně a vyzařují nejen záření alfa, ale také beta a gama. Riziko je zvýšeno díky následnému uvolňování radonu, který, jak již bylo zmíněno v této práci, je vysoce nebezpečný při vdechnutí. Radium se dříve využívalo při radioterapeutické léčbě nádorů, kdy do nádoru bylo vpraveno v uzavřeném zářiči v podobě jehly. V dnešní době se radium používá v technickém a léčebném průmyslu, avšak pouze jeho sloučeniny. Aktuálně je známo 34 izotopů radia, z nichž nejznámější je radium-226 [14].

Kobalt-60

Kobalt je již dlouhou dobu využíván jak v leteckém průmyslu, tak ve šperkařství nebo lékařství. Izotop kobalt-60 je využíván v lékařství pro své účinky záření gama. Podobně jako radium je využíván při léčbě nádorových onemocnění. Největší výskyt přírodního kobaltu je v důsledku vulkanické činnosti. Kobalt-60 má poločas rozpadu 5 let, z toho důvodu zdroje IZ, které se využívají v lékařství, se dají používat pouze po tuto dobu [15].

Cesium-137

Nejznámějším radioizotopem cesia je cesium-137, které vzniká z rozpadové řady uranu-235. Jeho nejčastější výskyt je v jaderných reaktorech nebo jaderných zbraních. Cesium-137 se využívá v nejrůznějších případech, ať se již jedná o kalibraci přístrojů měřících IZ nebo v radioterapii. Nebezpečí sebou přináší cesium při reakci s vodou. V případě, že se dostane do lidského organismu, distribuuje se do celého těla. Výskyt cesia-137 v přírodě je převážně způsoben lidskou činností, jak již bylo zmíněno, vzniká převážně v jaderných reaktorech. Jeho nejsilnější rozšíření do přírody tak bylo například při Černobylské havárii [16].

Stroncium-90

Izotop stroncium-90 vzniká při jaderném štěpení uranu-238 a uranu-235. Jedná se o beta zářič, který při kontaktu s lidským organismem má tendence usazovat se v kostních tkáních. Tento izotop se do životního prostředí dostal v 50. letech 20. století

po atmosférických testech atomových bomb, a následným příspěvkem byly také havárie v Černobyli nebo Fukušimě. Stroncium-90 se využívá nejenom v lékařství při radioterapii, ale také v průmyslu při výrobě tloušťkoměrů [17].

Americium-241

Americium-241 patří mezi nejznámější izotopy americia a je vysoce radioaktivní. Největší výskyt tohoto izotopu se nalézá v jaderných reaktorech, převážně v jaderném odpadu. Americium-241 se hojně používá v detektorech kouře, ale díky svému gama záření také v lékařství. Lze ho také využít při kalibraci gama spektrometrů [18].

3.4 Typy detektorů složek IZS a ostatních institucí

3.4.1 Utra-Radiac URAD 115

Tento přístroj firmy Canberra Packard vznikl na požadavek Hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen „HZS ČR“), jako dokonalejší verze vojenského detekčního přístroje AN/UDR-13. Díky své odolnosti a dalším vylepšením splňuje podmínky pro HZS ČR. Zásahový dozimetr URAD 115 lze použít jako indikátor přítomnosti zdrojů záření gama nebo jako měřič dávkového příkonu pro stanovení doby pobytu. Dále jej lze využít pro vytyčování bezpečnostní zóny, a v poslední řadě jako dozimetr pro stanovení obdržené dávky. Přístroj je konstruován tak, aby byl odolný vůči nárazům, vibracím, záření a byl vodotěsný do 1 m. Jednou z výhod tohoto detekčního přístroje je interval aktualizace hodnot, pomocí kterého byla urychlena odezva přístroje. Tato skutečnost se stala velice přínosnou pro zasahující jednotky [19].

Tabulka 2 Urad-115

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Rozsah příkonu dávkového ekvivalentu | 0,1 μ Sv/h - 5 Sv/h |
| Rozsah ekvivalentní dávky | 0,01 μ Sv - 10 Sv |
| Teplotní rozsah | -47 °C až +65 °C |
| Přesnost | 15 % v celém rozsahu |
| Hmotnost | 275 g |



Obrázek 1 URAD-115[Zdroj vlastní]

Ovládání/Popis

Na přístroji se nachází šest tlačítek, kterými se ovládá a nastavuje. V pravém dolním rohu se nachází tlačítko ON/OFF, kterým se přístroj zapíná a vypíná. Dle manuálu měřicího přístroje stačí toto tlačítko stlačit po dobu dvou sekund. V levém horním rohu se nachází tlačítko s názvem RATE. Toto tlačítko slouží k nastavení rychlé odezvy dozimetru se zvukovou indikací impulzů. Dále je zde tlačítko s názvem DOSE, které slouží k zobrazení režimu dávky kumulované od posledního vynulování přístroje. Pokud potřebujeme přístroj vynulovat, stačí podržet tlačítko DOSE a zároveň stlačit tlačítko CLR/TEST. Na displeji 3x zabliká předešlá hodnota a následně se objeví hodnota 0. Jako další se zde nachází tlačítko ALARM, které slouží k zobrazení bezpečné doby pobytu v oblasti se zářením. Tato doba se zobrazuje v minutách. Tlačítko CLR/TEST, jak již bylo zmíněno, slouží jako multifunkční tlačítko. Jako poslední zde máme tlačítko LIGHT, které slouží pouze k osvětlení displeje přístroje [20].

Pro uvedení zásahového dozimetru do provozu musíme jako první krok přístroj zapnout. K tomu slouží tlačítko ON/OFF. Pokud se na displeji po zapnutí objeví falešný alarm, stlačíme tlačítko CLR/TEST. Následně musíme nastavit rychlou odezvu dozimetru, a to stlačením tlačítka RATE, následně se na displeji objeví hodnota 1. Pokud je potřeba vymažeme dávky z minulého období stlačením DOSE a CLR/TEST. V tuto chvíli by již měl být přístroj připraven k použití, a měl by ukazovat dávkový příkon [20].

Zobrazení důležitých údajů

Na přístroji můžeme zjistit dobu pobytu v místě zásahu. Po stlačení tlačítka ALARM se objeví doba pobytu v minutách. Tato hodnota je nastavena na maximální dobu 999 minut. Jako další důležitý údaj můžeme zjistit obdrženou ekvivalentní dávku, a to stlačením DOSE. Přístroj také obsahuje indikátor životnosti baterie. Pokud se na displeji zobrazuje „b“ znamená to, že dozimetr neměří a je nutné vyměnit baterii. Pokud se na displeji zobrazuje „BAT“ znamená to, že kapacita baterie je již pouze na 1 až 2 hodiny provozu [20].

3.4.2 DC-3H-08

Zásahový radiometr DC-3H-08 nazývaný také jako ruční radiometr slouží pro zjišťování radiační situace, kontrolu povrchů a materiálů. Je schopný detekovat záření beta nebo gama. Přístroj lze využít k měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, měření plošné aktivity nebo stanovení příkonu kermu ve vzduchu. Dále jej lze využít pro kontrolu kontaminace osob nebo pro měření dávky a stanovení povolené doby pobytu v dané oblasti [21].

Tabulka 3 DC-3H-08

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|------------------------------|---|
| Příkon kermu ve vzduchu | 0,1 $\mu\text{Gy/h}$ - 10 mGy/h |
| Příkon dávkového ekvivalentu | 100 $\mu\text{Sv/h}$ - 1 Sv/h |
| Plošná aktivita | 0,3 Bq/cm^2 - 30 kBq/cm^2 |
| Provozní teplota | -10 až +40 $^{\circ}\text{C}$ |
| Hmotnost | 2,3 kg včetně baterií |

Zásahový radiometr tvoří dvě odnímatelné části, kterými jsou základní a indikační jednotka. Obě jednotky jsou spolu propojeny pomocí bezdrátové technologie Bluetooth, která se aktivuje po odnětí indikační jednotky od základu přístroje. Pomocí toho si přístroj předává naměřená data. Základní jednotka je tvořena dvěma GM detektory. Na spodní straně jednotky je uložen detektor typu SBT-10, který měří příkon kermu ve vzduchu IZ gama, ale také plošnou aktivitu. Přístroj je také vybaven kompenzační clonou, která

je umístěna před měřícím oknem detektoru. Pokud je clona vysunutá přístroj měří záření gama i beta. V případě zasunuté clony přístroj měří pouze záření gama. Na čelní straně základní jednotky je umístěn druhý detektor typu ZP-1302, který měří příkon prostorového dávkového ekvivalentu. Indikační jednotka přístroje je vybavená displejem, který přehledně zobrazuje naměřené hodnoty a piktogramy. Naměřené hodnoty doplňuje barevný sloupcový graf a zvuková signalizace [21].



Obrázek 2 DC-3H-08 [Zdroj vlastní]

Zásahový radiometr obsahuje několik ovládacích prvků, mezi které patří tlačítko ON/OFF, tři hlavní tlačítka na čelní straně zobrazovací jednotky a dvě tlačítka na spodní straně. Zásahový radiometr má dvě odezvy, pomalou, která se využívá pro přesné měření, a rychlou odezvu, která se používá pro vyhledávání zdrojů IZ. Pro rychlou odezvu je přístroj vybaven barevným indikačním bar grafem [21].

Tabulka 4 Bar graf

| Diody | Dávkový příkon | Plošná aktivita |
|-------|--------------------------------|--|
| | 0,1 μ Sv/h - 12 μ Sv/h | 0,1Bq/cm ² - 10Bq/cm ² |
| | 12 μ Sv/h - 1,1mSv/h | 10Bq/cm ² - 1000Bq/cm ² |
| | nad 1mSv/h - 1Sv/h | nad 1kBq/cm ² - 10kBq/cm ² |

3.4.3 DC-3E-98

Radiometr je přenosný elektronický přístroj skládající se ze samostatného přístroje a sondy. Přístroj se využívá k zjišťování beta záření, měření dávkového příkonu gama záření nebo k měření plošné aktivity. Jako většina přístrojů detekující určité druhy záření, i tento radiometr funguje na principu Geiger-Müllerova detektoru. Přístroj zobrazuje naměřené hodnoty v digitální formě, optické signalizaci a bar grafu formou 3 barevných diod. Režim měření je rozdělen na režim vyhledávací a režim přesného měření. Dále radiometr obsahuje clonu pro rozlišení beta a gama záření [22].

Tabulka 5 DC-3E-98

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|------------------------------|--|
| Příkon dávkového ekvivalentu | 0,1 μ Sv/h - 10 Sv/h |
| Plošná aktivita | 0,3 Bq/cm ² - 30.000 Bq/cm ² |
| Teplotní rozsah | -20°C až +55°C |
| Hmotnost přístroje | 0,7 kg |
| Hmotnost sondy | 0,8 kg |



Obrázek 3 DC-3E-98 [Zdroj vlastní]

3.4.4 SOR/R DMC 22

Tento osobní dozimetr vznikl kombinací vojenského typu SOR/R 20 a vlastnostmi dozimetru DMC 2000 speciálně pro potřeby HZS. V rámci HZS je dozimetr využíván buďto jako osobní dozimetr nebo jako skupinový. V případě skupiny dávka nositele dozimetru znázorňuje skupinovou dávku ostatních členů. Základní typ dozimetru SOR má dvě podskupiny, a to dozimetr typu SOR/R také nazývaný polní, a dozimetr typu SOR/T neboli taktický. V této práci se zabýváme pouze typem SOR/R, který je využíván u HZS. Výhodou tohoto typu jsou široké vlastnosti, pomocí kterých je schopen měřit vysoké dávky příkonu gama záření a neutronů. Z toho důvodu je také využíván na jaderných elektrárnách [23].



Obrázek 4 SOR/R [Zdroj vlastní]

Funkční vlastnosti

Dozimetr disponuje čtyřmi úrovněmi alarmů dávky a dávkového příkonu, záznamem z historie měření a ukládáním dat. Přístroj je velice jednoduchý k ovládní pomocí jednoho tlačítka. Na displeji je zobrazována dávka a dávkový příkon, v případě stisku tlačítka je displej podsvícen [23].

Detektor také obsahuje komunikační konektor, který umožňuje připojení k externímu zařízení nebo ke čtečce. Dále se zde nachází reproduktor, který slouží k signalizaci alarmu. Přístroj pravidelně provádí autodiagnostiku, pomocí které je v případě závady nositel detektoru upozorněn [23].

Tabulka 6 SOR/R

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|-------------------------------|----------------------|
| Rozsah dávkového příkonu gama | od pozadí do 10 Gy/h |
| Rozsah prostorové dávky gama | 1 μ Gy - 10 Gy |
| Teplotní rozsah | -20°C až + 50°C |
| Hmotnost | 55 g |

3.4.5 GR-135

Detektor GR-135 firmy Exploranium přinesl do oblasti radiačního monitorování několik výhod. Přístroj slouží pro vyhledávání a měření dávkového příkonu záření gama, dále ho lze také využít jako spektrometr. Přístroj se skládá ze dvou detektorů, Geiger-Müllerovy trubice a NaI(Te) detektoru. Detektor lze využít ve dvou základních funkcích, vyhledávací a identifikační. Vyhledávací mód se typicky používá pro vyhledávání radioaktivního materiálu, ale zároveň zobrazuje aktuální dávkový příkon. Přístroj je vybaven gumovým pouzdrem, tak aby byla zajištěna dobrá manipulace s přístrojem, a zároveň aby mohl být využíván v terénu [24].

Tabulka 7 GR-135

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|-----------------|-----------------|
| Seznam nuklidů | 200 nuklidů |
| Teplotní rozsah | -10°C až + 50°C |
| Hmotnost | 2 kg |



Obrázek 5 GR-135 [Zdroj vlastní]

3.4.6 InSpector 1000

Přístroj InSpector 1000 byl vyvinut firmou Canberra Packard pro jednoduchou ovladatelnost a použitelnost v terénu. Z toho důvodu je vhodný při celních kontrolách, při práci s radiačním odpadem nebo sledování transportů souvisejících s jaderným materiálem. Zároveň je přístroj navržen tak, aby odolal venkovním podmínkám, a byl ovladatelný pouze jednou rukou [25].

Gamaspektrometr identifikuje a analyzuje naměřené nuklidy, ale také stanovuje jejich aktivitu. Co se týká druhů záření je schopný detekovat jak záření gama, tak i neutronové. Součástí přístroje je akustická signalizace a podsvícený displej. K ovládání přístroje je využito 6 tlačítek. Nachází se zde tlačítko ON/OFF pro zapnutí a vypnutí, dále tlačítko znázorňující stav baterie, tlačítko UP, které otevírá hlavní nabídku s funkcemi a tlačítko Down, pomocí kterého se hlavní nabídka opouští. Ostatní tlačítka jsou šipky pro posunování v hlavní nabídce [26].



Obrázek 6 InSpector 1000 [Zdroj vlastní]

Přístroj měří v několika módech, mezi které patří zobrazení dávkového příkonu na displeji. Dávkový příkon je většinu času zobrazován v ($\mu\text{Sv/h}$), pouze v případech vyššího dávkového příkonu se naměřené hodnoty přepnou do (mSv/h). Jak již bylo zmíněno, gama spektrometr je schopný identifikovat nuklidy, které následně jsou vypsány na displeji [25].

Tabulka 8 InSpector 1000

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|-----------------------------|--|
| Ekvivalentní dávkový příkon | 10 $\mu\text{Sv/h}$ - 100 mSv/h |
| Teplotní rozsah | -10°C až + 50°C |
| Hmotnost | 3,5 kg |

3.4.7 Virtuoso

Radiometr vyvinutý firmou Ecotest je vhodný pro kontrolu potravin, konstrukčních materiálů a dalších produktů. Přístroj je nastaven tak, aby byl schopný detekovat především izotopy Cesia, ale také další radioaktivní prvky jako je například Radium nebo Thorium. Radiometr zobrazuje hodnoty dávky, plošné aktivity a celkový stupeň radioaktivity v pozadí [27].

Tabulka 9 Virtuoso

| TECHNICKÉ ÚDAJE | |
|--------------------|-----------------------------|
| Ekvivalentní dávka | 0.001 – 10 $\mu\text{Sv/h}$ |
| Plošná aktivita | 50 – 200 000 Bq/kg |
| Teplotní rozsah | -20 – +50 |
| Hmotnost | 0.352 kg |



Obrázek 7 Virtuoso [28]

3.4.8 MKS-11GN Spectra

Radiometr firmy Ecotest je vysoce citlivé zařízení schopné nejen detekovat, lokalizovat, ale také identifikovat radioaktivní materiál vyzařující gama nebo neutronové záření. Svoji velikostí odpovídá osobnímu dozimetru, což umožňuje uživateli jednodušší manipulaci s přístrojem. Pro identifikaci je využito knihovny, která odpovídá nárokům Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Přístroj je nejčastěji využíván při přeshraničních kontrolách, ale také i v jiných případech, jako je kontrola materiálů. Zařízení na rozdíl od většiny detekčních přístrojů je zkonstruováno na bázi scintilačního detektoru. Jednou z výhod tohoto radiometru je jeho dlouhodobá výdrž, která činí 30 hodin v plném provozu [29].



Obrázek 8 Spectra [30]

3.4.9 Falcon 5000

Falcon 5000 je zkonstruován na bázi germania, z toho důvodu se řadí mezi tzv. High purity germanium (dále jen „HPGe“) detektory. Přístroj slouží k identifikaci radionuklidů, a pomocí vysoké citlivosti lze rychle určit kde se zdroj IZ nachází a o jaký druh se jedná. Detektor má několik operačních módů, mezi které se řadí Dose, Locate, NID a Spectrum. Všechny módy jsou dostupné z hlavní nabídky, takže ovládání přístroje nenese žádné obtíže [31].



Obrázek 9 Falcon 5000 [Zdroj vlastní]

3.4.10 RadEye

Tento osobní detektor firmy Thermo Scientific je schopný detekovat a lokalizovat radioaktivní zdroje gama záření. Jako i některé jiné osobní dozimetry je vybaven vysokou citlivostí, která zajišťuje včasné odhalení radioaktivního zdroje. Výhodou detektoru je, že jeho naměřená data nemohou být ovlivňována jinými užívanými detektory v okolí. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány v Sv/h [32].



Obrázek 10 RadEye [Zdroj vlastní]

3.4.11 IdentiFinder

Tento typ detektoru je využíváný jako tzv. polní detektor speciálně pro svojí snadnou obsluhu a rychlou lokalizaci zdroje IZ. Přístroj disponuje širokým čitelným displejem, který je zároveň podsvícený. Dále je vybaven systémem GPS a Bluetooth pro vzájemnou komunikaci a odečet dat. Výhodou detektoru je speciální konstrukce, která umožňuje výdrž přístroje až do hloubky 10 m pod vodou [33].



Obrázek 11 IdentiFinder [Zdroj vlastní]

3.4.12 Radiation Pager

Tento malý kapesní detektor byl speciálně navržen pro bezpečnostní služby. Pro svojí vysokou citlivost a tím i přesnost, patří k nejvyužívanějším osobním detektorům [34].



Obrázek 12 Radiation pager [Zdroj vlastní]

Detektor je schopný detekovat záření gama a neutronové záření, nehledě na přírodní pozadí. Signalizace je zajištěna světelnou diodou, zvukovým upozorněním a vibracemi. Tato kombinace tak zajišťuje okamžité upozornění uživatele, v případě výskytu v oblasti s radioaktivním nebezpečím [34].

3.5 Typy detektorů využívané v Polsku

Následující detekční přístroje jsou využívány u „Państwowa Straż Pożarna“ neboli u HZS v Polsku.

3.5.1 PM1401 GN

Tento přístroj polské firmy Polon Alfa byl navržen pro detekci a lokalizaci radioaktivního materiálu a zejména pro použití na jaderných zařízeních. Přístroj je schopný detekovat jak záření gama, tak i neutronové a měřit příkon dávkového ekvivalentu. Přístroj je možné používat nejen ve vnitřních prostorech, ale také v terénu, kdy z důvodu jeho jednoduché obsluhy není potřeba profesionální zaškolení. Přístroj má velice rychlou odezvu v rámci vyhledávání, která činí pouhých pár sekund. Je vybaven nejen akustickou, ale také vibrační signalizací. Konstrukce přístroje je schopná odolat i v případě pádu na betonovou zem z výšky 0,7 m. Použití přístroje v terénu je převážně umožněno rozsahem teplot, který činí -30°C až $+50^{\circ}\text{C}$. Celková váha přístroje je pouhých 0,49 kg [35].



Obrázek 13 PM1401 GM [Zdroj vlastní]

3.5.2 RK 100

Radiometr polské firmy Polon Alfa byl vyvinut pro potřeby při přeshraničních kontrolách, přesněji pro potřeby celní správy, zasahující hasiče, pro střediska krizového řízení a další technické služby [36].

Přístroj je schopen měřit příkon dávkového ekvivalentu a absorbovanou dávku gama záření, ale také ho lze použít jako monitor kontaminace. Přístroj se vyrábí ve dvou provedeních, s interní sondou a externí sondou, která je určena pro měření kontaminace povrchu alfa, beta i gama záření. Radiometr je uzpůsoben pro použití v terénu, z důvodu svého odolného pouzdra a nízké hmotnosti [36].



Obrázek 14 RK 100 [Zdroj vlastní]

3.5.3 DMC 3000

Osobní dozimetr firmy Mirion je schopný měřit dávkový příkon i příkon dávkového ekvivalentu. Pro včasné upozornění uživatele na možné nebezpečí je přístroj vybaven nejen zvukovou signalizací, ale také dvěma LED diodami a vibracemi. Teplotní rozsah činí -10°C až $+50^{\circ}\text{C}$. Dozimetr je uzpůsoben pro využití v terénu z hlediska své odolnosti vůči pádu, ale také díky své voděodolnosti [37].



Obrázek 15 DMC 3000 [Zdroj vlastní]

3.6 Aktuální trendy

V dnešní době existuje již nespočet detekčních přístrojů v oblasti radiace. Každá technika má svá specifika, tak aby nejlépe vyhovovala uživateli. Oblast výzkumu přichází jednou za čas s námětem nové detekční techniky, která by se dala zařadit mezi tzv. trendy, nicméně s dnešní dobou existuje již řada přístrojů, které jsou prověřené a proto více využívané ať již složkami IZS nebo jinými institucemi. Z toho důvodu bude tato kapitola věnována nejen trendům, ale také ostatní, málo známé detekční technice, která zatím nenašla své uplatnění v České republice.

Jedna z prvních firem, od které jsou nejčastěji odebírány detekční přístroje nese název Canberra Packard. Tato firma v dnešní době úzce spolupracuje s firmou Mirion Technologies a společně nabízí nejširší výběr z detekční techniky. Mezi nejvíce doporučované patří detektory pracující na bázi germania, jinak také nazývané HPGe detektory. Jedním z nabízených produktů je detektor ACT-LC [38].

3.6.1 ACT-LC

Tento typ detektoru se specializuje na měření aktivity v plících a dávek celého těla. Detektor byl speciálně navržen tak, aby detekoval převážně uranium, plutonium a americium. Přístroj má vysokou citlivost z důvodu toho, aby dokázal detekovat již zmíněné radioaktivní prvky, které nevyzařují vysoký stupeň gama záření [38].



Obrázek 16 ACT-LC [39]

Mezi další společnosti patří firma VF Nuclear, která působí v oblasti radiační ochrany a kontroly již od roku 1992. Do své činnosti má zahrnutou nejen vlastní strojní výrobu, ale také kontroly na jaderných elektrárnách, kde má své vlastní týmy. V rámci svých

služeb nabízí nejrůznější detekční techniku, jako jsou detektory dávkových příkonů, kontaminace osob nebo osobní dozimetry [40].

Mezi monitory dávkového příkonu můžeme zařadit například monitor dávkového příkonu gama záření AGM-02. Přístroj je vybaven zvukovou signalizací a displejem. V případě překročení limitů se zapne akustická signalizace a zároveň zobrazí upozornění na displeji [41].

3.6.2 PDS-100 Series

Tento přístroj izraelské firmy Rotem můžeme zařadit do oblasti osobní dozimetrie. Dozimetr je konstruován tak, aby byl schopen detekovat, lokalizovat a identifikovat radioaktivní zdroj záření. Pomocí své vysoké citlivosti a rychlé odezvy je schopný za velice krátký časový úsek detekovat i nízké hodnoty gama záření. Jelikož se jedná o osobní dozimetr je jeho velikost přizpůsobena tak, aby vyhovovala například členům IZS nebo zástupcům celní správy [42].



Obrázek 17 PDS-100 [43]

3.6.3 Dozimetr SOEKS Quantum

Tento profesionální dozimetr ruské firmy Soeks nese v sobě dva snímače SBM 20-1 a pomocí své jednoduché ovladatelnosti a masové výroby se stal jedním z nejvyužívanějších profesionálních dozimetrů na světě. Mezi základní vlastnosti tohoto produktu patří zejména dlouhá doba provozu, možnost přenosu dat do počítače, historie ukládání dat nebo vysoká přesnost měření [44].



Obrázek 18 SOEKS Quantum [45]

Přístroj dokáže naměřit nejen aktuální dávku radiace v pozadí, ale také nakumulovanou dávku. Jednou z výhod je velikost a váha zařízení, pomocí které může být přístroj upevněn jak na opasku, tak i na batohu. Oproti jiným typům dozimetrů, které jsou schopné zobrazit naměřené hodnoty do 1 minuty, je tento přístroj speciálně upraven tak, aby byl schopen hodnoty zobrazit již do 30 sekund. Poslední výhodou je lehká ovladatelnost, z toho důvodu uživatel nemusí procházet speciálním školením [44].

V následující kapitole budou popsány různé detekční přístroje od firmy Mirion Technologies, která jak již bylo zmíněno, spolupracuje s firmou Canberra Packard. Firma Mirion na trh přinesla rozsáhlou řadu nejrůznorodější techniky, mezi kterou patří nejen velice citlivé detektory, ale také jedna z novinek, která nese název Accurad, a bude v této části práce zmíněna.

3.6.4 Colibri survey meter

Zařízení Colibri patří mezi přístroje s rychlou odezvou na měření dávek gama záření a měření nakumulované dávky. Přístroj je podporován systémem ALARA, pomocí kterého okamžitě upozorní uživatele na možné nebezpečí. Mezi výhody zejména patří veliký displej, na kterém jsou přehledně zobrazována potřebná data, nebo možnost ovládat přístroj v rukavicích, což umožňuje velikost tlačítek. Colibri je možné propojit s externími zařízeními pro přenos dat pomocí Bluetooth nebo USB konektoru. Firma Mirion nabízí dvě verze přístroje, první je nazývána TTC. Tento přístroj je schopný měřit do hodnot 10 Sv/hod a je doporučován pro použití zejména na jaderných zařízeních, kvůli své přesnosti. Druhá verze nese název VLD od slova „Very Low Dose“, tento přístroj je doporučen pro osobní využití a je schopen naměřit hodnoty již od 10 nSv/hod. Přístroj je také vybaven GPS systémem, který umožňuje mapování dané oblasti a následné zanesení dat do mapy na externím zařízení [46].



Obrázek 19 Colibri [47]

3.6.5 Radiagem 2000

Tento přístroj je vhodným osobním dozimetrem, který je schopný měřit ekvivalentní dávkový příkon až do hodnoty 100 mSv/h. Přístroj má přehledný displej a je doplněn o bar graf, akustický alarm a světelné podsvícení. Přístroj dokáže naměřit nejen dávkový příkon, ale také povrchovou kontaminaci. Dozimetr je rozšířen o úložiště dat, které zaručuje přehledně dostupná naměřená data. Radiagem 2000 je velice jednoduchý na ovladatelnost a z toho důvodu je také vhodný pro jakéhokoliv pracovníka, ať již v průmyslu nebo mezi složkami IZS [48].



Obrázek 20 Radiagem 2000 [49]

3.6.6 RDS-31

Detektor RDS-31 patří mezi přístroje jednoduché jak na ovladatelnost, tak i na nošení. Na displeji je zobrazována naměřená hodnota ekvivalentní dávky gama záření, která je opět doplněna o akustickou signalizaci. Přístroj je dále vybaven speciálními sondami, pomocí kterých je možné detekovat záření alfa i beta. V poslední řadě je detektor rozšířen o úložiště dat [50].



Obrázek 21 RDS-31 [51]

3.6.7 ACCURAD

Tento detektor byl speciálně vyvinut pro účely záchranářů a policistů při výkonu jejich povolání. Přístroj je vybaven nejnovější technologií, která zajišťuje rychlou detekci zdroje IZ v okolí a jeho lokalizaci. Za účelem vyšší odolnosti z důvodu využívání v terénu, je detektor vsazen do odolného pouzdra. Mezi výhody zejména patří jeho jednoduchá ovladatelnost, která je důležitá pro zasahující složky a automatické ukládání dat. Detektor je uzpůsoben k nošení na opasku nebo v kalhotách tak, aby jeho uživatel mohl pouze nahlédnout na displej, když je potřeba. Přístroj se skládá z pěti velkých tlačítek umožňujících ovladatelnost i v rukavicích, dvěma indikačními LED diodami a dvěma displeji, ze kterých jeden je umístěn na vrchu přístroje pro jednoduchou viditelnost. Pomocí vysoké citlivosti je detektor schopen detekovat již velmi nízké hodnoty gama záření a dávkový příkon do 10 mSv/h [52].



Obrázek 22 ACCURAD [53]

3.7 Složky IZS a ostatní instituce

3.7.1 Hasičský záchranný sbor České republiky

V rámci HZS ČR působí odbor chemické služby, který zajišťuje veškerou činnost spojenou s výskytem nebezpečných chemických látek, ale také oblast radiační ochrany. Dle Řádu chemické služby HZS ČR plní úkoly a činnosti spojené s kontrolou vybavení jednotek požární ochrany, podílí se na vývoji a zkouškách prostředků, nebo provádí revizní činnosti a opravy. V rámci radiační ochrany chemická služba provádí také kalibraci dozimetrických měřidel [54].

V roce 2009 bylo vyčleněno z finančních zdrojů Evropské unie 75 milionů Kč pro HZS ČR. Následně bylo rozhodnuto za tuto částku pořídit vybavení pro chemický a radiační průzkum. Pomocí tohoto nákupu se tak Česká republika dostala na špičku v oblasti chemické a radiační ochrany. Během rozhodovacího procesu, které prostředky vybrat, bylo bráno v potaz několik důležitých kritérií. Jako první bylo nutné navrhnout, které prostředky budou vhodné pro hasiče v závislosti na vzniklých technických podmínkách. Tyto technické podmínky byly vypracovány jako druhé kritérium. Poslední fází již bylo vyřešit kupní smlouvy a finanční stránku. V oblasti radiační ochrany byly zakoupeny zásahové dozimetry, zásahové radiometry a osobní dozimetry. Důležitou součástí byla následná distribuce mezi HZS krajů. Opěrné jednotky HZS krajů obdržely po 10 zásahových dozimetrech, střední jednotky obdržely 3 kusy dozimetrů, oproti tomu základní jednotky pouze jeden kus. Celkový počet se pohyboval okolo 500 kusů osobních dozimetrů, 270 kusů zásahových dozimetrů a 14 zásahových radiometrů [55].

Mezi hlavní pořízené prostředky patřil osobní dozimetr SOR/R a dozimetr UltraRadiac URAD-115, sloužící při zásahu jako indikátor přítomnosti gama záření, ale také určující dobu pobytu v zásahové oblasti. Mezi další prostředky patřil radiometr DC-3H-08. Z důvodu toho, že pouhá koupě těchto detekčních zařízení byla nedostatečná, zakoupilo HZS ČR společně s tím terminál elektronických dozimetrů, čtečku zásahových dozimetrů a čtečku osobních dozimetrů. Prostřednictvím speciálního softwaru je následně možné sledovat obdržené dávky příslušníků HZS [55].

HZS ČR má několik chemických laboratoří, které se zabývají nejen detekcí chemických látek ale také těch radioaktivních. Pro svoji činnost mají laboratoře různé

druhy techniky, jak pro identifikaci, tak pro analýzu odebraných vzorků. V rámci této činnosti jsou u výjezdových skupin chemických laboratoří dislokována speciální vozidla, která jim umožňují zásah u mimořádné události s dostatečným vybavením. Vozidlo se nazývá technický automobil chemický v provedení chemického a radiačního průzkumu. Vozidlo je vybaveno speciální detekční technikou na vysoké úrovni, součástí jsou pravidelné kontroly a doplňování nového vybavení, které zvedá úroveň chemické služby. Tato kontrola například proběhla v roce 2016, kdy vozidlo prošlo úpravou a bylo doplněno o novější techniku v oblasti radiační detekce. Jedním z přístrojů je nám již známý detekční systém RadEye, který se používá pro měření alfa a beta záření. Jako další přístroj byl vybrán analyzátor kontaminace Virtuoso, který se speciálně používá pro detekci izotopů cesia. Poslední přístroj, o který bylo vozidlo doplněno v oblasti radiačního průzkumu, je osobní spektrometr Spectra, jenž je vysoce citlivým detektorem neutronového záření a záření gama [56].

S rokem 2001, kdy byl přijat zákon č. 239/2001 Sb. o integrovaném záchranném systému, bylo uloženo HZS ČR několik úkolů v rámci chemické a radiační bezpečnosti. Tyto postupy jsou upraveny metodickým listem v Bojovém řádu jednotek požární ochrany. Jedná se především o postupy při zásazích kde se vyskytuje zdroj IZ. Klíčovou roli hraje především bezpečnost zasahujících jednotek. Při zásahu na základě radiačního průzkumu jednotky vytyčí vnější zónu pro zásah, dále nebezpečnou zónu a bezpečnou zónu. Co se týká limitů obdržené dávky, příslušníci HZS mají stejnou hodnotu jako ostatní občané, což činí dávku 1mSv/rok. Z toho důvodu je nebezpečná zóna vytyčena tam, kde je naměřen dávkový příkon 1mSv/hod nebo vyšší. Oproti tomu v bezpečné zóně je naměřen dávkový příkon 10 μ Sv/hod. Dalším bodem je oznámení vzniklé radiační situace na příslušný úřad, v tomto případě informování Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen „SÚJB“) [2].

3.7.2 Policie České republiky

Jak již bylo zmíněno v této práci, při zásahu s nálezem zdroje IZ příslušníci HZS informují SÚJB o nález, dále kontaktují Policii české republiky (dále jen „PČR“) pro součinnost. PČR je důležitou součástí těchto zásahů, jelikož se podílí na záchranných pracích a udržují veřejnost daleko od místa zásahu. Samozřejmostí je, že policisté, kteří se zde vyskytují, musí být upozorněni o možném riziku a nesmějí vstoupit do oblasti kde

dávkový příkon překračuje hodnotu 10 $\mu\text{Sv/h}$. Pokud by museli vstoupit do oblasti s vyšší hodnotou, je nutné aby měli potřebné vybavení. V postižené oblasti provádí PČR úkoly spojené s průzkumem místa výbuchu, pokud se zde nějaký nacházel, dále uzávěrku oblasti nebo regulaci dopravy. Mezi další činnosti PČR patří udržování veřejného pořádku, zajištění informovanosti obyvatelstva, regulace pohybu vozidel a hlídková činnost na hranici vnější zóny. V rámci zásahu se zde mohou nacházet nejen příslušníci pořádkové služby, dopravní policisté ale také pyrotechnici [2].

3.7.3 Národní centrála proti organizovanému zločinu

Národní centrála proti organizovanému zločinu (dále jen „NCOZ“) má také mimo jiné ve své účinnosti oblast radiační ochrany. Sekce terorismu a extremismu se dle zákona č. 263/2016 Sb. o atomovém zákoně podílí na monitorování radiační situace související s mimořádnými radiačními situacemi. K tomu se také vztahuje součinnost se složkami IZS v rámci jednotlivých typových činnostech, jako je například špinavá bomba [57].

V rámci Evropské unie jsou pravidelně pořádána cvičení pro zasahující složky členských států tak, aby se neustále zvyšovala jejich připravenost při zásahu. S nárůstem teroristických útoků v posledních letech se Evropská komise rozhodla v roce 2019 uspořádat cvičení zaměřující se na možný teroristický útok s použitím chemických, biologických a radioaktivních látek. Zmíněného cvičení se účastnilo šest členských států Evropské Unie a to, Česká republika, Slovenská republika, Polsko, Německo, Belgie a Francie [58].

Odbor zbraní a nebezpečných materiálů NCOZ se ve své působnosti také zabývá trestnou činností spojenou s nakládáním s radioaktivním nebo jaderným materiálem a mimo jiné je součástí radiační monitorovací sítě ČR. Z tohoto důvodu se právě NCOZ podílela na již zmíněném cvičení. Cvičení bylo předem naplánované tak, aby prověřilo jednotlivé síly a prostředky zúčastněných složek. Námětem cvičení bylo nasimulované odcizení radiačního zdroje, který byl postupně převážen přes všechny zúčastněné státy. NCOZ v tomto případě hrála hlavní roli v detekci látek, sběru vzorků a důkazů nebo ohledání místa činu [58].

3.7.4 Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚJB z hlediska zákona č. 263/2016 Sb. o atomovém zákoně vykonává také činnost spojenou s radiační ochranou, v rámci které vykonává státní dozor nad všemi pracovišti se zdroji IZ. Dále sleduje a usměrňuje ozáření osob nebo koordinuje činnost monitorovací sítě ČR. Mezi další činnosti patří nakládání s radioaktivním odpadem nebo mezinárodní výměna dat ohledně radiační situace. V neposlední řadě do této činnosti také spadá prosazování předpisů a ukládání opatření [59].

V případě mimořádné události, kde jsou naměřené zvýšené hodnoty přírodního pozadí (nad 0,5 $\mu\text{Sv/h}$), je povinností informovat styčné místo SÚJB a případně si vyžádat jeho součinnost. Hlavní centrum SÚJB se nachází v Praze a ostatní regionální centra jsou rozmístěna různě po České republice. Centra jsou dislokována v Kamenici u Příbrami, Praze, Českých Budějovicích, Plzni, Hradci Králové, Brně, Ostravě a Ústí nad Labem. Dále má SÚJB mobilní skupiny, které spolupracují se složkami IZS. Tyto skupiny se nachází v regionálních centrech SÚJB a Státním ústavu radiační ochrany, v.v.i. (dále jen „SÚRO, v.v.i.“). Mezi další síly a prostředky SÚJB patří laboratorní skupiny, které se opět nachází v regionálních centrech a v pobočkách SÚRO, v.v.i. V rámci své činnosti SÚJB provozuje Radiační monitorovací síť ČR, na které se podílejí jednotlivá regionální centra [2].

3.7.5 Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Tato instituce byla zřízena již v roce 1995, kdy byla přímo podřízena SÚJB. V roce 2011 se stala veřejnou výzkumnou institucí, která se zabývá výzkumnou činností v oblasti radiační ochrany, v oblasti radiační monitorovací sítě a v oblastech jaderné bezpečnosti. Ústav disponuje nejrůznějším vybavením, které mu umožňuje provádět analýzy na nejvyšší úrovni. Mezi základní vybavení patří zejména laboratoře pro spektrometrii gama, alfa a beta nebo radiochemická laboratoř, která slouží pro analýzu umělých radionuklidů [60].

Jako další činnost vykonává zajištění radiační ochrany přes radiační monitorovací síť ČR a činnost mobilních skupin při mimořádných událostech a radiačních nehodách. Součástí je ale také expertní činnost v oblasti vypracovávání odborných zpráv nebo poskytování konzultací a expertíz a vzdělávání v radiační ochraně [61].

3.7.6 Celní správa České republiky

Činnost celní správy se za posledních 20 let rozšířila do různých oblastí, jako je nejen kontrola mezinárodního pohybu zbraní a vojenského materiálu, ale také radioaktivních materiálů nebo rizikových biologických látek. Celní správa se také podílí na monitorování celostátní radiační sítě, převážně na hraničních přechodech, a z toho důvodu úzce spolupracuje se SÚJB [62].

V roce 2017, kdy byl vytvořen projekt ke zvýšení bezpečnosti na Letišti Václava Havla, byly celní správě dodány potřebné prostředky pro detekci radiace při kontrole zboží, které prochází letištěm. Jako hlavní vybavení byly dodány speciální detekční brány, které dokáží detekovat neutronové záření a záření gama. Brány jsou uzpůsobeny pro rychlou kontrolu přepravovaného zboží na paletách a v případě detekce zvýšené radiace upozorní na nebezpečí akustickým zvukem a světelnou signalizací. Bezpečnost na letišti tak byla určitým způsobem zvýšena, neboť Letiště Václava Havla je hlavním hraničním přechodem pro zboží ze zemí, které se nenacházejí v Evropské unii [63].

Spolu s dodávkou nového vybavení byli i příslušníci celní správy řádně proškoleni v základech radiační ochrany a důležitých předpisech. Součástí školení byla praktická část, která zahrnovala praktickou výuku s radiometrem DC-3E-98 nebo se spektrometrem GR-135 [63].

4 METODIKA

Pro vypracování diplomové práce byla zvolena SWOT analýza, pomocí které budou vybrané přístroje pro měření radiace zhodnoceny. SWOT analýza je nástroj, který mapuje a analyzuje daný jev porovnáním jeho vnějších hrozeb a příležitostí s vnitřními silnými a slabými stránkami. Pro správné provedení SWOT analýzy bude také stanovena váha, která udává důležitost jednotlivých bodů v dané kategorii. Součet vah v jedné kategorii musí vždy činit hodnotu 1. Následně bude také stanovena hodnota od 1 do 5 (silné stránky a příležitosti) a od -5 do -1 (slabé stránky a hrozby). V tomto případě se hodnota 1 rovná nejhorsímu výsledku a hodnota 5 nejlepšímu. Dále bude proveden součin mezi váhou a hodnotou vybraného bodu a součet součinů nám dá hodnotu jednotlivé kategorie. V konečné fázi dojdeme k výsledné hodnotě pomocí součtu všech čtyř kategorií.

Pro vypracování praktické části byly vybrány 4 mimořádné události týkající se nálezů radioaktivního materiálu. V rámci těchto událostí bylo využito různých detekčních přístrojů, které byly na základě daných mimořádných událostí vybrány k analýze a zhodnocení v této diplomové práci. Informace byly získány z Hlášení o výjezdu k mimořádné události, která byla poskytnuta chemickou laboratoří Kamenice.

V první fázi praktické části je využito takticko-technických dat vybraných detekčních přístrojů k provedení SWOT analýz, pomocí kterých je možné analyzovat slabé a silné stránky přístrojů. V další fázi jsou pomocí Check list metody zhodnoceny vybrané detekční přístroje, které budou následně porovnány v diskuzi. Jako poslední je provedena komparace detekčních přístrojů České republiky s Polskem.

Z důvodu aktuální nepříznivé situace COVID-19 nebylo možné porovnat vybrané detekční přístroje na základě provedení vlastního měření s přístroji, z toho důvodu je provedeno jejich porovnání pouze na základě získaných informací o jejich vlastnostech. Dále nebylo možné kvůli aktuální situaci provést komparaci se Slovenskou republikou.

5 VÝSLEDKY

5.1 Detekční technika využívaná v ČR

5.1.1 Mimořádné události

1. Panenské Břežany

Dne 8. 6. 2017 v objektu Inovačního technologického centra byl nalezen materiál, který vykazoval známky IZ z důvodu toho, že na něj detektor radiace zareagoval. Nález materiálu byl nahlášen bez dalších informací. Bylo rozhodnuto, že další den bude zpřístupněn objekt pro výjezdovou skupinu chemické laboratoře Kamenice. Ve stanovený den byl proveden radiační průzkum, ke kterému bylo využito přístroje DC-3H-08, který naměřil ve vzdálenosti 5 cm od materiálu záření gama o příkonu 14 $\mu\text{Sv/hod}$.

2. Světlá pod Ještědem

Dne 21. 2. 2020 byl nahlášen na stanici HZS v Liberci místním občanem možný nález radioaktivního předmětu v rodinném domě, který nedávno koupil. Na místo se dostavila výjezdová skupina chemické laboratoře Kamenice, která provedla radiační průzkum. Pro průzkum byl opět zvolen přístroj DC-3H-08, který potvrdil, že se v objektu vyskytuje radioaktivní materiál. Bylo naměřeno záření gama o příkonu 3,0-3,5 $\mu\text{Sv/hod}$.

3. Praha

Dne 4. 9. 2019 byl zasahujícím HZS detekován radioaktivní materiál v soukromém bytě na Černém mostě, kde probíhal zásah. Z důvodu toho, že materiál vykazoval dávkový příkon o 0,15 $\mu\text{Sv/hod}$ bylo rozhodnuto, že bude následující den převezen výjezdovou skupinou chemické laboratoře. Hodnota dávkového příkonu byla naměřena přístrojem DC-3E-98.

4. Lešetice

Dne 1. 5. 2018 se dostavila výjezdová skupina chemické laboratoře Kamenice na místo mimořádné události, kde byl předešlý den nalezen radioaktivní materiál. K radiačnímu průzkumu byl zvolen přístroj MKS-11GN Spectra, který naměřil dávkový příkon

80 mSv/hod na povrchu zdroje. Následně přístroj identifikoval, že se jedná o izotop Cs-137.

Z vybraných mimořádných událostí bylo zjištěno, že pro měření dávkového příkonu se nejčastěji využívá přístroje DC-3H-08, DC-3E-98 a spektrometru MKS-11GN Spectra. Z toho důvodu budou v následující části zmíněné přístroje zhodnoceny pomocí SWOT analýzy.

5.1.2 SWOT analýza DC-3H-08

Tabulka 10 SWOT analýza DC-3H-08

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|-----------|-------------------------|-------------|-----------|
| Měřicí vlastnosti | 0,5 | 5 | Hmotnost | 0,7 | -3 |
| Bluetooth | 0,2 | 4 | Cena | 0,3 | -2 |
| Ovládání | 0,3 | 4 | | | |
| SOUČET | 4,5 | | SOUČET | -2,7 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Radiační průzkum | 0,7 | 5 | Meteorologické podmínky | 0,8 | -3 |
| Kontaminace | 0,3 | 5 | Výbuch | 0,2 | -1 |
| SOUČET | 5 | | SOUČET | -2,6 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | 4,2 | | | | |

Pomocí SWOT analýzy byla na základě získaných informací přidělena přístroji DC-3H-08 výsledná hodnota 4,2. Tato hodnota je poměrem silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb, které budou dále rozepsány.

Mezi silné stránky byly zařazeny široké měřicí vlastnosti, kterými přístroj disponuje. Jedná se zejména o měření prostorového dávkového ekvivalentu, absorbovanou dávku nebo příkon kermy ve vzduchu. Mezi tyto vlastnosti dále patří detekce gama a beta záření. Dále bylo mezi silné stránky zařazeno Bluetooth, které v případě rozpojení jednotek umožňuje komunikaci mezi nimi. V poslední řadě je silnou stránkou ovládání přístroje, které umožňuje uživateli ovládat přístroj pouze jednou rukou.

Do oblasti slabých stránek byla zařazena hmotnost, která činí 2,3 kg a znesnadňuje tak manipulaci s přístrojem. Cena přístroje se pohybuje okolo 110 000 Kč, což v porovnání s jinými přístroji, jejichž cena může být nižší až o desítky tisíc korun, lze přístroj zařadit mezi ty méně dostupné.

Mezi příležitosti byl zařazen radiační průzkum, ke kterému je možné přístroj použít již z hlediska zmíněných silných stránek. Jako další bod byla zmíněná kontaminace z toho důvodu, že přístroj lze také využít ke kontrole kontaminace osob zejména při členěném zásahu.

V oblasti hrozeb byly zmíněny meteorologické podmínky, které mohou znesnadnit chod přístroje DC-3H-08. Z důvodu toho, že se jedná o digitální přístroj, může být v případě špatných meteorologických podmínek jeho měření ovlivněno. Mezi hrozby byl také zařazen výbuch, a to z důvodu konstrukce přístroje, který není stavěný na takovéto podmínky.

5.1.3 SWOT analýza DC-3E-98

Tabulka 11 SWOT analýza DC-3E-98

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|------------|-------------------|-------------|-----------|
| Měřicí vlastnosti | 0,7 | 5 | Manipulace | 0,6 | -4 |
| Zobrazení dat | 0,3 | 4 | Velikost | 0,4 | -2 |
| SOUČET | 4,7 | | SOUČET | -3,2 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Radiační průzkum | 0,7 | 5 | Úplné nahrazení | 0,5 | -2 |
| Kontaminace | 0,3 | 4 | Extrémní podmínky | 0,5 | -3 |
| SOUČET | 4,7 | | SOUČET | -2,5 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 3,7 | | | |

Na základě SWOT analýzy byla přístroji DC-3E-98 přidělena výsledná hodnota 3,7. Přístroj DC-3E-98 je původní verzí přístroje DC-3H-08, takže se dá předpokládat, že jeho hodnocení bude o něco nižší.

Mezi silné stránky byly zařazeny měřicí vlastnosti, kterými jsou měření dávkového příkonu záření gama, měření plošné aktivity a detekce záření beta. Další silnou stránkou přístroje je analogické zobrazování dat, které oproti digitálním verzím nese určité výhody, zejména stálost zobrazovaných dat.

Mezi slabé stránky byla zařazena manipulace z důvodu toho, že k ovládní přístroje je zapotřebí využití několika ovládacích tlačítek, a bez odborného zaškolení není možné přístroj plně ovládat. Jako další byla do slabých stránek zařazena velikost přístroje, která může znesnadnit manipulaci s přístrojem v terénu.

Do oblasti příležitostí byl opět jako u předchozího přístroje zařazen radiační průzkum, ke kterému lze přístroj ideálně použít. Nejen z důvodu jeho širokých vlastností, ale také k měření měrné aktivity tekutých nebo sypkých materiálů a v poslední řadě ke kontrole kontaminace povrchů.

Jako hrozby byly v tabulce č. 11 zmíněny extrémní podmínky a možnost kompletního nahrazení přístroje. Přístroj je sice díky svému analogickému zobrazování dat v tomto ohledu lepší oproti předchozímu typu DC-3H-08, ale jeho konstrukce není stavěna na extrémní podmínky jako je veliký rozsah teplot nebo pád z velké výšky.

5.1.4 SWOT analýza MKS-11GN Spectra

Tabulka 12 SWOT analýza MKS-11GN Spectra

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|------------|---------------|-------------|-----------|
| Velikost | 0,5 | 5 | Konstrukce | 1 | -3 |
| Citlivost | 0,5 | 5 | | | |
| SOUČET | 5 | | SOUČET | -3 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Kontroly | 0,4 | 5 | Záměna dat | 0,2 | -2 |
| Složky IZS | 0,6 | 4 | Výbuch | 0,8 | -1 |
| SOUČET | 4,4 | | SOUČET | -1,2 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 5,2 | | | |

V celkovém hodnocení pomocí SWOT analýzy získal přístroj MKS-11GN Spectra hodnotu 5,2. Tato hodnota je poměrem silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb, které byly získány převážně z takticko-technických dat.

Do oblasti silných stránek byla zařazena velikost, která se rovná osobnímu dozimetru a umožňuje tak svému uživateli bezproblémové využití, zejména při zásahu. Jako druhá silná stránka byla zmíněna citlivost přístroje z důvodu toho, že je přístroj koncipován na principu scintilačního detektoru a je tak schopný detekovat záření již při velice nízkých hodnotách.

Mezi slabé stránky byla zařazena pouze konstrukce přístroje, která z hlediska odolnosti v terénu, ať již se jedná o pád z výšky nebo voděodolnost, se nerovná jiným přístrojům v oblasti radiačního průzkumu.

Jako příležitosti byly zmíněny kontroly, v tomto případě se jedná zejména o možnost využití při přeshraničních kontrolách, kdy výhodou přístroje je schopnost detekovat nejenom záření gama ale také neutronové záření. S tím je spojená využitelnost přístroje u složek IZS, kdy přístroj dokáže velice rychle detekovat zmíněné druhy záření, a včas tak upozornit svého uživatele na možné nebezpečí.

Do oblasti hrozeb byla zařazena možná záměna dat, kdy se jedná o možnost záměny detekce mezi gama zářením a neutronovým v případě vysokých hodnot. Tato možnost je sice velice malá, ale určitá pravděpodobnost se zde nalézá.

V následující části budou provedeny SWOT analýzy některých ostatních přístrojů, které lze použít k podobnému využití.

5.1.5 SWOT analýza Ultra-Radiac URAD-115

Tabulka 13 SWOT analýza Ultra-Radiac URAD-115

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|------------|-----------------|-----------|-----------|
| Rychlá odezva | 0,4 | 5 | Plošná aktivita | 0,5 | -3 |
| Přepínání rozsahů | 0,2 | 5 | Baterie | 0,5 | -1 |
| Velikost | 0,4 | 5 | | | |
| SOUČET | 5 | | SOUČET | -2 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Vytyčení zóny | 0,4 | 3 | Ovládání | 1 | -1 |
| Doba pobytu | 0,6 | 4 | | | |
| SOUČET | 3,6 | | SOUČET | -1 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 5,6 | | | |

Na základě SWOT analýzy bylo přístroji Ultra-Radiac URAD-115 přiděleno celkové hodnocení 5,6. Přístroj byl zasazen do výbavy složek IZS aby částečně nahradil jiné přístroje, již to znamená, že je oproti ostatním přístrojům o úroveň výš a nebyla tak u něj nalezena více jak jedna hrozba.

Mezi silné stránky byla zařazena rychlá odezva, která se stala velikým přínosem pro zasahující složky. Jako další bylo zde zařazeno přepínání rozsahů, které u jiných přístrojů je nutné přepínat manuálně a je tak vyšší riziko špatného nastavení přístroje. Další silnou stránkou přístroje je jeho velikost, která umožňuje uživateli lehčí ovladatelnost.

Mezi slabé stránky byla zařazena plošná aktivita z důvodu toho, že oproti předchozím přístrojům DC-3H-08 a DC-3E-98 ji URAD-115 není schopen měřit. Nicméně URAD-115 je dodáván se speciální beta sondou, kterou lze propojit s přístrojem a měří plošnou

aktivitu. Jako poslední slabou stránkou jsou baterie, které je nutné pravidelně měnit, a proto byly zařazeny do této oblasti.

Do oblasti příležitostí bylo zařazeno vytyčení zóny, ke kterému je přístroj URAD-115 perfektně uzpůsoben. Další možností využití přístroje je určení doby pobytu v zasažené oblasti, což je jedním z nejdůležitějších kroků pro zasahující složky.

Jak již bylo zmíněno, do oblasti hrozeb bylo zařazeno pouze ovládání, které není tak složité jako u přístroje DC-3E-98, ale pokud uživatel není alespoň částečně zaškolen, může mít problém s užíváním přístroje. V takovémto případě by uživatel mohl být ohrožen pokud by se vyskytoval v zóně s výskytem radiace a přístroj by ho na to neupozornil.

5.1.6 SWOT analýza GR-135

Tabulka 14 SWOT analýza GR-135

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|------------|-----------------|-------------|-----------|
| Módy měření | 0,3 | 4 | Dávkový příkon | 0,5 | -2 |
| GPS | 0,7 | 5 | Hmotnost | 0,5 | -2 |
| SOUČET | 4,7 | | SOUČET | -2 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| RMS | 0,4 | 4 | Nepřesné měření | 0,3 | -2 |
| Využití v terénu | 0,6 | 5 | Nahrazení | 0,7 | -3 |
| SOUČET | 4,6 | | SOUČET | -2,7 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 4,6 | | | |

Na základě získaných informací ohodnotila SWOT analýza spektrometr GR-135 bodovým ohodnocením 4,6. Jako silné stránky byly zmíněny módy měření, kterými jsou vyhledávací mód a identifikační. Tyto vlastnosti umožňují využít spektrometr k prvotnímu vyhledání radioaktivního materiálu a jeho následnou identifikaci. Jako druhá silná stránka byl zvolen systém GPS, který umožňuje používat přístroj za jízdy a postupně tak mapovat terén.

Mezi slabé stránky byl zařazen dávkový příkon z důvodu toho, že přístroj není schopný naměřit správné hodnoty dávkového příkonu v přírodním pozadí, pokud se jedná o nízké hodnoty. Jako druhá slabá stránka byla zvolena hmotnost, která činí 2 kg a může tak svému uživateli ztížit manipulaci.

Do oblasti příležitostí byla zařazena RMS-Radiační monitorovací síť z důvodu toho, že přístroj lze perfektně využít pro monitorování v rámci Radiační monitorovací sítě ČR. Jak již bylo výše zmíněno, přístroj je vybaven systémem GPS, který je potřebný při monitorování a následném zanášení dat do systému. Poslední příležitostí je využitelnost v terénu, ke kterému je přístroj zejména uzpůsoben, ať již svojí konstrukcí, tak i vlastnostmi.

Jako hrozba bylo zvoleno nepřesné měření, ke kterému může dojít v případě nízkých hodnot dávkového příkonu, i z toho důvodu je doporučeno přístroj využívat pouze k měření vyšších hodnot dávkového příkonu. Jako druhá a poslední hrozba je možnost nahrazení přístroje novými produkty, jelikož přístroj je již na trhu dlouhou dobu, a uvažuje se o jeho postupném nahrazení do budoucna.

5.1.7 SWOT analýza InSpector 1000

Tabulka 15 SWOT analýza InSpector 1000

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|-------------|------------------|----------------------|-------------|------------------|
| Měřicí vlastnosti | 0,4 | 3 | Baterie | 0,6 | -3 |
| Manipulace | 0,6 | 5 | Hmotnost | 0,4 | -2 |
| SOUČET | 4,2 | | SOUČET | -2,6 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Transport | 0,5 | 4 | Teplota | 0,5 | -2 |
| Radiační průzkum | 0,5 | 4 | Extrémní podmínky | 0,5 | -1 |
| SOUČET | 4 | | SOUČET | -1,5 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 4,1 | | | |

V celkové SWOT analýze bylo přiděleno přístroji InSpector 1000 bodové ohodnocení 4,1. Do oblasti silných stránek byly zařazeny měřicí vlastnosti, ke kterým patří nejen

identifikace a analýza nuklidů, ale také stanovení jejich aktivity. Dále je přístroj schopný měřit ekvivalentní dávkový příkon nebo detekovat gama a neutronové záření. Druhou silnou stránkou je manipulace, která umožňuje uživateli jednoduché ovládání.

Mezi slabé stránky byla zařazena výdrž baterie, která činí pouhých 9 hodin při plném provozu, a je tak zapotřebí pravidelně baterie obměňovat. Druhou slabou stránkou je hmotnost přístroje 3,5 kg, která může být přítěží uživateli při dlouhodobé manipulaci.

Jako příležitost byl zvolen radiační průzkum, ke kterému lze přístroj využít, zejména při identifikaci nuklidů, ale také ke stanovení ekvivalentního dávkového příkonu. Další možností užití přístroje je v oblasti přeshraničních kontrol nebo při transportu jaderného materiálu.

Jako možné hrozby byly zvoleny extrémní podmínky a teplota. Přístroj je uzpůsoben k použití v terénu, ale jeho konstrukce není dostatečně silná, aby vydržel například výbuch. Další možnou hrozbou je již zmíněná teplota, která sice sahá do +50°C, ale v případě velice nízkých teplot přístroj může již mít problémy.

5.1.8 SWOT analýza SOR/R

Tabulka 16 SWOT analýza SOR/R

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|-------------|------------------|----------------------|-------------|------------------|
| Autodiagnostika | 0,4 | 5 | Elektrický zdroj | 1 | -2 |
| Příkon dávky | 0,3 | 5 | | | |
| Extrémní podmínky | 0,3 | 5 | | | |
| SOUČET | | 5 | SOUČET | | -2 |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Jaderné zařízení | 0,5 | 4 | Baterie | 1 | -1 |
| Složky IZS | 0,5 | 5 | | | |
| SOUČET | | 4,5 | SOUČET | | -1 |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 6,5 | | | |

Osobní dozimetr SOR/R získal ve SWOT analýze celkové hodnocení 6,5. Mezi silné stránky byla zařazena autodiagnostika, která je prováděna v pravidelných intervalech, a v případě chyby je uživatel upozorněn. Jako další bylo zvoleno měření příkonu dávky, který je přístroj schopen měřit do vysokých hodnot. Poslední silnou stránkou dozimetru je jeho konstrukce, která odolá vysokým teplotním rozdílům, ale také otřesům nebo pádu.

Mezi slabé stránky byla zařazena závislost na elektrickém zdroji, kdy v případě měření vysokých dávek, může být přístroj více zatížen.

Do oblasti příležitostí bylo zařazeno využití osobního dozimetru zejména na jaderných zařízeních, ale také v rámci zásahu složek IZS.

Mezi hrozby byla zařazena baterie, již z hlediska závislosti na elektrickém zdroji, je nutné ji pravidelně obměňovat.

5.2 Detekční technika využívaná v Polsku

5.2.1 SWOT analýza DMC 3000

Tabulka 17 SWOT analýza DMC 3000

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|------------|-----------|-----------------|-------------|-----------|
| Signalizace | 0,5 | 4 | Nízké hodnoty | 0,6 | -2 |
| EMP | 0,5 | 4 | Autodiagnostika | 0,4 | -1 |
| SOUČET | 4 | | SOUČET | -1,5 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Jaderná zařízení | 0,5 | 4 | Konfigurace | 1 | -1 |
| Složky IZS | 0,5 | 5 | | | |
| SOUČET | 4,5 | | SOUČET | -1 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 6 | | | |

SWOT analýza vyhodnotila osobní dozimetr DMC 3000 výslednou hodnotou 6. Mezi silné stránky byla zařazena signalizace, kterou je přístroj vybaven. Jedná se o signalizaci

nejen vizuální a akustickou, ale také vibrační. Dále mezi silné stránky byla zařazena odolnost vůči elektromagnetickým pulsům.

Mezi slabé stránky byly zařazeny nízké hodnoty záření, které přístroj nemusí zachytit. Dále byla zvolena diagnostika, kterou přístroj není vybaven.

Mezi příležitosti bylo zvoleno využití dozimetru na jaderných zařízeních a využití složkami IZS.

Do oblasti hrozeb byla zařazena konfigurace z důvodu toho, že přístroj v případě provádění konfigurace není schopen signalizovat pomocí alarmů a upozornit tak svého uživatele.

5.2.2 SWOT analýza RK 100

Tabulka 18 SWOT analýza RK 100

| SILNÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ | SLABÉ STRÁNKY | VÁHA | HODNOCENÍ |
|-------------------------|-------------|------------------|----------------------|-------------|------------------|
| Sonda | 0,7 | 5 | Citlivost | 0,6 | -3 |
| Ovládání | 0,3 | 3 | Voděodolnost | 0,4 | -2 |
| SOUČET | 4,4 | | SOUČET | -2,6 | |
| PŘÍLEŽITOSTI | VÁHA | HODNOCENÍ | HROZBY | VÁHA | HODNOCENÍ |
| Složky IZS | 0,5 | 5 | Baterie | 1 | -1 |
| Radiační průzkum | 0,5 | 4 | | | |
| SOUČET | 4,5 | | SOUČET | -1 | |
| KONEČNÝ VÝSLEDEK | | 5,3 | | | |

SWOT analýza vyhodnotila přístroj RK 100 výsledným ohodnocením 5,3. Přístroj je vyráběn ve dvou provedeních, a to s interní a externí sondou, které nabízejí mnoho doplňkových vlastností, jako je měření dávkového příkonu nebo kontaminace alfa, beta a gama záření. Z toho důvodu byla sonda zařazena mezi silné stránky přístroje. Jako další bylo zvoleno ovládání, které se uskutečňuje pomocí šesti tlačítek.

Mezi slabé stránky byla zařazena citlivost, kterou přístroj nedisponuje tak, jako některé jiné přístroje a není tak schopný zachytit nízké hodnoty záření. Přístroj nelze použít při špatných meteorologických podmínkách ani do určité hloubky vody z důvodu toho, že není voděodolný.

Do oblasti příležitostí bylo začleněno využití přístroje zejména v rámci složek IZS a pro provádění radiačního průzkumu, ke kterému je dostatečně uzpůsoben z hlediska množství měřících vlastností.

Jako hrozba bylo zvoleno napájení přístroje, které je uskutečňováno tužkovými bateriemi typu AA, které je potřeba pravidelně obměňovat.

5.3 Metoda Check list

5.3.1 Check list 1

Tabulka 19 Check list 1

| | DC-3H-08 | DC-3E-98 | URAD-115 | RK 100 |
|--------------------------|----------|----------|----------|---------|
| Příkon kermy ve vzduchu | ✓ | - | - | ✓ |
| Plošná aktivita | ✓ | ✓ | - | - |
| Měrná aktivita | - | ✓ | - | - |
| Příkon dávkového ekv. | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| Dávkový příkon | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Detekce gama záření | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Detekce beta záření | ✓ | ✓ | - | ✓ |
| Stanovení délky pobytu | ✓ | - | ✓ | - |
| Kontaminace osob | ✓ | - | - | - |
| Kontaminace povrchů | - | ✓ | - | ✓ |
| Zvuková signalizace | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Optická signalizace | - | - | ✓ | - |
| Vibrační signalizace | - | - | ✓ | - |
| Podsvícení | - | - | ✓ | ✓ |
| Odolnost (náraz, výbuch) | - | - | ✓ | ✓ |
| Voděodolnost | - | - | ✓ | - |
| | 56,25 % | 43,75 % | 62,5 % | 56,25 % |

V Check listu bylo k porovnání přístrojů DC-3H-08, DC-3E-98, URAD-115 a RK 100 využito jejich vlastností získaných z takticko-technických dat přístrojů. Komparace v tabulce č. 16 nám přinesla následující výsledky. Přístroj DC-3H-08 získal

ve výsledném hodnocení 56,25 %. Přístroj DC-3E-98 získal o něco nižší hodnocení, a to 43,75 %. Přístroj Ultra-radiac URAD-115 získal hodnocení 62,5 % a poslední přístroj RK 100 využívaný HZS v Polsku získal hodnocení 56,25 %.

5.3.2 Check list 2

Tabulka 20 Check list 2

| | MKS-11GN | InSpector 1000 | GR-135 |
|----------------------------|---------------|----------------|---------------|
| Dávkový příkon | ✓ | ✓ | ✓ |
| Detekce gama / neutronové | ✓ | ✓ | ✓ |
| Identifikace nuklidů | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lokalizace | ✓ | ✓ | ✓ |
| Stanovení aktivity nuklidů | - | ✓ | - |
| Akustická signalizace | - | ✓ | ✓ |
| Vizuální signalizace | ✓ | - | - |
| Voděodolnost | ✓ | - | ✓ |
| Bar graf | - | ✓ | - |
| | 66,6 % | 77,7 % | 66,6 % |

Ve výše zobrazeném Check listu byla provedena komparace spektrometrů MKS-11GN Spectra, InSpector 1000 a GR-135. Spektrometr MKS-11GN Spectra obdržel celkovou hodnotu 66,6 %. Oproti tomu přístroj InSpector 1000 získal výslednou hodnotu 77,7 %. Spektrometr GR-135 získal celkové ohodnocení 66,6 %.

5.3.3 Check list 3

Tabulka 21 Check list 3

| | SOR/R | DMC 3000 |
|--------------------|--------|----------|
| Dávkový příkon | ✓ | ✓ |
| Prostorová dávka | ✓ | - |
| Dávkový ekvivalent | ✓ | - |
| EMP | ✓ | ✓ |
| Voděodolnost | ✓ | ✓ |
| Podsvícený displej | ✓ | ✓ |
| Autodiagnostika | ✓ | - |
| LED dioda | ✓ | ✓ |
| Vibrační alarm | - | ✓ |
| | 88,8 % | 66,6 % |

Ve výše zobrazené tabulce bylo provedeno zhodnocení pomocí metody Check list na základě vlastností vybraných detekčních přístrojů. Pro zhodnocení byl vybrán osobní dozimetr SOR/R využívaný složkami IZS v České republice a osobní dozimetr DMC 3000, který je využívaný u HZS v Polsku.

6 DISKUZE

6.1 Komparace přístrojů využívaných v ČR

6.1.1 Komparace DC-3H-08 a DC-3E-98

Ze získání základních údajů a vlastností vybraných přístrojů a následného provedení SWOT analýz byly zjištěny následující informace. Přístroj DC-3H-08 v porovnání s přístrojem DC-3E-98 získal vyšší ohodnocení již z důvodu toho, že se jedná o jeho nástupce. Přístroj DC-3H-08 nese určité výhody i nevýhody oproti předchozímu typu DC-3E-98. Jelikož přístroj převzal od svého předchůdce téměř všechny vlastnosti, co se týče měření dávkového příkonu nebo stanovení aktivity, v tomto ohledu se mu tak vyrovnává. Nicméně hlavní rozdíl, který se zde vyskytuje, je zobrazení dat, které bylo oproti předchozímu typu upraveno. Pro DC-3H-08 bylo zvoleno digitální zobrazení naměřených hodnot, které nese určité výhody z hlediska manipulace s přístrojem, ale také přináší hrozbu z hlediska využití přístroje v terénu. Digitální zobrazení dat může být ovlivněno meteorologickými podmínkami, oproti tomu analogické zobrazení dat přístroje DC-3E-98 tyto problémy nenese. Ačkoli se může zdát, že zde starší typ přístroje vyniká, není tomu tak, jelikož analogické zobrazování sebou přináší komplikace při manipulaci s přístrojem. Je tak nemožné přístroj ovládat pouze jednou rukou, jak je tomu naopak u přístroje DC-3H-08. Výhodou přístroje DC-3H-08 je zejména přidání možnosti měření příkonu kermu ve vzduchu nebo vybavení Bluetooth systémem, který v případě rozpojení jednotek umožňuje jejich vzájemnou komunikaci. Hlavní nevýhodou dle mého názoru je cena přístroje, která je oproti ostatním detekčním přístrojům vyšší o desítky tisíc korun.

Josef Petrův se ve své bakalářské práci zabýval podobným výzkumem na porovnání detekčních přístrojů. Ve svém výzkumu také konstatoval složitost manipulace, kterou přináší přístroj DC-3E-98. Nejedná se pouze o manipulaci z hlediska ovládnání přístroje v jedné ruce, ale také o složitost nastavení všech parametrů a následné odečtení výsledných hodnot. Z toho důvodu je nemožné aby přístroj ovládal nezaškolený uživatel [64].

Z hlediska hodnocení pomocí metody Check list byly získány podobné výsledky z důvodu toho, že přístroj DC-3H-08 získal výsledné hodnocení 56,25 %, oproti tomu

přístroj DC-3E-98 získal nižší hodnocení, a to 43,75 %. Tyto výsledné hodnoty byly porovnáním vlastností a schopností přístrojů.

Z celkového rozboru a porovnání obou přístrojů lze konstatovat, že přístroj DC-3H-08 je vhodnějším vybavením pro složky IZS než přístroj DC-3E-98 z hlediska jeho jednoduché ovladatelnosti. Tímto je potvrzena první hypotéza této diplomové práce.

6.1.2 Komparace DC-3H-08 a URAD-115

Jak již bylo zmíněno na začátku diskuze, přístroj DC-3H-08 je oproti přístroji DC-3E-98 vhodnějším detekčním přístrojem pro složky IZS. Z toho důvodu je další komparace zaměřena na detekční přístroj DC-3H-08 a Ultra Radiac URAD-115. Ve SWOT analýze URAD-115 dostal výsledné hodnocení 5,6, které je vyšší než u přístroje DC-3H-08. Na této výsledné hodnotě mělo zejména podíl malé množství hrozeb, které byly u přístroje URAD-115 nalezeny. Manipulace s přístrojem URAD-115 je zjednodušena již kvůli jeho malým rozměrům a digitálnímu zobrazení dat. Další výhodou je automatické přepínání rozsahů nebo rychlá odezva, kterou lehce postrádá předchozí přístroj DC-3H-08. Mohlo by se zdát, že URAD-115 má nedostatek měřících vlastností jako je například měření aktivity, kterým disponuje druhý přístroj, ale tento nedostatek je vynahrazen speciální beta sondou, která je dodávána s přístrojem URAD-115. Další výhodou je zde cena, která se na rozdíl od DC-3H-08 pohybuje okolo 33 000 Kč. Jeden z dalších rozdílů, který se mezi přístroji vyskytuje, je odolnost přístroje URAD-115 na extrémní podmínky, kdy byl konstruován tak, aby odolal pádu nebo obstál ve výbušném prostředí.

Josef Petrův se opět ve své bakalářské práci zabýval porovnáním přístroje URAD-115 a DC-3H-08. I z jeho výsledků vyplynulo, že přístroj URAD-115 přináší velikou změnu do vybavení složek IZS, již kvůli své velikosti a ovladatelnosti. A v celkovém porovnání konstatoval, že přístroj je plně dostačující pro HZS [64].

Pomocí metody Check list byl přístroj URAD-115 ohodnocen 62,5 %, oproti tomu přístroj DC-3H-08 získal hodnocení 56,25 %. Na tomto rozdílu se zejména podílela skutečnost, že URAD-115 má nejen zvukovou a optickou signalizaci, ale je také voděodolný. Ze získaných výsledků lze tedy konstatovat, že pro složky IZS zejména pro zasahující jednotky HZS je URAD-115 vhodnějším vybavením než přístroj DC-3H-08.

Toto tvrzení ale neznamená, že přístroj DC-3H-08 není vhodným přístrojem pro rozsáhlejší radiační průzkum.

6.1.3 Komparace MKS-11GN Spectra a InInspector 1000

Pro další komparaci byl vybrán přístroj Spectra a InInspector z důvodu podobných vlastností a stejného užití. SWOT analýza zhodnotila přístroj Spectra hodnotou 5,2, oproti tomu přístroj InInspector získal výslednou hodnotu pouze 4,1. Tento rozdíl je založen převážně na tom, že u přístroje InInspector bylo nalezeno více slabých stránek než u druhého přístroje. Výhodou Spectra je to, že se jedná o scintilační detektor, který zajišťuje vyšší citlivost přístroje, což umožňuje detekovat již nízké hodnoty IZ. Další výhodou je velikost přístroje, která téměř odpovídá velikosti osobního dozimetru. Oproti tomu přístroj InInspector má mnohem větší rozměry a jeho váha, která činí 3,5 kg může komplikovat svému uživateli činnost. Poslední výhodou Spectra je jeho dlouhodobá výdrž, se kterou se u přístroje InInspector nesetkáme.

Oproti tomu přístroj InInspector také přináší určité výhody, kterými jsou zejména jednoduchá ovladatelnost a uzpůsobení přístroje pro používání v terénu. Oba dva zmíněné přístroje mají téměř stejné vlastnosti, kterými jsou lokalizace a identifikace naměřených nuklidů, ale přístroj InInspector je navíc schopen stanovit aktivitu nuklidů.

V rámci metody Check list byly výsledné hodnoty u obou dvou přístrojů rozdílné, ale přístroj InInspector získal vyšší ohodnocení z důvodu širších vlastností. Jak již bylo výše zmíněno jedná se o schopnost stanovení aktivitu nuklidů, dále ale přístroj disponuje akustickou signalizací a v poslední řadě je doplněn o bar graf. Z celkového šetření se nedá přesně stanovit, který přístroj je vhodnější z důvodu toho, že oba dva mají své výhody i nevýhody, a již pouze záleží na dané situaci, za které by byl přístroj použit. Nicméně dle mého názoru je vhodnějším přístrojem pro složky IZS přístroj Spectra, zejména kvůli své velikosti, která nezatěžuje uživatele během vykonávání ostatních činností.

6.1.4 Komparace MKS-11GN Spectra a GR-135

Pro další komparaci byl vybrán přístroj Spectra a GR-135. Již v přechodí části byly zmíněné některé výhody a nevýhody přístroje Spectra, z toho důvodu bude tato část spíše zaměřena na přístroj GR-135.

Hlavní výhodou přístroje GR-135 je systém GPS, který umožňuje monitorování a sbírání dat i za jízdy. Přístroj dále disponuje dvěma módy, a to módem vyhledávacím a identifikačním. Nevýhodou oproti spektrometru Spectra je, že nedisponuje vysokou citlivostí, a z toho důvodu není přístroj doporučován pro měření nízkých hodnot dávkového příkonu. Dalším rozdílem je jeho velikost a hmotnost, která činí 2 kg. Z hlediska manipulace je přístroj díky své konstrukci a pouzdru uzpůsoben i pro manipulaci v gumových rukavicích, což již může být problém v případě přístroje Spectra.

V hodnocení pomocí Check list metody získaly oba dva přístroje stejný výsledek, a to 66,6 %. Tato hodnota je stejná zejména z důvodu podobných vlastností, jako je měření příkonu dávky nebo identifikace nuklidů. Oba dva přístroje jsou také voděodolné, což je velkým přínosem při používání přístrojů v terénu. Z celkového hodnocení lze konstatovat, že přístroj Spectra a přístroj GR-135 jsou si velice podobné a oba dva jsou určitým způsobem vhodné pro složky IZS.

6.2 Komparace s Polskem

6.2.1 Komparace RK 100 s vybranými přístroji

Pro první porovnání využívaných přístrojů složkami IZS v České republice s využívanými přístroji využívanými HZS v Polsku byl vybrán přístroj RK 100. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, přístroj sám o sobě nemá tolik vlastností jako většina detekční techniky, nicméně tato skutečnost je napravena dodáním speciální interní nebo externí sondy. Z toho důvodu bude v následující komparaci přístroj posuzován z hlediska využití zmíněné sondy.

Přístroj ve SWOT analýze dostal výsledné hodnocení 5,3, které je vyšší než hodnocení přístroje DC-3H-08. V porovnání těchto dvou přístrojů nalezneme hlavní rozdíl v tom, že slabinou přístroje DC-3H-08 je jeho váha a cena. Oproti tomu přístroj RK 100 disponuje malou velikostí a přijatelnou cenou. Jako další rozdíl nalezneme vliv meteorologických podmínek vůči jednotlivým přístrojům. DC-3H-08 nebyl původně zkonstruován pro užívání v terénu, a i z toho důvodu má nějaké nedostatky. Oproti tomu přístroj RK 100 je uzpůsoben k použití v terénu, ať již se jedná o jeho teplotní rozsah nebo o schopnost vydržet pád na zem z určité výšky. Tyto drobné rozdíly přidávají velkou váhu v hodnocení vybraných přístrojů. Vlastnost kterou disponují oba dva přístroje

je schopnost měřit příkon kermy ve zduchu, k čemuž mnoho detekčních přístrojů není nastaveno.

Metoda Check list naopak přinesla zajímavé výsledky z důvodu toho, že oba dva přístroje dostaly stejné ohodnocení, a to 56,25 %. Přístroje mají velice podobné vlastnosti, jako je měření příkonu kermy ve vzduchu, příkonu dávkového ekvivalentu nebo detekce gama a beta záření. Jedním z rozdílů je, že přístroji RK 100 je umožněno měřit kontaminaci alfa, beta i gama záření, což opět zvyšuje jeho škálu schopností. Oproti tomu ale přístroj DC-3H-08 má schopnost měřit plošnou aktivitu. V poměru všech těchto vlastností lze tedy konstatovat, že oba dva přístroje jsou nadmíru schopné a nelze stanovit, který z nich je vhodnější pro používání.

Jako další bylo zvoleno porovnání přístroje RK 100 a Ultra Radiac URAD-115. Jak již bylo zmíněno, přístroj RK 100 byl ohodnocen SWOT analýzou 5,3, avšak oproti tomu URAD-115 získal mnohem vyšší ohodnocení, a to 5,6. Tento rozdíl je převážně v množství silných stránek přístroje URAD-115. V porovnání těchto dvou přístrojů najdeme hlavní rozdíl v tom, že URAD-115 má velice rychlou odezvu a automatické přepínání rozsahů, které jsou velice důležité pro užívání v rámci složek IZS. Jako další rozdíl je vhodné zmínit odolnost přístrojů. URAD-115 je uzpůsoben do extrémních podmínek, ať již se jedná o jeho voděodolnost nebo schopnost ustát výbuch. Přístroj RK 100 má sice z hlediska konstrukce vyšší odolnost než přístroj DC-3H-08, ale URAD-115 se nemůže vyrovnat.

Pomocí metody Check list byly zjištěny největší rozdíly mezi přístroji URAD-115 a RK 100. V celkovém hodnocení získal URAD-115 vyšší procentuální výsledek, a to 62,5 %. Hlavní rozdíly se nalézají v měřicích vlastnostech a konstrukci přístrojů. Co se týká širokého spektra vlastností, je přístroj RK 100 na vyšší úrovni. Z hlediska konstrukce a odolnosti přístroje v terénu je URAD-115 nepřekonatelný. Jako další rozdíl je signalizace, která je u přístroje URAD-115 nejen vizuální a akustická, ale také vibrační. Dále je přístroj voděodolný, což mu přidává na výsledném hodnocení. Celkově lze konstatovat, že oba dva přístroje jsou vhodné pro složky IZS. Avšak dle mého názoru je vhodnější přístroj URAD-115 již díky své odolnosti, signalizaci na vyšší úrovni a rychlé odezvě, které jsou stěžejní pro složky IZS.

6.2.2 Komparace DMC 3000 a SOR/R

Pro poslední komparaci byly zvoleny dva osobní dozimetry, a to SOR/R, který je využíván složkami IZS v České republice a DMC 3000 využíván HZS v Polsku.

Pro oba dva dozimetry byly zpracovány SWOT analýzy, které stanovily silné a slabé stránky přístrojů. Přístroj SOR/R dostal výsledné hodnocení 6,5, oproti tomu přístroj DMC 3000 dostal hodnocení 6. Z těchto hodnot je viditelné, že rozdíl mezi přístroji není zase tak veliký. Oba dva přístroje jsou schopny měřit příkon dávky, avšak dozimetr SOR/R je navíc schopný měřit prostorovou dávku a příkon dávkového ekvivalentu. Většina elektrických osobních dozimetrů má jeden zásadní problém, a to, že nejsou odolné vůči elektromagnetickým pulsům, které mohou narušit měření dozimetrů. Tento problém byl u obou dvou přístrojů odstraněn, takže nemůže nastat rušení dozimetrů kvůli ostatním přístrojům v okolí. Dále jsou oba dva přístroje vybaveny akustickou a vizuální signalizací, která včasné upozorní svého uživatele na možné nebezpečí. Přístroj RK 100 je v tomto ohledu ještě dovybaven vibračním alarmem. Co se týká konstrukce, oba dva dozimetry jsou uzpůsobeny pro užívání v terénu, ale přístroj SOR/R je schopný odolat i v extrémních podmínkách. Rozdíl mezi přístroji je také ten, že dozimetr SOR/R provádí pravidelně autodiagnostiku, která v případě výskytu chyby včasné upozorní svého uživatele. Jako nevýhodu dozimetru DMC 3000 můžeme zmínit to, že v případě, kdy probíhá konfigurace přístroje, dozimetr není schopen mít aktivní alarmy.

Metoda Check list také ukázala drobné rozdíly svým výsledným procentuálním ohodnocením osobních dozimetrů. Dozimetr SOR/R získal 88,8 %, oproti tomu DMC 3000 získal 66,6 %. Metoda porovnávala přístroje z hlediska jejich množství vlastností. Z důvodu toho, že dozimetr SOR/R má mnohem více měřících vlastností, a je také odolnější, získal vyšší výslednou hodnotu.

Z celkového porovnání lze tedy usoudit, že osobní dozimetr SOR/R z hlediska svých vlastností převyšuje osobní dozimetr DMC 3000, a tím se i potvrzuje druhá stanovená hypotéza této práce.

Složky IZS a ostatní instituce v České republice zabývající se oblastí radiační ochrany disponují širokým spektrem různých druhů detekčních přístrojů. Tyto přístroje jsou pravidelně prověřovány a kalibrovány tak, aby byla zajištěna dostatečná připravenost pro případ vzniku radiační havárie nebo jakéhokoli jiného nepříznivého výskytu zdroje IZ. Pro možný případ vzniku radiační havárie jsou pravidelně pořádána cvičení na prověření připravenosti složek IZS a ostatních zúčastněných orgánů.

V České republice se pravidelně koná cvičení Zóna, které se zaměřuje na možný vznik radiační havárie v důsledku provozu jaderných elektráren. Jako poslední cvičení bylo prováděno cvičení Zóna 2019 na Jaderné elektrárně Temelín. Cílem cvičení bylo zejména prověřit činnost orgánů krizového řízení a s tím spojené postupy podle Vnějšího havarijního plánu. Součástí cvičení je monitorování radiační situace, v rámci které se souběžně prověřují i detekční přístroje [65].

Tato forma přípravy na možný vznik radiační havárie není ale jediná. V rámci přípravy se také uskutečňují speciální školení a semináře, které rozšiřují složkám IZS vědomosti v oblasti radiační ochrany. Podobný seminář se například konal v roce 2018, kdy byl určen pro pracovníky chemických laboratoří HZS ČR. Tento seminář byl zejména zaměřený na práci s detekčními přístroji. Mezi používanou detekční technikou byl přístroj DC-3E-98, kdy radiační pracovníci pomocí tohoto přístroje měřili kontaminaci za účelem následného rozřídění zasažených osob [66].

Celková připravenost na možný vznik radiační havárie tedy nesouvisí pouze s vybavením složek IZS, ale také s jejich obecnou připraveností a schopností pracovat s přístroji. Jak již vyplynulo z této práce, složky IZS v České republice jsou vybavené nejrůznější technikou, jako jsou přístroje na měření kontaminace povrchu nebo osob, detektory gama záření, spektrometry nebo osobní dozimetry. Mimo jiné také disponují detekční technikou, která je součástí vozidel přepravujících složky IZS. Tato kombinace je dle mého názoru nad míru uspokojivá a lze tak říci, že Česká republika je adekvátně vybavena detekční technikou pro případ vzniku radiační havárie.

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo, na základě předem stanovených vlastností a parametrů detekční techniky v teoretické části, provést analýzu a zhodnocení zmíněných detekčních přístrojů pomocí SWOT analýzy. Dílčím cílem bylo danou detekční techniku porovnat a posoudit, která je dle svých provozních vlastností nejvhodnější pro složky IZS. Pro dosažení cílů byly vybrány různé druhy detekční techniky, mezi kterými byl přístroj DC-3H-08, DC-3E-98 a Ultra Radiac URAD-115. Na základě získaných výsledků a následné komparace bylo konstatováno, že přístroj URAD-115 nejlépe splňuje požadavky pro složky IZS. Dále byla provedena analýza spektrometrů Spectra, InInspector a GR-135. Ze získaných výsledků a provedení komparace byly přístroje vyhodnoceny na podobné úrovni a žádný z nich tak nebyl vyhodnocen jako nejlepší oproti ostatním přístrojům. Součástí praktické části bylo také provedení porovnání využívané detekční techniky v České republice oproti některé využívané detekční technice v Polsku. Srovnání přineslo, že vybrané detekční přístroje jsou poměrně na podobné úrovni, avšak osobní dozimetr SOR/R využívaný v České republice byl lépe ohodnocen než osobní dozimetr DMC 3000 využívaný v Polsku.

V poslední části diskuze bylo na základě provedených analýz a hodnocení vybraných detekčních přístrojů konstatováno, že Česká republika disponuje detekční technikou na vysoké úrovni, zejména pro případ vzniku radiační havárie.

V rámci diplomové práce byly stanoveny dvě hypotézy, které byly pomocí získaných výsledků potvrzeny. První hypotéza stanovovala, že přístroj DC-3H-08 je oproti přístroji DC-3E-98 vhodnější pro složky IZS. Tato hypotéza byla potvrzena porovnáním zmíněných přístrojů v diskuzi. Druhá hypotéza stanovovala, že osobní dozimetr SOR/R převyšuje svými vlastnostmi osobní dozimetr DMC 3000. Tato hypotéza byla také potvrzena porovnáním přístrojů v části diskuze.

Z důvodu toho, že se tato diplomová práce zaměřuje na analýzu a hodnocení detekčních přístrojů z hlediska jejich vlastností, bylo by možné tuto práci použít pro potřeby výzkumných institucí jako je Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. Práce by mohla sloužit jako částečný přehled detekční techniky, která je využívána v rámci složek IZS v České republice.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|--------------|---|
| IZS | Integrovaný záchranný systém |
| IZ | Ionizující záření |
| HZS ČR | Hasičský záchranný sbor České republiky |
| GM | Geiger-Müller |
| HPGe | High purity germanium |
| SÚJB | Státní úřad pro jadernou bezpečnost |
| PČR | Policie České republiky |
| NCOZ | Národní centrála proti organizovanému zločinu |
| SÚRO, v.v.i. | Státní ústav radiální ochrany, v.v.i. |

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.
- [2] ŠINKOROVÁ, Zuzana a Leoš NAVRÁTIL. *Biomedicínská detekce ionizujícího záření: organizace zdravotnické péče po zevní kontaminaci radionuklidy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05626-4.
- [3] FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*. Praha: BEN - technická literatura, 2007. Senzory neelektrických veličin, 5. ISBN 978-80-7300-193-3.
- [4] ZÖLZER a Pavel KUNA. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2018. ISBN 978-80-7394-696-8.
- [5] HAVRÁNKOVÁ, Renata, Zuzana FREITINGER SKALICKÁ, Jiří HAVRÁNEK, Friedo ZÖLZER a Pavel KUNA. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2018. ISBN 978-80-7394-696-8.
- [6] ANDREO, Pedro, David T. BURNS, Alan E. NAHUM, Jan P. SEUNTJENS a Frank H. ATTIX. *Fundamentals of ionizing radiation dosimetry* [online]. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, [2017] [cit. 2020-05-11]. ISBN 978-3-527-40921-1.
- [7] ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
- [8] ATTIX, Frank H. *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*. New York: Wiley, c1986. ISBN 0-471-01146-0.
- [9] SINGER, Jan. *Dozimetrie ionizujícího záření*. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005. ISBN 80-7040-752-2.

- [10] NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika. 2.*, zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-0209-9.
- [11] GERNDT, Josef a Petr PRŮŠA. *Detektory ionizujícího záření. 2.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04710-1.
- [12] KNOLL, Glenn F. *Radiation detection and measurement*. 4th ed. Hoboken: Wiley, c2010. ISBN 978-0-470-13148-0.
- [13] KLENER, Vladislav, ed. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: AZIN CZ, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- [14] Jaderná a radiační fyzika: Radionuklidy. *Astronuklfyzika* [online]. RNDr. Vojtěch Ullmann [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm>
- [15] Arnika: Kobalt. *Arnika* [online]. Praha, 2014 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/kobalt>
- [16] Radiation and your health: Radioisotope brief: Cesium-137. *Centers for disease control and prevention* [online]. National Center for Environmental Health (NCEH), 2018 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/isotopes/cesium.htm>
- [17] Radiace: Radiace, nemoc a traumata z ozáření. *Darius* [online]. Peter Knechtsberge [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.darius.cz/arceus/NT_radia.html
- [18] Radiation Protection: Radionuclide Basics: Americium-241. *EPA* [online]. 2019 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-ameridium-241>
- [19] Mirion technologies: ULTRARADIAC-PLUS. *Mirion* [online]. Mirion technologies, 2020 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/ultraradiac-plus-personal-radiation-monitor>
- [20] HZSČR: d) Obsluha přístroje DC-3E a URAD-115 se základní tematikou. *Firebrno* [online]. 2018 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z:

<http://www.firebrno.cz/brno-venkov/d-obsluha-pristroje-dc-3e-se-zakladni-tematikou>

- [21] Produkty: Zásahový radiometr. *VF Nuclear* [online]. 2017 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.vfnuclear.com/cz/produkty/zasahovy-radiometr-dc-3h-08>
- [22] HZSČR: Radiometr DC-3E-98. In: *Firebrno* [online]. 2018 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://www.firebrno.cz/photo/radiometr-dc-3e-98>
- [23] Radiační a dozimetrické systémy: SOR/R-SOR/T. *RDS* [online]. Prointernet, 2020 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.rdsys.cz/sor-r-sor-t/>
- [24] Exploranium GR-135 System Manual. *Manualslib* [online]. 2004 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1215841/Exploranium-Gr-135.html>
- [25] INSPECTOR 1000. *Mirion technologies* [online]. Mirion technologies, 2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/inspector-1000-digital-hand-held-multichannel-analyzer>
- [26] GUGUŁA, Szymon, Krzysztof KOZAK, Jadwiga MAZUR, Dominik GRZAÐZIEL a Mariusz MROCZEK. *Fast in situ gamma spectroscopy using hand-held spectrometer with NaI probe*. England: Elsevier, 2018, **188**(Generic), s. -94, 87 s.. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.09.018. ISSN 0265-931X.
- [27] VIRTUOSO Radiometer. *Ecotest group* [online]. 2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://ecotestgroup.com/products/virtuoso/>
- [28] Ecotest: Model RKG-14 - Multipurpose Environment Activity Radiometer. In: *Environmental-expert* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.environmental-expert.com/products/model-rkg-14-multipurpose-environment-activity-radiometer-409854>
- [29] New SPRD "SPECTRA" MKS-11GN. *Ecotest group* [online]. 2020 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://ecotestgroup.com/products/new-sprd-spectra/>
- [30] New SPRD "SPECTRA": Search Dosimeter-Radiometer MKS-11GN. In: *Ecotestgroup: Ecotest* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://ecotestgroup.com/products/new-sprd-spectra/>

- [31] Canberra: Falcon 5000 Portable HPGe-Based Radionuclide Identifier. *Canberra* [online]. canberra, 2016 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: http://www.canberra.com/fr/produits/hp_radioprotection/falcon-5000.asp
- [32] ThermoFisher: RadEye PRD/PRD-ER Personal Radiation Detector. *Thermofisher* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/4250671#/4250671>
- [33] FLIR: identiFINDER R400. *Flir* [online]. 2019 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.flir.com/products/identifinder-r400/>
- [34] Sensor technology engineering, llc: Radiation pager. *Radiationpager* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.radiationpager.com/pages/pager.html>
- [35] MONITOR PROMIENIOWANIA GAMMA I NEUTRONOWEGO PM-1401GN: Instrukcja obsługi. *Polon-alfa* [online]. Polon alfa [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://www.polon-alfa.pl/sites/default/files/polon/pliki/IO-R121-001-II%20RC_12.2006.pdf
- [36] Polon alfa: RADIOMETR RK-100-2. *Polon-alfa* [online]. Polon alfa [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.polon-alfa.pl/pl/products/1973/RK-100-2>
- [37] Mirion technologies: Active dosimetry DMC 3000. *Mirion* [online]. 2019, Personal electronic dosimeter [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/spec-sheets/151199en-h_dmc-3000-electronic-radiation-dosimeter.pdf?1576247545
- [38] Mirion technologies: ACT-LC. In: *Mirion technologies* [online]. Mirion technologies, 2020 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/act-lc-hpge-detector-for-actinide-lung-and-whole-body-counters>
- [39] ACT-LC: HPGe detector for actinide lung and whole body counters. In: *Mirion: Mirion technologies* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z:

<https://www.mirion.com/products/act-lc-hpge-detector-for-actinide-lung-and-whole-body-counters>

- [40] VF Nuclear: O společnosti. *Vfnuclear* [online]. 2017 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.vfnuclear.com/cz/o-spolecnosti-vf>
- [41] VF Nuclear: AGM-02MONITOR DÁVKOVÉHO PŘÍKONU GAMA. *Vfnuclear* [online]. 2017 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.vfnuclear.com/cz/produkty/monitor-davkoveho-prikonu-gama-agm-02>
- [42] Rotem: PDS-100 Series. *Rotem-radiation* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.rotem-radiation.co.il/product/pds-100-series/>
- [43] PDS-100 Series. In: *Rotem-radiation: Products* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.rotem-radiation.co.il/product/pds-100-series/>
- [44] PTS: Dozimetr SOEKS Quantum. *Ptsndt* [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://ptsndt.com/cs/prodej/rt-zkouseni-radiograficke/rt-merky-a-meridla/1636-dozimetr-soeks-quantum-cs>
- [45] SOEKS Quantum: Professional radiation detector dosimeter. In: *Store.mssdefence* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://store.mssdefence.com/special-detection/1217-soeks-soeks-quantum-professional-radiation-detector-dosimeter-2-geiger-muller-tubes-special-detection.html>
- [46] PORTABLE RADIATION MEASUREMENT: Colibri TTC & Colibri VLD. *Mirion* [online]. 2015 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/spec-sheets/c40889_colibri_hand-held_communication_platform.pdf?1583418550
- [47] Mirion technologies: Colibri : Plateforme de Radioprotection portable et de Communication ALARA. In: *Mirion* [online]. 2015 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: http://www.canberra.com/fr/produits/hp_radioprotection/pdf/Colibri-VLD_C40889_FR.pdf

- [48] RADIAGEM 2000. *Mirion technologies* [online]. 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/radiagem-2000-personal-portable-dose-rate-and-survey-meter>
- [49] Radiagem 2000: Personal portable dose rate and survey meter. In: *Gammadata* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.gammadata.se/assets/Uploads/Radiagem-2000-SS-C38559.pdf>
- [50] RDS-31: Modular Radiation Survey Meter. *Mirion technologies* [online]. 2019 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/rds-31-modular-radiation-survey-meter>
- [51] RDS-31: telemetry survey meter. In: *Mirion* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/products/rds-31-itx-telemetry-survey-meters>
- [52] Mirion technologies: ACCURAD. *Accurad.mirion* [online]. Mirion technologies, 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://accurad.mirion.com/device>
- [53] Mirion technologies: ACCURAD. In: *Accurad.mirion* [online]. 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://accurad.mirion.com/>
- [54] Věda a výzkum: RADIAČNÍ A BIOLOGICKÁ OCHRANA. *Hzscr* [online]. 2013 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/radiacni-a-biologicka-ochrana.aspx>
- [55] Nákup prostředků chemického a radiačního průzkumu úspěšně dokončen. *112 : odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2009, **VIII**(2). ISSN 1213-7057.
- [56] Nové vybavení technického automobilu chemického. *112 : odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2017, **XVI**(10), 18. ISSN 1213-7057.

- [57] NCOZ: zpráva o činnosti. *Ct24.ceskatelevize.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: https://ct24.ceskatelevize.cz/sites/default/files/2217752-vyrocnj_zprava_ncoz.pdf
- [58] Unikátní protiteroristické cvičení. *Policista*. Praha : Ministerstvo vnitra ČR - Odbor prevence kriminality, 2019, **25**(5), 22-25. ISSN 1211-7943.
- [59] Státní úřad pro jadernou bezpečnost: Dozor nad radiační ochranou. *Sujb* [online]. Praha [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/uvod/>
- [60] Státní ústav radiační ochrany: Technické a materiální vybavení ústavu. *Suro* [online]. Praha [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/suro/technicke-a-materialni-vybaveni-ustavu>
- [61] Státní ústav radiační ochrany: Odborná činnost ústavu. *Suro* [online]. Praha [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/suro/odborna-cinnost-ustavu>
- [62] Celní správa České republiky: OCHRANA SPOLEČNOSTI A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Celnisprava* [online]. 2009 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.celnisprava.cz/cz/o-nas/nase-ukoly/Stranky/ochrana-spolecnosti-a-zivotniho-prostredi.aspx>
- [63] Systém detekce radiace. *112: Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2018, **XVII**(11), 24. ISSN 1213-7057.
- [64] PETRŮV, Josef. *Srovnání radiometrů používaných Hasičským záchranným sborem ČR*. České Budějovice, 2013. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích; Zdravotně sociální fakulta.
- [65] Cvičení zóna 2019. *112 : odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2019, **XVIII**(10), 18-20. ISSN 1213-7057.

[66] Hasiči z chemických laboratoří cvičili u jaderného reaktoru. *112 : odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2018, **XVII**(7), 24-25. ISSN 1213-7057.

10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 URAD-115 [Zdroj vlastní] | 23 |
| Obrázek 2 DC-3H-08 [Zdroj vlastní] | 25 |
| Obrázek 3 DC-3E-98 [Zdroj vlastní] | 26 |
| Obrázek 4 SOR/R [Zdroj vlastní] | 27 |
| Obrázek 5 GR-135 [Zdroj vlastní] | 28 |
| Obrázek 6 InSpector 1000 [Zdroj vlastní] | 29 |
| Obrázek 7 Virtuoso [28] | 30 |
| Obrázek 8 Spectra [30] | 31 |
| Obrázek 9 Falcon 5000 [Zdroj vlastní] | 32 |
| Obrázek 10 RadEye [Zdroj vlastní] | 32 |
| Obrázek 11 IdentiFinder [Zdroj vlastní] | 33 |
| Obrázek 12 Radiation pager [Zdroj vlastní] | 33 |
| Obrázek 13 PM1401 GM [Zdroj vlastní] | 34 |
| Obrázek 14 RK 100 [Zdroj vlastní] | 35 |
| Obrázek 15 DMC 3000 [Zdroj vlastní] | 35 |
| Obrázek 16 ACT-LC [39] | 36 |
| Obrázek 17 PDS-100 [43] | 37 |
| Obrázek 18 SOEKS Quantum [45] | 38 |
| Obrázek 19 Colibri [47] | 39 |
| Obrázek 20 Radiagem 2000 [49] | 40 |
| Obrázek 21 RDS-31 [51] | 41 |
| Obrázek 22 ACCURAD [53] | 41 |

11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Veličiny a jednotky | 16 |
| Tabulka 2 Urad-115 | 22 |
| Tabulka 3 DC-3H-08 | 24 |
| Tabulka 4 Bar graf..... | 25 |
| Tabulka 5 DC-3E-98 | 26 |
| Tabulka 6 SOR/R | 28 |
| Tabulka 7 GR-135 | 28 |
| Tabulka 8 InSpector 1000..... | 30 |
| Tabulka 9 Virtuoso | 30 |
| Tabulka 10 SWOT analýza DC-3H-08..... | 49 |
| Tabulka 11 SWOT analýza DC-3E-98 | 50 |
| Tabulka 12 SWOT analýza MKS-11GN Spectra | 51 |
| Tabulka 13 SWOT analýza Ultra-Radiac URAD-115 | 53 |
| Tabulka 14 SWOT analýza GR-135 | 54 |
| Tabulka 15 SWOT analýza InSpector 1000 | 55 |
| Tabulka 16 SWOT analýza SOR/R | 56 |
| Tabulka 17 SWOT analýza DMC 3000 | 57 |
| Tabulka 18 SWOT analýza RK 100 | 58 |
| Tabulka 19 Check list 1 | 60 |
| Tabulka 20 Check list 2..... | 61 |
| Tabulka 21 Check list 3..... | 62 |