

Režimová ochrana před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu

Martin Jakubčík

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav krizového řízení
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Jakubčík**
Osobní číslo: **L16029**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ovládání rizik**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Režimová ochrana před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši o právním zajištění situací s vyšším rizikem výskytu opuštěných zdrojů ionizujícího záření.
2. Zhodnoťte současný stav opatření režimové ochrany před ionizujícím zářením v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu.
3. Posudte rizika nezajištění včasného záchytu opuštěného zdroje ionizujícího záření v těchto zařízeních.
4. Navrhňte minimalizaci rizik pro jednotlivé typy zařízení s využitím odstupňovaného přístupu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] KYNCL, Jaromír. **Bezpečnost objektu ve světle moderních technologií**. Vydání první. Praha: Komora podniků komerční bezpečnosti České republiky, 2014, 390 s. ISBN 978-80-260-7115-0.

[2] KLENER, Vladislav a kol. **Principy a praxe radiační ochrany**. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6.

[3] BOTULA, Jiří. **Recyklace odpadů kovových a kovonosných**. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 87 s. ISBN 80-248-0495-6.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Tomek, Ph.D.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2019**

V Uherském Hradišti dne 30. listopadu 2018

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka



Ing. et Ing. Jiří Konečný, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 15. 5. 2019

Jméno a příjmení studenta: Martin Jakubčík

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na ochranu objektů a osob před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů, jež mohou kontaminovat kovový šrot. Teoretická část popisuje aktuální stav právního zajištění situací s vyšším rizikem výskytu radioaktivních zdrojů, charakterizuje opuštěné zdroje ionizujícího záření a uvádí přehled mimořádných případů. Praktická část mapuje současný stav opatření režimové ochrany před ionizujícím zářením v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu ve Zlínském kraji a analyzuje rizika nezajištění včasného zachytu opuštěného zdroje. Závěr práce je věnován návrhům opatření pro provozovatele zařízení v oblastech ochrany před účinky ionizujícího záření, detekce, školení zaměstnanců, provozní dokumentace a systémových opatření.

Klíčová slova:

kontaminace, ochrana, recyklace, šrot, záření, zdroj

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the protection of objects and persons from ionizing radiation of orphan sources, which can contaminate metal scrap. The theoretical part describes the current status of the legal provision of situations with a higher risk of occurrence of radioactive sources, characterizes orphan sources of ionizing radiation and presents an overview of extraordinary cases. The practical part maps the current status of the protection mode measures against ionizing radiation in the scrap metal collecting facilities in the Zlín Region and analyzes the risks of not ensuring timely capture of the orphan source. The conclusion of this thesis is dedicated to draft measures for the facility operators in the areas of protection against the effects of ionizing radiation, detection, staff training, operational documentation and systemic measures.

Keywords:

contamination, protection, radiation, recycling, scrap, source

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Tomkovi, PhD. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi během práce vždy ochotně poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Josefu Mudrovi za vstřícnou komunikaci a v neposlední řadě své manželce, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE A PRÁVNÍ PŘEDPISY.....	10
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI RADIAČNÍ OCHRANY	10
1.2 REŽIMOVÁ OCHRANA	13
1.3 PŘEDPISY EVROPSKÉHO SPOLEČENSTVÍ PRO ATOMOVOU ENERGII	14
1.4 PRÁVNÍ PŘEDPISY ČESKÉ REPUBLIKY	15
1.5 NÁRODNÍ STRATEGIE STÁTNÍHO ÚŘADU PRO JADERNOU BEZPEČNOST	15
2 DRUHY OPUŠTĚNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	19
3 MIMOŘÁDNÉ PŘÍPADY SOUVISEJÍCÍ S OPUŠTĚNÝMI ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	20
4 DÍLČÍ ZÁVĚR.....	22
5 CÍL A METODY ZPRACOVÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	23
5.1 CÍL PRÁCE.....	23
5.2 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
6 PRODUKCE KOVOVÉHO ODPADU A JEHO RECYKLACE	27
7 TYPOLOGIE ZAŘÍZENÍ URČENÝCH PRO SHROMAŽĎOVÁNÍ KOVOVÉHO ŠROTU	31
8 SOUČASNÝ STAV REŽIMOVÉ OCHRANY PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM Z OPUŠTĚNÝCH ZDROJŮ	34
8.1 PREZENTACE VÝSLEDKŮ DOTAZOVÁNÍ.....	34
8.2 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ DOTAZOVÁNÍ.....	36
9 POSOUZENÍ RIZIK NEZAJIŠTĚNÍ VČASNÉHO ZÁCHYTU OPUŠTĚNÉHO ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	37
9.1 PŘÍČINY SELHÁNÍ SYSTÉMU REŽIMOVÉ OCHRANY	38
9.2 RIZIKA OHROŽENÍ ZDRAVÍ ČLOVĚKA	46
9.3 MODEL ZASAŽENÍ PRACOVNÍKŮ IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM	48
9.3.1 Výchozí parametry expozičních scénářů	48
9.3.2 Výpočet individuálních efektivních dávek	50
9.3.3 Vyhodnocení míry zasažení pracovníků ionizujícím zářením	51
9.4 VYHODNOCENÍ RIZIKOVÝCH FAKTORŮ	52
10 NÁVRHY OPATŘENÍ PRO MINIMALIZACI RIZIK.....	54

10.1	OPERATIVNÍ VYTYČENÍ HRANIC BEZPEČNOSTNÍ ZÓNY.....	54
10.2	DETEKČNÍ ZAŘÍZENÍ	57
10.3	ŠKOLENÍ ZAMĚSTNANCŮ.....	59
10.4	TYPOVÝ PROJEKT SBĚRNÉHO DVORA.....	60
10.5	SYSTÉMOVÁ OPATŘENÍ.....	62
	ZÁVĚR.....	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	72
	SEZNAM TABULEK	73
	SEZNAM GRAFŮ.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Dne 6. prosince 1983 došlo na sběrném dvoře v mexickém městě Ciudad Juarez k roztržení obalu terapeutického přístroje, který zde byl předán jako standardní kovový odpad. Přístroj obsahoval zdroj ionizujícího záření o celkové aktivitě téměř 17 TBq. Po širokém okolí byly rozptýleny tisíce drobných pilin radionuklidu kobaltu ^{60}Co . Některé se dostaly s ostatním šrotem i do taveb, jež byly následně kontaminovány radioaktivitou. Kontaminace byla zjištěna až za 41 dnů prakticky náhodou, kdy nákladní automobil převážející radioaktivní ocel projížděl okolo kontrolních detektorů Národních laboratoří v americkém Los Alamos a spustil alarm. Mezi tím bylo ozářeno několik tisíc lidí, stovky stolů s již vyrobenými radioaktivními kovovými podstavci byly nainstalovány v restauracích a byly postaveny desítky domů s radioaktivními ocelovými výztužemi v obvodových zdech. [1]

Mohlo by se zdát, že tato událost byla ojedinělou a historickou kombinací náhody, neznalosti a nedbalosti, která se dnes v tuzemsku snad ani nemůže přihodit. Není tomu tak. Každoročně jsou na území České republiky evidovány desítky mimořádných případů souvisejících s nakládáním s opuštěnými zdroji ionizujícího záření, přičemž záchyty vozidel převážejících kontaminovaný odpad tvoří více než polovinu těchto případů. Ovšem zdaleka ne všechna zařízení mají na vstupu instalovány finančně náročné portálové monitory, které případnou radioaktivitu odhalí. Riziko průniku opuštěného zdroje ionizujícího záření do kovového šrotu, ozáření dotčených pracovníků a následné kontaminace tavby, se tak podstatně zvyšuje.

V souladu s nedávnou aktualizací českého atomového práva jsou všichni provozovatelé zařízení určených k tavně, shromažďování a zpracování kovového šrotu povinni mimo jiné přijmout také opatření k vyhledávání opuštěných zdrojů ionizujícího záření. Je přípustné, aby tyto požadavky byly naplňovány odstupňovaným přístupem, který zohledňuje rozsah vykonávaných aktivit v příslušném zařízení. Cíl této bakalářské práce vychází z potřeby posoudit dostatečnost a přiměřenost zavedených opatření režimové ochrany. Teoretická část práce bude věnována rešerši právního zajištění situací s vyšším rizikem výskytu opuštěných zdrojů, definici opuštěných zdrojů, statistice mimořádných případů a upřesnění dílčích cílů bakalářské práce včetně použitých výzkumných metod. V praktické části autor bude prezentovat statistiku produkce dotčených skupin odpadů a typologii zařízení, zjišťovat aktuální stav opatření ve vybraných zařízeních na území Zlínského kraje, posuzovat rizika selhání systému režimové ochrany a navrhnout opatření pro minimalizaci identifikovaných rizik.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE A PRÁVNÍ PŘEDPISY

Pro účely této bakalářské práce jsou níže definovány pojmy z oblasti radiační ochrany a režimové ochrany. Dále jsou uvedeny vztažené právní předpisy a doporučení, které se týkají ochrany před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů ionizujícího záření.

1.1 Základní pojmy z oblasti radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je zabezpečit dostatečnou úroveň ochrany zdraví člověka a umožnit přitom přínos z využití zdrojů ionizujícího záření a jaderné energie. Základem soudobé koncepce ochrany před ionizujícím zářením je ochrana proti účinkům deterministickým a stochastickým. [2]

Deterministické účinky ozáření jsou spojeny se zánikem buněk a následnou ztrátou funkce tkání a orgánů. Tyto změny s klinicky jednoznačným projevem nastávají až při překročení určité dávky. Ochrana proti deterministickým účinkům spočívá v zamezení dosažení prahových dávek pro jednotlivé tkáně a orgány, tedy ve stanovení závazných limitů pro tkáňové dávky. Stochastické účinky jsou důsledkem změn v buňkách, jež přežily ozáření. Změněná buňka se může vyvinout v nádor až po značném časovém odstupu. Vznik takového poškození po ozáření nelze zcela vyloučit, je možno pouze omezit pravděpodobnost jeho vzniku na míru pokládanou za přijatelnou pro jednotlivce a společnost, a to zavedením efektivních dávek jako míry celkové újmy. [2]

Kromě dodržení obecných dávkových limitů tvoří základní principy radiační ochrany také:

- zdůvodnění činností vedoucích k ozáření (přínos a výhody z činnosti by měly být vyšší než náklady a nevýhody z ní plynoucí),
- optimalizace radiační ochrany (všechny dávky by měly být tak nízké, jak je pomocí ochranných opatření rozumně dosažitelné při zvážení ekonomických a sociálních hledisek),
- zajištění bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření. [2]

Autor dále v práci používá tyto základní pojmy z oblasti radiační ochrany:

- Aktivita je veličina, charakterizující zdroj ionizujícího záření, která udává střední počet samovolných radioaktivních přeměn atomových jader v určitém množství radionuklidu za jednotku času. Jednotkou aktivity je becquerel (Bq). V případě látky

o aktivitě 1 Bq dojde během jedné sekundy k jedné přeměně atomového jádra. Fyzikální rozměr s^{-1} . [3]

- Bezpečnostní zóna je vymezený prostor v okolí odstaveného vozidla, zásilky nebo nálezu, v němž je třeba zavést režimová opatření. Hranicí pro vymezení bezpečnostní zóny je doporučená hodnota příkonu dávkového ekvivalentu $10 \mu\text{Sv/h}$. [3]
- Dávka (absorbovaná dávka) je množství energie předané jednomu kilogramu ozářené látky. Jednotkou je 1 Gy (gray). Dávka 1 Gy znamená, že v 1 kg ozářené látky byla absorbována energie 1 J (joule, základní jednotka energie, $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$). [3]
- Dávkový ekvivalent. V případě ozáření živé tkáně nebo orgánu nezávisí účinek pouze na velikosti dávky (tj. na energii absorbované v jednotce hmotnosti ozářené tkáně), ale i na prostorovém rozložení dávky v ozářené tkáni nebo orgánu a druhu záření, kterým je tkáň nebo orgán ozářen. Proto se účinek záření popisuje veličinou dávkový ekvivalent, jejíž jednotkou je 1 Sv (sievert), jejíž fyzikální rozměr je stejný jako pro Gy ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$). [3]
- Dávkový příkon je přírůstek dávky za jednotku času (obvykle se vztahuje na 1 h), používaná jednotka je Gy/h. [3]
- Efektivní dávka je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem, jež vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků, vyjadřuje se v sievertech. [3]
- Ekvivalentní dávka je součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni pro určený typ ionizujícího záření. [3]
- Kerma je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v uvažovaném objemu látky o dané hmotnosti. Jednotka kermy je stejná jako jednotka absorbované dávky. Za podmínky rovnováhy nabitých částic se kerma rovná absorbované dávce. [3]
- Nález je odhalení výskytu opuštěného zdroje nebo radioaktivní látky nebo vznik podezření na jejich výskyt na libovolném místě v životním prostředí. [3]
- Nebezpečná zóna je prostor uvnitř bezpečnostní zóny, ve které pobyt fyzických osob představuje jejich potenciální ohrožení. Hranicí pro vymezení nebezpečné zóny je hodnota příkonu dávkového ekvivalentu 1mSv/h . [3]

- NORM (naturally occurred radioactive materials) je mezinárodně používaná zkratka označující materiály přírodního původu, obsahující ve zvýšené míře přírodní radionuklidy. [3]
- Odstupňovaný přístup (dle § 29 odst. 2 zák. č. 263/2016 Sb., atomového zákona) je přístup při zavádění a udržování systému řízení, který odpovídá složitosti procesů a činností, možným následkům neshod a přiměřenosti potřebných zdrojů. [3]
- Opuštěný zdroj (dle § 60 odst. 3 písm. a) zák. č. 263/2016 Sb., atomového zákona) je radionuklidový zdroj, který není pod dozorem stanoveným právními předpisy, zejména pokud pod dozorem stanoveným právními předpisy nikdy nebyl, byl opuštěn nebo ztracen držitelem, byl držiteli odcizen anebo jej držitel nabyt náhodně nebo bez oznámení úřadu. [3]
- Příkon dávkového ekvivalentu je přírůstek dávkového ekvivalentu za jednotku času, obdobně jako dávkový příkon, základní jednotka Sv/h (obvykle používané zlomky mSv/h a μ Sv/h). [3]
- Přírodní pozadí je hodnota dávkového příkonu nebo příkonu dávkového ekvivalentu, měřená zpravidla 1 m nad zemí. Hodnoty přírodního pozadí se na území České republiky běžně pohybují v hodnotách od 0,05 do 0,3 μ Gy/h (μ Sv/h). [3]
- Radioaktivita je vnějšími podmínkami neovlivnitelná přeměna jádra atomu, doprovázená emisí ionizujícího záření, která vede k dosažení energeticky výhodnějšího stavu látky. [3]
- Radioaktivní látka (dle § 2 odst. 2 písm. b) zák. č. 263/2016 Sb., atomového zákona) je jakákoliv látka, která obsahuje radionuklid nebo je jím kontaminována v míře, která z hlediska možného ozáření vyžaduje regulaci podle zákona. [3]
- Radionuklid je soubor atomů téhož chemického prvku, jejichž jádra mají navzájem stejný počet neutronů v jádře, a který vzhledem ke svým jaderně-fyzikálním vlastnostem podléhá samovolné radioaktivní přeměně. [3]
- Záchyt je odhalení výskytu nebo vznik podezření na výskyt radionuklidového zdroje nebo radioaktivní látky v průběhu přepravy, zpravidla při provádění radiometrické kontroly, např. při vstupu do zařízení určeného ke zpracování kovového šrotu. [3]
- Zdroj ionizujícího záření (dále jen „ZIZ“) je radioaktivní látka nebo předmět či zařízení ji obsahující nebo uvolňující. [3]

1.2 Režimová ochrana

Režim je organizační, věcné a administrativní uspořádání vztahů mezi lidmi, jejich činnostmi a vlastními procesy v oblasti výkonu i řízení organizace, za účelem sladění všech prvků ochrany objektu a dosahování harmonického stavu. Je dosahován souborem režimových opatření, která představují pravidla a postupy k zajištění požadovaného stupně bezpečnosti na všech úrovních, a to v závislosti na požadovaných zásadách zejména pro:

- oprávnění osob a dopravních prostředků pro vstup a vjezd do objektu, výstup a výjezd z objektu a způsob kontroly,
- podmínky a způsob kontroly vynášení a vyvážení věcí nebo utajovaných skutečností z objektu,
- režim pohybu osob, věcí, dopravních prostředků a utajovaných skutečností v objektu a jeho jednotlivých částech v pracovní a mimopracovní době,
- režim manipulace s technickými prostředky a jejich používání,
- režim manipulace s klíči, identifikačními prostředky a médii, které se používají pro systémy zabezpečení vstupů. [4]

Samotný termín „bezpečnost“ je velmi obecný a význam získává teprve spojením s určitým předmětem, např. věcí, osobou, zájmem nebo jinou skutečností. Bezpečnost organizace je tedy stav, kdy je tato organizace schopna odolávat známým a předvídatelným vnějším a vnitřním hrozbám, které mohou negativně působit proti jejím jednotlivým prvkům nebo celku tak, aby byla zachována struktura organizace, její stabilita, spolehlivost a chování v souladu s cílovostí. [4]

Z pohledu řešené problematiky je posuzovanou organizací provozovatel zařízení, určeného ke shromažďování a zpracování kovového šrotu. Tento pojem je použit v ustanovení § 91, zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ovšem jeho definice v tomto zákoně ani jiném právním předpisu uvedena není. Česká asociace odpadového hospodářství v březnu 2017 požádala Státní úřad pro jadernou bezpečnost o objasnění vztahu tohoto ustanovení atomového zákona k zařízením určeným k nakládání s odpady, které mají souhlas k provozu podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Státní úřad pro jadernou bezpečnost ve své odpovědi konstatoval, že povinované subjekty jsou stacionární zařízení zabývající se výkupem a shromažďováním směsného kovového materiálu (šrotu). [5]

1.3 Předpisy Evropského společenství pro atomovou energii

Na základě Smlouvy o přistoupení České republiky (dále jen „ČR“) k Evropské unii (dále jen „EU“) se ode dne 1. května 2004 stala pro právní řád ČR závazná také Smlouva o založení Evropského společenství pro atomovou energii (Euratom), dále jen „Smlouva o Euratomu“. Euratom byl založen šesti evropskými státy (Belgie, Francie, Itálie, Lucembursko, Německo, Nizozemsko) a začal fungovat ode dne nabytí účinnosti Smlouvy o Euratomu, tj. od 1. ledna 1958. Přestože je Euratom samostatným celkem, je nyní plně integrován do EU. Hlavním cílem Euratomu bylo přispět k vytvoření podmínek nezbytných pro rychlé vybudování a růst jaderného průmyslu a nastavit mechanismy pro kontrolu možného zneužití jaderných materiálů. Prostředky k dosažení tohoto cíle jsou formulovány v čl. 2 Smlouvy o Euratomu. Patří mezi ně mimo jiné i zajištění ochrany zdraví obyvatel a pracovníků se zdroji před účinky ionizujícího záření, tzn. stanovení jednotných bezpečnostních standardů pro radiační ochranu a zavedení mechanismů pro kontrolu jejich dodržování. [6]

Právním základem sekundárních právních předpisů přijatých v oblasti mírového využívání jaderné energie a ionizujícího záření jsou čl. 31 a 32 Smlouvy o Euratomu. Mezi zásadní přijaté předpisy patří Směrnice Rady 2013/59/EURATOM ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření a zrušují se směrnice 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a 2003/122/Euratom. [7]

Problematice opuštěných zdrojů se věnuje celý oddíl 3 této směrnice ve čtyřech člancích:

- čl. 92 – Detekce opuštěných zdrojů,
- čl. 93 – Kontaminace kovů,
- čl. 94 - Využití opuštěných zdrojů, nakládání s nimi, jejich kontrola a likvidace,
- čl. 95 – Finanční zajištění pro opuštěné zdroje. [8]

Mezi důležité nadnárodní dokumenty v rámci řešené problematiky, které svou působností přesahují hranice EU, zcela jistě patří i doporučení Safety Guide No. SSG-17: Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries (Kontrola opuštěných zdrojů a jiných radioaktivních materiálů v odvětví recyklace a výroby kovů). Toto doporučení vydala v roce 2012 Mezinárodní agentura pro atomovou energii (IAEA), jejímž členským státem se stala od roku 1993 také ČR.

1.4 Právní předpisy České republiky

S účinností od 1. ledna 2017 byl nahrazen dosavadní zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů novým zákonem č. 263/2016 Sb., atomový zákon (dále jen „AZ“). Dosavadní zákon č. 18/1997 Sb. byl změněn zákonem č. 264/2016 Sb., kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím AZ, a upravuje pouze odpovědnost za jaderné škody. [9]

V oblasti opuštěných ZIZ přímo reflektuje ustanovení článků 92 až 95 Směrnice Rady 2013/59/EURATOM příslušný paragraf AZ, nazvaný „Opuštěný zdroj“. Jedná se o § 91, který stanoví jednotlivé povinnosti provozovatele zařízení určeného k tavně, shromažďování a zpracování kovového šrotu. Samotná definice opuštěného zdroje je pak uvedena v § 60, odst. 3, písm. a) AZ.

Ve Sbírce zákonů bylo dále publikováno několik prováděcích předpisů k AZ, přičemž řešené problematiky se dotýká především:

- Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje,
- Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 409/2016 Sb., o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registranta. [9]

Co se týče zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, během níž se vyskytuje rizikový faktor ve formě ionizujícího záření, nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, se ve svém § 2 odst. 3 odvolává na ustanovení AZ. Podobně se na AZ odkazuje i zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů v § 82, odst. 2.

1.5 Národní strategie Státního úřadu pro jadernou bezpečnost

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen „SÚJB“) je ústředním orgánem státní správy ČR, který vykonává státní správu při využívání jaderné energie a ionizujícího záření a v oblasti nešíření jaderných, chemických a biologických zbraní. Byl zřízen 1. ledna 1993 zákonem č. 21/1993 Sb., kterým byl změněn a doplněn kompetenční zákon č. 2/1969 Sb., o zřízení ministerstev a jiných ústředních orgánů státní správy České socialistické republiky, ve znění pozdějších předpisů. V jeho čele stojí předsedkyně, která je jmenována vládou ČR.

Úřad má samostatný rozpočet a je přímo podřízen vládě ČR. V souladu s věcným zaměřením a vykonávanými činnostmi je organizačně členěn do tří sekcí: jaderná bezpečnost, radiační ochrana, řízení a technická podpora. [10]

V souvislosti s problematikou opuštěných ZIZ zveřejnil SÚJB na svých internetových stránkách nedatovaný dokument, nazvaný „Národní strategie k zabezpečení radionuklidových zdrojů a pro případ nálezu opuštěných zdrojů“. V tomto dokumentu jsou uvedeny základní prvky prevence vzniku opuštěného zdroje:

- vydávání povolení k jednotlivým činnostem nebo jejich registrace,
- kategorizace radionuklidových zdrojů,
- rozsah informací předávaných uživatelem během celého životního cyklu zdroje,
- týdenní automatické porovnání stavu Registru držitelů povolení a ohlašovatelů drobných zdrojů s informacemi v insolvenčním rejstříku,
- zabránění ztráty kontroly nad zdrojem v případě, že uživatel jako subjekt zanikne,
- zapojení do mezinárodního programu GTRI (Global Threat Reduction Initiative),
- publikace „Zabezpečení radionuklidového zdroje“ pro držitele povolení,
- spolupráce s ostatními složkami státní správy, především s Hasičským záchranným sborem ČR a Celní správou ČR. [11]

Pokud se i přes tato opatření opuštěný ZIZ vyskytne, stát má oporu ve dvou konkrétních paragrafech AZ:

- ustanovení § 6, který je závazný pro všechny občany ČR a ukládá jim povinnost bezodkladně oznámit SÚJB, případně Policii ČR, i pouhé podezření na možný výskyt opuštěného zdroje,
- ustanovení § 91, který řeší možnost záchytu opuštěného ZIZ a je cílen na neradiační pracoviště s větší pravděpodobností vzniku této situace: provozy zabývající se veškerou manipulací a zpracováním kovového odpadu. [11]

Státní úřad pro jadernou bezpečnost, vědom si zásadní skutečnosti, že opuštěný ZIZ se může vyskytnout na pracovištích, která primárně s radioaktivitou nepracují, se snaží zprostředkovat těmto subjektům dostatečný přístup k prakticky využitelným informacím. Jedním ze základních nástrojů tohoto vzdělávání je dokument „Nález a záchyt radionuklidových zdrojů v zařízeních určených k tavbě, shromažďování a zpracování kovového šrotu“ (DR-RO-4.1), účinný od 1. prosince 2017 (revize č. 1.0). Publikace je distribuována zdarma a je volně

přístupná na internetových stránkách SÚJB. Její součástí je kromě popisu jednotlivých postupů a základních informací pro rozhodování při záchytu radioaktivního materiálu také rozsáhlá obrazová příloha použitelná k vizuálnímu rozpoznání podezřelého předmětu, který by mohl být opuštěným zdrojem, a to bez použití měřicích přístrojů. Dále jsou zde uvedeny nejdůležitější kontakty pro řešení vzniklé situace. Součástí uvedeného doporučení je také plakát, který obsahuje základní postupy, kontakty a rozhodovací schéma. Toto instruktážní schéma by mělo být přístupné každému pracovníkovi přímo v provozovaném zařízení. [3]

Kromě obecných povinností všech provozovatelů zařízení určených k tavbě, shromažďování a zpracování kovového šrotu jsou v publikaci doporučena technická a ostatní opatření s ohledem na odlišnou komplexnost vykonávaných aktivit v těchto zařízeních. Je přípustné, aby „velká“ zařízení určená k tavbě, shromažďování a zpracování kovového odpadu naplňovala tyto požadavky složitějšími a sofistikovanějšími formami, zatímco zařízení „malá“ s menším rozsahem aktivit mohou téhož cíle dosáhnout způsoby méně náročnými (§ 5 odst. 8 AZ). „Malé“ zařízení splňuje tato kritéria:

- jedná se o stacionární zařízení ke shromažďování kovového šrotu, mající charakter menších, primárních, lokálních provozoven výkupu kovového šrotu,
- kovový odpad se z těchto provozoven převáží do jiného většího zařízení ke shromažďování kovového šrotu (neexpeduje se přímo do zařízení určeného k tavbě),
- kovový odpad je dovážen jinak než v nákladních automobilech nebo v železničních vagónech,
- způsoby nakládání s kovovým šrotem jsou třídění, skladování, vykládka a nakládka přepravních nádob a vozidel, zpravidla bez významnějšího zpracování jako je dělení, lisování apod. [3]

Přestože není nutné vybavení pracoviště měřicími přístroji, doporučuje se zavést režim proměrování pracoviště a skladovaného materiálu v pravidelných intervalech jednoduchým ručním přenosným radiometrickým přístrojem. Tato „malá“ zařízení totiž mohou být prvním místem, na kterém může být případný opuštěný ZIZ zachycen. Dále je nezbytné poučit obsluhu o účincích ionizujícího záření, jak vizuálně opuštěný zdroj rozpoznat a jaká opatření při jeho nálezů či záchytu provést.

„Velká“ zařízení naopak splňují tato kritéria:

- jedná se o stacionární zařízení ke shromažďování kovového šrotu, která nelze považovat za „malá“ zařízení dle výše uvedených kritérií,

- kovový šrot je z těchto zařízení expedován do hutních a strojírenských subjektů provozujících tavicí zařízení. [3]

Ve „velkých“ zařízeních se považuje vybavení pracoviště ručním měřicím přístrojem za základní technické opatření k vyhledávání opuštěných ZIZ. Jsou-li zásilky kovového šrotu expedovány ve větších množstvích do hutních zařízení na silničních nebo kolejových vozidlech, doporučuje se zvážit možnost použití stacionárních detekčních systémů. Toto technické opatření umožňuje určitou automatizaci radiometrické kontroly vozidel a současně zvyšuje pravděpodobnost, že případná přítomnost opuštěného ZIZ bude při kontrole zjištěna. Další možností doplňujícího technického opatření je vybavení pracoviště detekčními systémy na manipulační technice, typicky na drapácích pro manipulaci se šrotem. Školení personálu pro vizuální rozpoznání krytů a typických součástí ZIZ je opět základním organizačním opatřením. [3]

Doporučení SÚJB DR-RO-4.1 věnuje pozornost taktéž spalovnám komunálního odpadu. Ačkoli nejsou tato zařízení konkrétně jmenována, a tedy vázána požadavky ustanovení § 91 AZ, dlouholetá praxe ukazuje, že i ona spadají do poměrně rizikové skupiny v souvislosti s výskytem opuštěných ZIZ. Spektrum zdrojů se odlišuje od zpracovatelů kovového šrotu a převládají zde aplikace radiofarmak ve spojení s nukleární medicínou a jejich následným výskytem na hygienických prostředcích. [3]

K dokumentu DR-RO-4.1 je připojeno celkem pět tematických příloh:

- schéma postupu při podezření na záchyt opuštěného zdroje,
- přehled spojení na regionální centra SÚJB,
- záznam o záchytu radioaktivního materiálu,
- vzor informačního plakátu pro informování pracovníků,
- obrazová příloha pro vizuální identifikaci opuštěných zdrojů.

Hlavním cílem režimových opatření na výše uvedených pracovištích je v ideálním případě záchyt opuštěného ZIZ bezprostředně při vstupu do zařízení, případně jeho nález během manipulace s již dovezeným kovovým šrotem v areálu zařízení anebo záchyt při expedici šrotu ze zařízení k dalšímu článku zpracovatelského řetězce.

2 DRUHY OPUŠTĚNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Opuštěné ZIZ, které představují v řešené problematice zdroj nebezpečí a mohou se vyskytnout v kovovém šrotu, lze rozdělit do několika skupin podle původního účelu použití:

- průmyslová měřidla a jejich pracovní kontejnery,
- defektoskopické přístroje a jejich součásti,
- lékařské ozařovače a zdroje,
- čidla ionizačních hlásičů požáru,
- chemické látky a radioaktivní barvy,
- přepravní obalové soubory a jejich součásti,
- předměty používané ke stínění a manipulaci se zdroji ionizujícího záření. [3]

Průmyslová měřidla a jejich pracovní kontejnery vykazují nejvyšší riziko ohrožení zdraví a kontaminace materiálu z důvodu velké variability zařízení, jejich rozšíření, oblastí využívání a poměrně dlouhou dobou používání. Jedná se o vlhkoměry, hladinoměry, popeloměry, hustoměry, tloušťkoměry apod. (obr. 1). Druh a tvar krytů bývá velmi rozmanitý, proto je nutno věnovat velkou pozornost označení a varovným symbolům. Rozsah aktivit používaných zdrojů ionizujícího záření bývá do jednotek GBq a spektrum používaných radionuklidů je velmi široké, nejčastěji bývají používány ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{85}Kr a ^{241}Am . Jsou zde zařazeny také karotážní a penetrační sondy, u kterých existuje vysoké riziko odkrytí uzavřeného ZIZ. Bývají značně opotřebovány a varovné symboly jsou mnohdy setřeny, takže svým vzhledem nevyvolávají podezření. U vlhkoměrů je pak využíváno fyzikálních vlastností neutronů, které nejsou standardními dozimetrickými přístroji detekovatelné. [3]



Obr. 1 - Popeloměr [3]

3 MIMOŘÁDNÉ PŘÍPADY SOUVISEJÍCÍ S OPUŠTĚNÝMI ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

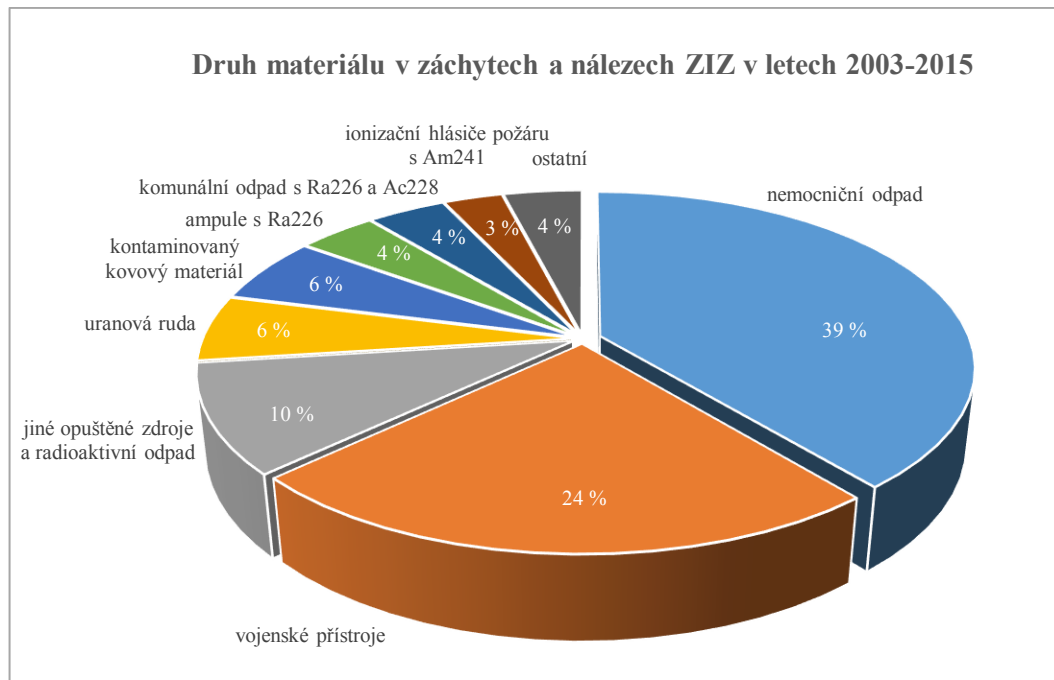
V současné době je kovový šrot důležitým výchozím materiálem pro průmyslovou výrobu kovů. Jeho podíl v konečném produktu např. u oceli tvoří až 50 %. Kromě materiálů typu NORM je radioaktivita nacházející se ve šrotu způsobena především opuštěnými zdroji ionizujícího záření. Pronikne-li ZIZ až do tavicího procesu, může vzniknout kontaminovaný produkt. Důsledky takových mimořádných případů jsou převážně ekonomické a náklady na jejich odstranění se pohybují v řádech milionů eur. Dalším problémem může být i ztráta důvěry v kvalitu kovového produktu. [12]

Během období 2010-2017 bylo na území ČR prostřednictvím SÚJB šetřeno téměř 400 mimořádných případů souvisejících s nakládáním se ZIZ (tab. 1). Na vstupech do hutních závodů nebo šrotišť bylo zachyceno 209 vozidel transportujících kovový šrot, což představuje cca 53 % z celkového počtu záchytů opuštěných ZIZ. Na vstupech do spaloven bylo ve sledovaném období zachyceno 136 sběrných vozů s komunálním odpadem, který obsahoval ZIZ. [13]

Tab. 1 - Mimořádné případy související s nakládáním se ZIZ (2010-2017) [13]

Rok	Mimořádné případy celkem	Z toho záchyty:	
		vozidel transportujících železný šrot	sběrných vozů s komunálním odpadem
2010	49	23	18
2011	55	32	16
2012	66	32	24
2013	72	41	24
2014	52	34	16
2015	36	20	10
2016	22	8	11
2017	42	19	17

Co se týče procentuálního zastoupení různých druhů materiálů, ze statistik ÚJV Řež, a. s. je zřejmé, že v záchytech a nálezích ZIZ sice převládá kontaminovaný zdravotnický materiál, nicméně celkový podíl vojenských přístrojů obsahujících zdroj ionizujícího záření, jiných opuštěných zdrojů a kovových předmětů vyrobených z materiálu radioaktivitou již kontaminovaného, v letech 2003-2015 představoval 40 % mimořádných případů (graf 1). [14]



Graf 1 - Druh materiálu v záchytech a nálezech ZIZ v letech 2003-2015 [14]

Kontaminovaný nemocniční odpad bývá zpravidla zachycen na vstupu do spaloven komunálního odpadu, zatímco vojenské přístroje, jiné opuštěné ZIZ a kovové předměty vyrobené z materiálu již kontaminovaného radioaktivitou se vyskytují především v transportech do zařízení určených k tavně, shromažďování a zpracování kovového šrotu.

Dosud nejvyšší hodnotu příkonu dávkového ekvivalentu (dále jen „PDE“) na nalezeném ZIZ vykazovala radiová tuba, která byla objevena na dětském hřišti v Praze-Podolí v roce 2011. Celková aktivita ZIZ obsahujícího radionuklid ^{226}Ra dosáhla 452 MBq, na povrchu ZIZ byl naměřen PDE 200 mSv/h a na povrchu země 20 mSv/h. Nejvyšší hodnota celkové aktivity na nalezeném ZIZ byla naměřena v roce 2004. Sud s radiofarmaky obsahující radionuklid ^{131}I na letišti v Praze-Ruzyni vykazoval celkovou aktivitu 15 GBq. [14]

V případě záchytných ZIZ byl v roce 2007 kontrolován vůz, jehož náklad obsahoval kovový terčík s radionuklidy ^{57}Co a ^{58}Co . Zdroj vykazoval celkovou aktivitu 63 MBq a 580 MBq. Na povrchu vozu byl naměřen PDE 30 mSv/h (spodek vozidla), 50 $\mu\text{Sv/h}$ (bok vozidla) a na kabině řidiče 0,33 $\mu\text{Sv/h}$. Jednalo se o případ záchytu s nejvyšší hodnotou PDE na voze v letech 2003-2015. Záchyt opuštěného ZIZ s nejvyšší hodnotou celkové aktivity zdroje byl zaznamenán v roce 2015 na vstupu do kovošrotu. V dodávce byl zachycen hladinoměr typu MDN 202 se zářičem ^{137}Cs , který vykazoval celkovou aktivitu 690 MBq. [14]

4 DÍLČÍ ZÁVĚR

Právní zajištění situací s vyšším rizikem výskytu zdrojů ionizujícího záření na pracovištích, která primárně s radioaktivitou nepracují, je v současné době v tuzemsku na velmi vysoké úrovni. Do nového zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, jsou implementovány veškeré požadavky Směrnice Rady 2013/59/EURATOM, které se týkají detekce opuštěných zdrojů ionizujícího záření, kontaminace kovů těmito zdroji, nakládání s nimi, jejich kontroly, likvidace a způsobu finančního zajištění.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost v „Národní strategii k zabezpečení radionuklidových zdrojů a pro případ nálezu opuštěných zdrojů“ definuje základní prvky prevence vzniku opuštěného zdroje. Provozovatelům zařízení určených k tavbě, shromažďování a zpracování kovového šrotu poskytuje srozumitelné postupy v případě nálezu či záchytu opuštěného zdroje, rozděluje zařízení provozovatelů na „malá“ a „velká“ a doporučuje jim vhodná opatření s využitím odstupňovaného přístupu.

Hlavním cílem režimových opatření v těchto zařízeních je záchyt opuštěného zdroje ionizujícího záření bezprostředně při vstupu do zařízení, případně jeho nález během manipulace s již dovezeným kovovým šrotem v areálu zařízení. „Malá“ zařízení mohou být prvním místem, na kterém může být případný opuštěný zdroj ionizujícího záření zachycen. Tato zařízení nejsou zpravidla vybavena stacionárními detekčními systémy, a proto je nezbytné školit obsluhu o účincích ionizujícího záření, opatřeních v případě záchytu, vizuálním rozpoznání zdroje a měření pomocí ručních radiometrických přístrojů.

Opuštěné zdroje ionizujícího záření, které mohou kontaminovat kovový šrot, lze rozdělit do několika skupin podle jejich původního účelu použití, přičemž nejvyšší riziko ohrožení zdraví a kontaminace představují z důvodu vysoké variability a širokého rozšíření průmyslová měřidla a jejich pracovní kontejnery. Více než polovinu mimořádných případů souvisejících s nakládáním se zdroji ionizujícího záření v letech 2010-2017 tvořily záchyty vozidel na vstupech do hutních závodů či šrotišť. Dosud nejvyšší příkon dávkového ekvivalentu na vozidle v hodnotě 30 mSv/h byl naměřen při jeho záchytu na vstupu do kovošrotu v roce 2007. Záchyt opuštěného zdroje ionizujícího záření s nejvyšší celkovou aktivitou v hodnotě 690 MBq byl zaznamenán v roce 2015.

5 CÍL A METODY ZPRACOVÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanovení cíle bakalářské práce vychází z potřeby posoudit ve vybraných zařízeních dostatečnost a přiměřenost režimové ochrany před ionizujícím zářením, které představuje v případě opuštěných zdrojů vysoké nebezpečí ohrožení zdraví člověka. Pro nalezení a objasnění poznatků a zákonitostí byly v různých fázích řešení cíle v praktické části bakalářské práce použity níže uvedené objektivní metody.

5.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bude zhodnocení opatření režimové ochrany objektů a osob před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů, jež mohou kontaminovat kovový odpad v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu na území Zlínského kraje, posouzení rizik selhání systému režimové ochrany a s využitím vhodných metod analýzy rizik návrh opatření pro jejich minimalizaci.

Naplnění hlavního cíle se bude opírat o dosažení čtyř dílčích cílů:

- zpracování rešerše o právním zajištění situací s vyšším rizikem výskytu opuštěných zdrojů ionizujícího záření,
- zhodnocení současného stavu opatření režimové ochrany před ionizujícím zářením ve vytipovaných zařízeních,
- posouzení rizik nezajištění včasného záchytu opuštěného zdroje ionizujícího záření v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu v oblastech:
 - selhání systému režimové ochrany,
 - ohrožení zdraví člověka,
- návrh opatření pro minimalizaci rizik ve vytipovaných zařízeních s využitím odstupňovaného přístupu.

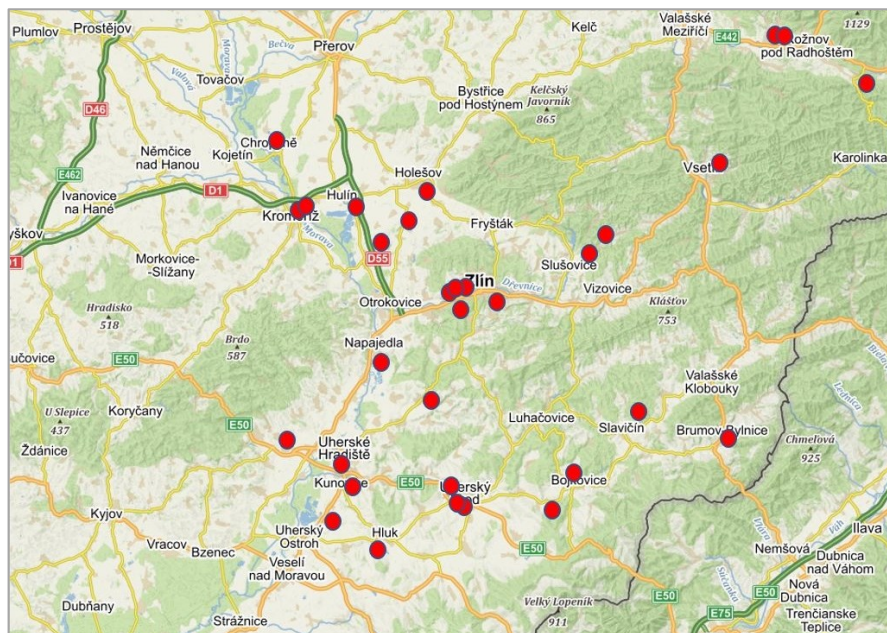
Na základě zpracované rešerše v teoretické části této bakalářské práce bude určena cílová skupina zařízení, u nichž bude zkoumán současný stav opatření režimové ochrany před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů. Tuto skupinu představují výkupny a sběrný kovového odpadu, jejichž provoz je podmíněn rozhodnutím Krajského úřadu Zlínského kraje, a u kterých se předpokládá, že je lze současně definovat metodikou SÚJB jakožto „malá“ zařízení. U „malých“ zařízení existuje vzhledem k absenci stacionárních detekčních systémů

vyšší riziko průniku opuštěného ZIZ do areálu, ohrožení zdraví člověka a následné kontaminace kovového šrotu. „Malá“ zařízení také mohou být prvním místem distribuční řetězce, na kterém může být opuštěný ZIZ zachycen či nalezen.

5.2 Zvolené metody zpracování bakalářské práce

Během zjišťování současného stavu opatření režimové ochrany v cílové skupině zařízení bude v rámci kvantitativního výzkumu s předem určenými parametry použito dotazování, přičemž:

- vzorek respondentů bude zajištěn systematickým výběrem z cílové skupiny zařízení tak, aby plošné rozmístění respondentů na území Zlínského kraje bylo dostatečně reprezentativní,
- výzkum bude proveden celkem na 32 stacionárních zařízeních umístěných ve Zlínském kraji (obr. 2),
- forma byla nakonec zvolena jako ústní terénní dotazování (face-to-face) na základě standardizovaného dotazníku v kombinaci s pozorováním, neboť návratnost původně zamýšleného elektronického dotazníku byla minimální (cca 10 %).



Obr. 2 - Rozmístění zkoumaných zařízení [vlastní], [www.mapy.cz]

Jako zásadní moment iniciace, tj. porušení rovnováhy systému v kontextu kauzální závislosti vzniku negativního jevu, bude určeno selhání systému režimové ochrany, tedy nezajištění

včasného záchytu opuštěného zdroje ionizujícího záření na vstupu do zařízení určených pro shromažďování kovového šrotu. Posouzení rizik bude provedeno ve dvou oblastech:

- Pro vyhodnocení příčin selhání, resp. podmínek spolehlivosti systému, bude použita metoda FTA – analýza stromu poruchových stavů. Metoda FTA je založena na rozboru vrcholové události a identifikuje faktory, které problému způsobují nebo negativně ovlivňují funkčnost systému. K analýze FTA bude využit kvalitativní (tradiční) přístup, který nesleduje pravděpodobnost vzniku události a faktorů k ní přispívajících. Cílem bude nalezení potenciálních příčin vzniku negativního jevu. Závažnost zjištěných příčin bude stanovena na základě rozboru minimálních kritických řezů.
- V dalším kroku bude pomocí diagramu příčin a následků (Ishikawa diagram) posouzeno riziko ohrožení zdraví všech jednotlivců, kteří mohou přijít do kontaktu s opuštěným zdrojem ionizujícího záření v rámci celého recyklačního procesu. Rozsah zasažení pracovníků ionizujícím zářením bude demonstrován na modelu, který simuluje nezachycení opuštěného zdroje – hladinoměru MDN 202 s uzavřeným radionuklidovým zářičem ^{137}Cs o celkové aktivitě 690 MBq. Pro modelování budou použity scénáře ze specializovaného softwaru RESRAD-RECYCLE, určeného k vyhodnocení radiačních expozic vyplývajících z činností během recyklace kontaminovaného šrotu.

Sloučením výsledků provedeného dotazování, které umožní vyjádřit pravděpodobnost výskytu rizikového faktoru, a závažnosti následků elementárních příčin identifikovaných v rámci analýzy FTA a Ishikawa diagramu, bude pro některá rizika vyjádřena jejich výsledná míra polokvantitativní bodovou metodou.

Návrhy opatření pro minimalizaci rizik plynoucích jak z nezajištění včasného záchytu opuštěného zdroje ionizujícího záření na vstupu do zařízení, tak ze škodlivých účinků ionizujícího záření obecně, budou stanoveny na základě výsledků obou analýz. Zohledněny budou také výstupy z terénního výzkumu zařízení v cílové skupině, podpůrného výzkumu produkce kovového odpadu ve Zlínském kraji a odstupňovaný přístup, který umožňuje „malým“ zařízením naplňovat požadavky AZ vzhledem k rozsahu vykonávaných činností méně náročnými způsoby.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PRODUKCE KOVOVÉHO ODPADU A JEHO RECYKLACE

Kovový odpad (šrot) představuje v řešené problematice prostředí v rámci něhož může opuštěný ZIZ proniknout do systému recyklace kovů, během následné manipulace ohrozit lidské zdraví a potažmo kontaminovat radioaktivitou celou tavbu, do níž takový šrot vstoupil.

Šrot zahrnuje všechny druhy odpadu obsahující kov převážně ve své ryzí, metalické formě, a to buď samostatně, nebo ve formě slitin. Z hlediska původu se rozděluje na:

- vratný (výrobní) odpad, který vzniká v ocelárnách, kovohutích, slévárnách apod.,
- zpracovatelský odpad, vznikající při vlastní výrobě strojů, zařízení či náradí zejména ve strojírenství,
- amortizační odpad, představující vyřazené stroje, zařízení, autovraky, ocelové konstrukce, elektronická zařízení aj., který lze dále dělit jako
 - průmyslový,
 - občanský. [15]

Kovový odpad se dále podrobuje úpravnickým procesům za účelem zušlechtění jeho vlastností tak, aby vyhovovaly požadavkům hutnického průmyslu. Amortizační odpad se nejprve zbavuje nečistot a poté se získává materiál o maximální možné sytké hmotnosti pomocí:

- zdrobňování (rozřezávání plamenem, drcení, stříhání a roztloukání šrotu),
- separace (pneumatické, magnetické, elektrodynamické),
- třídění. [15]

Veškeré zušlechtovací činnosti mohou v případě, že šrot obsahuje opuštěný ZIZ, představovat vysoké riziko zasažení pracovníků ionizujícím zářením. Během procesů zdrobňování může dojít až k obnažení uzavřeného zářiče nebo rozptýlení částic radioaktivního prachu.

Výskyt opuštěných ZIZ je ve výrobních a zpracovatelských odpadech prakticky vyloučen. Naopak ve vyšší míře se může ZIZ objevit především v amortizačních občanských odpadech, kde není zdroj záření pod dozorem stanoveným právními předpisy, zejména pokud pod takovým dozorem nikdy nebyl.

Podle vyhlášky č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, bylo určeno, z kterých činností mohou vznikat kovové odpady. Jedná se o skupiny odpadů 02, 06, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19 a 20. Amortizační občanský kovový odpad pak tvoří především železné a neželezné kovy z autovraků (kódy odpadu 16 01 17 resp. 16 01 18), vyříděné kovy z komunálního odpadu, vedené

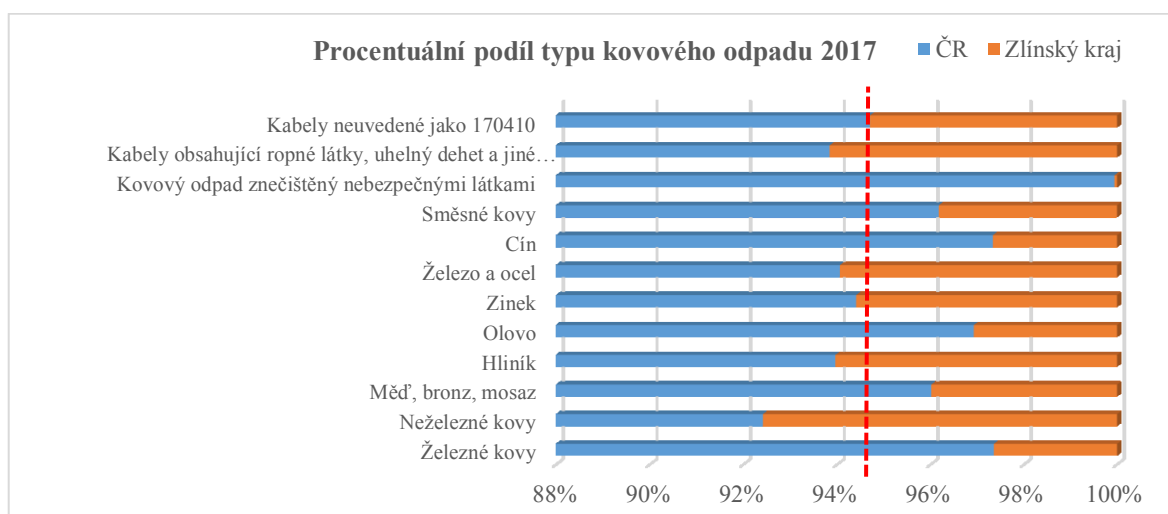
pod kódem odpadu 20 01 40 a zejména celá podskupina stavebních a demoličních odpadů 17 04 – kovy (včetně jejich slitin).

Ve Zlínském kraji bylo v roce 2017 vyprodukováno téměř 180 tisíc tun kovového odpadu, který pocházel z autovraků, stavebních a demoličních odpadů (tab. 2). Maximální podíl náležel odpadu deklarovanému jako železo a ocel pod kódem 17 04 05, který se svými cca 164 tisíci tunami tvořil 91,5 % celkové produkce sledovaných odpadů. [16]

Tab. 2 - Produkce kovových odpadů 2017 [16]

Kód odpadu	Název odpadu	Území	Množství [t]	Území	Množství [t]
16 01 17	Železné kovy	ČR	183 518,737	Zlínský kraj	4 995,249
16 01 18	Neželezné kovy	ČR	3 549,553	Zlínský kraj	291,310
17 04 01	Měď, bronz, mosaz	ČR	55 168,204	Zlínský kraj	2 290,414
17 04 02	Hliník	ČR	86 647,861	Zlínský kraj	5 566,280
17 04 03	Olovo	ČR	3 109,309	Zlínský kraj	98,728
17 04 04	Zinek	ČR	2 336,815	Zlínský kraj	138,449
17 04 05	Železo a ocel	ČR	2 601 470,556	Zlínský kraj	164 266,048
17 04 06	Cín	ČR	157,317	Zlínský kraj	4,316
17 04 07	Směsné kovy	ČR	21 687,003	Zlínský kraj	863,076
17 04 09	Kovový odpad znečištěný nebezpečnými látkami	ČR	794,283	Zlínský kraj	0,458
17 04 10	Kabely obsahující ropné látky, uhelný dehet a jiné nebezpečné látky	ČR	106,032	Zlínský kraj	6,960
17 04 11	Kabely neuvedené jako 17 04 10	ČR	17 433,918	Zlínský kraj	974,989

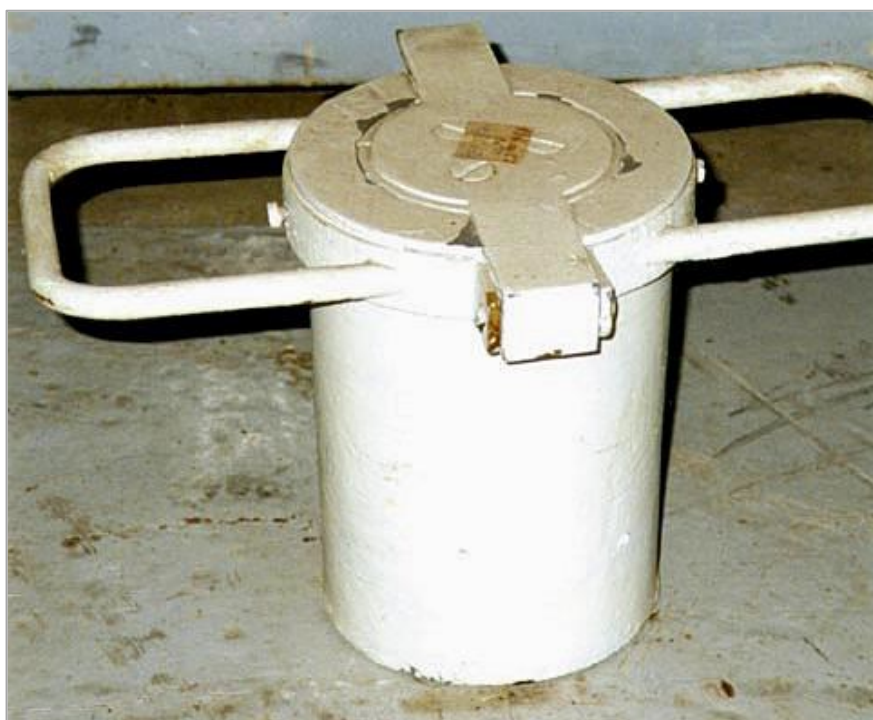
Dále je ze shromážděných dat zřejmé (graf 2), že ve Zlínském kraji byl v roce 2017 výrazněji překročen celorepublikový průměr na občana u produkce odpadu, deklarovaného jako neželezné kovy. [16]



Graf 2 - Podíl typu kovového odpadu ČR / Zlínský kraj [16]

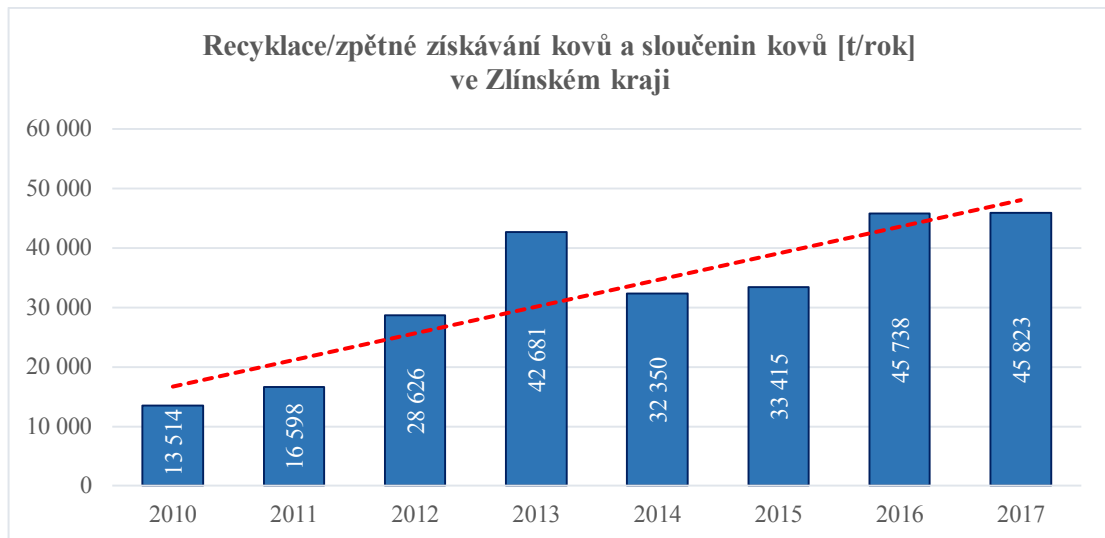
Nejvíce pravděpodobný výskyt opuštěného ZIZ lze předpokládat jak ve skupinách odpadů s nejvyšší produkcí 17 04 05 (železo a ocel) a 16 01 17 (železné kovy), tak v neželezných (16 01 18) či směsných kovech (17 04 07). Vyšší měrou výskytu ZIZ je ohrožena také skupina odpadu olovo (17 04 03). Naopak skupiny odpadů, zahrnující lehké kovy, jsou z pohledu kontaminace opuštěným ZIZ relativně bezpečné.

Typické předměty, které se používají pro manipulaci s radioaktivními materiály, pro stínění či usměrnění ionizujícího záření, jako jsou manipulátory, cihličky anebo kolimátory, se vyrábějí z olova, ochuzeného uranu, wolframu a jiných těžkých kovů. Stejně tak mohou z identického důvodu překvapit svou vysokou hmotností i pracovní kontejnery a ochranné kryty měřidel. Např. kontejner typu Chirana 392, používaný v minulosti pro přepravu lékařských ZIZ, při své výšce 26 cm váží 42 kg (obr. 3). Výjimku ovšem tvoří stínění používaná pro neutronové ZIZ, která jsou naopak vzhledem ke své velikosti překvapivě lehká. [3]



Obr. 3 – Přetřený kontejner Chirana 392 bez varovných symbolů [3]

I přes jistý pokles v letech 2014-2015, který mohl být způsoben novelizací vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, a zavedením pouze bezhotovostní formy výkupu kovových odpadů, se množství recyklovaných kovů ve Zlínském kraji v průběhu let 2010-2017 více než ztrojnásobilo (graf 3). [16]



Graf 3 - Vývoj recyklace kovů ve Zlínském kraji [16]

Produkce a množství recyklovaného kovového odpadu ve Zlínském kraji narůstá. Skladba šrotu zahrnuje ve vysokém podílu takové skupiny odpadů, které mohou obsahovat amortizační občanský odpad, u něhož existuje vzhledem k absenci dozoru vyšší riziko výskytu opuštěného ZIZ. Co se týče celkových souhrnů, v průměru by každý občan Zlínského kraje musel v roce 2017 zrecyklovat téměř 80 kg kovů, což otevírá otázku, zda je veškerý kovový odpad i v současnosti legálního původu. Vzhledem k blízkosti státní hranice se Slovenskou republikou může být sběrnami vykupován také kovový odpad pocházející ze zahraničí.

Během čtvrté bezpečnostní akce „Blue 24“ zkontrolovali v březnu 2017 pracovníci České inspekce životního prostředí (dále jen „ČIŽP“) celkem 31 sběren v pěti krajích, přičemž porušení zákona bylo zjištěno téměř u poloviny z nich. Mezi zjištěná pochybení patřilo například provozování zařízení k výkupu odpadů bez platného souhlasu příslušného krajského úřadu, nebyla prováděna identifikace předávajících osob a přijímané odpady nebyly správně zařazovány dle Katalogu odpadů. [17]

Nezodpovědné jednání provozovatelů zařízení významně zvyšuje riziko kontaminace šrotu opuštěným ZIZ. Z výroční zprávy ČIŽP navíc plyne, že v oblasti odpadového hospodářství, jakožto jedné ze šesti sledovaných, byla za rok 2017 uložena více než jedna třetina z celkového počtu udělených pokut. [18]

7 TYPOLOGIE ZAŘÍZENÍ URČENÝCH PRO SHROMAŽĎOVÁNÍ KOVOVÉHO ŠROTU

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v platném znění (dále jen „zákon o odpadech“) rozlišuje dvě zásadní kategorie zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu odpadů (dále jen „zařízení“):

- zařízení, které lze provozovat pouze na základě rozhodnutí krajského úřadu, kterým je udělen souhlas k provozování tohoto zařízení a s jeho provozním řádem (§ 14, odst. 1, zákona o odpadech),
- zařízení, k jejichž provozu není požadován výše uvedený souhlas (§ 14, odst. 2, zákona o odpadech). [19]

Dále je nutno vzít v potaz, že zákon o odpadech v ustanovení § 33b, odst. 1, písm. a) sice definuje pojem „malé zařízení“, které se ovšem vztahuje výlučně k provozovatelům zařízení ke sběru, výkupu nebo využívání biologicky rozložitelných odpadů, a nijak nekoresponduje s pojmem „malé zařízení“ používaným v metodice SÚJB pro členění stacionárních zařízení, zabývajících se výkupem a shromažďováním směsného kovového materiálu.

Co se týče sběrných dvorů, které bývají k dispozici pro občany v obcích, z pohledu kategorizace je rozhodující účel takového zařízení. Jsou-li sběrné dvory provozovány obcemi pouze pro potřeby občanů obce a je-li tento sběrný dvůr ustanoven prostřednictvím obecně závazné vyhlášky obce, pak zařízení nemusí mít souhlas dle § 14 odst. 1 zákona o odpadech. V případě, že sběrný dvůr slouží také pro potřeby podnikatelských subjektů či jiných obcí, nebo je zde nakládáno s odpady jiných katalogových čísel než skupiny č. 20 podle Katalogu odpadů, je požadován souhlas k provozu dle § 14 odst. 1 zákona o odpadech. [20]

V případě menších obcí bývá ve spádové oblasti zřízeno i tzv. „sběrné místo“. Sběrná místa se liší od sběrných dvorů zpravidla jednodušším administrativním režimem, neboť v nich obce přijímají pouze omezené množství druhů odpadů a slouží výhradně pro obyvatele příslušné obce. Pojem však není v legislativě odpadového hospodářství vymezen. [21]

Dle způsobu umístění a technických požadavků se rozdělují zařízení na:

- stacionární,
- mobilní (§ 3, vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění).

Veřejná databáze Informačního systému odpadového hospodářství dále rozlišuje zařízení dle charakteru provozovaných činností na několik skupin, přičemž směsný kovový materiál se může vyskytnout u:

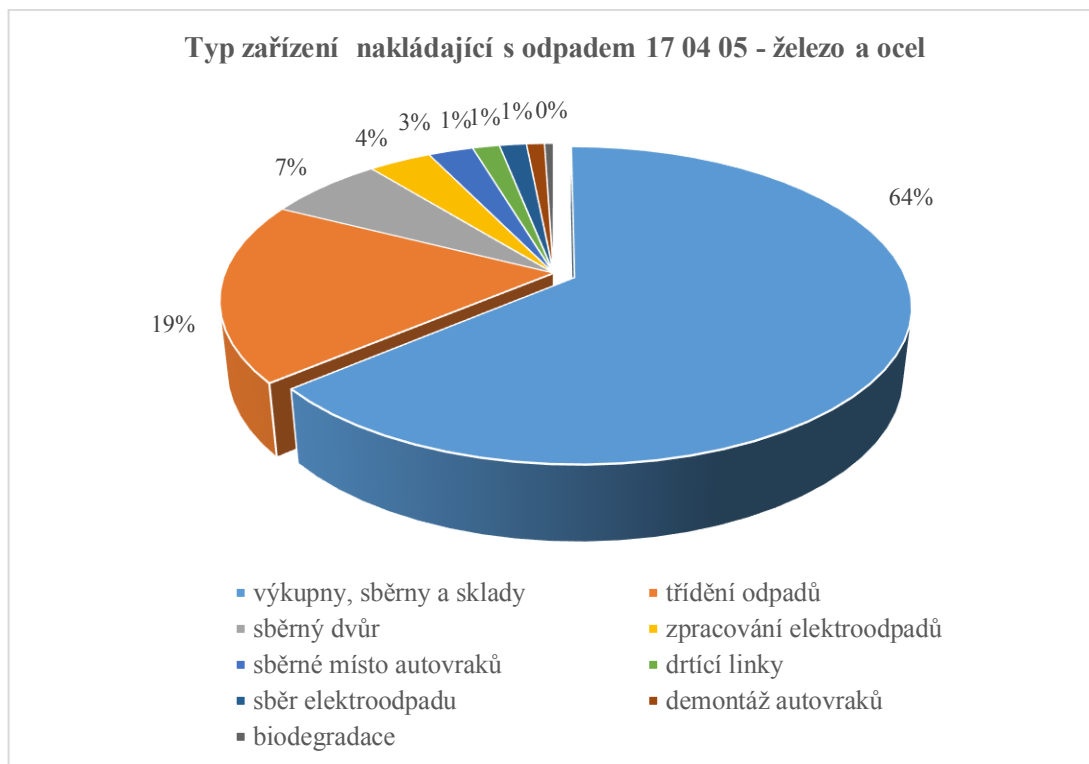
- autovrakovišť (demontáž autovraků),
- sběrných míst autovraků,
- sběren elektroodpadů,
- zpracování elektroodpadů,
- sběrných dvorů,
- skládek odpadů,
- třídíren odpadů,
- drtících linek,
- výkupu, sběren a skladů odpadů oprávněných osob. [16]

Ve Zlínském kraji bylo ke dni 7. ledna 2019 v provozu celkem 161 zařízení, která nakládala s odpadem 17 04 05 – železo a ocel. S železnými kovy, pocházejícími z autovraků nakládalo 120 zařízení. Nejmenší počet zařízení nakládal s kovovým odpadem, který byl znečištěn nebezpečnými látkami (tab. 3). [16]

Tab. 3 - Počet zařízení podle přijímaného odpadu [16]

Kód odpadu	Název odpadu	Počet zařízení
17 04 05	Železo a ocel	161
17 04 02	Hliník	147
17 04 01	Měď, bronz, mosaz	146
17 04 11	Kabely neuvedené jako 170410	146
17 04 07	Směsné kovy	141
17 04 04	Zinek	129
17 04 06	Cín	128
17 04 03	Olovo	126
16 01 17	Železné kovy	120
16 01 18	Neželezné kovy	117
17 04 10	Kabely obsahující ropné látky, uhelný dehet a jiné nebezpečné látky	26
17 04 09	Kovový odpad znečištěný nebezpečnými látkami	26

S nejvíce produkovaným odpadem 17 04 05 nakládaly téměř ze dvou třetin výkupny, sběrné a sklady odpadů oprávněných osob, 19 % zařízení představovaly třídírny odpadů a 7 % tvořily sběrné dvory (graf 4).



Graf 4 - Typ zařízení nakládajícího s odpadem 17 04 05 [16]

S amortizačním občanským kovovým odpadem takových druhů, u nichž lze s nejvyšší pravděpodobností předpokládat výskyt opuštěných ZIZ, nakládá ve Zlínském kraji více než 150 stacionárních zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu odpadů. U všech těchto zařízení je jejich provoz podmíněn rozhodnutím krajského úřadu podle § 14, odst. 1, zákona o odpadech. Nejvyšší měrou jsou typově zastoupeny výkupny, sběrný a sklady oprávněných osob, provozy určené ke třídění odpadů a sběrné dvory.

8 SOUČASNÝ STAV REŽIMOVÉ OCHRANY PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM Z OPUŠTĚNÝCH ZDROJŮ

Na základě zpracované rešerše v teoretické části, předchozích analýz produkce kovového odpadu a typologie zařízení určených pro shromažďování kovového šrotu byla vyčleněna cílová skupina zařízení, u níž byl zjišťován současný stav opatření režimové ochrany před ionizujícím zářením ze ZIZ. Tuto skupinu představovaly výkupny a sběrný kovového odpadu včetně sběrných dvorů, jejichž provoz je podmíněn rozhodnutím Krajského úřadu Zlínského kraje, a u kterých se předpokládá, že současně splňují definici „malého“ zařízení podle metodiky SÚJB. Výzkum byl proveden celkem na 32 stacionárních zařízeních umístěných ve Zlínském kraji, které byly zajištěny systematickým výběrem z cílové skupiny zařízení tak, aby plošné rozmístění respondentů na území kraje bylo dostatečně reprezentativní.

Informace, zjišťované v rámci výzkumu, byly definovány jako snaha kvantifikovat:

- subjektivní názor provozovatele na rozsah požadavků AZ,
- používané metody detekce opuštěných ZIZ,
- plánované metody detekce opuštěných ZIZ,
- počet záchyťů opuštěných ZIZ v minulosti,
- pokud k takovému záchyťu došlo, tak realizovaná metoda jeho detekce,
- četnost prováděných školení obsluhy v problematice opuštěných ZIZ,
- rozsah vztažené provozní dokumentace na pracovišti,
- začlenění nálezu/záchyťu opuštěného ZIZ do ustanovení provozního řádu.

8.1 Prezentace výsledků dotazování

Na portálu <https://my.survio.com> autor vytvořil elektronický dotazník, který byl rozeslán všem vytipovaným respondentům prostřednictvím elektronické pošty, povětšinou na adresy sídel příslušných provozovatelů. Jeho návratnost však nedosáhla ani 10 %, a proto bylo přistoupeno k ústnímu terénnímu dotazování v kombinaci se zjevným pozorováním přímo na provozovnách. Individuální rozhovory byly vedeny s přítomnou obsluhou jakožto polostrukturované, přičemž návod tvořil již vytvořený standardizovaný dotazník s polootevřenými otázkami. Obdržené odpovědi byly zařazeny do jedné ze čtyř předem připravených variant podle převládajícího kontextu (tab. 4), včetně otázky první, která se sice vztahuje k názorům a obsahově naplňuje znaky kvalitativního výzkumu, nicméně generalizovaný výstup lze také kvantifikovat.

Tab. 4 - Výsledky dotazníkového šetření [vlastní]

Poř. č.	Dotaz	Odpověď 1	Odpověď 2	Odpověď 3	Odpověď 4
1	Požadavky atomového zákona na sběrný kovového šrotu...	chápeme jako nezbytné a žádoucí v plném rozsahu	akceptujeme, ale s rozsahem povinností nesouhlasíme	považujeme pro náš typ provozu za naprosto neadekvátní	jiná odpověď
		12	14	4	2
2	Pro detekci případného výskytu radioaktivity ve šrotu...	používáme radiační portálový monitor	používáme přenosný dozimetrický přístroj	kontrolu provádí externí firma	žádné zařízení dosud nepoužíváme
		0	11	0	21
3	V oblasti detekce do budoucna uvažujeme o...	pořízení radiačního portálového monitoru	pořízení přenosného dozimetrického přístroje	zajištění kontroly externí firmou	jiným způsobu
		0	7	0	25
4	V našem zařízení v minulosti k záchytu opuštěného ZIZ...	již došlo	nikdy nedošlo	došlo až u následného zpracovatele	nevím, nemám informace
		4	21	0	7
5	Tento záchyt byl realizován...	pomocí radiačního portálového monitoru	pomocí přenosného dozimetrického přístroje	vizuálním rozpoznáním	nevzpomínám si
		0	2	1	1
6	Školení zaměstnanců o rozpoznání opuštěných ZIZ...	pravidelně provádíme svépomocí	pravidelně provádíme pomocí externí organizace	dosud nebylo na tuto zaměřeno	má jinou náplň
		21	1	9	1
7	Pro obsluhu zařízení je na viditelném místě kromě provozního řádu umístěn...	vnitřní předpis pro činnosti při podezření na nález/záchyt opuštěného ZIZ	informační plakát se základními postupy při zjištění opuštěného ZIZ	alespoň kontakt na regionální centrum SÚJB	žádná dokumentace týkající se postupů při nálezu/záchytu opuštěného ZIZ
		5	7	1	19
8	Provozní řád zařízení nález/záchyt opuštěného ZIZ...	identifikuje jako mimořádný či havarijný stav	řeší částečně	vůbec neřeší	nebylo zjištěno
		8	3	14	7

Necelá polovina dotázaných sice akceptuje požadavky AZ na sběrný kovového šrotu, nicméně nesouhlasí s jejich rozsahem. Zhruba třetina chápe tyto požadavky jako žádoucí v plném rozsahu, naopak obsluha cca každého osmého zařízení je považuje za naprosto neadekvátní vzhledem k rozsahu vykonávaných činností. V jedné třetině provozů používá obsluha ruční detektory (např. typ RT-20 Handy Scint, RadEye PRD), ve zbytku sledovaných zařízení není používán žádný přístroj pro měření dávek ionizujícího záření, přičemž do budoucna uvažuje o pořízení přenosného dozimetrického přístroje zhruba 20 % dotázaných.

Na otázku č. 3 převládaly odpovědi, které byly zařazeny do varianty „v oblasti detekce do budoucna uvažujeme o jiném způsobu“, zahrnující povětšinou pasivitu a snahu vyčkat, jak se situace vyvine, zda bude nějaký způsob detekce ze zákona nařízen (novelizace zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech), a setrvání u vizuální kontroly. V minulosti již došlo k záchytům opuštěných ZIZ ve čtyřech sledovaných zařízeních (12,5 %), dva případy odhalily ruční dozimetry, jeden ZIZ byl určen vizuálním rozpoznáním a v jednom případě si obsluha nevzpomínala na způsob záchytu. Více než dvě třetiny zařízení realizují školení zaměstnanců svépomocí, necelá třetina zařízení svou obsluhu na téma rozpoznání opuštěných ZIZ pravidelně neškolí. U téměř 60 % sledovaných zařízení nebyla na viditelném místě nalezena žádná dokumentace pro řízení činností při podezření na nález/záchyt opuštěného ZIZ. Obsluha necelé poloviny sledovaných zařízení uvedla, že nález/záchyt opuštěného ZIZ není žádným způsobem řešen v rámci provozního řádu zařízení, zhruba u pětiny dotázaných nebylo tazateli umožněno nahlédnout do provozního řádu.

8.2 Interpretace výsledků dotazování

Režimová ochrana před ionizujícím zářením z opuštěných zdrojů je na úrovni technických opatření v „malých“ zařízeních ve Zlínském kraji realizována maximálně prostřednictvím ručních přenosných dozimetrických přístrojů. Existuje šance, že v budoucnu bude ručními dozimetry vybavena obsluha zhruba poloviny zařízení, což je pozitivní zjištění, neboť minimálně polovina záchytů byla v minulosti detekována právě pomocí těchto zařízení.

Personál neproškolený v problematice opuštěných ZIZ, převládající absence provozní dokumentace na pracovištích, která stanoví postupy při nálezů či záchytu opuštěného ZIZ a nezakomponování reakce na tyto havarijní stavy do provozního řádu zařízení zvyšuje zranitelnost organizace a snižuje schopnost zabránit iniciaci vzniku negativního jevu.

Na poli zajištění pravidelných kontrol, školení obsluhy a zpracování provozní dokumentace o opatřeních při nálezů či záchytu opuštěného ZIZ se otevírá prostor pro externí služby, které jsou v současnosti využívány naprosto minimálně.

Autor konstatuje, že úroveň implementace požadavků plynoucích z ustanovení § 91 AZ v „malých“ zařízeních ve Zlínském kraji, která byla předmětem výzkumu, je nedostatečná především na úrovni režimových organizačních opatření.

9 POSOUZENÍ RIZIK NEZAJIŠTĚNÍ VČASNÉHO ZÁCHYTU OPUŠTĚNÉHO ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Každou kauzální závislost vzniku negativního jevu lze popsat jako posloupnost na sebe navazujících stavů systému v tomto pořadí: nebezpečí → ohrožení → iniciace → poškození → škoda. Nebezpečí představuje statickou vlastnost objektu systému, která se může v určitém prostoru a čase aktivovat. Ohrožení je stav, kdy dochází k aktivaci vlastnosti, která je schopna negativní jev způsobit. Během iniciace dochází ke vzniku impulzu, jež může porušit rovnováhu systému. Poškození je stav, ve kterém dochází k postupné změně vlastností objektu. Může, ale nemusí vést ke škodě. Škoda pak představuje nevratné poškození zdraví, vyrobení vadné produkce či ztrátu funkčnosti technologických celků. [22]

V řešené problematice autor definuje stavy systému jako jednotlivé fáze a důsledky potenciálního prostupu opuštěného ZIZ skrze systém recyklace šrotu (tab. 5).

Tab. 5 - Popis stavů v kauzální závislosti vzniku negativního jevu [vlastní]

Stav	Popis
Nebezpečí	Ionizující záření, které je emitováno opuštěným zdrojem
Ohrožení	Opuštěný zdroj ionizujícího záření je předáván do systému recyklace šrotu
Iniciace	Opuštěný zdroj ionizujícího záření je převzat do systému recyklace šrotu
Poškození	Poškození zdraví člověka
	Kontaminace šrotu, manipulačních a transportních prostředků
	Kontaminace životního prostředí
Škoda	Nevratné poškození zdraví člověka, smrt
	Kontaminace tavby
	Kontaminace hotových výrobků

V současné době jsou efektivní technická opatření z důvodu vysoké finanční náročnosti přijímána většinou až na vstupech do hutních závodů. Snižuje se tím však pouze riziko přestupu negativního jevu ze stavu poškození do fáze škody. Zásadní moment porušení rovnováhy systému ale spočívá již ve fázi iniciace, tedy nezajištění včasného záchytu opuštěného ZIZ na vstupu do prvního zařízení v celém systému recyklace. Proto přistoupil autor nejprve k vyhodnocení příčin selhání systému režimové ochrany v těchto zařízeních. V dalším kroku jsou posouzena rizika ohrožení zdraví člověka a rozsah zasažení dotčených pracovníků ionizujícím zářením je demonstrován na modelu, který využívá expoziční scénáře ze specializovaného softwaru.

9.1 Příčiny selhání systému režimové ochrany

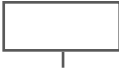

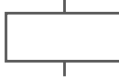



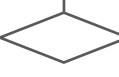



Analýza stromu poruchových stavů (dále jen „FTA“) se zabývá identifikací podmínek a faktorů, které způsobují nebo mohou způsobit, příp. přispívají k výskytu specifikované vrcholové události. Vrcholová událost je výstup kombinací všech vstupních událostí a představuje předmět zájmu, pod kterým se rozvíjí strom poruchových stavů. Na dalších úrovních se postupně dedukují výchozí mezilehlé události, přičemž na nejnižší úrovni se nacházejí události základní nebo již dále nerozvíjené události. Pro zobrazení symbolické vazby mezi výstupní událostí a odpovídajícími vstupními událostmi se používají hradla:

- OR – logický součet: výstupní událost nastane, jestliže nastane jakákoli ze vstupních událostí,
- AND – logický součin: výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nastanou všechny vstupní události,
- INHIBIT – blokování: výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nastanou obě vstupní události, z nichž jedna je podmínková,
- NOT – negace: výstupní událost nastane pouze tehdy, jestliže nenastane vstupní událost,

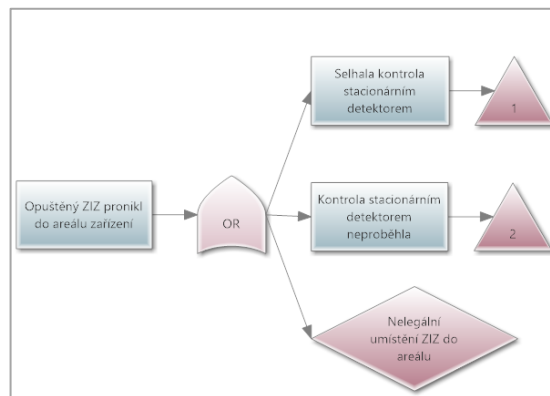
a další. [23]

Události, hradla, transfery a jiné prvky se zobrazují ve stromu příslušnými propojenými grafickými symboly (tab. 6).

Tab. 6 - Symboly používané při FTA [23]

Značka	Popis	Značka	Popis
	vrcholová událost		hradlo AND
	mezilehlá událost		hradlo OR
	základní událost		hradlo INHIBIT
	nerozvíjená událost		podmínka
	přenos na jiné místo		přenos z jiného místa

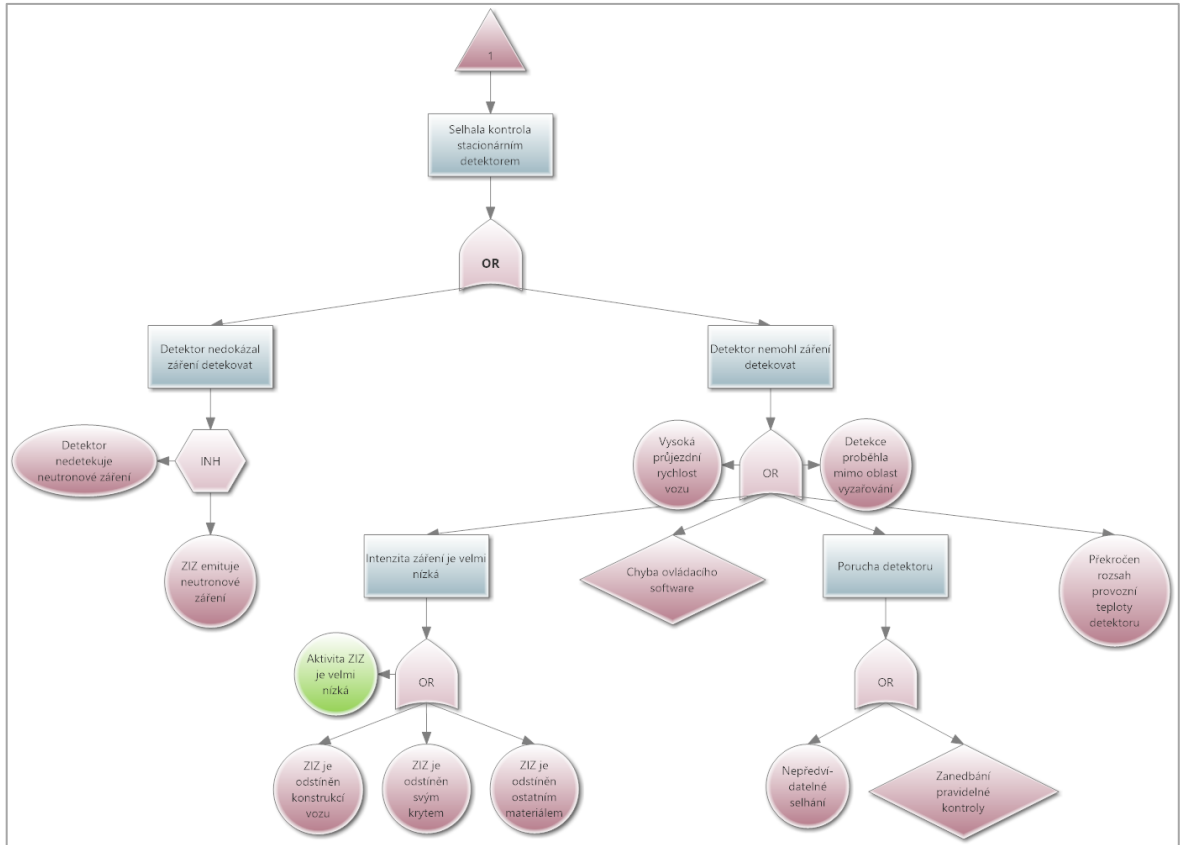
Vyšetřovaný nežádoucí jev představuje selhání systému režimové ochrany zařízení pro shromažďování kovového šrotu, ať už na úrovni opatření technické povahy nebo organizačních opatření, jehož důsledek tvoří vrcholovou událost FTA - průnik opuštěného ZIZ do areálu zařízení (obr. 4). Na první úrovni mezilehlých událostí se kromě selhání či neprovedení kontroly radiačním portálovým monitorem (stacionárním detektorem) uvažuje také již dále nerozvíjená událost, kdy byl ZIZ umístěn do areálu nelegálně bez vědomí provozovatele, např. mimo provozní dobu zařízení, úmyslným propašováním v jiném typu odpadu apod.



Obr. 4 - FTA - vrcholová událost [vlastní]

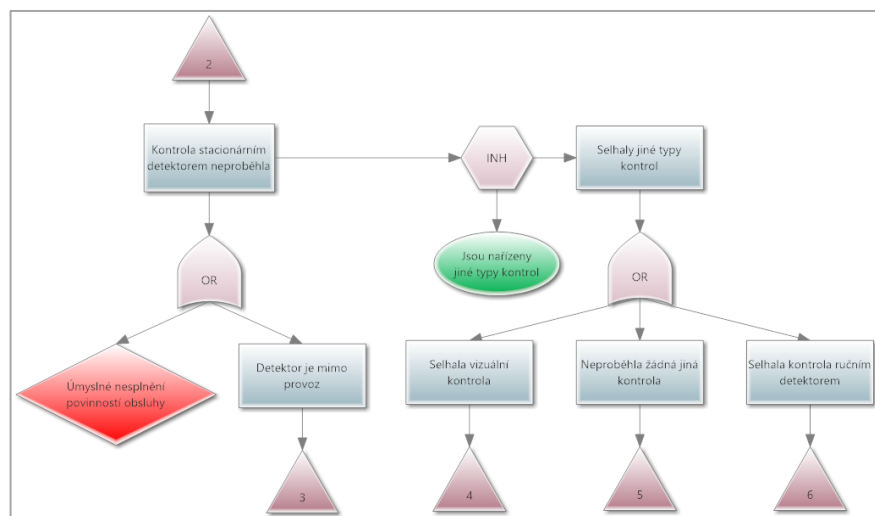
Na další úrovni byly identifikovány dvě zásadní vstupní události, které mohou způsobit selhání kontroly stacionárním detektorem. Portálový monitor buďto nemůže ionizující záření detekovat, anebo jej detekovat nedokáže z důvodu svých omezených technických možností, např. v případě, kdy do sestavy nejsou zakomponovány taktéž detektory neutronového záření. Většina konvenčních portálových monitorů je navržena pouze pro detekci γ záření. Bude-li zásilka šrotu obsahovat neutronové zdroje na bázi zářičů $^{241}\text{AmBe}(\alpha, \text{N})$ nebo $^{238}\text{PuBe}(\alpha, \text{N})$, které jsou používány např. v sondách pro měření vlhkosti půdy, nemusí být takové ZIZ vůbec odhaleny.

Nemožnost detekovat ionizující záření portálovým radiačním monitorem může být způsobena různými negativními faktory, které mohou generovat všechny zúčastněné objekty: samotný detektor, vozidlo, náklad, ovládací software a obsluha. Průjezdní rychlost vozidla detekční branou vyšší než 5 km/h, teplota okolního prostředí mimo rozsah provozní teploty detektoru (především mráz pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), zanedbání pravidelné kontroly zařízení či pomalé nabíhání operačního systému po výpadku počítače, který má nainstalován ovládací software, to vše může způsobit průnik ZIZ skrze detektory. Vyšetřeny byly také možné způsoby odstínění ZIZ v ložném prostoru vozidla (obr. 5). Uvažována byla i specifická základní událost, kdy je aktivita ZIZ tak nízká, že jeho nezachycení představuje zanedbatelné riziko.



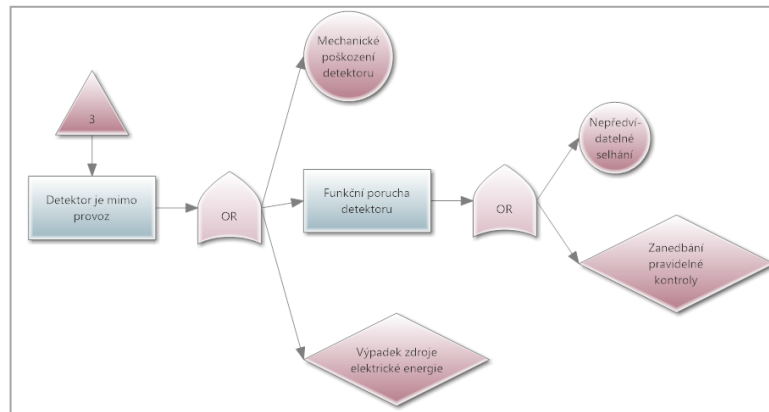
Obr. 5 - FTA - transfer 1 [vlastní]

V případě, že kontrola stacionárním detektorem neproběhla, ač je na vstupu do zařízení nainstalován, může se jednat o úmyslné porušení pracovních povinností obsluhy, která buďto ignorovala stav detektoru mimo provoz anebo nevěnovala pozornost projíždějícímu vozidlu. Není-li portálový monitor nainstalován, analýza na dalších úrovních vyšetřuje příčiny selhání jiných typů nařízených kontrol (obr. 6).



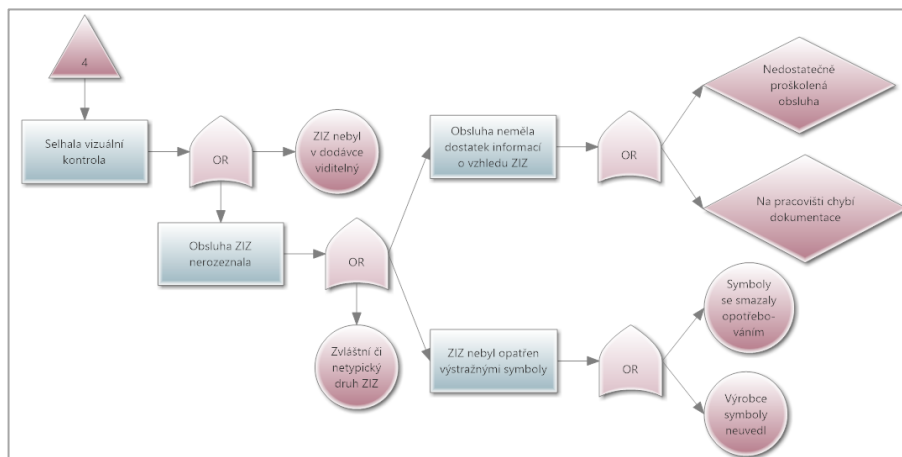
Obr. 6 - FTA - transfer 2 [vlastní]

Stav detektoru mimo provoz může být způsoben výpadkem zdroje elektrické energie včetně záložního systému, mechanickým poškozením čidel nebo kabeláže, příp. jinou funkční poruchou, která vznikla jako důsledek zanedbání pravidelné kontroly či nepředvídatelného selhání (obr. 7).



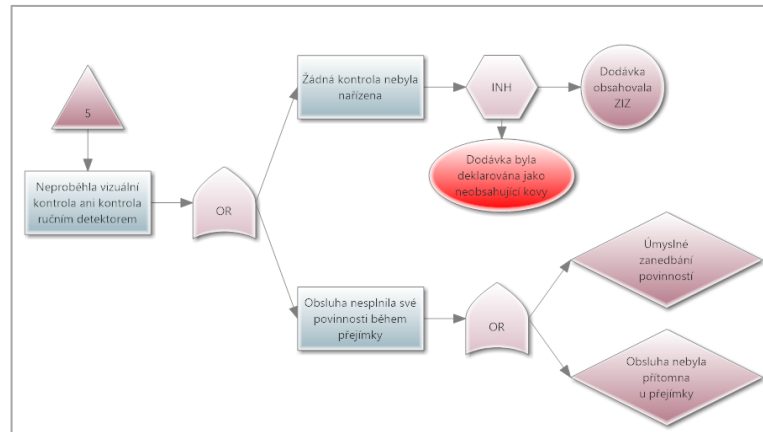
Obr. 7 - FTA - transfer 3 [vlastní]

Selhání vizuální kontroly mohou předcházet dva zásadní vstupy: obsluha buďto vůbec v dodávce ZIZ neviděla, anebo předmět zaregistrovala, nicméně neurčila jej jako potenciálně nebezpečný ZIZ (obr. 8). Analýza příčin nerozeznání ZIZ odhalila možné nedostatky v oblasti označení ZIZ výstražnými symboly, dostupnosti dokumentace a školení obsluhy.



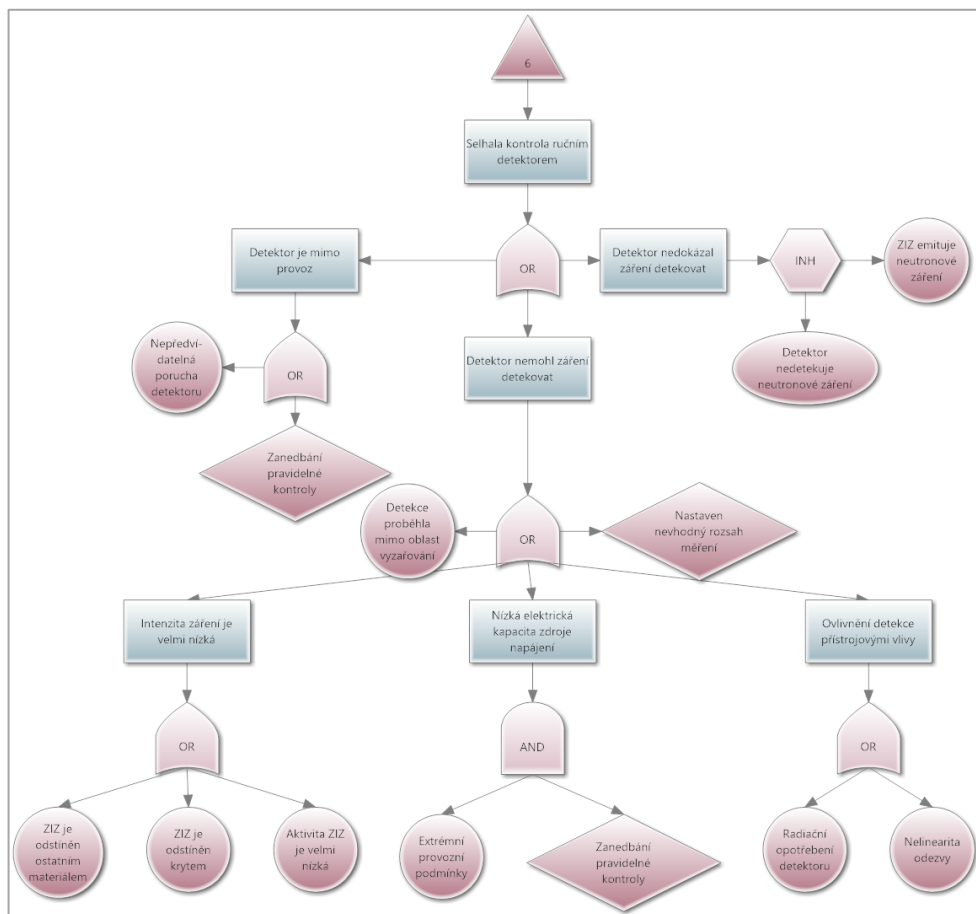
Obr. 8 - FTA - transfer 4 [vlastní]

Pokud na vstupu do zařízení bez instalovaného portálového monitoru neproběhla ani vizuální kontrola, ani kontrola ručním detektorem, může se opět jednat o úmyslné či nedbalostní jednání obsluhy, ale také o případ, kdy žádná kontrola nařízena nebyla. Taková mezilehlá událost může nastat, jestliže byla dodávka deklarována jako neobsahující kovy. Při běžné přejímce by tak mohl ZIZ snadno uniknout pozornosti obsluhy (obr. 9).



Obr. 9 - FTA - transfer 5 [vlastní]

Možné příčiny selhání kontroly ručním detektorem byly vyšetřovány na úrovních fatální poruchy zařízení, neschopnosti přístroje detekovat záření z důvodu jeho omezených technických možností a nemožnosti detekovat záření z různých příčin, zahrnujících možné způsoby odstínění ZIZ, ovlivnění detekce přístrojovými vlivy, nastavení nevhodného měřicího rozsahu a další (obr. 10).



Obr. 10 - FTA - transfer 6 [vlastní]

Za účelem identifikace všech rozumně možných kombinací chyb lidského faktoru a poruch aktivních či pasivních prvků systému byl sestaven seznam základních a dále nerozvíjených událostí (tab. 7) a definovány pojmy, které charakterizují strom poruchových stavů:

- kritický řez – konečná množina základních, dále nerozvíjených či jinde analyzovaných událostí, která, nastane-li současně, vede ke vzniku vrcholové události,
- minimální kritický řez – konečná množina elementárních událostí, která je sama kritickým řezem, ale současně žádná její vlastní podmnožina kritickým řezem není. [23]

Tab. 7 - Seznam základních a dále nerozvíjených událostí [vlastní]

Značka	Popis události	Četnost	Typ *	Značka	Popis události	Četnost	Typ *
Q	Zanedbání pravidelné kontroly	4	L	Y	Na pracovišti chybí operativní dokumentace	1	L
P	Nepředvídatelné selhání	3	A	W	Nastaven nevhodný rozsah měření	1	L
L	Aktivita ZIZ je velmi nízká	2	-	X	Nedostatečně proškolená obsluha	1	L
G	Detekce proběhla mimo oblast vyzařování	2	L	A	Nelegální umístění ZIZ do areálu	1	L
D	Detektor nedetekuje neutronové záření	2	A	AD	Nelinearita odezvy	1	A
B	Úmyslné zanedbání povinností obsluhy	2	L	V	Obsluha nebyla přítomna u přejímky	1	L
E	ZIZ emituje neutronové záření	2	-	I	Překročen rozsah provozní teploty detektoru	1	P
O	ZIZ je odstíněn ostatním materiálem	2	P	AC	Radiační opotřebení detektoru	1	A
N	ZIZ je odstíněn svým krytem	2	P	Z	Symboly se smazaly opotřebením	1	P
T	Dodávka byla deklarována jako neobsahující kovy	1	L	J	Výpadek zdroje elektrické energie	1	P
U	Dodávka obsahovala ZIZ	1	P	AA	Výrobce symboly neuvedl	1	L
AB	Extrémní provozní podmínky	1	P	F	Vysoká průjezdni rychlost vozu	1	L
H	Chyba ovládacího software	1	A	M	ZIZ je odstíněn konstrukcí vozu	1	P
C	Jsou nařízeny jiné typy kontrol	1	-	R	ZIZ nebyl v dodávce viditelný	1	P
K	Mechanické poškození detektoru	1	A	S	Zvláštní či netypický druh ZIZ	1	P

* L = chyba lidského faktoru, A = porucha aktivního prvku, P = porucha pasivního prvku

Kompletní strom poruchových stavů byl přepsán do grafické podoby tak, že vrcholová událost byla označena jako G_0 , jednotlivé mezilehlé události G_1, G_2, \dots, G_{23} a základní či dále nerozvíjené události jako A, B, \dots, AD . Identické elementární události byly označeny stejnou značkou, což umožnilo vyjádřit četnost jejich výskytu. Hradla logických součtů pak představují operaci sjednocení a hradla logických součinů průnik (příloha P I).

Pro nalezení úplné množiny minimálních kritických řezů (dále jen „MKR“) byla využita Booleovská redukce, která je založena na jevovém popisu logických vazeb zobrazených

ve stromu poruch. Nejprve byla vyjádřena vrcholová událost G_0 jako kombinace bezprostřední příčiny, která ji může způsobit, a podmiňujících mezilehlých událostí (1). Místo symbolů pro průnik a sjednocení byla použita znaménka „krát“ a „plus“:

$$G_0 = A + G_1 + G_2 \quad (1)$$

Do rovnice pak byly postupně dosazovány za mezilehlé události G_1, G_2, \dots, G_{23} kombinace jejich bezprostředních příčin, dokud nebyl logický výraz tvořen pouze základními či dále nerozvíjenými událostmi (2):

$$\begin{aligned} G_0 = & A + D.E + F + G + H + I + L + M + N + O + P + Q + \\ & + B + J + K + C(R + S + X + Y + Z + AA + T.U + B + V + \\ & + P + Q + D.E + G + W + O + N + L + AB.Q + AC + AD) \end{aligned} \quad (2)$$

Po zjednodušení výsledného výrazu s využitím principu sjednocení jevů byla sestavena množina MKR (3):

$$\begin{aligned} \sum MKR = & \{A\}, \{B\}, \{F\}, \{G\}, \{H\}, \{I\}, \{J\}, \{K\}, \{L\}, \{M\}, \{N\}, \\ & \{O\}, \{P\}, \{Q\}, \{D, E\}, \{C, R\}, \{C, S\}, \{C, V\}, \{C, W\}, \{C, X\}, \{C, Y\}, \\ & \{C, Z\}, \{C, AA\}, \{C, AC\}, \{C, AD\}, \{C, T, U\} \end{aligned} \quad (3)$$

Závažnost každého MKR vyjadřuje počet elementárních jevů řezu, tzv. řád řezu. MKR prvního řádu jsou obvykle kritičtější (závažnější) než řezy druhého nebo vyšších řádů. Máme-li řez, sestávající pouze z jednoho elementárního jevu, potom vrcholová událost může nastat již tehdy, nastane-li samostatně tento jediný elementární jev. Sestává-li MKR ze dvou či více elementárních jevů, potom i vrcholová událost nastane až tehdy, nastoupí-li současně všechny jevy řezu současně, tedy dojde-li k jejich průniku. [25]

Zjištěná množina MKR obsahuje čtrnáct řezů prvního řádu, jedenáct řezů druhého řádu a jeden řez třetího řádu. Lze tedy konstatovat, že vrcholovou událost v provozu s nainstalovaným radiačním portálovým monitorem může v 53,8 % případů způsobit výskyt jediné základní události. V zařízeních bez stacionárního detektoru na vstupu může být vrcholová událost způsobena jedinou elementární příčinou až v 91 % případů.

Dalším kritériem kvalitativního posouzení závažnosti MKR je typ uvažovaných elementárních jevů. Obecně můžeme elementární jevy podle jejich typu uspořádat s ohledem na závažnost jejich důsledků a četnost výskytu do pořadí, které je založeno na zkušenosti,

že chyby lidského faktoru se vyskytují častěji než poruchy aktivních prvků a že aktivní prvky jsou náchylnější ke vzniku poruch než prvky pasivní. [25]

Závažnost MKR podle typu příčiny selhání byla vyhodnocena i s ohledem na četnost výskytu společné příčiny. Mezi nejkritičtější možné elementární příčiny průniku opuštěného ZIZ do areálu zařízení lze zařadit zanedbání pravidelné kontroly detektoru, jeho nepředvídatelné selhání, zanedbání povinností obsluhy, detekci provedenou mimo oblast vyzařování ionizujícího záření, odstínění záření krytem zdroje či ostatním materiálem a obecně neschopnost detekovat měřicím přístrojem druh emitovaného ionizujícího záření. Do skupiny závažných příčin byla zařazena také možná selhání lidského faktoru v MKR prvního řádu (tab. 8).

Tab. 8 - Vyhodnocení závažnosti MKR [vlastní]

Pořadí	Značka	Popis události	Četnost	Typ
1	Q	Zanedbání pravidelné kontroly detektoru	4	L
2	P	Nepředvídatelné selhání detektoru	3	A
3	G	Detekce proběhla mimo oblast vyzařování	2	L
4	B	Úmyslné zanedbání povinností obsluhy	2	L
5	D	Detektor nedetekuje neutronové záření	2	A
6	O	ZIZ je odstíněn ostatním materiálem	2	P
7	N	ZIZ je odstíněn svým krytem	2	P
8	Y	Na pracovišti chybí operativní dokumentace	1	L
9	W	Nastaven nevhodný rozsah měření	1	L
10	X	Nedostatečně proškolená obsluha	1	L
11	A	Nelegální umístění ZIZ do areálu	1	L
12	V	Obsluha nebyla přítomna u přejímky	1	L
13	AA	Výrobce neoznačil ZIZ výstražnými symboly	1	L
14	F	Vysoká průjezdní rychlost vozu	1	L

Provedená FTA jednoznačně potvrdila, že úroveň technických opatření a vybavení detekčními prostředky významně snižuje zranitelnost vyšetřovaného systému. Nejzávažnější možné příčiny selhání systému režimové ochrany v zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu jsou téměř ze tří čtvrtin tvořeny chybami lidského faktoru a jsou důsledkem úmyslného či nedbalostního jednání obsluhy a nedostatečného proškolení v oblastech kontrol měřicích prostředků, zásad jejich správného používání a vizuální identifikace potenciálně nebezpečných předmětů.

9.2 Rizika ohrožení zdraví člověka

Ishikawův diagram je analytická technika pro zobrazení a analýzu příčin a následků. Princip diagramu vychází z jednoduché kauzality - každý následek (problém) má svou příčinu nebo kombinaci příčin. Při řešení problému se pomocí analytických technik systematicky hledají jeho možné příčiny a znázorňují se formou rybí kostry. Příčiny se většinou hledají v několika základních dimenzích:

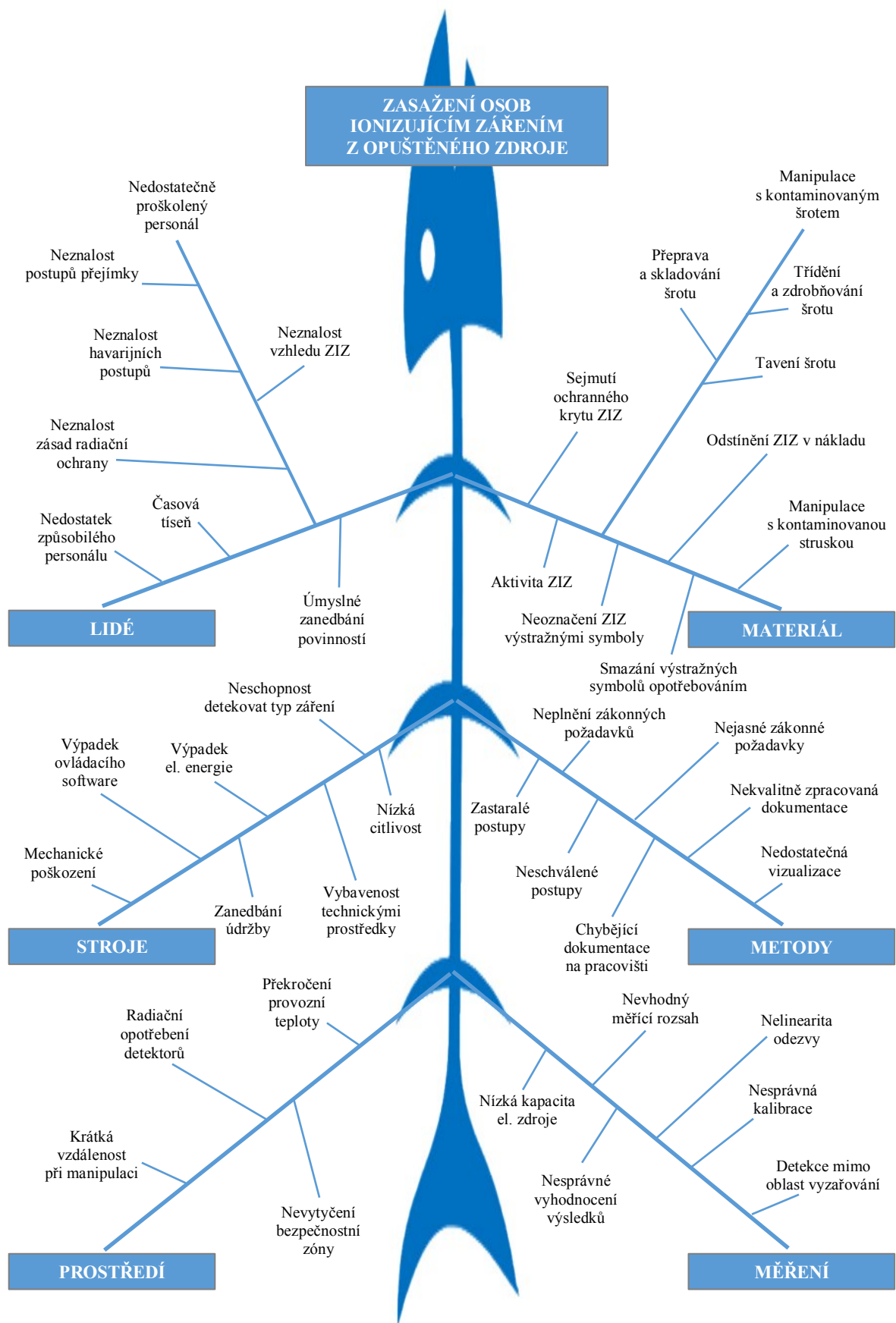
- Man power (Lidé) - příčiny způsobené lidmi,
- Methods (Metody) - příčiny způsobené pravidly, směrnicemi nebo normami,
- Machines (Stroje) - příčiny způsobené zařízeními, jako jsou stroje, počítače, nářadí,
- Materials (Materiál) - příčiny způsobené vadou nebo vlastnostmi materiálů,
- Measurements (Měření) - příčiny způsobené nevhodným nebo nesprávně zvoleným měřením,
- Mother nature (Prostředí) - příčiny způsobené vlivem prostředí, povětrnostními podmínkami či kulturou. [26]

Zdraví člověka je v řešené problematice ohroženo ionizujícím zářením, které emituje opuštěný zdroj. Vyšetřovaným následkem je zasažení osob tímto zářením. Při hledání příčin možné expozice ionizujícímu záření využil autor techniku šesti otázek, vizualizovanou pomocí mentální mapy. Nalezené odpovědi na otázky:

- Co je/není problém?
- Proč problém nastává/nenastává?
- Jak zjistíme, že problém nastal/nenastal?
- Kdy problém nastává/nenastává?
- Kde problém nastává/nenastává?
- Kdo přispívá k příčinám/potlačení problému? [39]

byly podle své povahy následně zařazeny do příslušné dimenze a graficky znázorněny v Ishikawa diagramu (graf 5).

Mezi zásadní příčiny ozáření osob, kromě již identifikovaných kritických příčin v rámci předšlé analýzy FTA, patří v oblasti lidské dimenze nedostatečně proškolený personál na úrovni havarijních postupů a jeho neznalost zásad radiační ochrany. V oblasti materiálu byly určeny další možné příčiny, které plynou z různých činností při manipulaci s kontaminovaným šrotem během celého recyklačního procesu. Dimenze strojů obsahuje příčiny sel-



Graf 5 - Zasažení osob ionizujícím zářením z opuštěného zdroje [vlastní]

hání detekčních prostředků a celkovou úroveň vybavenosti pracoviště technickými prostředky. Do oblasti metod byly zapracovány příčiny plynoucí z nedostatečné kvality dokumentace, její aktuálnosti a legitimacy. V dimenzi prostředí pak dominují příčiny možného ozáření osob z důvodu krátkých vzdáleností od zdroje během ruční manipulace, nevytyčení bezpečnostní zóny při nálezu či záchytu a vlivy prostředí s negativním dopadem na detekci. V oblasti měření byly identifikovány další možné příčiny ozáření plynoucí z nesprávné kalibrace měřicích přístrojů a nesprávného vyhodnocení výsledků měření.

9.3 Model zasažení pracovníků ionizujícím zářením

Model zasažení pracovníků ionizujícím zářením simuluje následky nezachycení opuštěného zdroje – hladinoměru MDN 202 s uzavřeným radionuklidovým zářičem ^{137}Cs o celkové aktivitě 690 MBq a hmotnosti 22 kg (obr. 11), a to jak na vstupu do sběrného zařízení, tak na vstupu do hutí. K takovému záchytu v minulosti skutečně došlo. Jednalo se o ZIZ s nejvyšší hodnotou celkové aktivity, jež byl v tuzemsku zachycen mezi lety 2003–2015. [14]



Obr. 11 - Hladinoměr MDN 202 [3]

9.3.1 Výchozí parametry expozičních scénářů

Individuální efektivní dávka, kterou obdrží každá posuzovaná osoba, se obecně stanovuje jako součet efektivních dávek přes všechny významné expoziční cesty, včetně ozáření od přírodních zdrojů. Expoziční cesty zahrnují zevní ozáření, vnitřní ozáření v důsledku inhalace radionuklidů a vnitřní ozáření v důsledku jejich ingesce. Pro účely posouzení obdržené efektivní dávky v důsledku prováděných činností zohledňuje model pouze externí ozáření.

Během modelování byly použity scénáře ze specializovaného softwaru RESRAD-RECYCLE, určeného k vyhodnocení radiačních expozičních scénářů vyplývajících z činností při recyklaci kontaminovaného šrotu. Software byl vyvinut společností Argonne National Laboratory za podpory Ministerstva energetiky Spojených států amerických (U.S. Department of Energy). Metodika použitá v RESRAD-RECYCLE je podobná metodologii vyvinuté samostatně Komisí pro jadernou regulaci (U.S. Nuclear Regulatory Commission) a Agenturou pro ochranu životního prostředí (U.S. Environmental Protection Agency).

Software identifikuje v průběhu procesu recyklace železného šrotu osm zásadních činností:

- přeprava šrotu,
- nakládka/vykládka šrotu,
- třídění/řezání šrotu,
- tavení vsázky,
- odlévání ingotu,
- manipulace s ingotem,
- přeprava ingotu,
- manipulace se struskou. [27]

Činnosti jako přeprava šrotu, jeho nakládka a vykládka, byly dále upřesněny podle místa jejich výkonu (sběrné zařízení, hutě) a expoziční scénáře byly doplněny o další potenciálně nebezpečné aktivity:

- vážení a ukládání šrotu ve sběrném zařízení,
- dočasné skladování šrotu ve sběrném zařízení/hutích.

V průběhu několika činností bylo zohledněno případné stínění zdroje ionizujícího záření.

Ozáření jedinců, kteří manipulovali se šrotem před jeho přepravou do sběrné, není v modelu řešeno, podobně jako zasažení dalších uživatelů produktů po hutnickém zpracování kontaminovaného šrotu. Během procesu tavení se mohou radionuklidy z kovového šrotu rozdělit do ingotů, strusky a prachových částic, což závisí na chemických vlastnostech radionuklidů, metalurgickém složení kovového šrotu, přítomnosti struskotvorných látek přidávaných do taveniny, teplotě a způsobu tavení (tab. 9). Radionuklidy, které oxidují, mají tendenci koncentrovat se do strusky. [28]

V případě radionuklidu ^{137}Cs , který obsahuje hladinomer v řešeném modelu, se jedná výlučně o strusku, která je hojně využívána ve stavebnictví, dále jako posypový materiál při zimní údržbě silnic a částečně i pro výrobu průmyslových fosfátových hnojiv. Nebezpečí ozáření je tedy vyloučeno během takových činností, kdy probíhá manipulace s již hotovým ingotem, ale současně se přesouvá na pracovníky, kteří manipulují se struskou.

Tab. 9 – Radionuklidové dělicí faktory [28]

Radionuklid	Ingot	Odpad	Struska	Filtreační prach
		po řezání		
Zůstatkový podíl ze vstupní hmotnosti [%]				
^{60}Co	98,29	0,06	1,65	0,0001
^{125}Sb	99,27	0,08	0,65	0,0001
^{134}Cs	0	0	100	0
^{137}Cs	0	0	100	0,00001
^{154}Eu	0	0	100	0

9.3.2 Výpočet individuálních efektivních dávek

Odhad efektivní dávky E [mSv], kterou obdrží ohrožený pracovník, byl vypočten podle vztahu (4):

$$E = w\mathcal{R} \left(\frac{A\Gamma}{r^2} \right) t, \quad (4)$$

kde $w\mathcal{R}$ je bezrozměrný radiační váhový faktor (pro fotony platí $w\mathcal{R} = 1$), A celková aktivita zdroje [GBq], Γ „gama konstanta“ – hodnota přírůstku kermy za 1 h ve vzdálenosti 1 m od zdroje o aktivitě 1 Bq (pro radionuklid ^{137}Cs platí $\Gamma = 0,084 \text{ mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1}$), r vzdálenost od zdroje ionizujícího záření [m] a t čas expozice [h].

Tloušťka absorpční polovrstvy stínících materiálů pro záření γ byla přibližně stanovena podle hodnoty energie emitovaných fotonů radionuklidem ^{137}Cs , tedy 662 keV. [2]

Průměrná vzdálenost od zdroje ionizujícího záření a čas expozice vychází z charakteru prováděných činností.

U expozičního scénáře „Skladování ve sběrně“ se předpokládá, že odvoz šrotu do hutí je realizován jedenkrát za měsíc. Scénář „Skladování v hutích“ předpokládá přidávání šrotu k surovému železu do nístějových pecí v týdenních intervalech. Expoziční scénáře „Odlévání ingotu“, „Manipulace s ingotem“ a „Přeprava ingotu“ nepředpokládají již žádnou kontaminaci materiálu ionizujícím zářením, neboť následují až po odpichu strusky v rámci „Tavení vsázky“ (tab. 10).

Tab. 10 – Výpočet efektivních dávek pro dané expoziční scénáře [vlastní]

Expoziční scénář	Ohrožený pracovník	Stínění			Vzdálenost [cm]	Čas [h]	Polo- vrstva [cm]	Dělicí faktor [%]	Akti- vita [GBq]	Efektivní dávk [mSv]
		Prostře- dek	Materiál	Tloušťka						
				[cm]						
Přeprava šrotu do sběrný	zákazník	kabina	ocel	0,3	150	0,5	0,4	100	0,460	0,009
Vykládka šrotu ve sběrně	zákazník	-	-	-	20	0,1	-	100	0,690	0,145
Vážení a uložení šrotu	obsluha	-	-	-	100	0,2	-	100	0,690	0,012
Skladování ve sběrně	obsluha	kontejner	ocel	0,4	10000	150	0,4	100	0,345	0
Skladování ve sběrně	zákazník	kontejner	ocel	0,4	5000	0,3	0,4	100	0,345	0
Třídění/řezání šrotu	třidič	-	-	-	150	3,5	-	100	0,690	0,090
Nakládka šrotu	řidič	-	-	-	200	1,5	-	100	0,690	0,022
Přeprava šrotu do hutí	řidič	kabina	ocel	0,3	150	1,5	0,4	100	0,460	0,026
Vykládka šrotu	řidič	-	-	-	200	3,5	-	100	0,690	0,051
Skladování v hutích	skladník	kontejner	ocel	0,4	10000	38	0,4	100	0,345	0
Tavení vsázky	tavič	plášť	žárovbeton	75	150	6,5	3,5	100	0,016	0,004
Odlévání ingotu	slévač	-	-	-	100	0,7	-	0	0	0
Manipulace s ingotem	slévač	forma	ocel	8	50	1,5	0,4	0	0	0
Přeprava ingotu	skladník	-	-	-	200	0,2	-	0	0	0
Manipulace se struskou	struskař	nádoba	ocel	1,2	50	0,2	0,4	100	0,115	0,008

9.3.3 Vyhodnocení míry zasažení pracovníků ionizujícím zářením

Přestože jsou výsledky modelu zasažení pracovníků ionizujícím zářením pouze orientační, činnosti, během nichž dojde k nejvyššímu externímu ozáření, jsou zřejmé z grafu 6 – vykládka šrotu zákazníkem ve sběrně a jeho třídění obsluhou. Během manuálních manipulačních činností je vzdálenost od nestíněného ZIZ velmi malá a stačí tedy i krátká doba expozice k dosažení vysoké efektivní dávky. Pokud by byl ZIZ přímo uchopen do ruky, byť na několik sekund, obdržena efektivní dávka prudce vzroste až na desítky mSv. Může tak dojít až k překročení ročního limitu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření pro radiačního pracovníka.

Ozáření obsluhy sběrný během skladování šrotu je i přes dlouhou dobu expozice zanedbatelné, včetně zasažení jiného zákazníka, který sběrnou navštívil za účelem předání jiných druhotných surovin. Rozhodující je opět vzdálenost od ZIZ a jeho stínění kontejnerem.



Graf 6 - Efektivní dávky při činnostech během recyklace kovového šrotu [vlastní]

9.4 Vyhodnocení rizikových faktorů

Sloučením výsledků provedeného dotazování, které umožňují vyjádřit pravděpodobnost výskytu rizikového faktoru, a závažnosti elementárních příčin identifikovaných v rámci analýzy FTA a Ishikawa diagramu, byla pro některá rizika vyjádřena jejich výsledná míra jednoduchou polokvantitativní bodovou metodou pomocí vztahu (5):

$$R = P \times N, \quad (5)$$

kde R je míra rizika, P pravděpodobnost výskytu a N závažnost následků.

Chráněnou hodnotu představuje lidský život a zdraví. Pravděpodobnost výskytu rizikového faktoru byla vztažena na jeho procentuální výskyt zjištěný během terénního dotazování a posouzení závažnosti následků vychází z vyhodnocení závažnosti daného minimálního kritického řezu (tab. 11).

Tab. 11 - Hodnoty parametrů míry rizika [vlastní]

Pravděpodobnost výskytu	Body	Výskyt	Závažnost následků	Body
Vzácná	1	0 - 20 %	Zanedbatelný dopad	1
Nepravděpodobná	2	21 - 40 %	Nízká závažnost	2
Pravděpodobná	3	41 - 60 %	Střední závažnost	3
Možná	4	61 - 80 %	Vysoká závažnost	4
Trvalá	5	81 - 100 %	Kritický dopad	5

Podle vypočteného skóre byl každému rizikovému faktoru přiřazen stupeň rizika, z něhož vyplývají požadavky na přijetí vhodných opatření pro jeho minimalizaci:

- 1-3 body = stupeň I: akceptovatelné riziko, žádná zvláštní opatření nejsou potřeba,
- 4-6 bodů = stupeň II: nízké riziko, je třeba jej monitorovat a kontrolovat,
- 8-12 bodů = stupeň III: nežádoucí riziko, je nutné přijetí bezpečnostních opatření a zavedení kontroly jejich dodržování,
- 15-25 bodů = stupeň IV: nepřijatelné riziko, účinná bezpečnostní opatření je třeba přijmout neodkladně, riziko musí být redukováno na nižší stupeň.

Z vyhodnocení celkové míry rizika pro jednotlivé faktory (tab. 12), jejichž pravděpodobnost výskytu bylo možno určit z výsledků dotazování, je zřejmé, že nízká vybavenost technickými prostředky se nachází již v oblasti nepřijatelného rizika. Bez vybavení obsluhy minimálně ručním detekčním přístrojem je bezpečný provoz zařízení pro shromažďování kového šrotu prakticky vyloučen.

Tab. 12 - Vyhodnocení míry rizika [vlastní]

Rizikový faktor	P	N	R	Stupeň
Nízká vybavenost technickými prostředky	4	4	16	IV
Neznalost havarijních postupů	4	3	12	III
Chybějící dokumentace na pracovišti	3	3	9	III
Neznalost vzhledu potenciálně nebezpečných zdrojů	2	4	8	III
Dodávka obsahovala ZIZ	1	5	5	II

Při předpokladu, že ve všech případech, kdy dodávka šrotu obsahovala ZIZ, došlo k jeho záchytu, příslušný faktor sice představuje pouze nízký stupeň rizika se vzácnou pravděpodobností svého výskytu, ale závažnost jeho následků je kritická. Je tedy žádoucí riziko monitorovat a kontrolovat.

Provedené posouzení rizik prokázalo, že režimová opatření pro minimalizaci rizika průniku opuštěného zdroje do zařízení a následného zasažení pracovníků ionizujícím zářením je vhodné cílit na včasný záchyt ZIZ již na vstupu do sběrného zařízení. Tím zamezit přejímce a rychle zajistit bezpečnou vzdálenost osob od ZIZ. Vybavení „malých“ zařízení ručním detekčním přístrojem pro kontrolu přijímaného materiálu považuje autor za nezbytné. Dále je nutno školit obsluhu tak, aby dokázala již přijatý a potenciálně nebezpečný materiál během následných manuálních činností vizuálně rozeznat, čímž bude vyloučen další kontakt se ZIZ. Operativní dokumentace pro případ havarijní situace by se měla bezpodmínečně nacházet přímo na pracovišti a obsluha musí být seznámena s havarijními postupy, které je vhodné zakomponovat přímo do schvalované dokumentace pro provoz zařízení.

10 NÁVRHY OPATŘENÍ PRO MINIMALIZACI RIZIK

Pro cílovou skupinu zařízení, která byla předmětem výzkumu, navrhuje autor zavedení níže uvedených organizačních opatření v oblastech ochrany před účinky ionizujícího záření, detekce, školení zaměstnanců, provozní dokumentace a systémových opatření.

10.1 Operativní vytyčení hranic bezpečnostní zóny

Vytyčování hranic bezpečnostní zóny (dále jen „BZ“) pro vnější ozáření provádí členové jednotek Hasičského záchranného sboru ČR v rámci radiačního průzkumu ve dvou bodech:

- nalezení místa na hranici BZ,
- ohrazení a vytyčení BZ.

Nejprve se postupuje ve směru zvyšujícího se dávkového příkonu a nalezne se místo, kde $P = 10 \mu\text{Gy/h}$. Poté se z nalezeného místa postupuje systematicky tak, aby byla nalezena další místa s hodnotou $P = 10 \mu\text{Gy/h}$ a BZ se ohrazení jako uzavřená plocha. Závěrem je BZ vyznačena vytyčovacím prostředky. Během měření je detektor orientován směrem k předpokládanému výskytu ZIZ a pro zachycení směrově orientovaného svazku ionizujícího záření od ZIZ se detektor pravidelně umísťuje do čtyř měřících poloh (nad hlavu, pod kolena, vlevo a vpravo do těla). [29]

Standardní postup vytyčení hranic BZ je sice velmi přesný, ale zdoluhavý. Obsluha sběrný by měla mít k dispozici jednoduchou metodiku, pomocí které by dokázala operativně odhadnout přibližnou hranici BZ a realizovat hned dva zásadní způsoby ochrany před ionizujícím zářením: čas (zkrácení doby expozice) a vzdálenost (určení relativně bezpečné vzdálenosti od ZIZ).

Pro ionizující záření platí obdobné zákony jako pro ostatní druhy záření. Jeho intenzita je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření (platí přesně pouze pro bodový zdroj). Uvažujme tedy závislost dávkového příkonu P na vzdálenosti d podle vztahu (6):

$$P(d) = \frac{X}{d^2} + H, \quad (6)$$

kde X je konstanta úměrná aktivitě ZIZ a H hodnota přírodního pozadí (dále nezohledňováno).

Prostřednictvím interaktivního experimentu „Závislost radioaktivity na vzdálenosti od zářiče“, který poskytuje online Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy (příloha

P II), bylo zjištěno, že závislost není přesně $1/d^2$ a nejvyšší hodnotu spolehlivosti vykazuje mocninná spojnice trendu. Z tohoto důvodu byl vzorec (7) upraven o další proměnnou v exponentu vzdálenosti:

$$P(d) = \frac{X}{d^Y} \quad (7)$$

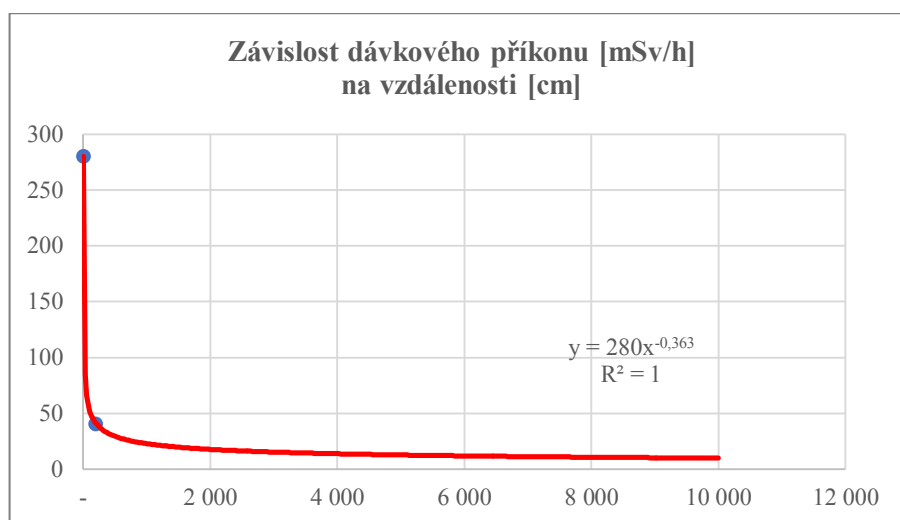
Autor práce předpokládá, že obsluha sběrný má k dispozici ruční detektor, pomocí něhož je schopna změřit dávkový příkon na povrchu ZIZ a na vnějším povrchu vozidla. Cílem dalšího postupu je nalezení předpisu takové funkce, která určí z těchto dvou hodnot (v ideálním případě pouze z druhé jmenované) hrubou vzdálenost hranice BZ.

V roce 2015 byl během záchytu hladinoměru, jehož parametry byly použity pro model zasažení pracovníků ionizujícím zářením v kap. 9.3, naměřen příkon dávkového ekvivalentu $280 \mu\text{Sv/h}$ na povrchu ZIZ a $41 \mu\text{Sv/h}$ na povrchu vozu [14].

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu 7 s předpokladem, že první měření proběhlo ve vzdálenosti 1 cm a druhé ve vzdálenosti 200 cm od ZIZ. Zobrazená mocninná spojnice trendu představuje graf funkce podle předpisu (8):

$$f(x) = \frac{a}{x^b}, \quad (8)$$

přičemž v tomto konkrétním případě je $a = 280$; $b = \log(280/41) / \log 200$.



Graf 7 - Závislost dávkového příkonu na vzdálenosti [vlastní]

Hranice pro vymezení BZ je dána doporučenou hodnotou příkonu dávkového ekvivalentu $10 \mu\text{Sv/h}$. [30]

Byly určeny proměnné:

- P_A jako hodnota dávkového příkonu, naměřenou na povrchu ZIZ [$\mu\text{Sv/h}$],
- P_B jako hodnota dávkového příkonu, naměřenou na povrchu vozidla [$\mu\text{Sv/h}$],
- d_C jako vzdálenost ZIZ od místa měření na povrchu vozidla [cm],

Pro výpočet (9) přibližné vzdálenosti hranice bezpečnostní zóny d [cm] pak platí:

$$d \approx \left(\frac{P_A}{10}\right)^{\frac{\log d_C}{\log \frac{P_A}{P_B}}} \quad (9)$$

Analogicky lze určit přibližnou hranici nebezpečné zóny změnou jmenovatele z 10 na 1000 $\mu\text{Sv/h}$, což má smysl pouze v případě, že na povrchu vozidla byla naměřena hodnota vyšší než 1 mSv/h.

Tato konstrukce je ovšem příliš složitá pro použití v praxi. Pro další zjednodušení autor práce uvažoval, že se ZIZ nacházelo v ložném prostoru vozidla ve vzdálenosti 100–200 cm od místa měření na povrchu vozidla (funkční hodnota zde kolísá v rozmezí $\pm 12,5$ %, tab. 13). Určení přesné vzdálenosti ZIZ od místa měření na povrchu vozidla pak není kritické. Rozdíl mezi hodnotami P_A a P_B je sice ovlivněn mnoha faktory, jako typ radionuklidu, celková aktivita zdroje, jeho poloha, odstínění ostatním naloženým šrotem, kabinou řidiče apod., nicméně funkce se dále s rostoucí vzdáleností od zdroje blíží svým průběhem lineární funkci. Naměřenou hodnotu P_B [$\mu\text{Sv/h}$] tak lze použít pro hrubý odhad vzdálenosti hranice bezpečnostní zóny d [m] podle vztahu (10):

$$d \approx 2P_B \quad (10)$$

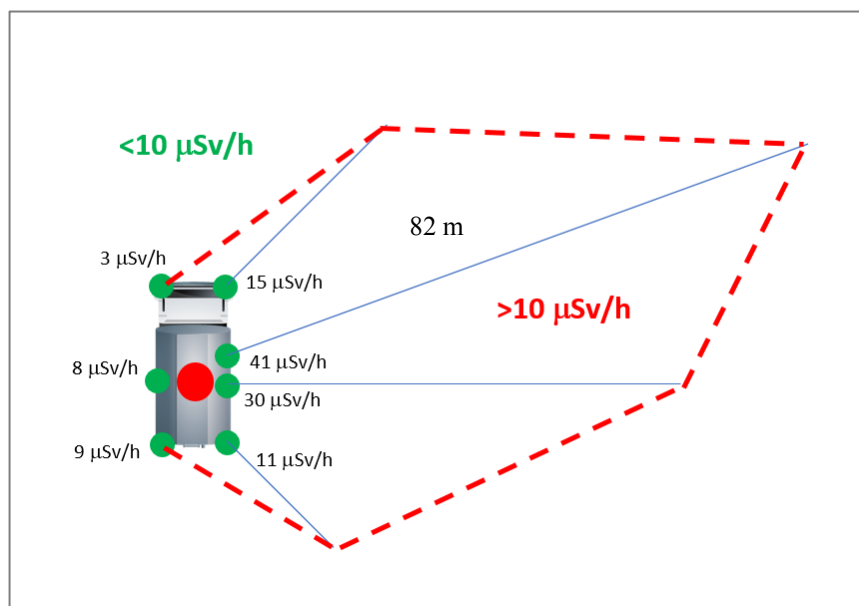
Tab. 13 - Přibližné určení vzdálenosti hranice bezpečnostní zóny [vlastní]

d_C [cm]	P_B [$\mu\text{Sv/h}$]	d [m]	Násobek P_B
50	67,80	135,6	1,4
100	52,70	105,4	1,9
123	48,95	97,9	2,0
150	45,50	91,0	2,2
200	41,00	82,0	2,4
250	37,80	75,6	2,6

Během záchytu opuštěného ZIZ na vozidle se doporučuje před příjezdem jednotek Hasičského záchranného sboru ČR vymežit orientační hranici bezpečnostní zóny v metrech, byla-

li na povrchu vozidla naměřena hodnota vyšší než $10 \mu\text{Sv/h}$, vynásobením naměřené hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu v $\mu\text{Sv/h}$ ($\mu\text{Gy/h}$) na ručním detektoru dvěma, a to podle několika referenčních míst na povrchu vozidla během jeho obchůzky, směrem od centrální plochy vozidla (příklad je uveden na obr. 12). Zvýšenou pozornost je nutno věnovat maximální naměřené hodnotě, neboť většina defektoskopických a kontrolních přístrojů emituje ionizující záření ve směrově orientovaném svazku. Vozidlo poté odstavit tak, aby byl v předpokládané bezpečnostní zóně vyloučen pohyb osob.

Stejně tak je možno tuto metodu orientačního vymezení hranice bezpečnostní zóny použít při záchytu či nálezů jakéhokoli opuštěného ZIZ. Zdroj záření se obejde po kružnici o poloměru 1-2 m a podle naměřených hodnot příkonu dávkového ekvivalentu se analogicky určí vzdálenost hranice bezpečnostní zóny v příslušném směru od středu kruhu a příp. se přijmou opatření k vyloučení pohybu osob ve vymezené bezpečnostní zóně.



Obr. 12 - Příklad orientačního vymezení bezpečnostní zóny [vlastní]

Pro validaci navržené metody by bylo vhodné porovnat výpočty s reálným vymezením hranice bezpečnostní zóny v případě nálezů předmětného hladinoměru v roce 2015. Podle informací ÚJV Řež, a. s., v jejíž gesci byl případ řešen, však nebyla během řešeného zásahu bezpečnostní zóna vytyčována.

10.2 Detekční zařízení

Pro efektivní kontrolu zásilek a případný záchyt opuštěných zdrojů slouží zařízení pracující v kontinuálním režimu, která poskytují průběžnou informaci o okamžité hodnotě dávkového

příkonu: ruční přenosné radiometrické přístroje, stacionární detekční systémy a detektory instalované na manipulační technice. [3]

U pasivních osobních dozimetrů probíhá monitorování osob integrálně, hodnoty se měří v čase a v dozimetru zůstává uchována informace za celou dobu, po kterou byl detektor záření vystaven. [31]

Přestože pasivní dozimetrie nedokáže odhalit akutní ohrožení, její využití v detekci ionizujícího záření v oblasti nakládání s kovovým šrotem má své opodstatnění nejen z důvodu nízké pořizovací ceny detektorů, ale také pro možnost zpětného trasování opuštěného zdroje před jeho záchytem.

Z důvodu rozšíření možností monitorování radiace v případě nehody jaderného zařízení, teroristického útoku s využitím radioaktivních materiálů a také pro omezování šíření falešných zpráv o smyšleném radioaktivním ohrožení, začal v loňském roce Státní ústav radiální ochrany v. v. i. (dále jen „SÚRO“) realizovat tři nové projekty:

- projekt RAMESIS: Občanská radiální síť určená pro občany, školy a další instituce k zajištění včasné informovanosti a bezpečnosti občanů,
- systém JodDet pro hromadné měření radiojodu ^{131}I ve štítné žláze,
- nízkonákladový pasivní dozimetr pro hodnocení externího ozáření osob. [32]

V rámci posledně jmenovaného projektu se podařilo vyvinout jednoduchý nízkonákladový dozimetr umožňující vyhodnocení osobního ozáření. Jedná se o malé plastové pouzdro obsahující kapsli s běžnou kuchyňskou solí (obr. 13). Sůl při kontaktu s ionizujícím zářením vykazuje luminiscenci, kterou lze snadno v laboratoři vyvolat, vyhodnotit a z množství uvolněného světla lze vypočítat dávku záření. [33]



Obr. 13 - Pasivní dozimetr se solnou kapslí [33]

Původně zamýšlené použití tohoto detektoru pro zjišťování individuálních dávek hasičů zasahujících např. při dopravní nehodě, kdy byl převážen zdroj ionizujícího záření, nebo pracovníků celní správy, kteří se mohou během své práce setkat s nelegální přepravou radioaktivního materiálu, je možno rozšířit o zaměstnance sběrných zařízení, kteří kontrolují vjezd vozidel do areálu, provádějí vykládku či nakládku šrotu a jeho třídění.

Dozimetr nevyžaduje žádnou speciální údržbu a je možno jej nosit v kapse. Při výrobě 10 000 ks lze snížit výrobní náklady na částku 20,- Kč/dozimetr. Radiační indikátor pak vychází na pouhé 3,- Kč, přičemž sůl je zapotřebí měnit zhruba každých 10 let. [34]

Autor práce doporučuje vybavit obsluhu sběrného zařízení pasivním dozimetrem se solnou kapslí, kterou by nosil v kapse pracovního oděvu po celou dobu výkonu své práce. V případě události s podezřením na možné vystavení obsluhy ionizujícímu záření anebo ve stanovených intervalech provádění periodických pracovních-lékařských prohlídek zaměstnanců, se dozimetr odešle k vyhodnocení do laboratoře SÚRO.

Za události se zvýšeným rizikem ozáření obsluhy můžeme považovat např. případy, kdy:

- došlo k záhytu opuštěného zdroje u dalšího článku distribučního řetězce, kterému posuzované sběrné zařízení kovový šrot dále dodává,
- v rámci přepravy do jiného zařízení došlo k záhytu opuštěného zdroje na voze u přepravce, který dodává kovový šrot pravidelně i posuzovanému sběrnému zařízení.

Pokud by v laboratoři bylo zjištěno, že skutečně došlo k ozáření, v závislosti na velikosti obdržené dávky se přijmou odpovídající opatření (poskytnutí potřebné lékařské péče, vynětí pracovníka z činnosti či vyšetření, které by mohly vést k dalšímu ozáření, příp. kontrola jiných pracovníků, kteří mohli také přijít do styku s opuštěným zdrojem).

10.3 Školení zaměstnanců

Riziko selhání systému režimové ochrany je možno dále zmírnit zvýšením havarijní připravenosti prostřednictvím opatření na poli odborného vzdělávání dotčených zaměstnanců. V souladu s ustanovením § 91 odst. 1 AZ, je provozovatel zařízení určeného k tavně, shromažďování a zpracování kovového šrotu povinen přijmout opatření k vyhledávání opuštěného zdroje a pracovníka, který může být vystaven ionizujícímu záření z opuštěného zdroje:

- informovat o účincích ionizujícího záření na lidský organismus,
- poučit o tom, jak opuštěný zdroj vizuálně rozpoznat,

- poučit o opatřeních při nálezů opuštěného zdroje nebo vzniku podezření na jeho přítomnost,
- pravidelně školit o výše uvedených skutečnostech.

Pokud je pracoviště vybaveno radiometrickými přístroji, mělo by být součástí školení i proškolení v obsluze radiometrických přístrojů a kontrola jejich funkčnosti. [35]

Na základě doporučení SÚJB (DR-RO-4.1, revize č. 1.0) a výsledků posouzení rizik selhání systému režimové ochrany byl zpracován návrh tematického plánu a časového rozvrhu školení pro obsluhu zařízení určeného ke shromažďování a zpracování kovového šrotu (příloha P III). Osnova školení obsahuje celkem osm tematických celků, které svým rozsahem kompletně pokrývají požadavky AZ na školení zaměstnanců takového zařízení.

Autor práce navrhuje zařadit školení do samostatného bloku nad rámec povinných školení zaměstnanců v oblastech bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, požární ochrany a nakládání s nebezpečnými odpady. Do provozního řádu příslušného zařízení se doporučuje uvést povinnost zaměstnance účastnit se navrhovaného školení minimálně 1x ročně a záznam o provedeném školení pořizovat do provozního deníku.

10.4 Typový projekt sběrného dvora

Je-li nalezen opuštěný zdroj v zařízení určeném k tavbě, shromažďování a zpracování kovového šrotu, a není-li původní vlastník zjištěn do 60 dnů od nalezení, stává se provozovatel zařízení vlastníkem tohoto ZIZ. Provozovatel poté nese veškeré náklady spojené s vyhledáním, bezpečným předáním, skladováním, přípravou na další využití nebo zneškodněním opuštěného zdroje. [35]

Existuje riziko, že provozovatelé nebudou k problematice opuštěných ZIZ přistupovat odpovědně právě z důvodu možného zatížení zvýšenými náklady při jejich záchytu, a budou se snažit naplňovat požadavky AZ velmi laxně, s odvoláním na odstupňovaný přístup dle vlastního uvážení a na skutečnost, že doporučení SÚJB nejsou právně závazná. Je tedy žádoucí přijmout opatření ke snížení tohoto rizika již tam, kde je umístěna pravomoc udělovat a prodlužovat souhlas k provozu takového zařízení.

Zařízení k využívání, odstraňování, sběru nebo výkupu odpadů lze provozovat pouze na základě rozhodnutí krajského úřadu, kterým je udělen souhlas k provozování tohoto zařízení a s jeho provozním řádem. [19]

Podle zákona o odpadech je obec povinna stanovit na svém území systém sběru a shromažďování odpadů a určit místa, kam mohou občané odložit vyříděné a nebezpečné složky komunálního odpadu. Za tímto účelem nechal Zlínský kraj vypracovat typový projekt sběrného dvora včetně průvodní a souhrnné technické zprávy a návrh provozního řádu sběrného dvora, který mohou obce či jiní potenciální provozovatelé použít jako vzor pro své zařízení. [36]

Přestože je předmětný dokument nezávazný, krajský úřad může při rozhodování o žádosti o povolení provozu posuzovat míru její shody s vydaným typovým projektem. Toho jsou si vědomi i žadatelé, kteří mají zcela jistě zájem na hladkém průběhu řízení, a budou se snažit typovému projektu maximálně přiblížit.

Autor práce navrhuje změny přílohy 5.3 typového projektu sběrného dvora – „Provozní řád sběrného dvora – vzor“ (příloha P IV). Jedná se o doplnění informací a opatření tak, aby provozovatel „malého“ zařízení naplnil požadavky AZ s využitím odstupňovaného přístupu. Změny se týkají kapitol:

- 1.6 Telefonní čísla pro mimořádné události.
- 6.3 Přejímka odpadu.
- 11 Monitorování provozu zařízení a jeho vliv na životní prostředí.
- 15 Mimořádná a havarijní opatření.
- 16 Řešení mimořádných a havarijních stavů.
- 17 Bezpečnost provozu a ochrana zdraví.

Krajský úřad může vytvořit přiměřený tlak na stávající provozovatele např. rozesláním informačního letáku, který bude vyzývat provozovatele k revizi provozního řádu s ohledem na požadavky AZ a doporučovat přílohu typového projektu sběrného dvora jako vzor. Provozovatelem přepracovaný provozní řád pak podléhá opětovnému schválení podle § 14 odst. 1 zákona o odpadech, čímž bude zajištěna jeho legitimita a přiměřenost.

Navrhovaným způsobem nelze ovlivnit sběrné dvory, jež jsou provozovány obcemi pouze pro potřeby občanů obce a jsou ustanoveny prostřednictvím obecně závazné vyhlášky. Takový sběrný dvůr nemusí mít souhlas k provozování dle § 14 odst. 1 zákona o odpadech, a pokud na něm není nakládáno s nebezpečnými odpady, pak ani souhlas dle § 16 odst. 3 zákona o odpadech. Zde autor doporučuje, aby krajský úřad apeloval přímo na obecní úřady.

10.5 Systémová opatření

Bezpodmínečného používání ručních dozimetrických přístrojů při přejímce odpadu v „malých“ zařízeních určených ke shromažďování a zpracování kovového šrotu bude možno dosáhnout s největší pravděpodobností pouze prostřednictvím změny relevantního zákonného předpisu. Pořízení dozimetru představuje pro provozovatele investici v řádech několika desítek tisíc Kč, nehledě na další náklady spojené s případným servisem přístroje. Autor nepředpokládá, že k tomuto opatření přistoupí provozovatelé dobrovolně. Zásahový dozimetr typu U-RAD 115, který je součástí běžného přístrojového vybavení jednotek Hasičského záchranného sboru ČR, lze pořídit zhruba za 40 tis. Kč vč. DPH. [37]

Komerční přístroje odpovídající citlivosti, které v současné době používají některé sběrný ve Zlínském kraji pro vyhledávání opuštěných ZIZ, např. scintilační detektor RadEye™ PRD (obr. 14), se pohybují v podobných cenových relacích.



Obr. 14 - Detektor RadEye™ PRD [38]

Závaznou povinnost provozovatele provádět při přejímce kovových odpadů detekci ionizujícího záření může zákonodárce zakomponovat do přílohy č. 2 k vyhlášce č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů.

Pro jednoznačné vymezení subjektu (mimo zařízení určeného k tavně kovového šrotu), který je povinován ustanovením § 91 AZ, by bylo dále vhodné uvést jeho definici např. do zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci se autor zabýval problematikou opuštěných zdrojů ionizujícího záření, které mohou vstoupit do systému recyklace kovového šrotu, ohrozit lidské zdraví a v konečném důsledku kontaminovat tavbu radioaktivitou. Cílem práce bylo zhodnocení opatření režimové ochrany před účinky ionizujícího záření ve vytipovaných zařízeních určených pro shromažďování kovového šrotu ve Zlínském kraji, posouzení rizik a návrh opatření pro jejich minimalizaci.

Teoretickou část práce věnoval autor rešerši právního zajištění situací s vyšším rizikem výskytu opuštěných zdrojů ionizujícího záření, definoval tyto zdroje a uvedl přehled mimořádných případů souvisejících s jejich nakládáním. V praktické části autor opřel naplnění hlavního cíle práce o zpracování statistiky produkce dotčených skupin odpadů a určil typologii zařízení. Aktuální stav opatření režimové ochrany byl zkoumán dotazováním přímo na provozovnách. Bylo zjištěno, že úroveň implementace zákonných požadavků byla ve sledovaných zařízeních nedostatečná především na úrovni režimových organizačních opatření.

Jako zásadní moment porušení rovnováhy systému bylo určeno nezajištění včasného záchytu opuštěného zdroje ionizujícího záření na vstupu do prvního zařízení v celém systému recyklace. Posouzení rizik selhání systému režimové ochrany bylo provedeno analýzou stromu poruchových stavů s využitím kvalitativního přístupu. Závažnost identifikovaných příčin selhání byla stanovena na základě rozboru minimálních kritických řezů. Jako nejkritičtější bylo klasifikováno zanedbání pravidelné kontroly detekčních přístrojů, jejich nepředvídatelné selhání, zanedbání pracovních povinností obsluhy, detekce provedená mimo oblast vyzařování ionizujícího záření, odstínění záření krytem zdroje či ostatním materiálem, neschopnost detekovat měřicím přístrojem druh emitovaného záření a další možná selhání lidského faktoru plynoucí z nedostatečného proškolení obsluhy.

V dalším kroku bylo pomocí diagramu příčin a následků posouzeno riziko ohrožení zdraví jednotlivců, kteří mohou přijít do kontaktu s opuštěným zdrojem ionizujícího záření v rámci celého recyklačního procesu. Bylo zjištěno, že mezi zásadní příčiny ozáření patří v oblasti lidské dimenze nedostatečně proškolený personál na úrovni havarijních postupů a neznalost zásad radiační ochrany. V oblasti materiálu byly určeny další možné příčiny, které plynou z činností při manipulaci s kontaminovaným šrotem. Dimenze strojů poukázala na úroveň vybavenosti pracoviště technickými prostředky. V oblasti metod byly určeny příčiny plynoucí z nedostatečné kvality dokumentace, její aktuálnosti a legitimacy. V dimenzi prostředí

byly identifikovány příčiny možného ozáření osob z důvodu krátkých vzdáleností od zdroje během ruční manipulace, nevytyčení bezpečnostní zóny a vlivů prostředí s negativním dopadem na detekci. V oblasti měření byly určeny další možné příčiny ozáření plynoucí z nesprávné kalibrace měřicích přístrojů či nesprávného vyhodnocení výsledků měření. Rozsah zasažení pracovníků ionizujícím zářením byl demonstrován na modelu, který simuloval nezachycení opuštěného zdroje ionizujícího záření. Bylo zjištěno, že nejvyššímu externímu ozáření mohou být osoby vystaveny během přejímky materiálu a jeho separace.

Sloučením výsledků dotazování a analýz byla pro některé faktory vyjádřena jejich výsledná míra rizika bodovou metodou. Jako nepřijatelné riziko byla klasifikována nízká vybavenost technickými prostředky pro detekci ionizujícího záření. Nežádoucí rizika představovala neznalost havarijních postupů, chybějící dokumentaci na pracovišti a neznalost vzhledu potenciálně nebezpečných objektů. Výskyt opuštěného zdroje ionizujícího záření v dodávkách materiálu byl klasifikován jako nízké riziko, které je nutno monitorovat a kontrolovat.

Pro cílovou skupinu zařízení navrhl autor zavedení organizačních opatření v oblastech ochrany před účinky ionizujícího záření, detekce, školení zaměstnanců a provozní dokumentace. Jednalo se o návrh jednoduchého způsobu vytyčení hranic bezpečnostní zóny při zachytu či nálezu opuštěného zdroje ionizujícího záření a doporučení vybavit obsluhu sběrného zařízení cenově dostupným pasivním dozimetrem. Byl zpracován návrh tematického plánu a časového rozvrhu školení pro obsluhu zařízení určeného ke shromažďování a zpracování kovového šrotu a návrh změn přílohy typového projektu sběrného dvora. V oblasti systémových opatření se autor zamýšlel nad žádoucími změnami zákonných požadavků.

Další výzkum řešené problematiky je vhodné zacílit na možnosti transformace celého systému recyklace kovů, který je ve své současné podobě výrazně zranitelný především na svých vstupech. Dále je možno se zabývat inovativními návrhy technických opatření pro snížení rizika průniku opuštěného zdroje ionizujícího záření do systému.

Autor konstatuje, že cíl jeho bakalářské práce byl splněn.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Database of radiological incidents and related events. *Ciudad Juarez orphaned source dispersal, 1983* [online]. Dallas: Johnston's Archive, 2005 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/1983MEX1.html>
- [2] KLENER, Vladislav a kol. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6.
- [3] *Doporučení NÁLEZ A ZÁCHYT RADIONUKLIDOVÝCH ZDROJŮ V ZAŘÍZENÍCH URČENÝCH K TAVBĚ, SHROMAŽĎOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ KOVOVÉHO ŠROTU: DR-RO-4.1(Rev.1.0)* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2017 [cit. 2018-08-15]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/publikace-sujb/>
- [4] KYNCL, Jaromír. *Bezpečnost objektu ve světle moderních technologií*. Praha: Komora podniků komerční bezpečnosti České republiky, 2014. 390 s. ISBN 978-80-260-7115-0.
- [5] Nové povinnosti sběren šrotu a atomový zákon. *Nové povinnosti sběren šrotu a atomový zákon | Envigroup s.r.o.* [online]. Praha: Česká asociace odpadového hospodářství, 2017 [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <http://www.envigroup.cz/nove-povinnosti-sberen-srotu-a-atomovy-zakon.html>
- [6] Evropské společenství pro atomovou energii - Euratom. *Evropské společenství pro atomovou energii - Euratom - Evropská unie - Úvod - SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/evropska-unie/evropske-spolecenstvi-pro-atomovou-energii-euratom/>
- [7] Akty sekundárního práva přijaté na základě Smlouvy o Euratomu. *Sekundární právo - Smlouva o Euratomu a sekundární právní předpisy - Evropská unie - Úvod - SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/evropska-unie/smlouva-o-euratomu-a-sekundarni-pravni-predpisy/sekundarni-pravo>
- [8] Směrnice Rady 2013/59/Euratom ze dne 5. prosince 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření a zrušují se směrnice 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom,

- 97/43/Euratom a 2003/122/Euratom. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Lucemburk: EUR-Lex, 2014, L 13. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0059>
- [9] Nové atomové právo. *Nové atomové právo - Legislativa - Úvod - SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>
- [10] Úvod. *Úvod - O SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- [11] Národní strategie k zabezpečení radionuklidových zdrojů a pro případ nálezu opuštěných zdrojů. *Národní strategie k zabezpečení radionuklidových zdrojů a pro případ nálezu opuštěných zdrojů - Oznámení a informace - Radiační ochrana - Úvod - SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/narodni-strategie-k-zabezpeceni-radionuklidovych-zdroju-a-pro-pripad-nalezu-opusteny-zdroju/>
- [12] *Control and Management of Radioactive Material Inadvertently Incorporated into Scrap Metal: proceedings of an International Conference on Control and Management of Radioactive Material Inadvertently Incorporated into Scrap Metal* [online]. Vídeň: Mezinárodní agentura pro atomovou energii, 2011 [cit. 2018-09-08]. ISBN 978-92-0-114910-7. ISSN 0074–1884. Dostupné z: <https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/8494/Control-and-Management-of-Radioactive-Material-Inadvertently-Incorporated-into-Scrap-Metal>
- [13] Výroční zprávy SÚJB 2010-2017. *Výroční zprávy SÚJB - Výroční zprávy - Dokumenty a publikace - Úvod - SÚJB* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018 [cit. 2018-09-09]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/dokumenty-a-publikace/vyrocnizpravy/vyrocnizpravy-sujb/>
- [14] MUDRA, Josef. *Záchyty zdrojů ionizujícího záření v ČR: 16. Mikulášské setkání mladé generace ČNS 7. - 9. 12. 2016*. Husinec-Řež: ÚJV Řež, 2016.
- [15] BOTULA, Jiří. *Recyklace odpadů kovových a kovonosných*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 87 s. ISBN 80-248-0495-6.

- [16] Veřejné informace o produkci a nakládání s odpady: aplikace VISOH. *Přednastavené přehledy | VISOH* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2018 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/VISOH/>
- [17] Inspektoři ČIŽP v rámci čtvrté bezpečnosti akce Blue 24 zkontrolovali více než 30 sběren kovů. *ČIŽP: Aktuality - Inspektoři ČIŽP v rámci čtvrté bezpečnosti akce Blue 24 zkontrolovali více než 30 sběren kovů* [online]. Praha: Česká inspekce životního prostředí, 2017 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <http://www.cizp.cz/Inspektoři-CIZP-v-ramci-ctvrte-bezpecnosti-akce-Blue-24-zkontrolovali-vice-nez-30-sberen-kovu.html>
- [18] Annual report 2017. *ČIŽP: Aktuality - Annual report 2017* [online]. Praha: Česká inspekce životního prostředí, 2018 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <http://www.cizp.cz/Annual-report-2017-1.html>
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 2001, částka 71, číslo 185. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3649>
- [20] ČESKÁ REPUBLIKA. Metodický pokyn MŽP: pro krajské úřady k povolování zařízení pro nakládání s odpady. In: *Věstník Ministerstva životního prostředí*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2011, XXI, částka 7, číslo 3. Dostupné také z: <https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/doc/E74D5399188E8322C12578D2004EC961>
- [21] Sběrný dvůr - vše, co jste chtěli vědět... *Sběrný dvůr - vše, co jste chtěli vědět...* [online]. Praha: EKO-KOM, 2018 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <https://www.samosbou.cz/2018/04/09/sberny-dvur-vse-co-jste-chteli-vedet/>
- [22] SINAY, Juraj a Slavomíra VARGOVÁ. Identifikácia faktorov etáp kauzálnej závislosti vzniku negatívneho javu. *Spektrum*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012, 12(2), 49-51. ISSN 1211-6920.
- [23] ČSN EN 61025. *Analýza stromu poruchových stavů (FTA)*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [24] Závislost radioaktivity na vzdálenosti od zářiče. *Závislost radioaktivity na vzdálenosti od zářiče* [online]. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2018 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <http://kdt-38.karlov.mff.cuni.cz/distances/theory.html#aparatus>

- [25] VINTR, Zdeněk. *Prediktivní analýzy spolehlivosti a možnosti jejich využití: Analýza stromu poruchových stavů* [online]. 1. Praha: Česká společnost pro jakost, 2015 [cit. 2019-02-06]. ISBN 978-80-7231-965-7. Dostupné z: https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Spolehlivost/Sborniky/CSJ_OSS_SBORNIK_2015_final.pdf
- [26] Ishikawův diagram. *Ishikawův diagram - ManagementMania.com* [online]. Plzeň: MANAGEMENTMANIA.COM, 2015 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/ishikawuv-diagram>
- [27] CHENG, Jing-Jy, Charley YU a David LEPOIRE. RESRAD-RECYCLE: A computer model for analyzing radiation exposures resulting from recycling radioactively contaminated scrap metals or reusing radioactively surface-contaminated materials and equipment. In: *ANL/EAD3* [online]. Illinois: Argonne National Laboratory, 2004 [cit. 2019-02-19]. DOI: 10.1097/01.HP.0000133367.21270.3e. Dostupné z: <http://resrad.evs.anl.gov/docs/recycle.pdf>
- [28] CHENG, Jing-Jy, Charley YU, W. Alexander WILLIAMS a William MURPHIE. VALIDATION OF THE RESRAD-RECYCLE COMPUTER CODE. In: *Waste Management Symposium 2002* [online]. Tucson: Argonne National Laboratory, 2002 [cit. 2019-02-19]. ISSN 0148-7191. Dostupné z: <https://www.osti.gov/server/vlets/purl/792135>
- [29] Činnosti k zabezpečení radiační ochrany při výjezdu a zjištění radiační události. In: *Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje* [online]. Brno: Hasičský záchranný sbor Jihomoravského kraje, 2010 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: http://www.firebrno.cz/uploads/skolici_stred_tisnov/Dokumenty/Dokumenty_ke_Kurzum/Radio/Cinnosti_k_zabezpeceni_radiacni_ochrany.pdf
- [30] Nebezpečí ionizujícího záření. In: *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu*. Praha: Ministerstvo vnitra, 2017, ročník 2017, 4/N. Dostupné také z: <http://metodika.cahd.cz/#bojovy%20rad>
- [31] AUTORSKÝ KOLEKTIV. Základy detekce ionizujícího záření. *Radiobiologie* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/16.html>

- [32] *Tisková zpráva Státního ústavu radiační ochrany* [online]. Praha: Státní ústav radiační ochrany, 2017 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: http://www.suro.cz/pub/Tiskova_zprava_2017.docx
- [33] Detektor radiace z kuchyňské soli. *Detektor radiace z kuchyňské soli | 3 pól - Magazin plný pozitivní energie* [online]. Tábor: Třípól - časopis pro studenty, 2017 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/jaderna-fyzika-a-energetika/2088-detektor-radiace-z-kuchynske-soli>
- [34] Český úspěch: Státní ústav radiační ochrany vyvinul extrémně levný dozimetr na bázi soli. *Český úspěch: Státní ústav radiační ochrany vyvinul extrémně levný dozimetr na bázi soli | E15.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2017 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/cesky-uspech-statni-ustav-radiacni-ochrany-vyvinul-extremne-levny-dozimetr-na-bazi-soli-1337846>
- [35] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: *Sbírka zákonů*. 2016, částka 102, číslo 263. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=61023>
- [36] Typový projekt sběrného dvora. *Typový projekt sběrného dvora | Zlínský kraj* [online]. Zlín: Krajský úřad Zlínského kraje, 2005 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.kr-zlinsky.cz/typovy-projekt-sberneho-dvora-cl-682.html>
- [37] Hasičský záchranný sbor Libereckého kraje - Zásahový dozimetr URAD PLUS 115. In: *Registr smluv* [online]. Praha: Ministerstvo vnitra, 2018 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/7700371>
- [38] RadEye™ PRD: Personal Radiation Detector. In: *RadEye™ PRD/PRD-ER Personal Radiation Detector* [online]. Waltham: Thermo Fisher Scientific, 2019 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/4250671>
- [39] Šest otázek. *Šest otázek (Six Questions) - ManagementMania.com* [online]. Plzeň: MANAGEMENTMANIA.COM, 2016 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/sest-otazek>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AZ	Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon.
BZ	Bezpečnostní zóna.
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí.
ČR	Česká republika.
EU	Evropská unie.
FTA	Fault Tree Analysis. Analýza stromu poruchových stavů.
MKR	Minimální kritický řez.
PDE	Příkon dávkového ekvivalentu.
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost.
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.
ZIZ	Zdroj ionizujícího záření.

Stanovení množiny minimálních kritických řezů:

G_0	Vrcholová událost.
G_1, G_2, \dots, G_{23}	Mezilehlé události.
A, B, \dots, AD	Základní a dále nerozvíjené události.

Výpočet individuálních efektivních dávek:

E	Odhad efektivní dávky.
$w_{\mathcal{R}}$	Radiační váhový faktor.
A	Celková aktivita zdroje.
Γ	Gama konstanta.
r	Vzdálenost od zdroje ionizujícího záření.
t	Čas expozice.

Výpočet rizika bodovou metodou:

R	Celková míra rizika.
P	Pravděpodobnost výskytu.
N	Závažnost následků.

Závislost dávkového příkonu na vzdálenosti:

P	Dávkový příkon.
d	Vzdálenost od zdroje ionizujícího záření.
H	Hodnota přírodního pozadí.
X	Konstanta úměrná aktivitě zdroje.
Y	Exponent vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření.

Vlastní výpočet přibližné vzdálenosti hranice bezpečnostní zóny:

d	Vzdálenost hranice bezpečnostní zóny.
d_C	Vzdálenost zdroje záření od místa měření na povrchu vozidla.
P_A	Dávkový příkon na povrchu zdroje ionizujícího záření.
P_B	Dávkový příkon na povrchu vozidla.

Fyzikální jednotky:

Bq	Becquerel. Počet rozpadů atomů ve zdroji ionizujícího záření za jednu sekundu.
eV	Elektronvolt. Kinetická energie, kterou získá elektron urychlený ve vakuu napětím jednoho voltu.
Gy	Gray. Energie záření jednoho joulu absorbovaná jedním kilogramem látky.
h	Hodina. 3600násobek dob trvání 9192631770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu ^{133}Cs .
m	Metr. Délka, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299792458 s.
Sv	Sievert. Podíl množství absorbované energie v určité hmotnosti a v závislosti na daném druhu ionizujícího záření.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Popeloměr [3].....	19
Obr. 2 - Rozmístění zkoumaných zařízení [vlastní], [www.mapy.cz]	24
Obr. 3 – Přetřený kontejner Chirana 392 bez varovných symbolů [3]	29
Obr. 4 - FTA - vrcholová událost [vlastní]	39
Obr. 5 - FTA - transfer 1 [vlastní].....	40
Obr. 6 - FTA - transfer 2 [vlastní].....	40
Obr. 7 - FTA - transfer 3 [vlastní].....	41
Obr. 8 - FTA - transfer 4 [vlastní].....	41
Obr. 9 - FTA - transfer 5 [vlastní].....	42
Obr. 10 - FTA - transfer 6 [vlastní].....	42
Obr. 11 - Hladinoměř MDN 202 [3]	48
Obr. 12 - Příklad orientačního vymezení bezpečnostní zóny [vlastní]	57
Obr. 13 - Pasivní dozimetr se solnou kapslí [33]	58
Obr. 14 - Detektor RadEye™ PRD [38].....	62
Obr. 15 - Přepis stromu poruchových stavů [vlastní].....	76
Obr. 16 – Vzdálená měřicí aparatura [24]	78
Obr. 17 – Naměřená data během experimentu [vlastní].....	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Mimořádné případy související s nakládáním se ZIZ (2010-2017) [13].....	20
Tab. 2 - Produkce kovových odpadů 2017 [16].....	28
Tab. 3 - Počet zařízení podle přijímaného odpadu [16]	32
Tab. 4 - Výsledky dotazníkového šetření [vlastní]	35
Tab. 5 - Popis stavů v kauzální závislosti vzniku negativního jevu [vlastní]	37
Tab. 6 - Symboly používané při FTA [23]	38
Tab. 7 - Seznam základních a dále nerozvíjených událostí [vlastní]	43
Tab. 8 - Vyhodnocení závažnosti MKR [vlastní]	45
Tab. 9 – Radionuklidové dělicí faktory [28].....	50
Tab. 10 – Výpočet efektivních dávek pro dané expoziční scénáře [vlastní]	51
Tab. 11 - Hodnoty parametrů míry rizika [vlastní]	52
Tab. 12 - Vyhodnocení míry rizika [vlastní]	53
Tab. 13 - Přibližné určení vzdálenosti hranice bezpečnostní zóny [vlastní]	56
Tab. 14 - Označení vrcholové a mezilehlých událostí [vlastní].....	76
Tab. 15 - Označení základních a dále nerozvíjených událost [vlastní]	77
Tab. 16 - Zpracování naměřených dat [vlastní]	79
Tab. 17 - Změny provozního řádu sběrného dvora [vlastní]	84

SEZNAM GRAFŮ

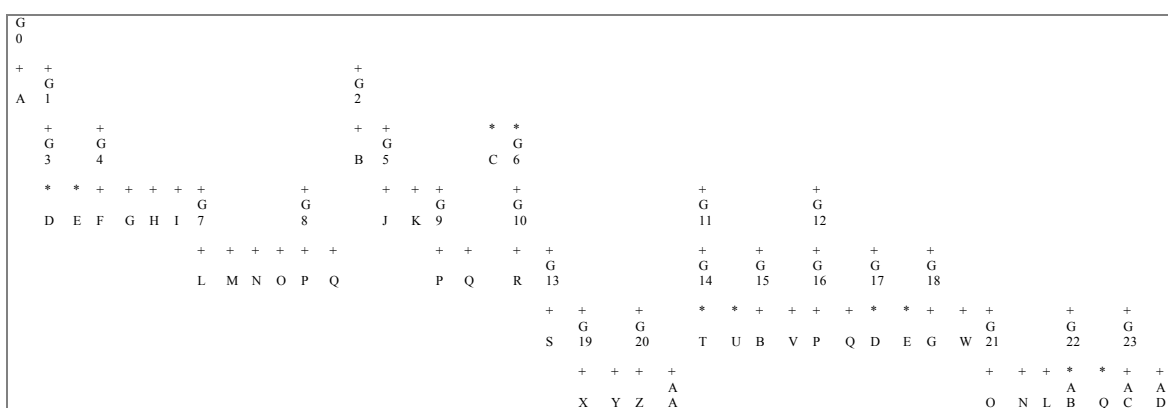
Graf 1 - Druh materiálu v záchytech a nálezech ZIZ v letech 2003-2015 [14].....	21
Graf 2 - Podíl typu kovového odpadu ČR / Zlínský kraj [16]	28
Graf 3 - Vývoj recyklace kovů ve Zlínském kraji [16]	30
Graf 4 - Typ zařízení nakládajícího s odpadem 17 04 05 [16]	33
Graf 5 - Zasažení osob ionizujícím zářením z opuštěného zdroje [vlastní]	47
Graf 6 - Efektivní dávky při činnostech během recyklace kovového šrotu [vlastní] .	52
Graf 7 - Závislost dávkového příkonu na vzdálenosti [vlastní]	55
Graf 8 – Závislost počtu pulzů na vzdálenosti [vlastní]	80
Graf 9 - Mocninná spojnice trendu [vlastní].....	80

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I PŘEPIS STROMU PORUCHOVÝCH STAVŮ
- Příloha P II EXPERIMENT „ZÁVISLOST RADIOAKTIVITY NA VZDÁLENOSTI OD ZÁŘIČE“
- Příloha P III NÁVRH TEMATICKÉHO PLÁNU A ČASOVÉHO ROZVRHU ŠKOLENÍ PRO OBSLUHU ZAŘÍZENÍ URČENÉHO KE SHROMAŽĎOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ KOVOVÉHO ŠROTU
- Příloha P IV NÁVRH ZMĚN PROVOZNÍHO ŘÁDU SBĚRNÉHO DVORA

PŘÍLOHA P I: PŘEPIS STROMU PORUCHOVÝCH STAVŮ

Strom poruchových událostí v kap. 9.1 (obr. 4-10) byl pro potřeby analýzy kritických řezů přepsán do grafické podoby (obr. 15) tak, že vrcholová událost byla označena jako G_0 , jednotlivé mezilehlé události G_1, G_2, \dots, G_{23} (tab. 14) a základní či dále nerozvíjené události jako A, B, \dots, AD (tab. 15). Identické elementární události byly označeny stejnou značkou, což umožnilo vyjádřit četnost jejich výskytu. Hradla logických součtů pak představují operaci sjednocení a hradla logických součinů průnik. Místo symbolů pro průnik a sjednocení byla použita znaménka „krát“ a „plus“.



Obr. 15 - Přepis stromu poruchových stavů [vlastní]

Tab. 14 - Označení vrcholové a mezilehlých událostí [vlastní]

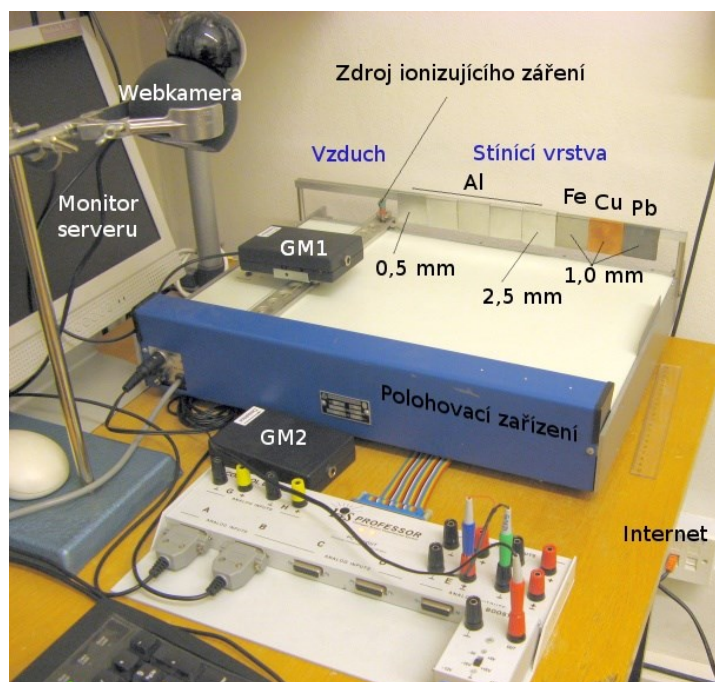
Označení	Popis události	Označení	Popis události
G0	Opuštěný ZIZ pronikl do areálu zařízení	G12	Selhala kontrola ručním detektorem
G1	Selhala kontrola stacionárním detektorem	G13	Obsluha ZIZ nerozeznala
G2	Kontrola stacionárním detektorem neproběhla	G14	Žádná kontrola nebyla nařízena
G3	Detektor nedokázal záření detekovat	G15	Obsluha nesplnila své povinnosti během přejímky
G4	Detektor nemohl záření detekovat	G16	Detektor je mimo provoz
G5	Detektor je mimo provoz	G17	Detektor nedokázal záření detekovat
G6	Selhaly jiné typy kontrol	G18	Detektor nemohl záření detekovat
G7	Intenzita záření je velmi nízká	G19	Obsluha neměla dostatek informací o vzhledu ZIZ
G8	Porucha detektoru	G20	ZIZ nebyl opatřen výstražnými symboly
G9	Funkční porucha detektoru	G21	Intenzita záření je velmi nízká
G10	Selhala vizuální kontrola	G22	Nízká elektrická kapacita zdroje napájení
G11	Neproběhla vizuální kontrola ani kontrola ručním detektorem	G23	Ovlivnění detekce přístrojovými vlivy

Tab. 15 - Označení základních a dále nerozvíjených událost [vlastní]

Označení	Popis události	Označení	Popis události
A	Nelegální umístění ZIZ do areálu	P	Nepředvídatelné selhání
B	Úmyslné zanedbání povinností obsluhy	Q	Zanedbání pravidelné kontroly
C	Jsou nařízeny jiné typy kontrol	R	ZIZ nebyl v dodávce viditelný
D	Detektor nedetekuje neutronové záření	S	Zvláštní či netypický druh ZIZ
E	ZIZ emituje neutronové záření	T	Dodávka byla deklarována jako neobsahující kovy
F	Vysoká průjezdní rychlost vozu	U	Dodávka obsahovala ZIZ
G	Detekce proběhla mimo oblast vyzařování	V	Obsluha nebyla přítomna u přejímky
H	Chyba ovládacího software	W	Nastaven nevhodný rozsah měření
I	Překročen rozsah provozní teploty detektoru	X	Nedostatečně proškolená obsluha
J	Výpadek zdroje elektrické energie	Y	Na pracovišti chybí dokumentace
K	Mechanické poškození detektoru	Z	Symboly se smazaly opotřebením
L	Aktivita ZIZ je velmi nízká	AA	Výrobce symboly neuvedl
M	ZIZ je odstíněn konstrukcí vozu	AB	Extrémní provozní podmínky
N	ZIZ je odstíněn svým krytem	AC	Radiační opotřebením detektoru
O	ZIZ je odstíněn ostatním materiálem	AD	Nelinearita odezvy

PŘÍLOHA P II: EXPERIMENT „ZÁVISLOST RADIOAKTIVITY NA VZDÁLENOSTI OD ZÁŘIČE“

Experiment byl proveden v interaktivní laboratoři on-line na stránkách Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze (obr. 16). [24]



Obr. 16 – Vzdálená měřící aparatura [24]

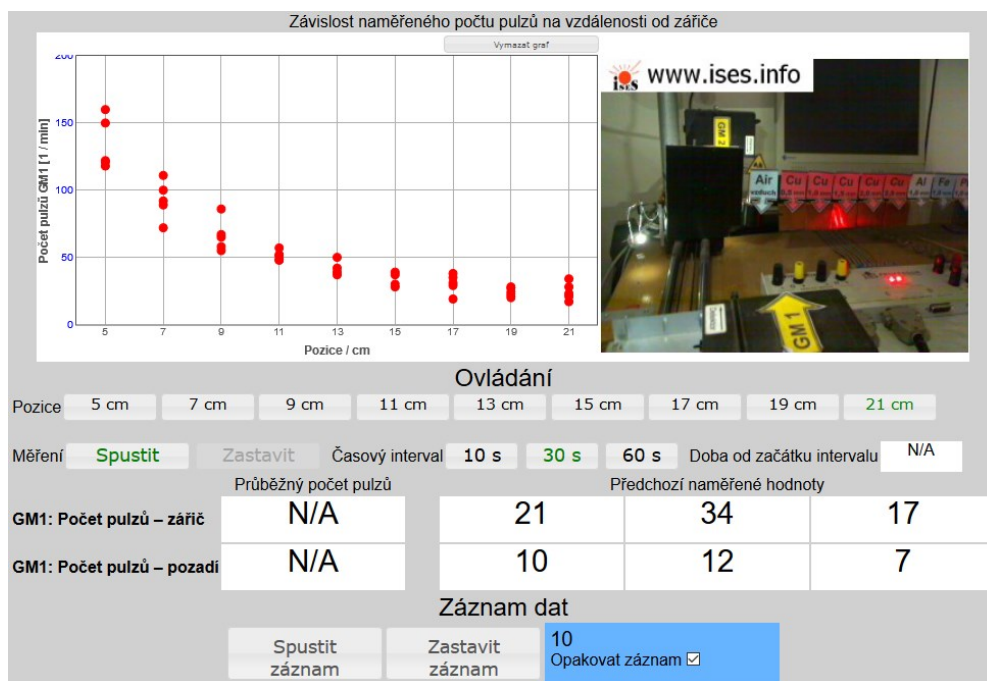
Sestava obsahovala dva Geiger-Müllerovy detektory ze soupravy GAMABETA 2007:

- GM1 měřil intenzitu radioaktivního zdroje ionizujícího záření v různých vzdálenostech,
- GM2 měřil přírodní radioaktivní pozadí.

Jako zdroj ionizujícího záření byl použit zářič ^{241}Am , deklarovaná aktivita zářiče $A = 300 \text{ kBq}$, záření α bylo odstíněno, záření γ o energii 60 keV.

Sestava byla vybavena polohovacím zařízením, měřícím systémem ISES a softwarem ISES WEB Control pro vzdálené řízení experimentů.

V průběhu experimentu byla intenzita radioaktivního záření proměřena v devíti ekvidistantních bodech po 2 cm. Počet pulzů byl proměřen v každé vzdálenosti 5x, časový interval každého měření 30 s (obr. 17). Naměřený počet pulzů byl dále pro každou pozici od zdroje záření zprůměrován, od těchto hodnot byly odečteny průměrné počty pulzů pozadí a vyjádřena výběrová směrodatná odchylka (tab. 16).

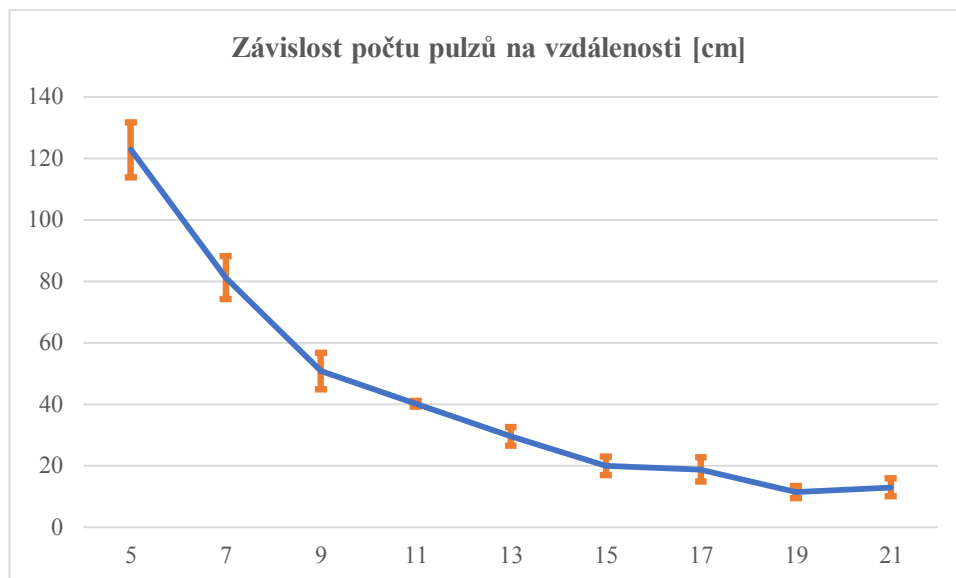


Obr. 17 – Naměřená data během experimentu [vlastní]

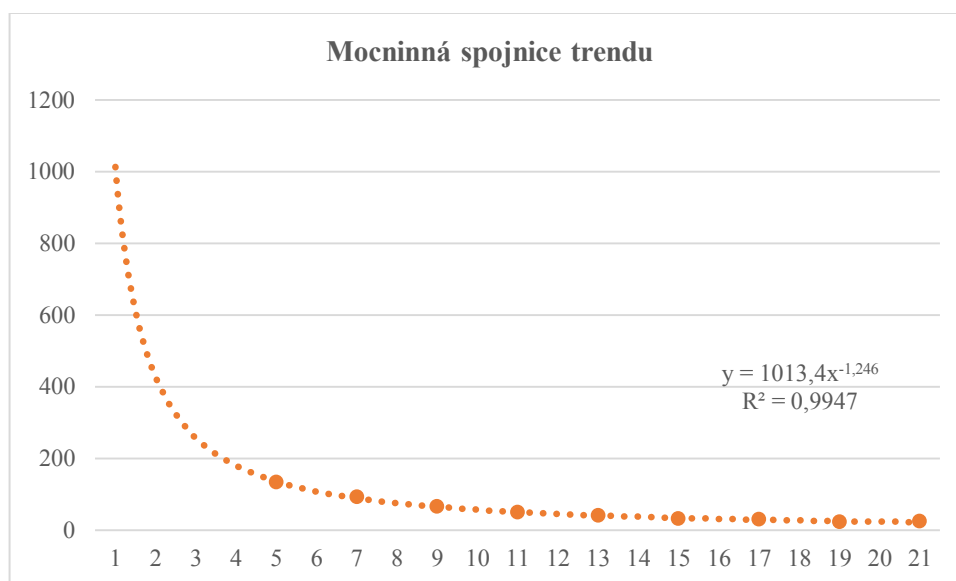
Tab. 16 - Zpracování naměřených dat [vlastní]

Pozice [cm]	Průměrný počet pulzů zdroje	Průměrný počet pulzů pozadí	Průměrný počet pulzů bez pozadí	Výběrová směrodatná odchylka
5	134,2	11,4	122,8	17,3
7	92,8	11,6	81,2	12,9
9	66,2	15,4	50,8	10,8
11	51,2	11	40,2	3,3
13	41	11,4	29,6	4,9
15	32,8	12,8	20	4,4
17	30,4	11,6	18,8	6,5
19	24,2	12,8	11,4	3,0
21	24,6	11,6	13	5,9

Vyhodnocení experimentu: Závislost počtu pulzů na vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření lze s vysokou spolehlivostí vyjádřit pomocí mocninné funkce (graf 8). Aplikací několika typů nelineární regrese na soubor naměřených dat bylo zjištěno, že nejvyšší koeficient spolehlivosti vykazuje mocninná spojnice trendu (graf 9).



Graf 8 – Závislost počtu pulzů na vzdálenosti [vlastní]



Graf 9 - Mocinná spojnice trendu [vlastní]

PŘÍLOHA P III: NÁVRH TEMATICKÉHO PLÁNU A ČASOVÉHO ROZVRHU ŠKOLENÍ PRO OBSLUHU ZAŘÍZENÍ URČENÉHO KE SHROMAŽĎOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ KOVOVÉHO ŠROTU

Tematický plán a časový rozvrh školení

pro obsluhu zařízení určeného ke shromažďování a zpracování kovového šrotu

Vydáno: 24. 10. 2018	Poslední revize: -
----------------------	--------------------

Časový rozvrh	2 hodiny
Provádí	bezpečnostní technik
Účastní se	<ul style="list-style-type: none">• nově zařazení zaměstnanci po absolvování vstupního školení o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci,• zaměstnanci, kteří přešli na pracoviště v rámci převedení na jinou práci,• zaměstnanci v pracovním poměru,• pracovníci přijatí do obdobného poměru (dohoda o provedení práce, dohoda o pracovní činnosti).
Lhůta provedení	<ul style="list-style-type: none">• nově zařazení zaměstnanci před započítáním práce,• dále periodicky 1x ročně.
Přezkoušení	formou kolektivního pohovoru
Dokumentace	<ul style="list-style-type: none">• prezenční listina,• záznam o provedeném školení,• provozní řád,• provozní deník.

Osnova školení	
<i>Téma 1: Ionizující záření a jeho účinky na člověka</i>	<i>10 minut</i>
<ul style="list-style-type: none"> • zdroje ozáření (přírodní, umělé), • typy ionizujícího záření (α, β, γ, X, neutronové), • expoziční cesty (vnější ozáření, kontaminace povrchu těla, inhalace, ingesce), • biologické účinky záření na člověka (akutní, stochastické). 	
<i>Téma 2: Vztažené právní předpisy</i>	<i>5 minut</i>
<ul style="list-style-type: none"> • zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon (§ 91 povinnosti, § 191 přestupky), • vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (§ 3 obecné limity, § 12-16 kategorizace zdrojů). 	
<i>Téma 3: Technické vybavení pro radiometrickou kontrolu</i>	<i>15 minut</i>
<p><i>Přizpůsobit obsah konkrétnímu vybavení pracoviště. Je-li na pracovišti používán přenosný radiometrický přístroj, školitel provede současně proškolení obsluhy a předvede kontrolu funkčnosti tohoto přístroje.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • přenosné radiometrické přístroje, • stacionární detekční systém, • mobilní detekční systém na manipulačních prostředcích, • pasivní dozimetrie. 	
<i>Téma 4: Vizuální identifikace opuštěných zdrojů</i>	<i>30 minut</i>
<p><i>Použít obrazovou přílohu č. 5 doporučení SÚJB (DR-RO-4.1)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • čidla ionizačních hlásičů požáru, • průmyslová měřidla a jejich pracovní kontejnery, • defektoskopické přístroje a jejich součásti, • lékařské ozařovače a zdroje, • přepravní obalové soubory a jejich součásti, • chemické látky a radioaktivní barvy, • výstražné symboly, tabule a znaky, stínící cihličky a polohorké komory. 	
<i>PŘESTÁVKA</i>	<i>5 minut</i>

<i>Téma 5: Postupy při záchytech a nálezech opuštěného zdroje</i>	<i>25 minut</i>
<i>Použít přílohy č. 1 a 2 doporučení SÚJB (DR-RO-4.1)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • schéma postupu při záchytu opuštěného zdroje ve vozidle, • přehled spojení na místně příslušné pracoviště SÚJB, • orientační vymezení bezpečnostní zóny, • postup při nálezu opuštěného zdroje v areálu zařízení, • radiační ochrana fyzických osob. 	
<i>Téma 6: Dokumentace vedená na pracovišti</i>	<i>10 minut</i>
<i>Použít přílohy č. 3 a 4 doporučení SÚJB (DR-RO-4.1)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • záznam o záchytu radioaktivního materiálu, • vnitřní předpis pro postup při podezření na záchyt opuštěného zdroje, • informační plakáty. 	
<i>Téma 7: Diskuse</i>	<i>10 minut</i>
<ul style="list-style-type: none"> • otázky a odpovědi, • upřesnění nejasností apod. 	
<i>Téma 8: Přezkoušení, závěr</i>	<i>10 minut</i>

PŘÍLOHA P IV: NÁVRH ZMĚN PROVOZNÍHO ŘÁDU SBĚRNÉHO DVORA

Autor navrhuje změny přílohy č. 5.3 typového projektu sběrného dvora – „Provozní řád sběrného dvora – vzor“ v rozsahu, který je uveden u dotčených kapitol (tab. 17).

Tab. 17 - Změny provozního řádu sběrného dvora [vlastní]

Kapitola	Název	Popis změny
1.6	Telefonní čísla pro mimořádné události	<i>Na závěr kapitoly se doplňuje:</i> Regionální centrum Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Tř. kpt. Jaroše 5, 602 00 Brno.....515 902 771
6.3	Přejímka odpadu	<i>Ve výčtu úkonů pověřeného pracovníka se za "vizuální kontrolu odpadu" vkládá:</i> - jedná-li se o kovový odpad, kontrolu ručním detektorem ionizujícího záření,
11	Monitorování provozu zařízení a jeho vliv na životní prostředí	<i>V podkapitole 11.1 se do výčtu kontrolních činností obsluhy za "zajištění shromažďovacích prostředků..." doplňuje:</i> - pravidelnou měsíční kontrolu nádob s kovovým odpadem ručním detektorem ionizujícího záření,
15	Mimořádná a havarijní opatření	<i>V podkapitole 15.1 se do výčtu mimořádných nebo havarijních situací při provozu sběrného dvora doplňuje:</i> - záchyt nebo nález opuštěného zdroje ionizujícího záření,
16	Řešení mimořádných a havarijních stavů	<i>Doplňuje se nová podkapitola:</i> 16.5 Záchyt nebo nález zdroje ionizujícího záření Zjištění výskytu zdroje ionizujícího záření při přejímce odpadu nebo pravidelné kontrole zařízení vyžaduje odborné posouzení a rozhodnutí o dalším postupu. Případ se neprodleně ohlásí telefonicky Regionálnímu centru SÚJB a nálezce dále postupuje podle pokynů pracovníků SÚJB. Jako okamžité preventivní opatření se vyloučí pohyb osob v bezpečnostní zóně okolo zdroje. Proveďte se měření příkonu dávkového ekvivalentu ručním detektorem po kružnici ve vzdálenosti 1-2 m od zdroje záření. Přibližná hranice bezpečnostní zóny v metrech se určí jako dvojnásobek naměřené hodnoty v $\mu\text{Sv/h}$ ($\mu\text{Gy/h}$) ve směru od zdroje záření přes příslušné místo měření.
17	Bezpečnost provozu a ochrana zdraví	<i>V podkapitole 17.4 se do výčtu OOPP doplňuje:</i> - pasivní dozimetr se solnou kapslí,