



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

## **Porovnání dozimetrů a radiometrů pro laickou veřejnost**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

**Autor:** Bc. Vladan Džurný

**Vedoucí práce:** prof. Dr. rer. nat. DSc. Friedo Zölzer

České Budějovice 2021

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Porovnání dozimetrů a radiometrů pro laickou veřejnost*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 10. 5. 2021

.....

Vladan Džurný

### **Poděkování**

Tímto mnohokrát děkuji panu profesorovi Zölzerovi, paní doktorce Zemanové z SÚJB, panu magistrovi Zemanovi ze SÚRO, panu inženýrovi Haladovi z HZS a panu magistrovi Havránkovi z SÚJB za cenné rady a podporu při zpracovávání této diplomové práce.

# Porovnání dozimetrů a radiometrů pro laickou veřejnost

## Abstrakt

Tato práce má za cíl porovnat technické parametry jednotlivých měřících zařízení (radiometrů a dozimetrů) pro laickou veřejnost s obdobnými profesionálními zařízeními používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice a na základě uvedeného porovnání zodpovědět na výzkumnou otázku, zda jsou dozimetry a radiometry dostupné pro laickou veřejnost schopny konkurovat obdobným zařízením používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice.

Praktická část práce je zaměřena na kvantitativní zpracování vybraných technických parametrů všech vybraných zkoumaných zařízení pomocí vícekriteriální analýzy a jejich porovnání pomocí CLA analýzy. Na základě uvedených metod je naplněn cíl práce a zodpovězeno na výzkumnou otázku.

K porovnání byl vybrán z profesionálních přístrojů jako obdobný přístroj URAD 115 (HZS České Budějovice) a FH 40 G (SÚJB České Budějovice). Z přístrojů určených pro laickou veřejnost byl vybrán přístroj: Gamma Scout, RD1008, SOEKS 112, BR 6, BR 9B a VOLTCRAFT Gamma-Check-A.

Výsledky získané vícekriteriální a CLA analýzou ukázaly, že zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost nejsou schopny konkurovat profesionálním přístrojům URAD 115 a FH 40 G. Bylo také zjištěno, že zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost se oproti zkoumaným profesionálním zařízením vyznačují nižší hmotností a možností detekovat záření beta.

Výsledky práce přispívají k zhodnocení využitelnosti zkoumaných přístrojů pro účely SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice při řešení radiální mimořádné události. Výsledky napomáhají také posoudit kvalitu zkoumaných přístrojů.

## Klíčová slova

dozimetr; radiometr; technický parametr; porovnání; radioaktivita

# Comparison of dosimeters and radiometers for the laic public

## Abstract

This work aims to compare the technical parameters of individual measuring devices (radiometers and dosimeters) for the general public with similar professional equipment used by SÚJB České Budějovice and HZS České Budějovice and based on the comparison to answer the research question whether dosimeters and radiometers are available for the general public. able to compete with similar equipment used by SÚJB České Budějovice and HZS České Budějovice.

The practical part of the work is focused on the quantitative processing of selected technical parameters of all selected investigated devices using multicriteria analysis and their comparison using CLA analysis. Based on the mentioned methods, the aim of the work is fulfilled and the research question is answered.

For comparison, he was selected from professionals as a similar device URAD 115 (HZS České Budějovice) and FH 40 G (SÚJB České Budějovice). The following device was chosen from the devices intended for the general public: Gamma Scout, RD1008, SOEKS 112, BR 6, BR 9B and VOLTCRAFT Gamma-Check-A.

The results of multicriteria and CLA analysis showed that the investigated devices intended for the general public are not able to compete with professional devices URAD 115 and FH 40 G. It was found that the investigated devices intended for the general public are characterized by lower weight and ability to detect beta radiation. Furthermore, the fact that the Gamma Scout device is able to detect alpha radiation in addition to the above radiation.

The results of the work contribute to the evaluation of the usability of the investigated devices for the purposes of SÚJB České Budějovice and HZS České Budějovice in solving a radiation emergency. It also helps to assess the quality of the devices examined.

## Key words

dosimeter; radiometer; technical specifications; comparison; radioactivity

# Obsah

Obsah.....	6
Úvod.....	8
1 Teoretická část.....	9
1.1 Radioaktivita.....	9
1.2 Ionizující záření.....	10
1.3 Vybrané veličiny v oblasti ionizujícího záření.....	13
1.4 Zdroje záření.....	15
1.4.1 Přírodní.....	16
1.4.2 Umělé.....	17
1.5 Detekce IZ.....	18
1.5.1 Historie.....	18
1.5.2 Využití.....	19
1.6 Přístroje pro měření IZ.....	20
1.6.1 Radiometr.....	21
1.6.2 Dozimetr.....	21
1.6.3 Spektrometr.....	22
1.7 Druhy detektorů.....	22
1.7.1 Kontinuální detektory.....	23
1.7.2 Integrované detektory.....	23
1.8 Detektory pevné fáze.....	23
1.8.1 Scintilační detektory.....	24
1.8.2 Polovodičové detektory.....	26
1.8.3 Termoluminiscenční detektory.....	27
1.8.4 Fotoluminiscenční detektory.....	28
1.8.5 Fotografické detektory.....	29
1.9 Plynem plněné detektory.....	30
1.9.1 Ionizační komory.....	32
1.9.2 Proporcionální detektory.....	33
1.9.3 Geiger-Müllerovy detektory.....	34
1.10 Základní parametry charakterizující detektor.....	36
1.11 Parametry charakterizující přístroje pro měření IZ.....	38

1.12	Přístroje pro měření IZ určené pro laickou veřejnost.....	39
1.12.1	Vybrané dozimetry určené pro laickou veřejnost.....	40
1.12.2	Laické projekty dozimetrů.....	46
1.13	Vybrané profesionální zařízení.....	46
1.13.1	Zásahový dozimetr URAD 115.....	47
1.13.2	Dozimetr FH 40 G.....	48
2	Cíl práce a výzkumná otázka.....	49
2.1	Cíl práce.....	49
2.2	Výzkumná otázka.....	49
3	Metodika výzkumu.....	49
3.1	Výběr zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost.....	50
3.2	Výběr zkoumaných profesionálních zařízení.....	51
3.3	Způsob porovnání technických parametrů.....	52
3.4	Sledované technické parametry k porovnání včetně jejich kritérií.....	53
4	Výsledky.....	59
4.1	Ohodnocení jednotlivých zkoumaných přístrojů.....	59
4.2	Porovnání přístrojů pro laickou veřejnost s profesionálními přístroji.....	67
4.3	Porovnání jednotlivých tech. parametrů přístrojů pro laickou veřejnost s jednotlivými tech. parametry profesionálních přístrojů.....	70
5	Diskuze.....	75
5.1	Zhodnocení technických parametrů dozimetrů určených pro laickou veřejnost.....	75
5.2	Zhodnocení využitelnosti dozimetrů určených pro laickou veřejnost.....	77
6	Závěr.....	79
7	Seznam použitých zdrojů.....	81
8	Seznam obrázků a tabulek.....	92
8.1	Seznam obrázku.....	92
8.2	Seznam tabulek.....	92
9	Seznam zkratk.....	95

## Úvod

Po havárii jaderné elektrárny Černobyl se začalo stále více diskutovat o přístrojích určených k měření ionizujícího záření. Začaly se vyrábět stále více kompaktní a praktičtější přístroje uzpůsobené i pro práci v terénu. Stále to byli prakticky jen profesionálové ze státních nebo mezinárodních organizací, kteří byli jediným zdrojem informací o úrovních radioaktivního záření. Až s katastrofou ve Fukušimě v březnu roku 2011 přišel zlom. Havárie jaderné elektrárny Fukušima I šokovala nejenom Japonsko, ale i celý svět. Medializace havárie, panika a nedůvěra veřejnosti vůči informacím podávanými úřady způsobila, že začali být na trhu postupně dostupná zařízení, která si mohla veřejnost jednoduše zakoupit z pozice fyzické osoby na e-shopech či v kamenných prodejnách. Veřejnost si tak mohla sama měřit úroveň radiace a nemusela se spoléhat pouze na informace, které sdělovaly úřady. Ruku v ruce s tím vznikly i projekty určené na stavbu vlastních amatérských přístrojů. Poté se postupem času začalo na trh dostávat více přístrojů za přijatelnější ceny. V dnešní době jsou již dostupné za relativně nízkou cenu i pro veřejnost.

Jak ukázala fukušimská havárie – v případě rozsáhlé radiační havárie se dá očekávat velký nárůst poptávky veřejnosti po přístrojích měřících úroveň radiace. Zároveň ovšem může vzniknout potřeba poptávky po těchto zařízeních i zainteresovanými profesionálními organizacemi v řešení radiačních havárií jako je například Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB České Budějovice) a Hasičský záchranný sbor České Budějovice (dále jen HZS České Budějovice).

Tato práce má za cíl porovnat technické parametry jednotlivých měřících zařízení pro laickou veřejnost s obdobnými profesionálními zařízeními používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice a na základě uvedeného porovnání zodpovědět na výzkumnou otázku, zda jsou dozimetry a radiometry dostupné pro laickou veřejnost schopny konkurovat obdobným zařízením používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice. Psáním této práce chci dosáhnout, aby výsledky práce přispěly k zhodnocení využitelnosti zkoumaných přístrojů pro účely SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice při řešení radiační mimořádné události. Dále pak, aby práce pomohla zmapovat jaké jsou dostupné přístroje pro měření ionizujícího záření určených pro laickou veřejnost na českém trhu a zhodnotit je.



# 1 Teoretická část

## 1.1 Radioaktivita

Atomy veškerých látek sestávají ze tří druhů částic: protonů, neutronů a elektronů. Základní struktura atomu je tvořena jádrem a obalem (Švec, 2005). Jádro atomu je tvořeno nukleony – protony a neutrony. Jeho obal pak záporně nabitými elektrony, které kolem jádra obíhají po vymezených drahách (Havránková et al., 2018). Záporné elektrony jsou neutralizované kladně nabitým jádrem, proto se jeví atomy jako elektricky neutrální (L'Annunziata, 2012). A právě přeměna struktury (složení) jader, ale také změna jeho energetického stavu, souvisí s radioaktivitou. Pokud je látka utvořena z atomů stejných prvků a zároveň má shodná nukleonová čísla, nazýváme tuto látku nuklidem (Havránková et al., 2018). Je známo více než 2000 nuklidů. Z těchto nuklidů je jich ovšem pouze 266 stálých. Zbývající ostatní (v přírodě nacházející nebo vznikající jadernými reakcemi) se samovolně přeměňují na nuklidy jiné (Konečný, 2006). Během této přeměny dochází ke změně složení atomového jádra nebo také ke změně jeho energetického stavu, obvykle současně spolu s uvolňující se energií ve formě záření (Ullmann, 2010). Příčinou této přeměny je odchýlení atomového jádra z optimálního poměru množství nukleonů (protonů a neutronů) v jádře. Dochází k tomu za účelem toho, aby byla dosažena stabilita atomového jádra. Jádra se tak tímto procesem přeměňují na jiná, již stabilní nebo pořád nestabilní jádra (Konečný, 2006). Tento popisovaný jev se nazývá radioaktivita a takto přeměňující se nuklidy označujeme jako radionuklidy. Popisovaný proces přeměny je označován jako radioaktivní přeměna (Havránková et al., 2018). Rozlišujeme radioaktivní přeměnu alfa, beta, gama (Švec, 2005). V průběhu radioaktivní přeměny dochází k tomu, že se množství radioaktivních atomů daného nestabilního nuklidu stále zmenšuje (Havránková et al., 2018) a to exponenciálně s časem (Ullmann, 2010). Celý proces přeměny je nahodilý děj. To, v jaké konkrétní době se určité jádro přemění jsme schopni pouze předpovědět na základě matematických vztahů (Beneš et al., 2015). Doba, která je nutná k tomu, aby se polovina celkového počtu jader přeměnila, je nazývána poločas přeměny nebo také rozpadu. Tato doba je označována jako  $T_{1/2}$ . Přeměna některých jader může trvat od několika sekund až po tisíc let (Ullmann, 2010). Hranicí, kdy je jádro ještě schopno udržet se stabilní, je Bismut  $^{209}\text{Bi}$ , což je zároveň nejtěžší nuklid. Veškerá těžší atomová jádra jsou nestabilní a spontánně se rozpadají na lehčí jádra – již stabilní nebo ke stabilitě

(stabilní konfiguraci) vedou. Uvedený jev se nazývá přirozená radioaktivita (Havránková et al., 2018). Nestabilitu jader lze také vyvolat uměle – umělým předáním jádru nuklidu takové energie, která způsobí jeho nestabilitu. Takto vyvolaná nestabilita se nazývá umělá radioaktivita (L'Annunziata, 2012).

## ***1.2 Ionizující záření***

Ionizující záření (dále jen „IZ“) vzniká v průběhu radioaktivních přeměn jako jejich průvodní jev, kdy se atomové jádro nebo jeho obal dostane do excitovaného stavu a stává se energeticky nestabilní. Aby jádro dosáhlo stabilního stavu, tak vyzáří energii ve formě fotonů elektromagnetického záření nebo částic. Ionizující záření je tedy charakterizováno jako fotony elektromagnetického záření nebo tok hmotných částic, které jsou schopné ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Když IZ prochází látkou dochází ke ztrátě jeho energie. Velikost ztracené energie se odvíjí od fyzikálních vlastností látky (Havránková et al., 2018).

Rozlišujeme tyto druhy IZ: alfa, beta, gama, neutronové a rentgenové. Z hlediska charakteru ionizačního procesu můžeme také ionizující záření dělit na přímo a nepřímo ionizující. Přímé ionizující záření jsou částice nesoucí elektrický náboj a zároveň mají dostatečně velkou kinetickou energii díky čemuž jsou schopny přímé interakce s atomy a vyvolání ionizace. Radíme sem částice alfa, beta, elektrony, pozitrony a protony. Naopak neutrony a fotony radíme mezi nepřímo ionizující záření. Tyto částice nenesou elektrický náboj a nejsou tak schopny látku schopny sami přímo ionizovat, ale interagují s prostředím a skrze něj dochází k uvolňování sekundárních částic, které již přímo ionizují (L'Annunziata, 2012).

### **Alfa záření**

Alfa záření je tvořeno proudem rychle letících alfa částic (L'Annunziata, 2012). Emitovaná částice alfa je vlastně jádro helia, které je emitováno mateřským jádrem během přeměny alfa. Skládá se ze dvou protonu, dvou neutronu a nese dva elementární kladné náboje. Částice alfa jsou vyzářovány jádry prvků jako například radium, uran a thorium (Klener et al., 2000). Velký kladný náboj, vysoká hmotnost, a tedy i kinetická energie má za následek to, že průchodem prostředí ztrácí alfa záření velkou část své energie ionizací ostatních atomů. To se projevuje ztrátou rychlosti a tím i pronikavostí (Havránková et al., 2018). Dosah částic alfa je ve vzduchu jen řádově centimetry, v pevných látkách mikrony až desítky mikronů a odstíníme je pouhým listem papíru

(Klener et al., 2000). Z hlediska bezpečnosti nepředstavuje alfa záření při vnějším ozáření problém. Dopadající částice na pokožku se absorbují v jejích svrchních vrstvách (Havránková et al., 2018). Neuvažujeme-li ale vnitřní kontaminaci (Klener et al., 2000). Během níž se totiž energie záření v malém množství absorbuje v malém objemu tkáně, kterou negativně biologicky ovlivňuje (Havránková et al., 2018). Alexander Litviněnko je slavným příkladem. V čaji byl otráven poloniem  $^{210}\text{Po}$ , právě emitorem alfa záření (Mihulka, 2016).

### **Beta záření**

Záření beta je tvořeno proudem rychlých, velmi malých, lehkých částic se značným rozsahem energií – elektronů nebo pozitronů (Havránková et al., 2018). Pokud je tvořeno elektrony, jedná se o záření  $\beta^-$ . V případě pozitronů pak o záření  $\beta^+$ . Podstatou vzniku záření  $\beta^-$  je přeměna neutronu na proton, elektron a elektronové antineutrino. Oproti tomu záření  $\beta^+$  vzniká jadernou přeměnou protonu na neutron, pozitron a elektronové neutrino. Jako emitory beta záření lze uvést:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Y}$  (Konečný, 2006). Vnější kontaminací beta částice pronikají několik mm do hloubky kůže a mohou tak způsobit radiační dermatitidu. Proti záření  $\beta$  je ochranou lehký materiál jako je plexisklo spolu s vrstvou olova, aby bylo odstíněno i vzniklé brzdné záření. Podobný způsob ochrany bude v případě odstínění pozitronů, kdy se použije ještě tlustší vrstva olova (Klener et al., 2000).

### **Gama záření**

V průběhu změny energetického stavu jádra (přechodu z vyššího do nižšího energetického stavu) vzniká v jeho vnitřku elektromagnetické, vysoce energetické záření gama označované řeckým písmenem  $\gamma$  s velmi krátkou vlnovou délkou v rozmezí cca  $10^{-11}$  až  $10^{-13}$  m. Vznik gama záření je důsledkem absorpce nebo emise částice. S prostředím interaguje fotoelektrickým jevem, Comptonovým rozptylem a tvorbou elektron-pozitronových párů (Havránková et al., 2018). Tím, že je záření gama vysokoenergetické, tak má vysokou pronikavost. Látky tvořící ochranu vůči tomuto záření musí mít vysokou hustotu. Mezi takové látky patří například olovo, wolfram nebo baryt (Klener et al., 2000). V přírodě neexistují čisté zářiče gama, ale doprovází radioaktivní přeměny. Uměle ovšem lze gama zářiče připravit v jaderných reaktorech (L'Annunziata, 2012).

## **Neutronové záření**

Dalším druhem IZ záření je záření neutronové. Je tvořeno volnými neutrony. Jsou emitovány nestabilním jádrem atomu během jeho spontánního štěpení nebo při jaderných reakcích (Ullmann, 2010). To, jak se bude neutronové záření chovat, určuje jeho energie. Vzhledem k tomu, že neutrony nenesou elektrický náboj tak elektricky neinteragují s prostředím, ale uplatňují se zde interakce jaderné. Díky elektrické neutralitě se neutrony vyznačují vysokou pronikavostí, protože neztrácí svou energii přímou ionizací. S prostředím interaguje štěpením jader, radiačním záchytem, pružným a nepružným rozptylem (Havránková et al., 2018). Velkou část neutronového záření tvoří složku záření z kosmu (primární kosmické záření), ale většina je vytvářena především uměle (Ford, 2004). Ochranou vůči neutronům budou obecně jádra atomů, které mají podobnou hmotnost jako neutron. Interakcí s těmito jádery dojde k jejich zpomalení. Takovým materiálem jsou látky obsahující vodík jako je například beton, písek, parafin atd. Zpomalené neutrony se poté absorbují vhodnými jádery (indium, bór, kadmium). Během absorpce zpomalených neutronů dochází k vyzaření gama fotonu a ty je potřeba také odstínit (Havránková et al., 2018).

## **Rentgenové záření**

Rentgenové záření nebo také záření X je elektromagnetické vlnění s velmi malými vlnovými délkami ( $10^{-9}$  až  $10^{-13}$  m) a vytváří se v přístroji rentgenka. Gama záření má stejný charakter jako rentgenovo záření. Narozdíl od gamy ale rentgenovo záření vzniká v elektronovém obalu atomu. Podle mechanismu vzniku rozdělujeme rentgenovo záření na charakteristické a brzdné. Charakteristické vzniká během přechodu elektronů v atomovém obalu a brzdné jejich zpomalováním (Podzimek, 2013).

### ***1.3 Vybrané veličiny v oblasti ionizujícího záření***

Z veličin používaných v oblasti ionizujícího záření byly vybrány pro účely práce jen některé z nich.

#### **Aktivita**

Množství radioaktivní látky u radionuklidových zdrojů charakterizuje aktivita, která se značí písmenem A (Navrátil et al., 2014). Jednotkou aktivity je Bq (becquerel). Aktivita vyjadřuje četnost radioaktivních přeměn probíhající v látce vztažených na jednotku času. Radioaktivní látka má aktivitu 1 Bq, pokud dojde v látce za 1 sekundu k jedné přeměně (Havránková et al., 2018). Velikost vzorku (množství jader radionuklidu v něm obsažené) a doba uplynulá od vzniku radionuklidu určuje hodnotu jeho aktivity (Beneš et al., 2007). Hodnoty aktivity v Bq jsou velmi malé jednotky. V praxi se proto používají především násobky v kBq, Mbq nebo GBq (Havránková et al., 2018). Jako příklad lze uvést draslík  $^{40}\text{K}$  jehož aktivita v lidském těle dosahuje několik tisíc Bq (Veličiny

a jednotky, © 2021). Z hlediska přesnějšího popisu radionuklidu můžeme aktivitu vtáhnout k vhodné jednotce (Švec, 2005). Aktivita vztažená na kilogram se nazývá hmotnostní aktivita ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), vztažením na plochu získáme plošnou aktivitu ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ ) a na objem pak objemovou aktivitu ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo  $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ ) (Havránková et al., 2018).

#### **Absorbovaná dávka**

Absorbovaná dávka je základní dozimetrickou veličinou, která nám popisuje účinek ionizujícího záření. Označuje se písmenem D a v praxi se často používá zkrácené označení „dávka“ (Havránková et al., 2018). Tato veličina nám udává množství energie absorbované v hmotnostní jednotce látky, která je ozařována v určitém místě. Absorbovaná dávka nám zároveň dává informaci i o předané tepelné energii, protože značná část pohlceného ionizujícího záření se mění na teplo. Při běžném použití v lékařských aplikacích je tento „radiační ohřev“ ovšem nevýznamný (Ullmann, 2010). Jednotkou dávky je Gy (gray). Její rozměr je  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Látka, která absorbovala na 1 kilogram své hmotnosti energii záření 1 J, obdržela dávku 1 Gy (Havránková et al., 2018).

### **Dávkový příkon**

Dávkový příkon vyjadřuje dávku obdrženou v určitém místě ozařované látky za určitý čas. Jedná se o poměr přírůstku dávky za časový interval. Může se označovat také jako  $D'$ . Jednotkou je Gray za sekundu ( $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Ullmann, 2010).

### **Kerma**

Veličina zvaná kerma se používá pouze v souvislosti s neutronovým a gama zářením (nepřímo ionizující zářením). Veličina kerma charakterizuje energii sdělenou nepřímo ionizujícím zářením při první srážce nabitým částicím (elektronům, protonům). Její jednotkou je Gy (Navrátil et al. 2014).

### **Kermový příkon**

Kermový příkon je přírůstek kermy za časový interval. Jednotkou je  $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$  (Bureš, 2002).

### **Expozice**

Expozice vyjadřuje množství ionizujícího záření, které prostoupilo určitým bodem prostoru ve vzduchu. Definována je jako velikost náboje, který vznikne průchodem ionizujícího záření v jednotkovém množství vzduchu. Jednotka expozice je R (rentgen) (Beneš, 2007).

### **Ekvivalentní dávka**

Různé druhy ionizující záření se projevují různými účinky, a to i při totožné dávce. Kvůli přesnějšímu vyjádření účinku ionizujícího záření na člověka se tak vytvořila veličina zvaná ekvivalentní dávka (Veličiny a jednotky, © 2021). Jedná se o veličinu kombinující absorbovanou dávku s určitým druhem záření a empiricky stanovenou mírou jeho vlivu na živou tkáň v porovnání s fotonovým zářením (Ullmann, 2010). Je definována jako součin střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni pro ionizující záření určitého typu a radiačního váhového faktoru. Označuje se  $H_T$  a její jednotkou je Sievert (Sv) (Havránková et al., 2018).

## **Osobní dávkový ekvivalent**

Osobní dávkový ekvivalent se označuje jako  $H_p(d)$  a slouží pro potřeby osobní dozimetrie (Sabol et al., 2011). Je to hodnota dávkového ekvivalentu v určitém místě pod povrchem těla v měkké tkáni v určité hloubce  $d$  (Singer a Heřmanská, 2004). Pro nepronikavé záření (např. beta záření) a ozáření kůže se nejčastěji uvažuje  $d = 0,07$  milimetrů, pro ozáření oka 3 milimetry a  $d = 10$  milimetrů pro záření pronikavé (Navrátil et al. 2014).

## **Efektivní dávka**

Efektivní dávka není přímo změřitelná hodnota. Poskytuje nám údaj o rozsahu zdravotního rizika plynoucího z ozáření, kterým byl člověk ozářen. Jednotlivé druhy záření se vyznačují rozdílným biologickým působením na orgány a tkáně. Ty jsou také různě senzitivní na jeho působení. Výsledné zdravotní důsledky ozáření jsou tak různé. Tento fakt bere tato veličina v úvahu. Jelikož je působení IZ na lidský organismus složitým procesem tak má efektivní dávka povahu „odhadu“ obdržených dávek vyznačující se určitou nepřesností několik desítek %. Díky ní můžeme radiační zatížení vyjádřit jedním číslem což je velkou výhodou (Ullmann, 2010). Je dána součtem součinnů ekvivalentních dávek  $H_T$  v jednotlivých tkání, orgánech a příslušných tkáňových váhových faktorů. Radiační váhové faktory představují různou radiosenzitivitu tkání a orgánů z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků, tedy možnosti vzniku genetických mutací a zhoubných nádorů. Jednotkou efektivní dávky je Sievert (Sv) (Havránková et al., 2018).

### ***1.4 Zdroje záření***

Za zdroje ionizujícího záření jsou považovány veškeré látky, přístroje či předměty emitující ionizující záření (Ullmann, 2010). Každou pevnou látku, kapalnou nebo plynou, která je radioaktivní, označujeme jako radionuklidový zářič (Radiační ochrana pro vybrané pracovníky, 2000). Rozlišujeme zářiče otevřené a uzavřené. Na základě toho, zda zářič přímo ozařuje okolí nebo zda je uzavřený v neprodyšném obalu (Ionizující záření v lékařství, © 2021. Dále můžeme podle druhu emitovaného ionizujícího záření zářiče kategorizovat jako zářiče alfa, beta, gama atd. Většina radionuklidů v přírodě jsou smíšené zářiče (Klener et al., 2000).

Podle původu dělíme zdroje ionizujícího záření do dvou skupin – přírodní a umělé (Malcolm et al., 2016).

### ***1.4.1 Přírodní***

Veškerý živé organismy včetně člověka jsou na naší zemi vystaveny ozařování z přírodních zdrojů, a to víceméně nevyhnutelně. Rozložení ozáření z přírodních zdrojů je nerovnoměrné. Míra ozáření závisí na geologických podmínkách (složení zemské kůry), zeměpisné šířce a nadmořské výšce. Živé organismy jsou proto na zemi ozařovány různými dávkami záření. Zdrojem přírodního ozáření jsou dvě odlišné skupiny: kosmické záření a přírodní radionuklidy v životním prostředí (Navrátil a Rosina 2019).

Kosmické záření je tvořena několika složkami: sluneční záření, galaktické záření a záření radiačních pásů Země. Tvoří ho tok vysoko energetických částic. Drtivou část zahrnují hlavně protony (až 85 %) (Kuna a Navrátil, 2005).

Přírodní radionuklidy se na základě jejich původu dělí do tří skupin. Kosmogenní radionuklidy, primordiální radionuklidy a radionuklidy vznikající v přeměnových řadách. Poslední dvě skupiny jsou označovány jako zdroje terestriálního záření nebo také terestriální radionuklidy (Navrátil a Rosina, 2019).

Kosmogenní radionuklidy vznikají v průběhu jaderných reakcí a interakcí stabilních atomů ve vnějším obalu země s kosmickým záření. Patří sem například  ${}^7\text{Be}$ ,  ${}^{22}\text{Na}$ ,  ${}^{14}\text{C}$ ,  ${}^3\text{H}$  (Havránková et al., 2018).

Původní primordiální radionuklidy vznikaly v dávných dobách utváření vesmíru. Díky tomu, že mají velmi dlouhý poločas rozpadu, tak se ve velkém množství dodnes nachází na Zemi. Zástupci jsou například:  ${}^{40}\text{K}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$ . Radionuklidy vznikající v přeměnových řadách vznikají druhotně z radionuklidů čtyř řad. Těmi jsou řada thoriová, uran-thoriová, aktiniová a neptuniová (Navrátil a Rosina, 2005). Zástupcem největší významu této celé skupiny je  ${}^{226}\text{Ra}$  a z něho vznikající plyn  ${}^{222}\text{Rn}$  spolu s jeho dceřinými produkty (Havránková et al., 2018). Radon a jeho dceřiné produkty se pak největší měrou podílí na celkovém ozáření obyvatelstva na našem území (Přírodní radioaktivita a problematika radonu, © 2021).



### 1.4.2 Umělé

Kromě přírodních zdrojů ionizujícího záření existují také zdroje umělé, které jsou vytvořené člověkem (Havránková et al., 2018). Ovšem z lidské činnosti pochází jen malá část celkové expozice ozáření obyvatelstva. Mezi umělé zdroje záření patří zdroje ionizujícího záření využívající se ve zdravotnictví, energetice (jaderné elektrárny) a v průmyslu, případně ve vědě (Navrátil et al., 2014). Také některé spotřební výrobky jsou zdrojem malého množství záření. Poměrná velká škála věcí určených pro běžnou potřebou obsahuje malé množství radioaktivních látky/látek, tedy jsou zdrojem záření. Ty se do spotřebních výrobku dostávají záměrně během výroby kvůli jejich chemickým případným radioaktivním vlastnostem. Příkladem jsou různé ciferníky, šperky a bižuterie s uranovým sklem atd. (Malcolm et al., 2016). Z průmyslových zdrojů jsou nejvýznamnější jaderné reaktory v jaderných elektrárnách, a to z hlediska možného vzniku radiační havárie. Ostatním umělými zdroji IZ používaných v průmyslu jsou například: defektoskopická zařízení, tloušťkoměry, hustoměry, hlásiče požáru a hladinoměry (Navrátil et al., 2014). Stopové množství radioaktivních prvků bychom našli v atmosféře a v životním prostředí jako důsledek zkoušek jaderných zbraní a nehodách jaderně energetických zařízení, především nehody jaderné elektrárny Černobyl na Ukrajině. Důsledkem těchto událostí se i v dnešní době v životním prostředí na našem území nachází stále  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  a i  $^3\text{H}$  (Monitorování radiační situace, © 2021). Nejvýznamnějším antropogenním radionuklidem v životním prostředí České republiky je  $^{137}\text{Cs}$  (Helebrant a Rulík, 2011).

Výše uvedené radionuklidy jsou obzvláště nebezpečné z hlediska ozáření člověka a kontaminace životního prostředí. Únikem do atmosféry tvoří tzv. radioaktivní spad. Ten může být tvořen mimo jiné také fragmenty reaktoru či části samotné jaderné zbraně (Drábová et al., 2001). Převládající složkou spadu bývá směs štěpných produktů tvořená převážně beta a gama zářiči (Havránková, © 2021). Radioaktivní látky se pak mohou skrze kontaminované prostředí podílet na ozařování obyvatelstva, kdy například mohou vstoupit do potravního řetězce, ve kterém poté kolují. Proto je nutné monitorovat všechny složky životního prostředí kolem nás (Havránková et al., 2018).

## ***1.5 Detekce IZ***

Žádným lidským smyslem nedokážeme detekovat, jestli je nebo není některá látka radioaktivní. Přítomnost ionizující záření nemůžeme vidět, cítit, ochutnat a ani si ho nějak osahat (Prášil et al., 1998). V oblasti radioaktivity existuje pár výjimek, kdy jsme schopni okem detekovat přítomnost ionizujícího záření. Takovou výjimkou může být například Čerenkovovo záření vznikající průchodem nabitě částice látkou s takovou rychlostí, která překoná rychlost světla v látce, kterou prochází. Tento jev můžeme lze vidět v okolí nádrží jaderných reaktorů (Ullmann, 2010). Do výjimek bychom v podstatě mohli zařadit i silnou ionizaci vzduchu vznikající během bouře kdy můžeme v ovzduší detekovat čichem tvořící se ozon. Vzhledem k tomu, že ionizující záření je tedy v podstatě nedetekovatelné okem a jinými smysly tak abychom se přesvědčili o tom, zda ionizující záření existuje, musíme spoléhat na vhodné detekční přístroje založené na určitých fyzikálních metodách (Ullmann, 2010).

### ***1.5.1 Historie***

Již od počátků prvních experimentování s radioaktivitou Röntgenem a Becquerelem vědci hledali způsoby, jak detekovat záření vydávané materiály se kterými pracovali. Jedním z prvních zařízení k detekci ionizujícího záření byl fotografický film (Introduction to Radiation Detectors, © 2021). Fotografický film byl vystaven ionizujícímu záření, které zanechalo na fotografickém filmu „otisk“. Dalším běžným používaným detektorem byl elektroskop. Ten umožnil detektovat záření s lepší úrovní citlivosti, než bylo možné pomocí fotografických filmů. V závislosti na technickém provedení mohly být elektroskopy konfigurovány pro měření intenzity záření alfa nebo beta a byly tak velmi cenným nástrojem pro rané experimenty s radioaktivitou, které přispěly k dalšímu rozvoji detekce ionizujícího záření (Introduction to Radiation Detectors, © 2021).

Poté přišlo další zařízení vyvinuté Williamem Crooksem nazývané spintariskop. Je tvořený trubicí s čočkou, stínítkem a síranem zinečnatým. Toto zařízení umožňuje počítat záblesky na stínítku pomocí čočky vzniklé interakcí (dopadem částic) se síranem zinečnatým. Celý proces detekce byl ovšem velmi zdoluhavý, protože vědci museli neustále sledovat a počítat záblesky světla. Spintariskopy nebyly příliš praktické z hlediska dlouhodobého využití. Své uplatnění našly spíše jako pomůcka při vzdělávání. Nicméně vynález tohoto zařízení a fakt, že tendence některých materiálů vydávat světlo

vystavením ionizujícímu záření přispělo k dalšímu vývoji budoucích zařízení pro detekci ionizujícího záření (Introduction to Radiation Detectors, © 2021).

Spintariskopy byly s postupem času nahrazovány mlžnou komorou (Introduction to Radiation Detectors, © 2021) vynalezenou fyzikem Charlesem Wilsonem (Mlžná komora, © 2021). Mlžná komora je zařízení, uvnitř kterého jsou podchlazené páry isopropylalkoholu. Průlet elektricky nabitě částice kolem vrstvy par isopropylalkoholu se projeví jako jasná bílá stopa vlivem ionizace par uvedeného alkoholu. Mlžná komora tak umožňovala pozorovat dráhy částic, které jsou elektricky nabitě (Mlžná komora, © 2021).

Všechna uvedená zařízení významně přispěla pro další vývoj zařízení a většímu porozumění ionizujícímu záření. Byla tak připravena půda pro nové typy zařízení, z nichž se mnohé dodnes používají jako jsou například scintilátory, ionizační komory a Geiger-Müllerovi detektory (Introduction to Radiation Detectors, © 2021).

Od druhé světové války se problematikou detekce ionizující záření začalo zabývat čím dál více odborníků. Pomalu vznikaly nová zařízení, u nichž se zvýšil rozsah měřeného typu záření a energií. V 70 letech s příchodem rozvoje jaderné energetiky, zvýšené výroby umělých radionuklidů a hlavně nárůstem využívání ionizujícího záření ve zdravotnictví nabývala detekce ionizujícího záření velkého významu. V dnešní době bychom si asi těžko představili práci se zdroji ionizujícího záření bez detekčních přístrojů (Singer, 2005).

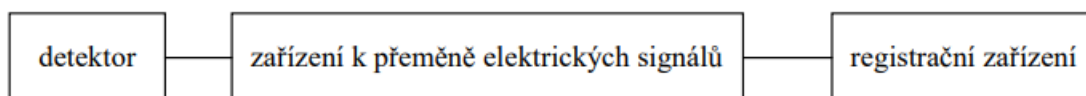
### ***1.5.2 Využití***

Detekce ionizujícího záření nachází své uplatnění především v oblasti medicíny. Setkali bychom se s ní i ve vojenství (Zemková, 2019), u Hasičského záchranného sboru České republiky, bezpečnostních sborů, záchranných sborů nebo u orgánů zainteresovaných v oblasti správy využívání jaderné energie jako je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) a jeho spolupracující ústav: Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) a ve výzkumu (Kučerová, 2020).

## 1.6 Přístroje pro měření IZ

Pro všechny osoby, kteří pracují se zdroji ionizujícího záření, je velmi důležité mít povědomí o úrovních ionizujícího záření působící kolem nich. Toho je dosaženo použitím přístrojů pro měření ionizujícího záření (Silva, 2015).

Přístrojová technika pro měření IZ je založena na způsobu interakce ionizujícího záření s hmotným prostředím a na vlastnostech ionizujícího záření (Švec, 2005). Vhodná přístrojová technika s určitými technickými parametry nám umožní převést neviditelné ionizující záření na jiné již viditelné nebo měřitelné veličiny (Ullmann, 2010). V obecné rovině a velmi jednoduše můžeme princip fungování aparatury pro měření IZ popsat pomocí schématu uvedeném na obrázku č. 1.



Obrázek 1: Základní schéma aparatury pro měření IZ

Zdroj: Švec, 2005

Základními komponenty přístrojů pro detekci ionizujícího záření jsou detektor, zařízení sloužící k přeměně elektrických impulsů a registrační zařízení. Prvním komponentem je detektor, na který ionizující záření dopadá (Švec, 2005) a se kterým interaguje změnou fyzikálních vlastností (chemické složení, objem, teplota, vodivost, barva, fotoluminiscence nebo termoluminiscence). Tyto změny v detektoru jsou přechodného nebo trvalého charakteru (Singer, 2005). V detektoru se změně jeho energie na elektrický signál, který je v další části aparatury zpracován takovým způsobem, který umožní poslední komponentě elektrický signál registrovat a vyhodnotit (Švec, 2005). Registrované (naměřené) hodnoty můžeme poté vyhodnotit. To nám umožňuje kvantitativně a kvalitativně posoudit míru účinků ionizujícího záření dopadající na prostředí, objekty a člověka (efektivní dávka, dávka). Dále pak například aktivitu a emisi zdroje ionizujícího záření, tedy vlastnosti zdroje IZ (Navrátil et al., 2014).

Techniku určenou pro detekci (měření) ionizujícího záření lze rozdělit na radiometry, dozimetry a spektrometry (Ullmann, 2010).

### **1.6.1 Radiometr**

Pojem radiometr vznikl sloučením dvou slov – radio (radiatio) a metre. Což v překladu znamená záření a měřidlo. Doslovná definice radiometru je tedy zařízení pro měření záření (Slovník cizích slov, © 2021). Ullmann (2010) uvádí, že jsou jako radiometry označené všechny přístroje určené pro detekci ionizujícího záření. Dále existuje také definice, že radiometr *slouží k odhadu dávkových příkonů, dávky, povrchové kontaminace v daném místě, prostoru* (Navrátil et al., 2014). Tato uvedená definice je v práci používána pro označení radiometr.

Radiometry podle jiných definic ovšem nemusí sloužit přímo k detekci ionizujícího záření. Je nutné podotknout, že radiometrem se nazývá také zařízení pro měření energetických charakteristik viditelného, ultrafialového a infračerveného spektra záření (Radiometr, 2020). Jako radiometr je označovaná také technika určená k měření akustického tlaku, která má uplatnění v oblasti měření hluku (Smetana, 1998), ale i přístroje určené ke snímání zemského povrchu z družic (Radiometr, 2020). Na trhu a v literatuře se tak můžeme setkat se zařízeními s názvem „radiometr“, ale s rozdílným účelem použití.

V anglicky psané odborné literatuře se pojem „radiometr“ ve smyslu přístroje pro měření ionizujícího záření nepoužívá. Což potvrzuje známá publikace *Radiation Detection and Measurement. 4th Edition* (Knoll, 2010) zabývající se měřením ionizujícího záření včetně k tomu určeným přístrojům. Ani v článcích elektronického odborného časopisu *Radiation Measurements* se nepoužívá pojem radiometr („radiometer“).

### **1.6.2 Dozimetr**

Označení dozimetr je složení dvou slov – dosis a metre. Tyto slova v překladu znamenají dávka a měřidlo (Slovník cizích slov, © 2021). Dozimetrem je takové zařízení, která nám dává informaci o obdržené dávce a dávkovém příkonu ionizujícího záření (Singer, 2005; Ullmann, 2010). S pojmem dozimetr souvisí pojem osobní dozimetrie. To je obor, který se zabývá měřením obdržené dávky ionizujícího záření. Osobní dozimetrie má své využití všude tam, kde se pracuje se zdroji ionizujícího záření a kde vzniká potřeba monitorovat pracovníky ve vztahu k jejich zdraví. Své uplatnění má především v lékařství a v jaderně energetických zařízeních. Osobní dozimetrie působí jako součást ochrany před zdravotní ujmovou způsobenou působením ionizujícího záření – pomáhá usměrňovat riziko

pro pracovníky se zdroji IZ plynoucí z ozáření (Singer, 2005). Jako osobní dozimetry jsou označované přístroje používané v oblasti osobní dozimetrie určené pro měření kumulované dávky za určité časové období umístěné na určitém referenčním místě lidského těla. Jedná se zpravidla o fotografické, OSL a TL detektory (Knoll, 2010; Singer, 2005).

### ***1.6.3 Spektrometr***

Spektrometr je zařízení, které nám zobrazuje energetické spektrum ionizujícího záření. Úkolem spektrometru je stanovení energie a intenzity záření u radionuklidu, který zkoumáme. Zpravidla spektrometr ionizujícího záření funguje na principu absorbování energie fotonu nebo částice v detektoru se kterým interaguje. Z výsledné amplitudy vzniklého impulsu signálu plynoucí z interakce ionizujícího záření a detektoru se poté určí energie detekovaných kvant záření pomocí spektrometrické analýzy (Ullmann, 2010).

### ***1.7 Druhy detektorů***

Detektor je část zařízení pro měření ionizujícího záření (Švec, 2005), kde vlivem působením ionizujícího záření dochází ke vzniku měřitelné změny. Ta má zpravidla podobu vzniku elektrického impulsu nebo změny hodnoty elektrické veličiny (Ullmann, 2010).

Detektory ionizujícího záření lze rozdělit do dvou skupin na základě specifických kritérií. Do první skupiny patří detektory zaměřující se na časový průběh detekce. Tedy zaměřující se na to, zda je detekované ionizující záření vyhodnocováno okamžitě v průběhu expozice detektoru nebo až po ukončení jeho ozařování. Podle tohoto kritéria rozlišujeme detektory kontinuální a integrální (Ullmann, 2010). Na základě rozdílné fyzikálně technické interakce detektoru s dopadajícím ionizujícím zářením rozlišujeme detektory pevné fáze a detektory plněné plynem (Dyntarová, 2016).

### ***1.7.1 Kontinuální detektory***

Detektory patřící do této skupiny poskytují informaci o přítomnosti ionizující záření a jeho intenzitě průběžně během probíhající detekce záření. Odezva detekce, kterou získáme z kontinuálního detektoru na výstupu měřícího zařízení by měla odpovídat intenzitě ionizujícího záření přítomné v detektoru. Bez přítomnosti ionizující záření v detektoru přestane zařízení ukazovat detekovanou hodnotu IZ. Na výstupu zařízení se nám to projeví tak, že detekovaná hodnota klesne ze své původní hodnoty na nulu nebo na hodnotu odpovídající pozadí. V současné době jsou v drtivé většině kontinuální detektory elektronické. Vzhledem k jejich způsobu fungování je tato skupina detektorů označovaná někdy jako tzv. „online“ detektory (Ullmann, 2010).

### ***1.7.2 Integrální detektory***

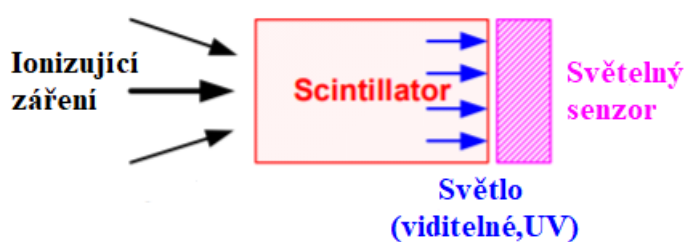
Integrální detektory naruší od kontinuálních nám neposkytují odezvu vzniklou expozicí ionizujícího záření okamžitě. Odezvu vzniklou v průběhu ozáření naopak postupně kumulují. Ta je uchovávána i po přerušení ozáření – po přerušeném ozařování se další odezvy přičítají k předchozí kumulované expozici v detektoru. Získáváme díky tomu informaci o celkové expozici v průběhu celé doby použití bez ohledu na to, zda byl detektor permanentně nebo přerušované ozařován. Integrální detektory nám tedy umožňují vyhodnotit výsledek detekce dodatečně. Díky tomu našly své uplatnění v osobní dozimetrii. Na základě způsobu fungování jsou integrální detektory nazývané někdy také jako „kumulativní“ (Ullmann, 2010).

### ***1.8 Detektory pevné fáze***

Detektory pevné fáze jsou detektory založené na změně fyzikálních nebo chemických vlastností vhodné pevné látky způsobené dopadem ionizujícího záření. Uvedená změna spočívá ve změně struktury krystalové mřížky, elektrické vodivosti, optických vlastností nebo excitace a polymerace. Do skupiny detektorů pevné fáze řadíme scintilační, polovodičové, termoluminiscenční, fotoluminiscenční a fotografické detektory (Gerndt a Průša, 2011; Dyntarová, 2016).

### 1.8.1 Scintilační detektory

Jedny z nejstarších detektorů na světě, které umožňovaly dekovat ionizující záření byly scintilační detektory. Objev těchto detektorů znamenal velký průlom v oblasti detekování ionizujícího záření (Gerndt a Průša, 2011). Pojem „scintilační“ souvisí s principem fungování této řady detektorů a tím je scintilace. Scintilací je nazýván proces, během kterého vznikají světelné záblesky důsledkem interakce ionizujícího záření s určitými látkami, které se nazývají scintilátory (Knoll, 2010). Nejčastěji se v technických aplikacích používá scintilátor ve formě krystalu (Šimek, 2002). Zjednodušené schéma fungování scintilátoru můžeme vidět na obrázku č. 2.



Obrázek 2: Zjednodušené schéma principu fungování scintilátoru

Zdroj: Scintillation Detectors, © 2021

Podle druhu použitého scintilátoru rozdělujeme scintilační detektory na organické a anorganické. Jejich použití se odvíjí od účelu aplikace (Globus a Grinyov, 2008).

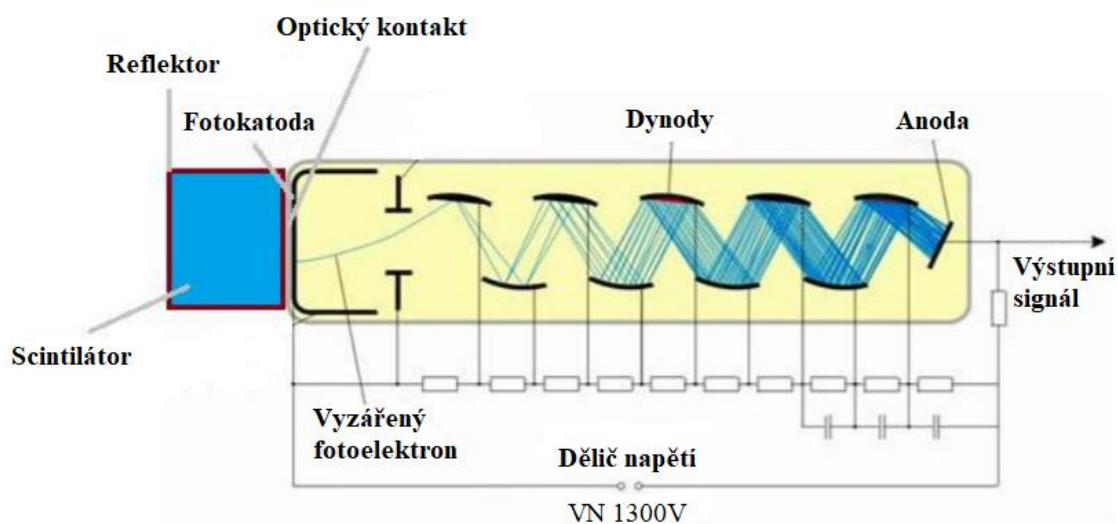
Organické scintilátory mohou být kapalné, krystalické, plastové nebo ve formě tzv. scintilačního gelu. Nejčastěji je z organických materiálů používán antracen. Organické scintilátory se používají při detekci záření alfa a beta (Krejčí, 2002).

Naopak anorganické scintilátory se používají pro spektrometrii a detekci fotonového ionizujícího záření. Jsou tvořeny především krystaly alkalických halogenů (NaI, CsI), sirníky (ZnS, CdS) a krystaly alkalických kovů, které jsou aktivované těžkými kovy jako (Pb, In, Ti). Nejvýznamnější z nich je NaI(Tl) kvůli jeho vysoké rozlišovací schopnosti pro fotonové záření. V ojedinělých případech se lze setkat i s plynovými scintilátory (Ar, Ne, Kr, Xe, N<sub>2</sub>) (Krejčí, 2002).

Obecně způsob fungování všech scintilačních detektorů lze vyjádřit následovně. Nejprve dochází k interakci ionizujícího záření scintilátorem a je jím absorbované. Absorbovaná energie ionizujícího záření je převedena na energii světelných (scintilačních) fotonů, což se projeví jako záblesk (scintilace) (Krejčí, 2002).



Energie detekovaného ionizujícího záření absorbovaná v scintilátoru je přímo úměrná celkovému množství vzniklých scintilačních fotonů. Aby mohly být světelné záblesky detekovány, je k scintilátoru připojen fotonásobič, který světelné záblesky převede na elektrický impuls. Fotonásobič je zpravidla vakuová elektronka s tenkou vrstvou kovu (Ullmann, 2010) tvořenou obvykle ze slitin Sb-Cs, Bi-Ag-Cs (Sajdl, © 2021), která se nazývá fotokatoda (Ullmann, 2010). Mezi fotokatodu a scintilátor je vložen optický kontakt nebo světlovody. Boční stěny scintilátoru jsou zároveň obklopeny reflektorem. Optický kontakt a reflektor zajistí to, aby co největší množství fotonů dopadlo na fotokatodu (Šimek, 2002). Ta slouží k převodu světelných fotonů vzniklých v scintilátoru na elektrony. Součástí fotonásobiče je také soustava elektrod nazývaných dynody čítající zhruba 8 až 12 kusů sloužící jako elektronový zesilovač, který „zmnoží“ vstupující elektrony z původního malého množství na počet, který je dostačující k vyvolání dobře měřitelného elektrického impulsu. Dalšími elektronickými obvody je pak signál zpracován a vyhodnocen (Ullmann, 2010). Schéma scintilačního detektoru je zobrazeno na obrázku č. 3.



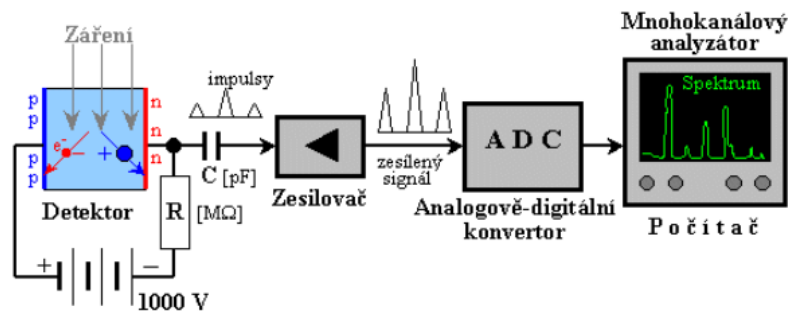
Obrázek 3: Schéma scintilačního detektoru

Zdroj: Reichl a Všeticka, © 2021

Scintilační detektory řadíme mezi nejvíce používané detektory ionizujícího záření. Tato řada detektorů se vyznačuje dobrými spektrometrickými vlastnostmi a velkou detekční účinností, zejména pro gama záření. Jejich výhodou je malá náročnost na elektronické obvody zpracovávající výstupní signál (Navrátil et al., 2014).

### 1.8.2 Polovodičové detektory

Po objevu scintilačních detektorů hledali vědci způsob, jakým by eliminovaly jejich nedostatky. Tím je především jejich nízká energetická rozlišovací schopnost. Pozornost byla zaměřena na dva polovodičové materiály – germanium a křemík (Šnejdar, 2012). První použití polovodičových detektorů se datuje k počátku 60. let minulého století a byly označovány jako krystalové čítače (Adam, © 2021). Z elektrotechnického pohledu je polovodičový detektor dioda, která je zapojena v nevodivém (závěrném) směru v elektrickém obvodu pod velkým napětí čítající přibližně od 1000 až 2000 Voltů. Vlivem zapojení diody v závěrném směru obvodem v klidovém stavu neteče žádný elektrický proud (Ullmann, 2010). Schéma polovodičového detektoru je znázorněno na obrázku č. 4.



Obrázek 4: Schéma polovodičového detektoru

Zdroj: Ullmann, 2010

Tato řada detektorů patří do skupiny detektorů založených na interakci ionizujícího záření s pevnými látky, kde pevnou látkou je vhodný polovodičový materiál. Vhodným polovodičovým materiálem je zpravidla monokrystal z germania nebo křemíku se stopovou příměsí lithia, případně superčisté germanium, který se označuje HPGe. Podle použitého monokrystalu pak rozlišujeme polovodičové detektory na germaniové a křemíkové (Doležal, 2020). Vstupující ionizující záření do detektoru interaguje s přítomným polovodičem. Důsledkem toho dojde ke vzniku elektron-děrových párů. Uvedením detektoru pod napětí dojde ke vzniku elektrického pole, ve kterém se dají vzniklé elektrony a díry do pohybu k příslušně nabitým elektrodám. To se projeví jako krátký proudový impuls. Amplituda vzniklého impulsu je přímo úměrná energii ionizujícího záření, které bylo detekováno. Zesilovačem zesílený signál pokračuje přes analogově-digitální konvertor do mnohokanálového analyzátozem, kde je uložen do jeho paměti spolu s dalšími následujícími impulsy (Ullmann, 2010).

Pomocí vhodného softwaru pak lze provést spektrometrickou analýzu energie detekovaného ionizujícího záření (Ullmann, 2010; Rizzi et al., 2010). Specifická energie záření daného radionuklidu je zobrazena ve formě tzv. „fotopíku“ (Matzner, 2004). Polovodičové detektory jsou tedy využívány jak pro spektrometrická měření, tak pro detekci ionizujícího záření (Belas a Moravec, 2011).

Velkou výhodou polovodičových detektorů oproti scintilačním detektorům je jejich velmi dobrá energetická rozlišovací schopnost. Je tomu tak z důvodu, že energie, která je nutná k vytvoření páru elektron-díra je přibližně desetkrát nižší než energie nutná ke vzniku iontového páru v plynu a skoro padesátkrát nižší oproti energii nutné k uvolnění elektronu z fotokatody fotonásobiče (Navrátil et al., 2014). Mezi nevýhody patří nutnost neustálého zajištění nízké teploty nejčastěji za pomoci kapalného dusíku. Dělá se tak z toho důvodu, aby nedošlo ke spontánnímu vzniku elektron-děrových páru ke kterému dochází při pokojové teplotě, a to i bez působení ionizačního záření. Nutnost chlazení platí v případě použití germaniového materiálu. Uvedený nedostatek lze eliminovat použitím křemíku (Gerndt a Průša, 2011).

### ***1.8.3 Termoluminiscenční detektory***

Tato řada detektorů se označuje zkratkou TLD (thermoluminescence detectors) a princip jejich fungování je založen na jevu zvaném termoluminiscence (Yilmaz a Buyukildiz, 2021) nebo též někdy nazývaném jako tepelně stimulovaná luminiscence vznikající ve vhodném termoluminiscenčním materiálu. Nejvíce používaným termoluminiscenčním materiálem je LiF (fluorid lithný) (Boons, 2012). Dalšími používanými materiály jsou například  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ . Vhodnost jejich použití se odvíjí od jejich rozdílné citlivosti pro různé druhy ionizujícího záření (Aluker et al., 2016).

Vlivem působení ionizujícího záření dojde v termoluminiscenční látce k vybuzení elektronů do vyššího energetického stavu (do oblasti vodivostního pásma). Poté jsou zachyceny v záchytných centrech v oblasti zakázaného pásma (Horowitz et al., 2017). Posléze se ozářená látka zahřeje na přibližně 200 °C (Prášil et al., 1998). Díky zahřátí elektrony zachycené v záchytných centrech získají potřebnou energii nutnou k uvolnění se ze záchytného centra (Navrátil et al., 2014) do valenčního pásma. Uvolnění elektronů ze záchytného centra je současně doprovázeno emisí UV nebo světelného záření (Navrátil et al. 2014).

Toto záření se pomocí fotonásobiče převede na napěťové impulsy a změří se (Prášil et al., 1998). Celková energie vzniklého záření je úměrná energii pohlceného ionizujícího záření v materiálu (Navrátil et al., 2014).

TL detektory jsou schopné detekovat dávku v rozmezí od 0.01 mGy do 10 Gy (Murphy et al., © 2021). Pro monitorování obdržené dávky můžou mít TL detektory provedení jako prstové, náramkové nebo celotělové dozimetry (Ullmann, 2010). Prstové provedení můžeme vidět na obrázku č. 5.



Obrázek 5: Prstový TL dozimetr

Zdroj: Saturn TLD ring, 2017

Výhoda termoluminiscenčních detektorů oproti jiným detektorům určených pro stanovení dávek ionizujícího záření spočívá v jejich vysoké citlivosti vůči různým typům záření. Velkou výhodou jsou také jejich malé rozměry, poměrně nízká cena, možnost opakovaného použití (Murphy et al., © 2021) a možnost použít látku s vlastnostmi podobné lidské tkáni (Navrátil et al., 2014).

#### ***1.8.4 Fotoluminiscenční detektory***

Pro fotoluminiscenční detektory se používá označení OSL (opticky stimulovaná luminescence) (Ozdemir et al., 2021). Tyto detektory patří mezi nejvíce rozšířené v oblasti osobní dozimetrie. Principem fungování OSL detektorů je fotoluminiscence, která spočívá v tvorbě luminescenčních center způsobených procházejícím ionizujícím zářením fotoluminiscenčním materiálem (Navrátil et al., 2014). Nejvíce používaným fotoluminiscenčním materiálem pro výrobu OSL detektorů je  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (kysličník hlinitý). Luminescence je vyvolána pomocí světla vhodné vlnové délky z LED diody nebo laseru. Vyzářené světlo je pak fotonásobičem převedeno na napěťové impulsy a změřeno (Ullmann, 2010). Totožně jako u TL detektorů je vyzářené světlo úměrné dávce ionizujícího záření absorbované v detektoru (Navrátil et al., 2014).

OSL detektory mohou opatřeny několika oddělenými detekčními prvky překrytými různými filtry a tím analyzovat energii a druh ionizujícího záření (Ullmann, 2010). Typický OSL detektor je uveden na obrázku č. 6.



Obrázek 6: OSL detektor

Zdroj: Ullmann, 2010

Mezi výhody OSL detektorů patří jejich nízká energetická závislost, vysoká konstantní citlivost a dlouhotrvající stabilita odezvy. Naopak nevýhodou je jejich senzitivita na světlo (Navrátil et al. 2014).

### ***1.8.5 Fotografické detektory***

Do této skupiny patří filmové dozimetry a rentgenové filmy (Ullmann, 2010). Princip jejich fungování je založen fotochemické reakci způsobené dopadem ionizujícího záření na fotografický materiál (Singer, 2005). Ten je tvořen halogenidy stříbra (Ullmann, 2010). Ozářením fotografického materiálu vznikne latentní obraz. Ten se následně zviditelní vyvoláním (Ekendahl, 2012). Během vyvolávání se halogenid rozpustí, zatímco stříbro ve filmu zůstává a film zčerná. Míra zčernání vyvolaného materiálu (optická hustota) je úměrná dávce ionizujícího záření (Ullmann, 2010). Filmový dozimetr se skládá z uzavřeného pouzdra obsahující film. Film je tvořen zpravidla bromidem stříbrným (AgBr) a je potažený vrstvou černého papíru z důvodu odolnosti vůči případnému působení světla. Ve filmu jsou obsaženy částičky AgBr a je překryt z obou stran několika filtry (Ullmann, 2010). Filtry jsou tvořeny různými materiály určité tloušťky v závislosti na druhu ionizujícího záření, které chceme detekovat. Filtry z mědi jsou určeny ke stanovení beta a rentgenového záření. Pro stanovení záření gama se používá olovo a cín (Navrátil et al. 2014). Filmové dozimetry jsou nejlevnějším, nejběžnějším (Murphy et. a., © 2021) a nejstarším (Ullmann, 2010) detekčním zařízením používaným v osobní dozimetrii (Murphy et a., © 2021). Již H. Becquerel využil fotografických materiálů při objevu radioaktivity (Ullmann, 2010).

Filmové dozimetry mají oproti OSL a TL detektorům horší přesnost (Murphy et al., © 2021), menší rozsah měřených dávek a jsou více citlivé na působení vnějších vlivů jako je vlhkost, teplota a chemické výpary (Ullmann, 2010). Další nevýhodou oproti TL a OSL detektorů je delší, komplikovanější laboratorní zpracování. Kvůli tomu jsou v současnosti filmové dozimetry vytlačovány TL a OSL detektory (Ekendahl, 2012). Filmový dozimetr můžeme vidět na obrázku č. 7.



Obrázek 7: Filmový dozimetr

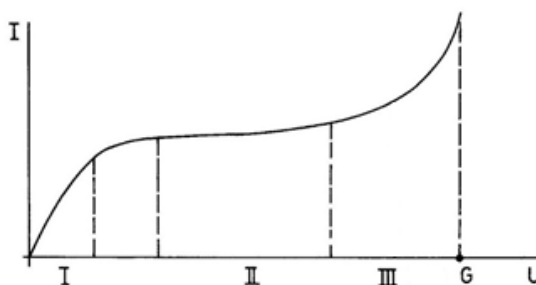
Zdroj: Ullmann, 2010

### ***1.9 Plynem plněné detektory***

Nejčastěji používanými detektory ionizujícího záření (Knoll, 2010) a zároveň velmi jednoduchými (Steinhauser a Buchtela, 2020) jsou plynem plněné detektory nebo též nazývané jako detektory s plynovou náplní (Kollár, 2007). Tato řada detektorů funguje na principu hlavních účinků ionizujícího záření což je ionizace a excitace atomů plynů (Knoll, 2010). Jestli bude atom plynu ionizován nebo excitován rozhoduje hodnota energie přilétávající částice do detektoru. Tyto detektory jsou v podstatě kondenzátory, připojené k elektrickému napětí (Reichl a Všetická, © 2021), uzavřené v kovovém obalu, uvnitř kterého je plyn (Gas Filled Detectors, © 2021) pod určitým tlakem (Kollár, 2007). Typickými používanými plyny jsou inertní plyny, především argon, helium, ale plynem může být například i vzduch, vodík, metan nebo butan (Gas Filled Detectors, © 2021). Vždy záleží na konkrétním typu zařízení (Velaso a Silva, 2018). Při standardních laboratorních podmínkách se plyny chovají jako velmi dobré izolanty. Vystavením plynů působení ionizujícího záření dochází k jejich ionizaci a tím dojde ke změně některých neutrálních molekul a atomů na elektrony nebo kladné ionty díky čemuž dochází k nárůstu vodivosti plynu (Kollár, 2007). Proniknutím ionizujícího záření do detektoru dojde k ionizaci přítomného plynu. To se projeví vznikem ionizačního proudu v kondenzátoru (Reichl a Všetická, © 2021).

Tento ionizační proud jsme pak schopni změřit pomocí vhodného měřicího elektrického obvodu v závislosti na konkrétním druhu plynem plněného detektoru (Gas Filled Detectors, © 2021).

Na základě závislosti proudu na napětí (voltamperové charakteristiky) se plynem plněné detektory rozdělují do tří velkých skupin, a to na: ionizační komory, proporcionální detektory (čítače) a Geiger-Mullerovy detektory (čítače, počítače) podle toho, v jaké oblasti voltamperové charakteristiky pracují (Steinhauser a Buchtela, 2020). Voltamperovou charakteristiku můžeme vidět na obrázku č. 8.



Obrázek 8: Voltamperová charakteristika plynem plněných detektorů

Zdroj: Sajdl, © 2021

Oblastí označené na grafu římskou číslicí I je oblast, ve které je na elektrody plynového detektoru připojeno nízké napětí. Mezi elektrodami existuje elektrostatické pole, které je ovšem díky nízkému napětí velmi slabé. Toto napětí je sice schopno vyvolat ionizaci plynu přítomném v detektoru, ale ionizované částice se důsledkem velmi malého napětí na elektrodách přesouvají k opačně nabitým elektrodám velmi nízkou rychlostí, při které nejsou schopny se během cesty na opačně nabitou elektrodu kombinovat mezi sebou zpět na neutrální molekuly či atomy a zanikají tak rekombinací. Tato oblast se nazývá rekombinační oblast (Reichl a Všetická, © 2021). Někdy se můžeme setkat s názvem Ohmova oblast (Kollár, 2007)

V oblasti grafu II dochází k nárůstu elektrodového napětí. K elektrodám se dostane větší množství částic a důsledkem toho je rekombinace překonaná. Výstupní signál detektoru je ovšem pořád slabý. Tuto oblast nazýváme oblast nasyceného proudu. V této oblasti voltamperové charakteristiky fungují ionizační komory (Reichl a Všetická, © 2021).

Oblast číslo III se nazývá oblast proporcionality. Dochází zde k dalšímu nárůstu napětí díky čemuž jsou elektrony natolik rychlé, že jsou schopny ionizace okolních atomů. Tomuto jevu se říká elektronová lavina, během které dochází k nárůstu množství iontů, což se projeví zároveň nárůstem elektrického proudu, který můžeme na výstupu z detektoru změřit. Hodnota elektrického proudu vycházejícího z detektoru je určena energií prolétávající částice (Reichl a Všeticka, © 2021).

Horní hranicí oblasti III je Geigerův práh označovaný písmenem G (Sajdl, © 2021). Za Geigerovým prahem roste velikost elektrostatického pole mezi elektrodami detektoru do takové míry, že dochází ke vzniku elektrického výboje. V této oblasti pracují Geiger-Müllerovi detektory (Reichl a Všeticka, © 2021).

Co se týče detekční účinnosti plynem plněných detektorů, tak ta závisí především na druhu ionizujícího záření. V případě detekce nabitých těžkých částic je jejich detekční účinnost přibližně stoprocentní za splnění předpokladu, že veškeré detekované těžké částice budou v prostoru účinného objemu detektoru. Naopak u detekování neutronového a gama záření nabývá detekční účinnost řádově 0,01 až 1 %. Důvodem takto nízké detekční účinnosti je malá pravděpodobnost, že detekované neutronové a gama záření bude interagovat s plynem obsaženým v detektoru (Gerndt a Průša, 2011).

### ***1.9.1 Ionizační komory***

Ionizační komory jsou nejjednoduššími detektory ionizujícího záření ze skupiny plynem plněných detektorů. Podstatnou částí ionizační komory jsou její dvě kovové elektrody: anoda a katoda (anoda je vůči katodě kladně nabitá) (Knoll, 2010), které jsou navzájem dobře izolované (Sajdl, © 2021). Ve většině případů slouží vnější stěna komory jako katoda. Elektrické napětí mezi anodou a katodou je u ionizačních komor v rozsahu 100 až 500 voltů. Nejvíce vhodná hodnota napětí závisí na řadě parametrů. Především na velikosti samotné ionizační komory, protože s rostoucím objemem komory roste i hodnota požadovaného napětí. Ale vždy musí být napětí v uvedeném rozsahu 100 až 500 voltů, protože ionizační komory pracují v oblasti nasyceného proudu (II oblast voltamperové charakteristiky plynem plněných detektorů), která právě tomuto rozsahu odpovídá. Zpravidla vnější stěna ionizační komory tvoří zároveň katodu a má tvar válce nebo koule. Anoda má obvykle tyčový tvar. Nicméně anoda může mít i válcovitý nebo kuželovitý tvar. V některých případech mohou být obě elektrody dokonce plochými rovnoběžnými deskami (Ionization Chamber, 2009).



Komora je dimenzovaná na určitý rozsah teplot a atmosférického tlaku. Vychýlení z pracovního rozsahu daného výrobcem samozřejmě může ovlivnit přesnost měření ionizační komory (Gerndt a Průša, 2011). Prostor uvnitř komory je vyplněn plynem určitého tlaku a složení (vzduch, metan, argon) (Sajdl, © 2021). Pokud není v komoře přítomno ionizující záření tak přítomný plyn zůstává nevodivý a obvodem neprotéká žádný proud. Vniknutím ionizujícího záření do oblasti mezi elektrodami dojde k vyražení elektronů z neutrálních atomů plynu, které se změní na kladné ionty. Anoda, která je kladná, začne okamžitě přitahovat záporné elektrony k sobě. Naopak kladné ionty začnou putovat k záporné katodě. Důsledkem iontové vodivosti ionizovaného plynu dojde k tomu, že obvodem začne protékat slabý elektrický proud. Intenzita ionizujícího záření je přímo úměrná tomuto protékajícímu elektrickému proudu. Ionizační komory slouží ke stanovení hodnoty dávky, expozice a kermy ve vzduchu (Gerndt a Průša, 2011).

### ***1.9.2 Proporcionální detektory***

Ve většině provedení se proporcionální detektory skládají z válcové katody, uvnitř které se nachází centrální vodič tvořící anodu. Katoda a anoda je připojena na stejnosměrný zdroj napětí, jehož hodnota odpovídá třetí oblasti voltamperové charakteristiky plynem plněných detektorů (oblast proporcionality) (Hilke a Riegler, 2020). Plnicím plynem jsou obvykle vzácné plyny, protože chemicky neinteragují se součástmi detektoru. Ze vzácných plynů je nejpoužívanější argon kvůli jeho nízké ceně. Dále pak mohou být použity jiné vzácné plyny s vyšším atomovým číslem (např. krypton a xenon) pokud je od zařízení požadována zvýšená citlivost na rentgenové záření nebo gama záření. Nejpoužívanější plynovou náplní detektoru je plyn označovaný jako P10 (Proportional Counters, 2007). Plyn P-10 je tvořen z 90 % argonem a z 10 % metanem (Gas Filled Detectors, © 2021). Ionizací plynu v detektoru dojde k tvorbě iontových párů. Ionty, které jsou kladné se začnou pohybovat směrem ke katodě. K anodě, kolem které působí silné elektrostatické pole, jsou přitahovány elektrony. Elektrony začnou dosahovat vyšších rychlostí a vyvolávají sekundární ionizaci během které vznikají iontové páry. Důsledkem toho se v elektrostatickém poli začne pohybovat velmi velké množství elektronů a dojde k tvorbě lavinové ionizace, kterou vyvolá každý iontový pár. Společně veškeré vzniklé laviny vedou k tomu, že dojde ke vzniku elektrického impulsu, který je měřitelný. Velikost tohoto vzniklého elektrického impulsu se odvíjí od hodnoty napětí, na které je detektor připojen a na hodnotě energie detekovaného ionizujícího záření. Amplituda

vzniklého elektrického impulsu je zároveň úměrná energii detekovaného ionizujícího záření. Díky této úměře můžeme pomocí proporcionálních detektorů zjistit o jaký druh detekovaného ionizujícího záření se jedná (Gerndt a Průša, 2011; Dyntarová, 2016).

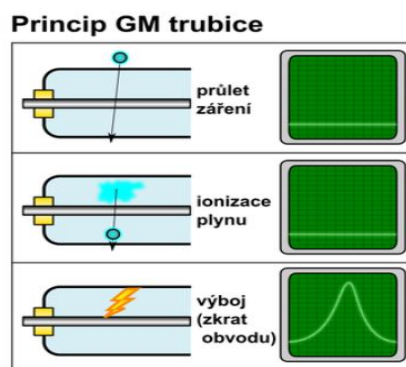
### ***1.9.3 Geiger-Müllerovy detektory***

Tato řada plynem plněných detektorů je pojmenována po svých vynálezcích. Byli to Hans Geiger a Walther Müller, kteří v roce 1928 představili svůj nový detektor ionizujícího záření (Pandey et al., 2017). Geiger-Müllerovy detektory nebo také uváděné označení Geiger-Müllerovy čítače (Prasanna a Jayapandian, 2019) či počítáče (Reichl a Všeticka, © 2021), jsou hojně používané, velmi citlivé a relativně levné a dostupné detekční přístroje ionizujícího záření (dále jen GM detektory) (Knoll, 2010).

Hlavní součástí složení GM detektoru je hermeticky uzavřená trubice z kovu (Knoll, 2010) nebo pokovaného skla (dále jen GM trubice) ve které je obsažen plyn (Tölg a Benda, 2009). Ten se skládá ze dvou složek: plnicí a zhášecí plyn (Geiger-Mueller (GM) Detectors, 2007). Plnicí plyn je tvořen zpravidla směsí neonu a halogenu (Knoll, 2010). Někdy se používá také helium, argon nebo krypton (Geiger-Mueller (GM) Detectors, 2007). Tlak plynu v trubici musí být nižší, než je běžně v atmosféře (Knoll, 2010). Díky nižšímu tlaku, než je tlak atmosférický dojde ke snížení intenzity elektrického pole na úroveň, která je nutná k dosažení oblasti Geiger-Müllerovi voltamperové charakteristiky ve které GM detektory pracují. Snížený tlak také zvyšuje rychlost kladných iontů putujících směrem ke katodě, a tím se snižuje mrtvá doba detektoru. Co se týče zhášecích plynů tak rozeznáváme dva hlavní typy: halogenové zhášecí plyny a organické zhášecí plyny. Nejběžnější halogenový zhášecí plyn je chlor, ale používá se také brom. Halogenové zhášecí plyny se používají, pokud je plnicím plynem neon, argon nebo krypton. Zatímco pokud je GM trubice plněná heliem tak se obvykle používá organický zhášecí plyn. Tím je zpravidla isobutan (Geiger-Mueller (GM) Detectors, 2007) nebo etylalkohol. U použití organických zhášecích plynů je nevýhodou postupné zhoršování kvality elektrod a u halogenových plynů dochází k silnému korodování stěny trubice (Tölg a Benda, 2009).

Obal GM trubice tvoří katodu a kovová tyčinka uvnitř pak anodu (Knoll, 2010). Trubice je připojena na zdroj napětí o hodnotě přibližně 100 až 1000 voltů (Tölg a Benda, 2009). Rozeznáváme tři druhy provedení GM trubic na základě odlišného tvarového uspořádání: end window („s okénkem na konci trubice“), side window („s bočním okénkem“) a pancake (ve tvaru pánvičky). Liší se zároveň i jejich vhodnost použití pro konkrétní ionizující záření (Geiger-Mueller (GM) Detectors, 2007).

V plynovém objemu trubice se díky vysokému napětí na elektrodách vytvoří elektrické pole (Tölg a Benda, 2009). Dopadem ionizujícího záření do účinného objemu trubice dojde k ionizaci přítomného plynu. Kladné ionty začnou putovat ke katodě, zatímco elektrony jsou přitahovány k anodě. Díky vysoké intenzitě elektrického pole dojde v okolí anody k urychlování elektronů. Ty pak srážkou s atomy přítomného plynu v trubici zapříčiní vznik tzv. sekundární ionizace. Důsledkem toho dojde ke vzniku elektronů, které dopadají na anodu. To se projeví vznikem výboje (zkratu) mezi elektrodami odpovídající řádově desítkám voltů (Knoll, 2010). Vzniklý výboj je zesílen zesilovačem. Ten je pak zpracován příslušnými elektronickými obvody a zaznamenán jako počet impulzů za jednotku času ve schématu CPM (Counts Per Minute) (s použitím kalibračního přepočtu) převeden na dávkový příkon záření gama (Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor, © 2021). Princip fungování GM trubice je jednoduše znázorněn na obrázku č. 9.



Obrázek 9: Princip fungování GM trubice

Zdroj: Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor, © 2021

Výboj vzniklý v GM trubici by bez dalších uprav pokračoval dále, protože kladné ionty při dopadu a neutralizaci mohou vytrhávat elektrony z katody, které se stanou původci dalších ionizací. Důsledkem toho by docházelo neustále k obnově vzniku výboje což by vedlo k poškození detektoru. Z toho důvodu se používají právě používají popisované zhášecí plyny, které přeruší další výboj (Tölg a Benda, 2009).

GM detektory jsou určeny pro detekci alfa, beta nebo vysokoenergetického gama a poskytují nám informaci o míře intenzity záření (Pandey et al., 2017). Detekování gama záření se realizuje skrze sekundární částice, které vznikají interakcí gama záření s materiálem tvořící GM trubici. Materiál, ze kterého je zhotovena trubice, proto musí mít vysoké atomové číslo a silné stěny, aby došlo k pohlcení co nejvíce gama kvant. Protože pravděpodobnost interagování gama záření s hmotou trubice je nízká. Z toho důvodu GM detektory dosahují velmi malé účinnosti kolem 1 až 2 % (Ullmann, 2010).

### ***1.10 Základní parametry charakterizující detektor***

Jak jsme mohli vidět v předchozích kapitolách, tak rozlišujeme celou řadu detektorů, které se vyznačují specifickým způsobem detekce ionizujícího záření. Viděli jsme také, že rozdílné řady detektorů nám dávají různé „informace“ o ionizujícím záření. Například některé detektory určují dobu průchodu částice se značnou přesností, jiné určují energii, které v detektoru záření ztratilo. Tyto „informace“ jsou ovlivněny působením různých fyzikálních a technických vlivů v detektoru. Byly tak zavedeny určité parametry zahrnující působení různých vlivů, které nám umožňují charakterizovat detektor. Pro různé druhy detektorů mohou být charakterizující parametry rozdílné, ale níže uvedené parametry jsou společné pro všechny detektory záření a jsou brány jako základní (Ullmann, 2010, Sajdl, © 2021),

1. **Detekční účinnost (citlivost)** – nám vyjadřuje s jakou pravděpodobností bude procházející záření zachyceno detektorem. Různé druhy detektorů se vyznačují různou detekční účinností. Detekční účinnost především ovlivňuje velikost účinného objemu detektoru a u použitých materiálu v detektoru také jejich absorpční vlastnosti (Sajdl, © 2021).
2. **Mrtvá doba** – je dána dobou při které detektor není schopen po průchodu částice zaregistrovat částici následující. To znamená, že pokud částice přicházejí do detektoru příliš rychle za sebou tak se může stát, že budou detekována jako jedna částice nebo nebudou detekována vůbec. Čím vyšší je mrtvá doba detektoru, tím nižší je jeho detekční účinnost (Sajdl, © 2021).
3. **Časové rozlišení** – udává nejmenší časový interval mezi průchody dvou částic detektorem, které můžeme ještě od sebe odlišit Tento minimální časový interval ovlivňují fyzikální procesy probíhající v detektoru (například pohyb elektronů a iontů v objemu detektoru, sběr nábojů elektrodami, vznik ionizace, rychlost deexcitace,

předávání energie atd.) ale i elektronika, která je součástí detektoru (doznívání elektrických impulsů, strmost náběhu, vybíjení kondenzátoru a rychlost odezvy polovodičových součástek atd.) (Sajdl, © 2021).

4. **Prostorové rozlišení** – udává nejmenší vzdálenost dvou částic, které ještě můžeme od sebe odděleně rozlišit (Sajdl, © 2021).
5. **Pozadí (background)** – detekci konkrétního ionizujícího záření ovlivňuje i působení ostatního ionizujícího záření působící v přítomnosti detektoru, tedy „na pozadí“. Toto pozadí je tvořeno třemi složkami. Složka první zahrnuje přirozeně se vyskytující ionizující záření na Zemi, které je přítomno všude kolem nás jako je radioaktivita půdy a hornin, stavebních materiálů, kosmické záření, dceřiné produkty radonu, radionuklidy přítomné v atmosféře a půdě, které jsou důsledkem jaderných havárií a zkoušek jaderných zbraní. Toto pozadí můžeme omezit vhodným odstíněním detektoru. Druhou složkou pozadí je radioaktivita materiálů, ze kterých je detektor složen. Příměsí materiálů mohou být přírodní radionuklidy, které nelze při výrobě dokonale odstranit. Někdy ovšem může dojít vlivem ozáření, které detekujeme, k jaderným reakcím a k aktivaci materiálu uvnitř detektoru. Důsledkem toho může dojít ke vzniku radionuklidů, které mohou ozařovat detektor (kontaminace detektoru). K tomu dochází zpravidla během stárnutí (radiačního opotřebení) detektoru. Třetí složka pozadí je tvořena elektrickým šumem elektroniky detektoru. Ten vzniká důsledkem nepravidelného a nesoustavného pohybu elektrických nábojů uvnitř detektoru nebo v obvodech sloužící k zesílení (Ullmann, 2010; Sajdl, © 2021). Po ukončení detekce je nutné pozadí odečíst od finálních naměřených hodnot, aby nedošlo ke zkreslení výsledku. Pokud je detekované ionizující záření stejné nebo podobné pozadí, tedy na stejné nebo podobné úrovni, tak dochází ke snížení citlivosti detekce (Ullmann, 2010; Sajdl, © 2021).
6. **Časová nestabilita** – vlivem stárnutí, opotřebování, poškození, tepelného působení, kolísání napětí a proudu nebo přítomností magnetického pole může dojít ke změně vlastností elektronických součástek ze kterých je detektor tvořen a důsledkem toho mohou být negativně zkresleny výsledky detekce (Ullmann, 2010; Sajdl, © 2021).
7. **Energetické rozlišení** – určuje relativní rozdíl energií dvou částic, které lze ještě od rozlišit (Sajdl, © 2021).

V tabulce č. 1 je pro lepší představu uveden přehled hodnot mrtvé doby a časového rozlišení vybraných řad detektorů v řádech sekund.

Tabulka 1: Přehled mrtvé doby a časového rozlišení u detektorů IZ

Detektor	Mrtvá doba [s]	Časové rozlišení [s]
Ionizační komora	$10^{-2}$	$10^{-3}$
Proporcionální	$10^{-4}$	$10^{-6}$
Geiger-Mullerův	$10^{-4}$	$10^{-6}$
Scintilační	$10^{-6}$	$10^{-8}$
Polovodičový	$10^{-6}$	$10^{-8}$

Zdroj: Sajdl, © 2021

### ***1.11 Parametry charakterizující přístroje pro měření IZ***

Kromě detektorů můžeme charakterizovat i celý přístroj pro měření IZ. Můžeme sledovat jakou měří daný přístroj veličinu a v jakém rozsahu. Z elektrotechnických parametrů můžeme posuzovat možnosti napájení, signalizace (světelná nebo zvuková), zachování odezvy i při výpadku napájení, velikost paměti, typ displeje. Mezi technické parametry patří také uvedení druhu měřené veličiny a druhu detekovaného záření včetně rozsahu energií. Dále také enviromentální specifikace, mezi které patří teplota a vlhkost při které zařízení funguje (pracovní teplota a vlhkost), ale také způsob skladování. Může se uvádět také celková odolnost vůči působení tepla, světla, vlhkosti, vibracím, pádům a doba životnosti detektoru. Dalšími parametry mohou být hmotnost, rozměry a celkové geometrické uspořádání. Mezi ostatní parametry může patřit možnost manipulace a uchycení (například použití úchytných klipů a manipulačních obalů, které usnadňují použití a transport). Posuzovat můžeme také individuálně parametry jednotlivých částí přístroje.

Parametry přístrojů pro měření IZ mohou být individuální v závislosti na konkrétním druhu zařízení, výrobci nebo na základě specifických požadavků konkrétního zákazníka. Jiné požadavky budou na zařízení používané v průmyslových aplikacích a jiné ve vojenství či zdravotnictví. Při výrobě přístrojů pro měření ionizujícího záření je kladen důraz především na technické parametry (Gerndt a Průša, 2011). Nutno podotknout, že bohužel u přístrojů určených pro laickou veřejnost nebývají popisované parametry uvedeny. Zpravidla se technická specifikace u přístrojů určených pro laickou veřejnost vztahuje pouze na druh detekovaného záření, druh a rozsah měřené veličiny, energetický rozsah měřené veličiny, možnosti napájení, způsob signalizace detekce, rozměry, hmotnost a pracovní teploty.

### 1.12 Přístroje pro měření IZ určené pro laickou veřejnost

Před rokem 2011 bylo velmi obtížné najít trhu přístroje pro měření IZ a téměř nemožné je najít v přijatelné ceně pro veřejnost. Až po roce 2011 začali být na trhu postupně dostupná zařízení, které si mohla veřejnost jednoduše zakoupit z pozice fyzické osoby na e-shopech či v kamenných obchodech, ale se stále přetrvávající vysokou cenou, a tak tato zařízení zůstala pro většinovou veřejnost nedostupná (Detecting Radiation Levels In Fukushima: an example of crowdsourcing, 2013). V dnešní době jsou již dostupné ke koupi fyzickými osobami za relativně příznivou cenu. Takto dostupné přístroje jsou považovány za určené pro laickou veřejnost. Vyhledanými nabízenými zařízeními pro laickou veřejnost na Českých e-shopech jsou přístroje uvedeny v tabulce č. 2 s doplněním informace, zda jsou dostupné přímo k prodeji (dostupnost „ano“) nebo je lze koupit pouze na objednávku nebo na dotaz (dostupnost „ne“). Celkem bylo vyhledáno 17 přístrojů. Kromě přístrojů Airthings corentium home a RADEX MR107+ se jedná ve všech případech o dozimetry gama záření a některé z nich jsou schopny detekovat spolu s gama zářením i záření beta a alfa. Uvedené dva přístroje Airthings corentium home a RADEX MR107+ slouží k měření objemové aktivity radonu (spektrometrie alfa záření).

Tabulka 2: Seznam přístrojů určených pro laickou veřejnost na českém trhu

Číslo	Název přístroje	Dostupnost
1	Gamma Scout	ano
2	RD1008	ano
3	SOEKS 112	ano
4	BR 6	ano
5	BR 9B	ano
6	VOLTCRAFT Gamma-Check-A	ano
7	Airthings corentium home	ne
8	RADEX MR107+	ne
9	BEGOOD BS2010	ne
10	BELRAD-04-01	ne
11	CHIBIS MKS-10D	ne
12	PM1610	ne
13	Hodinky PM1208M	ne
14	Hodinky PM1603A	ne
15	Drozd DKG-07D	ne
16	GRACH DKG 03D	ne
17	TERRA MKS-05	ne

Zdroj: vlastní výzkum

### 1.12.1 Vybrané dozimetry určené pro laickou veřejnost

Pro účely práce budou dále blíže charakterizovány dozimetry Gamma Scout, RD1008, SOEKS 112, BR 6, BR 9B a VOLTcraft. Pro účely práce je také pro všechna uvedená zařízení vypracována tabulka s přehledem vybraných technických parametrů pro každý přístroj. Jiné technické parametry nejsou v tabulkách uvedeny, protože se je u většiny nepodařilo dohledat. I přesto zůstávají některé položky v tabulce nevyplněné, protože ani u vybraných přístrojů se některé technické parametry nepodařilo dohledat a zjistit.

#### Dozimetr Gamma Scout

Gamma Scout je dozimetr německé výroby patřící mezi nejoblíbenější laické dozimetry (Pavka, 2012). Měří dávkový příkon a dávku. Vyhodnocení měřených veličin je bez časové prodlevy. Co se odolnosti týče tak výrobce dokládá odolnost vůči nárazům certifikací TÜV. Je schopný detekovat záření gama, beta i alfa (Gamma Scout, © 2021). Detektorem dozimetru je GM trubice typu LND 712 (Pavka, 2012). Součástí přístroje je clonící systém před zářením alfa, beta a také USB port umožňují přenášet naměřená data do PC (Gamma Scout, © 2021). Dozimetr Gamma Scout je k vidění na obrázku č. 10. V tabulce č. 3 jsou blíže specifikovány vybrané technické parametry včetně uvedení přibližné ceny.

Tabulka 3: Vybrané technické parametry dozimetru Gamma Scout

Rozsah dávkového příkonu	0,01 až 1000 $\mu\text{Sv/h}$
Rozsah dávky	0,01 $\mu\text{Sv}$ až neomezeno
Detekované záření	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$
Rozsah energie alfa	od 4 MeV
Rozsah energie beta	od 0,2 MeV
Rozsah energie gama	od 0,02 MeV
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	165 x 72 x 30 mm
Hmotnost	153 g
Napájení	lithiové baterie
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	-40 °C až +75 °C
Přibližná cena	11. 000 Kč

Zdroj: Gamma Scout, © 2021



Obrázek 10: Gamma Scout (Gamma Scout, © 2021)



## Dozimetr RD1008

Dozimetr RD1008 od firmy Radex umožňuje měřit dávkový příkon. Detekuje gama a beta záření v rozmezí od 0,1 do 999  $\mu\text{Sv/h}$ . RD1008 nám nedává informaci o výsledcích měření okamžitě. Rychlost měření je závislá na hodnotě měřené veličiny. Prodejce udává dobu měření od 2 do 21 vteřin. Dozimetr RD1008 se vyznačuje velmi kompaktními rozměry. Přístroj se také vyznačuje velmi jednoduchým ovládáním a je vybaven pouze třemi tlačítky. Signalizace měření je zvuková, a to jak akustická, tak vibrační (RD1008, © 2021). V tabulce č. 4 můžeme vidět blíže specifikované vybrané technické parametry a přibližnou cenu popisovaného zařízení. Samotnou podobu přístroje pak můžeme vidět na obrázku č. 11.

Tabulka 4: Vybrané technické parametry dozimetru RD1008

Rozsah dávkového příkonu	0,01 až 999 $\mu\text{Sv/h}$
Detekované záření	$\beta$ , $\gamma$
Rozsah energie beta	0,05 až 3,5 MeV
Rozsah energie gama	0,05 až 3,0 MeV
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	140 x 64 x 26 mm
Hmotnost	175 g
Napájení	1 x baterie AA
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	-20 °C až +50 °C
Přibližná cena	19 000 Kč

Zdroj: RD1008, © 2021



Obrázek 11: RD1008 (RD1008, © 2021)

## SOEKS 112

Dozimetr SOEKS 112 je novinka roku 2020. Přístroj používá k detekci GM trubici SBM-20. SOEKS 112 detekuje spolu se zářením gama i záření beta. Je schopný měřit jak dávkový příkon, tak dávku s dobou vyhodnocení 20 sekund. Osazen je pouze dvěma tlačítky a jeho ovládání je velmi jednoduché, intuitivní. Vyznačuje se také velmi kompaktními rozměry, které jsou srovnatelné s rozměry kuličkového pera, ale přesný rozměr prodejce ani výrobce neuvádí (SOEKS 112, © 2021). Podobu dozimetru můžeme vidět na obrázku č. 12. V tabulce č. 5 jsou pak uvedeny specifikované vybrané technické parametry tohoto dozimetru a jeho přibližná cena.

Tabulka 5: Vybrané technické parametry dozimetru SOEKS 112

Rozsah dávkového příkonu	0,01 až 1000 $\mu\text{Sv/h}$
Rozsah dávky	0,01 $\mu\text{Sv}$ až 999 Sv
Detekované záření	$\beta$ , $\gamma$
Rozsah energie beta	neuveďeno
Rozsah energie gama	od 0,1 MeV
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	neuveďeno
Hmotnost	30 g
Napájení	2x baterie LR44
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	neuveďeno
Přibližná cena	2 900 Kč

Zdroj: SOEKS 112, © 2021



Obrázek 12: SOEKS 112 (SOEKS 112, © 2021)

## Dozimetr BR 6

Dozimetr BR 6 je schopný měřit dávkový příkon rozsahu od 0,1 až až 99  $\mu\text{Sv/h}$  a detekovat záření gama i beta. Dávku není schopen přístroj měřit. Jako detektor využívá GM trubici neznámého typu. Přístroj je napájen dvěma AA tužkovými bateriemi. Dozimetr BR 6 má velmi jednoduché, intuitivní ovládání pomocí tří tlačítek. Další dvě tlačítka slouží pouze k vypnutí a zapnutí přístroje (BR 6, © 2021). V tabulce č. 6 můžeme vidět blíže specifikované vybrané technické parametry dozimetru včetně jeho přibližné ceny. Samotný přístroj je znázorněn na obrázku č. 13.

Tabulka 6: Vybrané technické parametry dozimetru BR 6

Rozsah dávkového příkonu	0,1 až 99 $\mu\text{Sv/h}$
Detekované záření	$\beta$ , $\gamma$
Rozsah energie beta	neuvedeno
Rozsah energie gama	od 0,02 MeV
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	135 x 70 x 38 mm
Hmotnost	145 g
Napájení	2x AA baterie
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	-25 °C až +45 °C
Přibližná cena	3000 Kč

Zdroj: BR 6, © 2021



Obrázek 13: BR 6 (BR 6, © 2021)

## Dozimetr BR 9B

Tento dozimetr, který je označen jako BR 9B slouží k měření dávkového příkonu a dávky. Kromě záření gama je schopný detekovat záření beta. K detekci záření tento přístroj používá GM trubici neznámého typu. Stejně jako předchozí popisovaný dozimetr má dozimetr BR 9B velmi jednoduché a intuitivní ovládání. Osazen je pěti tlačítky a z toho dvě slouží k uvedení přístroje do chodu a jeho vypnutí. Co se napájení týče tak to je zajištěno třemi AA baterie. Detekované záření je signalizováno pomocí zvukového alarmu (BR 9B, © 2021). Popisovaný dozimetr můžeme vidět na obrázku č. 14. Jeho vybrané technické parametry včetně přibližné ceny jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka 7: Vybrané technické parametry dozimetru BR 9B

Rozsah dávkového příkonu	0,1 až 99 $\mu\text{Sv/h}$
Rozsah dávky	0 až 99,999 mSv
Detekované záření	$\beta$ , $\gamma$
Rozsah energie beta	neuveďeno
Rozsah energie gama	od 0,02 MeV až 3 MeV
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	111 x 70 x 30 mm
Hmotnost	169 g
Napájení	3 x AA baterie
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	neuveďeno
Přibližná cena	2200 Kč

Zdroj: BR 9B, © 2021



Obrázek 14: BR 9B (BR 9B, © 2021)

## Dozimetr VOLTCRAFT Gamma-Check-A

Výrobce tohoto přístroje v technické příručce dostupné na stránkách prodejce uvádí, že přístroj slouží k rychlému odhadu možného radioaktivního zamoření potravin, zařízení a stavebních materiálů v porovnání s přirozenou radioaktivitou prostředí. Zařízení je schopno detekovat pouze záření gama. Měří dávkový příkon s dobou vyhodnocení od 30 sekund do 3 minut. Přístroj má žlutě podsvícený displej a disponuje vstupem pro sluchátka. Ta ovšem nejsou součástí balení (VOLTCRAFT, © 2021). Dozimetr VOLTCRAFT je k vidění na obrázku č. 15. V tabulce č. 8 jsou pak blíže specifikovány jeho vybrané technické parametry a uvedena jeho přibližná cena.

Tabulka 8: Vybrané technické parametry dozimetru VOLTCRAFT Gamma-Check-A

Rozsah dávkového příkonu	0,01 až 999,9 $\mu\text{Sv/h}$
Detekované záření	$\gamma$
Rozsah energie gama	neuveдено
Typ detektoru	GM trubice
Rozměry	180 x 86 x 45 mm
Hmotnost	150 g
Napájení	Lithiová baterie
Signalizace	zvuková
Rozsah pracovních teplot	neuveдено
Přibližná cena	4 400 Kč

Zdroj: VOLTCRAFT, © 2021



Obrázek 15: VOLTCRAFT (VOLTCRAFT, © 2021)

### ***1.12.2 Laické projekty dozimetrů***

Krátce po katastrofě ve Fukušimě roku 2011 jako reakce na šokovanou veřejnost, která nedůvěřovala úřadům a na samotný nedostatek detekčních zařízení (rozsahu monitorovací sítě) začaly vznikat projekty na stavbu dozimetrů určených pro laickou veřejnost (Overview of Kits, 2018). Jednalo se o projekty vytvořené organizací The Libelium Team (Detecting Radiation Levels In Fukushima: an example of crowdsourcing, 2013) a elektroinženýrem Jeffem Keyzerem, který svůj projekt nazval MightyOhm (Keyzer, 2011). Dále pak projekt Safecast (O projektu RAMESIS, © 2021). Existuje i projekt DIYGaiger od neznámého nadšence říkající si BrohoganX10 (Overview of Kits, 2018).

Cílem všech projektů bylo mít jednoduché a rychlé řešení pro stavbu přístroje určeného pro měření úrovně radiace po radiční havárii laickou veřejností. V rámci uvedených projektů je možné zakoupit přístroj ve formě stavebnice tzv. „kutilských kitů“, které si sestaví každý sám nebo jako již vyhotovené zařízení. V rámci projektu MightyOhm je mimo jiné dokonce možné si zdarma stáhnout software a kompletní návod na stavbu vlastního přístroje zahrnující přesný seznam použitých součástí. Všechny přístroje v rámci projektů fungují na principu GM počítače (Overview of Kits, 2018) a jsou vytvořené na platformě Arduino, což je malý jednodeskový počítač založený na mikrokontrolerech ATmega od firmy Atmel, který je volně prodejný (Arduino, © 2021).

Dozimetr z projektu Safecast je dokonce zařazen do českého projektu RAMESIS spravovaným Státním ústavem radiční ochrany. V rámci tohoto projektu byly nakoupeny od společnosti Safecast dozimetry s označením Safecast bGeigie Nano. Tyto dozimetry jsou bezplatně půjčovány laické veřejnosti na určitou dobu za účelem sbírat data o dávkovém příkonu na území České republiky. Projekt funguje jako nástroj k významnému rozšíření kapacity stávajících státních monitorovacích sítí (Dlupalová, © 2021; O projektu RAMESIS, © 2021).

### ***1.13 Vybrané profesionální zařízení***

V této kapitole budou pro účely práce blíže specifikovány vybrané přístroje používané profesionály. Jedná se o zásahový dozimetr URAD 115 používaný HZS České Budějovice a dozimetr FH 40 G používaný SÚJB České Budějovice.

### 1.13.1 Zásahový dozimetr URAD 115

Jedná se o verzi vojenského přístroje AN/UDR-13 určenou pro civilní zásahové jednotky, u níž byla zachována stejná odolnost, ovladatelnost a obsluha. Oproti vojenské verzi ale nemá možnost dozimetr URAD 115 (dále jen URAD 115) detekovat neutrony. Narozdíl od vojenské verze disponuje vibračním alarmem. Přístroj je určen k detekci gama záření, měření dávkového příkonu a pro určení obdržené dávky. Odolnost přístroje odpovídá požadavkům NATO (norma MIL-STD 810). Obal přístroje tvoří hliníkové vodotěsné pouzdro, které odolává nárazu, vibracím a elektromagnetickému záření. Odolný je také vůči elektromagnetickému rušení (EMI). Ovládací tlačítka jsou velmi odolná a je možné je zajistit vůči nechtěnému stisknutí (Marek, 2008). Základní technické parametry přístroje jsou znázorněny v tabulce č. 9.

Tabulka 9: Základní parametry přístroje URAD 115

Technické parametry	Specifikace tech. parametrů
Rozsah dávkového příkonu	0,01 $\mu\text{Sv/h}$ až 5 Sv/h
Rozsah dávky	0,01 $\mu\text{Sv}$ až 10 Sv
Teplotní rozsah	-47 °C až +65 °C
Energetický rozsah	80 keV až 3 MeV
Hmotnost	275 g
Rozměry	100 x 66 x 29 mm

Zdroj: Marek, 2008; UltraRadiac, 2018

URAD 115 lze spojit s GPS modulem, který umožňuje lokalizovat polohu zařízení (Havránková et al., 2012). Přístroj je osazen šesti lehce ovladatelných tlačítek a je napájen pomocí 4ks AAA alkalických baterií nebo dobíjecích akumulátorů NiMH. Baterie vydrží až 150 hodin nepřetržitého provozu (Marek, 2008). Přístroj používá k detekci GM trubici (UltraRadiac, 2018). K vidění je na obrázku č. 16.



Obrázek 16: Zásahový dozimetr URAD 115

Zdroj: UltraRadiac, 2016

### 1.13.2 Dozimetr FH 40 G

Dozimetr FH 40 G je schopný měřit dávkový příkon a dávku gama záření. Záření detekuje pomocí GM trubice. Přístroj je možno ovšem rozšířit i o jiné přípojné detektory, které umožňují měřit povrchovou kontaminaci, neutrony, záření alfa a beta. Jedná se tedy o multifunkční přístroj s širokými možnostmi použití. Napájení je zajištěno dvěma kusy baterií typu AA/LR6 s napětím 1,5 V, které umožňují plnou funkčnost přístroje po dobu 250 hodin. Zařízení je odolné vůči vibracím a voděodolné. Detekované záření je signalizováno zvukový alarmem nebo problikáváním displeje s možností nastavit určitou úroveň pro signalizaci. Možné je použít i sluchátko. Veškerá nasbíraná data mohou být přenesena do PC (Opletal, 2001; FH G Multi-Purpose Digital Survey Meter, © 2021). Základní technické parametry dozimetru jsou uvedeny v tabulce č. 10 a samotný přístroj můžeme vidět na obrázku č. 17.

Tabulka 10: Základní parametry dozimetru FH 40 G

Technické parametry	Specifikace tech. parametrů
Rozsah dávkového příkonu	0,01 $\mu$ Sv/h Sv/h
Rozsah dávky	0,01 $\mu$ Sv až 10 Sv
Teplotní rozsah	-30 °C až 50 °C
Energetický rozsah	36 keV až 1,3MeV
Hmotnost	410 g
Rozměry	195 x 73 x 42 mm

Zdroj: FH G Multi-Purpose Digital Survey Meter, © 2021

Obrázek 17: Dozimetr FH 40 G



Zdroj: vlastní výzkum



## **2 Cíl práce a výzkumná otázka**

### ***2.1 Cíl práce***

Porovnat technické parametry jednotlivých měřicí zařízení pro laickou veřejnost s obdobnými profesionálními zařízeními používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice.

### ***2.2 Výzkumná otázka***

Jsou dozimetry a radiometry dostupné pro laickou veřejnost schopny konkurovat obdobným zařízením používaných SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice?

## **3 Metodika výzkumu**

Na samém začátku byla provedena rešerše dostupné české a zahraniční literatury jak v tištěné, tak elektronické podobě, právních norem, webových stránek, odborných databázových časopisů a technických příruček týkající se tématu práce. Následující jednotlivé kroky zpracování výzkumu jsou blíže specifikovány v následujících podkapitolách.

Nutno uvést, že pro pojem „radiometr“ a „dozimetr“ je v práci pro jednoduchost používáno souhrnné označení „přístroj“ nebo „zařízení“.

### 3.1 Výběr zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost

Jako přístroje určené pro laickou veřejnost jsou v práci považovány taková zařízení, které je možné si zakoupit z pozice fyzické osoby za danou cenu a jsou dostupné ke koupi na českých e-shopech. Poté byl prozkoumán internetový trh (české e-shopy) s přístroji určenými pro laickou veřejnost. Pro výzkum byly vybrány všechny typy přístrojů na českých e-shopech dostupných k prodeji a takové přístroje u kterých bylo možné dohledat jejich technické parametry. Zařízení dostupná na objednávku nebyla zahrnuta do výběru. Protože takto dostupné mohou být těžko využity v případě náhlé radiační havárie. Navíc je možné, že taková zařízení nejsou dostupná vůbec vzhledem k velikosti trhu a poptávky. Celkem bylo vybráno tedy 6 přístrojů, které byly na trhu dostupné k datu 31. 3. 2021 a ke kterým byly dohledatelné jejich technické parametry. **Všechny vybrané přístroje jsou dozimetry.** Jednotlivé přístroje byly blíže specifikovány v teoretické části. Přehled vybraných přístrojů je uveden v tabulce č. 11.

Tabulka 11: Seznam zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost

Číslo	Název přístroje
1	Gamma Scout
2	RD1008
3	SOEKS 112
4	BR 6
5	BR 9B
6	VOLTCRAFT Gamma-Check-A

Zdroj: vlastní výzkum

### 3.2 Výběr zkoumaných profesionálních zařízení

K porovnání s přístroji určenými pro laickou veřejnost měla být vybrána obdobná zařízení používaná HZS České Budějovice a SÚJB České Budějovice. Na základě konzultace s odborníky z daných organizací byla zvolena kritéria, která definovala, co je to „obdobnost“ přístroje. Pro klasifikování „obdobnosti“ profesionálního přístroje k přístrojům určených pro laickou veřejnost bylo určeno 5 kritérií, která jsou uvedena v tabulce č. 12. Posuzována a konzultována byla všechna zařízení dostupná ve jmenovaných organizacích v Českých Budějovicích.

Tabulka 12: Kritéria pro výběr obdobných profesionálních zařízení

Kritéria výběru
druh detektoru
detekované záření
měřená veličina
rozměry
hmotnost

Zdroj: vlastní výzkum

Posuzované přístroje byly klasifikovány jako obdobné k přístrojům určených pro laickou veřejnost, pokud používaný druh používaného detektoru byl stejný. Mají společnou měřenou veličinu a společné detekované záření. Rozměry vizuálně stejné nebo podobné. Hmotnost přístroje do 500 g.

Zvoleným kritériem vyhovovalo z každé organizace pouze jedno zařízení a ta jsou uvedena v tabulce č. 13. Mají hmotnost do 500 g a podobné rozměry. Stejně jako všechna laická zařízení používají k detekci Geiger-Müllerův detektor. Jsou také schopny stejně jako laická zařízení měřit dávkový příkon, a to v  $\mu\text{Sv/h}$ . Uvedené přístroje jsou také stejně jako laické přístroje dozimetry gama záření.

Tabulka 13: Seznam zkoumaných profesionálních přístrojů

Číslo	Název přístroje	Organizace
1	URAD 115	HZS České Budějovice
2	FH 40 G	SÚJB České Budějovice

Zdroj: vlastní výzkum

### 3.3 Způsob porovnání technických parametrů

Abych mohl porovnat technické parametry zkoumaných přístrojů tak jsou nejprve u každého zkoumaného zařízení kvantitativně zpracovány vybrané technické parametry pomocí vícekritériální analýzy. Konkrétně je použita bodovací metoda v případě stanovení vah z kardinální informace o preferencích kritérií. Výsledkem je souhrnný index  $IV_i$ . Vztah pro stanovení indexu  $IV_i$  je uveden níže (Brožová et al., 2003).

$$IV_i = \sum_{j=1}^k v_j K_{ij}$$

$IV_i$  – součet vážených bodů pro i-tý přístroj

$v_j$  – váha j-tého kritéria (celkem je k kritérií)

$K_{ij}$  – body pro i-tý přístroj v j-tém kritériu (Brožová et al., 2003).

Souhrnným indexem  $IV_i$  je v mé práci u jednotlivých zařízení vyjádřena míra zastoupení vybraných technických parametrů se zahrnutím kvalifikace jejich důležitosti. Index  $IV_i$  je vypočítán na základě zhodnocení vybraných sledovaných technických parametrů a je stanoven pro všechna zkoumaná zařízení. Zhodnocení technických parametrů přístrojů včetně uvedení vypočítaného indexu  $IV_i$  je znázorněno v tabulkách pro každé zařízení zvlášť.

Vypočítané jednotlivé indexy  $IV_i$  zkoumaných laických zařízení s indexy  $IV_i$  vybraných zkoumaných profesionálních zařízení jsou graficky porovnány. Dále jsou pak vybrané sledované zhodnocené technické parametry jednotlivých laických zařízení se zařízeními profesionálním porovnány metodou CLA analýzy (check analysis). Na základě uvedených porovnání je realizován cíl práce a zodpovězeno na výzkumnou otázku.

### 3.4 Sledované technické parametry k porovnání včetně jejich kritérií

Vybráno je celkem 9 technický parametrů (očíslováno 1 až 9) a 15 kritérií ( $K_{i1}$  až  $K_{i15}$ ) odpovídajících technickým parametrům, které jsou stanoveny.

K jednotlivým technickým parametrům byly stanoveny hodnoty váhy ( $v_j$ ) podle důležitosti daného technického parametru. Hodnoty vah jsou v rozmezí od 0 do 1, přičemž součet všech jednotlivých vah se rovná 1. Při stanovování hodnot vah, tedy posouzení důležitosti technického parametru, jsem vycházel z nastudování odborné literatury zabírající se problematikou přístrojů pro měření IZ a konzultací s odborníky z SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice.

Výběr technický parametrů včetně jejich kritérií je vybrán na základě toho, zda je možné je **spolehlivě zjistit** nebo **dohledat v technických příručkách u všech zkoumaných zařízení**. Bohužel u části přístrojů pro laickou veřejnost nejsou dostupné kompletní informace o technických parametrech zařízení. Byly proto vybrány takové technické parametry, kterou jsou **dostupné ke zjištění u všech zkoumaných zařízení**. Jednotlivá kritéria technický parametrů jsou obodována pouze číslem 0 nebo 1. Pokud kritérium technického parametru je pro daný přístroj splněno tak je ohodnoceno bodem 1. Pokud nesplňuje tak bodem 0.

Jednotlivé vybrané sledované technické parametry včetně přiřazených kritérií a vah jsou blíže specifikovány níže.

#### 1. Přesnost

Přesnost je zásadním technickým parametrem, a proto by nemělo chybět při hodnocení jakéhokoliv měřícího přístroje (Gerndt a Průša, 2011). Výrobce přístrojů může uvádět, že dané zařízení měří záření v určitém energetickém rozsahu a veličinu v určitém rozsahu. Ale pokud se na základě zákona o metrologii (zákon č. 505/1990 Sb.) nejedná o tzv. stanové měřidlo tak není potvrzeno, že přístroj má uvedené metrologické vlastnosti. Proto je tomuto parametru přiřazena největší váha ( $v_{j1}$ ) činící hodnotu 0,25. Kritériem pro tento parametr je, zda přístroj je stanoveným měřidlem. Kritérium „stanovené měřidlo“ je označeno  $K_{i1}$  a je splněno, pokud je přístroj stanoveným měřidlem podle uvedeného zákona.

stanovené měřidlo..... $K_{i1}$

$v_{j1}$ .....0,25

## 2. Odolnost přístroje

Odolnost přístroje je důležitým požadavkem na přístroj pro měření ionizujícího záření sloužící k využití mimo laboratorní podmínky. Navíc v případě radiální mimořádné události se očekává jejich použití v náročných podmínkách. Tomuto parametru je proto dána váha ( $v_j$ ) 0,15. Pro hodnocení tohoto technického parametru jsou zvolena celkem 4 kritéria ( $K_i$ 2 až  $K_i$ 5): voděodolnost, odolnost vůči elmg záření, vůči nárazu a vůči teple, viz. níže.

voděodolnost.....	$K_i$ 2
vůči elmg záření.....	$K_i$ 3
vůči nárazu.....	$K_i$ 4
vůči teple.....	$K_i$ 5
$v_j$ 2.....	0,15

Přístroj splňuje kritérium „voděodolnost“ ( $K_i$ 2), pokud jeho stupeň krytí IP odpovídá minimálně hodnotě 67 (přístroj zcela chráněn před vniknutím vody a zároveň může ponořen do hloubky jednoho metru po dobu 30 minut) (Berka, 2010). Pokud se přístroj vyznačuje elektromagnetickou kompatibilitou (odolný vůči rušivému elektromagnetickému vlnění z ostatních elektrických přístrojů) (Kaňuch et al., 2006), tak přístroj splňuje kritérium  $K_i$ 3 „vůči elmg záření“.

Kritérium „vůči nárazu“  $K_i$ 4 přístroj splňuje, pokud výrobce dokládá certifikát, který by to potvrzoval nebo je přístroj vyroben z materiálu u kterého je doloženo, že je odolný vůči nárazu.

Kritérium „vůči teple“ ( $K_i$ 5) přístroj splňuje, pokud výrobce dokládá certifikát, který by to potvrzoval.

### 3. Rozsah dávkového příkonu

Dalším sledovaným vybraným technickým parametrem je rozsah dávkového příkonu. Kritériem pro tento technický parametr je, zda je přístroj schopný měřit příkon od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  („od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ “,  $K_i6$ ). Pokud je přístroj schopen měřit od uvedeného rozsahu tak je kritérium splněno. Tento parametr byl vybrán z toho důvodu, že je dohledatelný u všech přístrojů. Dále pak fakt, že čím je nižší spodní hranice měření dávkového příkonu, tím samozřejmě lépe, protože zařízení je tak schopno detekovat lépe výkyvy úrovně radiace. Na základě toho je váha ( $v_j3$ ) tohoto parametru ohodnocena číslem 0,15.

od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ ..... $K_i6$

$v_j3$ .....0,15

### 4. Možnosti měření

Vzhledem k tomu, že převládající složkou radioaktivního spadu bývá směs radionuklidů tvořená převážně beta a gama záření (Havránková, © 2021) tak je posuzováno, zda je daný přístroj schopen tyto dvě záření měřit („ $\beta$ ,  $\gamma$ “,  $K_i7$ ). Pokud k možnostem měření patří i možnost měřit dávku, je to výhodou („dávka“,  $K_i8$ ). Uvedená kritéria jsou splněna, pokud přístroje disponuje danou možností. Na základě uvedených informací jsem tento parametr ohodnotil váhou ( $v_j4$ ) činící 0,10. Další možnosti měření žádný ze zkoumaných přístrojů nemá, proto jsou vybrány pro tento parametr jen dvě kritéria.

$\beta$ ,  $\gamma$ ..... $K_i7$

dávka..... $K_i8$

$v_j4$ .....0,10

## 5. Signalizace detekce

Jedním z dalších vybraných technických parametrů je signalizace detekovaného záření. Signalizace pomocí světelného nebo zvukového alarmu nás upozorní na přítomnost radioaktivity nebo dosažení její určité úrovně (Gerndt a Průša, 2011), což je důležité. Na základě toho byla tomuto parametru dána váha ( $v_{j5}$ ) 0,10. Pro tento parametr byly zvoleny dvě kritéria: „světelná“ ( $K_{i9}$ ) a „zvuková“ signalizace ( $K_{i10}$ ). Kritérium  $K_{i9}$  je splněno, pokud je signalizace realizována pomocí LED diod či problikáváním displeje. Kritérium  $K_{i10}$  je splněno, pokud je signalizace zprostředkována skrze zvukový alarm (akustický tón nebo vibrace). Jednotlivá kritéria včetně přiřazené váhy jsou uvedena níže.

světelná..... $K_{i9}$

zvuková..... $K_{i10}$

$v_{j5}$ .....0,10

## 6. Napájení

Pro tento technický parametr je zvoleno kritérium, zda může být přístroj mimo baterií napájen i akumulátorem („akumulátor“,  $K_{i11}$ ). Kritérium je splněno, pokud tato možnost existuje. Rozdíl mezi baterií a akumulátorem je v možnosti dobíjení. Narozdíl od baterie můžeme akumulátor dobíjet. Akumulátory se oproti bateriím také vyznačují vyšší kapacitou, a tedy možností déle přístroj využívat (Cenek, 2003; Klasické baterie versus akumulátory, 2018). Z toho důvodu byla váha tohoto parametru ( $v_{j6}$ ) ohodnocena 0,10.

akumulátor..... $K_{i11}$

$v_{j6}$ .....0,10

## 7. Hmotnost

Další vybraným technickým parametrem je hmotnost, kterou daný přístroj má. Jako kritérium bylo zvoleno, zda zkoumaný přístroj lehčí než 250 g („<250 g“,  $K_{i12}$ ). Obecně platí, že čím je přístroj lehčí tím lepší. Tomuto parametru byla dána váha ( $v_{j7}$ ) 0,05. Kritérium, je splněno, pokud je přístroj lehčí než 250 g.

<250 g..... $K_{i12}$

$v_{j7}$ .....0,05



## 8. Možnosti přenosu dat

Možnost přenést naměřená data do PC je výhodou. Umožňuje nám to evidovat naměřená data a využít je tak třeba k další analýze. Kritérii pro tento technický parametr je, zda je možný přenos dat do PC („do PC“,  $K_i13$ ) a zda je možné zároveň data přenést do PC bezdrátově („bezdrátový přenos“,  $K_i14$ ). Uvedená kritéria jsou splněna, pokud těmito možnostmi daný přístroj disponuje. K tomuto technickému parametru byla přiřazena váha ( $v_j8$ ) 0,05.

do PC..... $K_i13$

bezdrátový přenos..... $K_i14$

$v_j8$ .....0,05

## 9. Možnost lokalizace

Stejně jako možnost přenosu dat je výhodou možnost lokalizovat přístroj pomocí GPS. Tím je umožněno evidovat polohu, kde byl přístroj používán, a tak lépe následně zmapovat radiační situaci v dané lokaci. Pokud zařízení disponuje GPS modulem, nebo je jej možné externě připojit tak přístroj splňuje kritérium „GPS“ označené  $K_i15$ . Váha tohoto technického parametru ( $v_j9$ ) byla zvolena 0,05.

GPS..... $K_i15$

$v_j9$ .....0,05

Veškeré uvedené technické parametry včetně jejich kritérií a vah jsou pro lepší přehlednost uvedeny v tabulce č. 14, která je na další stránce.

Tabulka 14: Přehled stanovených tech. parametrů včetně kritérií a vah

Sledovaný tech. parametr	$K_{ij}$	$v_j$
Kritérium tech. parametru	(0 nebo 1)	(0 až 1)
<b>1. Přesnost</b>		$v_{j1}$
stanovené měřidlo	$K_{i1}$	(0,25)
<b>2. Odolnost přístroje</b>		$v_{j2}$
voděodolnost	$K_{i2}$	(0,15)
vůči elmg záření	$K_{i3}$	
vůči nárazu	$K_{i4}$	
vůči teplu	$K_{i5}$	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		$v_{j3}$
od 0,01 $\mu\text{Sv/h}$	$K_{i6}$	(0,15)
<b>4. Možnosti měření</b>		$v_{j4}$
$\beta, \gamma$	$K_{i7}$	(0,10)
dávka	$K_{i8}$	
<b>5. Signalizace detekce</b>		$v_{j5}$
světelná	$K_{i9}$	(0,10)
zvuková	$K_{i10}$	
<b>6. Napájení</b>		$v_{j6}$
akumulátor	$K_{i11}$	(0,10)
<b>7. Hmotnost</b>		$v_{j7}$
<250 g	$K_{i12}$	(0,05)
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		$v_{j8}$
do PC	$K_{i13}$	(0,05)
bezdrátový přenos	$K_{i14}$	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		$v_{j9}$
GPS	$K_{i15}$	(0,05)
<b>Souhrnný index <math>IV_i</math></b>		<b>x</b>

Zdroj: vlastní výzkum

V levé části tabulky je uveden vybraný sledovaný technický parametr s příslušným očíslováním a zároveň jsou jednotlivé technické parametry zvýrazněny oranžovou barvou. Pod každým technickým parametrem jsou uvedena jeho kritéria. Ke každému kritériu je přiřazeno jeho příslušné označení ( $K_{ij}$ ). V pravé části tabulky jsou uvedeny ke každému technickému parametru jeho váhy včetně jejich hodnot. Vybrané technické parametry jsou seřazeny sestupně od nejdůležitějšího po nejméně důležitý (od nejvyšší hodnoty váhy  $v_j$  až po nejnižší). Ve spodní části tabulky zvýrazněně žlutou barvou je pak uveden souhrnný index  $IV_i$  (dále jen index  $IV_i$ ).

V následující kapitole č. 4 Výsledky je vypracována uvedená tabulka pro každý zkoumaný přístroj. V tabulce je provedena vícekritériální analýza, která zhodnocuje sledované technické parametry pro jednotlivé zkoumané přístroje včetně uvedení vypočítaného indexu  $IV_i$ .

## 4 Výsledky

### 4.1 Ohodnocení jednotlivých zkoumaných přístrojů

Tabulka 15: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro URAD 115

## URAD 115

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	1	0,25
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	1	0,15
vůči elmg záření	1	
vůči nárazu	1	
vůči teplu	1	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 $\mu\text{Sv/h}$	1	0,15
<b>4. Možnosti měření</b>		
$\beta, \gamma$	0	0,10
dávka	1	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	1	0,10
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	1	0,10
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	0	0,05
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	1	0,05
bezdrátový přenos	1	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	1	0,05
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>1,55</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

Jak můžeme vidět v tabulce č. 15 tak přístroj URAD 115 je stanoveným měřidlem a splňuje veškerá kritéria odolnosti (norma MIL-STD 810). Přístroj měří dávkový příkon od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  a je schopen také měřit dávku. Zařízení není schopno měřit beta záření. Signalizace detekce je jak světelná, tak zvuková. Napájení je možno zajistit baterií i akumulátorem. Přístroj je těžší než 250 gramů. Data je možné přenést do počítače a to i bezdrátově. Lokalizace pomocí GPS je možná. Výsledek indexu IV<sub>i</sub> je 1,55.

Tabulka 16: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro FH 40 G

## FH 40 G

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		<b>0,25</b>
stanovené měřidlo	1	
<b>2. Odolnost přístroje</b>		<b>0.15</b>
voděodolnost	1	
vůči elmg záření	1	
vůči nárazu	1	
vůči teplu	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		<b>0.15</b>
od 0,01 μSv/h	1	
<b>4. Možnosti měření</b>		<b>0.10</b>
β, γ	0	
dávka	1	
<b>5. Signalizace detekce</b>		<b>0.10</b>
světelná	1	
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		<b>0.10</b>
akumulátor	0	
<b>7. Hmotnost</b>		<b>0.05</b>
<250 g	0	
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		<b>0.05</b>
do PC	1	
bezdrátový přenos	1	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		<b>0.05</b>
GPS	0	
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>1,25</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 16 můžeme vidět, že přístroj FH 40 G je stejně jako předchozí zařízení stanoveným měřidlem. Zařízení kromě odolnosti vůči teplu splňuje všechna kritéria odolnosti přístroje – voděodolnost je IP67 a splňuje normu ČSN EN 60846-1 (356569). Dávkový příkon je měřen od 0,01 μSv/h. Zařízení uvedeného typu není schopno měřit beta záření ale dávku ano. Signalizování detekce je zajištěno jak světelně (možnost nastavení problikávání displeje) tak akusticky při dosažení úrovně radiace. Napájení je zajištěno pouze bateriemi bez možnosti použít akumulátor. Se svou hmotností 410 g nespĺňuje kritérium hmotnosti pod 250 g. Naměřená data mohou být přenesena do PC bez použití USB díky bezdrátovému přenosu. Modul GPS není přítomen ani ho není možné externě připojit. Hodnota indexu IV<sub>i</sub> činí 1,25.

Tabulka 17: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro Gamma Scout

## Gamma Scout

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	0	<b>0,25</b>
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	0	<b>0.15</b>
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	1	
vůči teplu	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 μSv/h	1	<b>0.15</b>
<b>4. Možnosti měření</b>		
β, γ	1	<b>0.10</b>
dávka	1	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	0	<b>0.10</b>
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	0	<b>0.10</b>
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	1	<b>0.05</b>
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	1	<b>0.05</b>
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	0	<b>0.05</b>
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>0,70</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 17 můžeme vidět, že přístroj Gamma Scout není stanoveným měřidlem. Co se týče odolnosti tak je odolný pouze vůči nárazům. Tu výrobce dokládá certifikací TÜV. Je schopný detekovat dávkový příkon od 0,01 μSv/h. Pomocí přístroje Gamma Scout lze měřit i záření gama a měřit dávku. Signalizování detekce radiace je pouze zvukové. Napájení je zajištěno pouze lithiovou baterií bez možnosti použít akumulátor. Celé zařízení váží 153 g, a proto splňuje kritérium hmotnost. Naměřená data je možné přenést do počítače, ale pouze přes kabel USB. Bezdrátové připojení není možné. U tohoto přístroje chybí možnost lokalizovat přístroj pomocí GPS. Výsledná hodnota indexu IV<sub>i</sub> činí 0,70.

Tabulka 18: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro RD1008

## RD1008

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	0	<b>0,25</b>
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	0	<b>0.15</b>
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	0	
vůči teple	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 $\mu\text{Sv/h}$	1	<b>0.15</b>
<b>4. Možnosti měření</b>		
$\beta, \gamma$	1	<b>0.10</b>
dávka	0	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	0	<b>0.10</b>
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	0	<b>0.10</b>
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	1	<b>0.05</b>
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	0	<b>0.05</b>
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	0	<b>0.05</b>
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>0,40</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

Jak je uvedeno v tabulce č. 18 – zařízení RD1008 není stanoveným měřidlem a nesplňuje žádné kritérium odolnosti přístroje. RD1008 je schopno detekovat dávkový příkon od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ . Z možnosti detekce splňuje jen možnost měřit záření beta a gama. Dávku není zařízení schopno měřit. K možnostem signalizace detekce patří jen zvukový alarm. Napájení je zajištěno pouze baterií bez možnosti použít akumulátor. Se svou hmotností 175 g splňuje kritérium hmotnost. Přístrojem naměřená data nejdu, jakkoliv přenést do počítače. GPS lokalizace u tohoto zařízení není možná. Vypočítaná hodnota indexu IV<sub>i</sub> je 0,40.

Tabulka 19: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro SOEKS 112

## SOEKS 112

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	0	<b>0,25</b>
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	0	<b>0.15</b>
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	0	
vůči teplu	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 μSv/h	1	<b>0.15</b>
<b>4. Možnosti měření</b>		
β, γ	1	<b>0.10</b>
dávka	1	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	0	<b>0.10</b>
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	0	<b>0.10</b>
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	1	<b>0.05</b>
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	0	<b>0.05</b>
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	0	<b>0.05</b>
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>0,50</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

Z tabulky č. 19 je patrné, že přístroj SOEKS 112 není stanoveným měřidlem, a proto nesplňuje technický parametr přesnost. Přístroj neodpovídá ani žádnému kritériu odolnosti přístroje. Rozsah měření dávkového příkonu je u zařízení od 0,01 μSv/h. K možnostem měření patří jak měření beta záření, tak dávky, a proto plně splňuje parametr možnosti měření. Detekované záření je signalizováno pouze zvukově. Zařízení k napájení používá pouze baterii, akumulátor použit nelze. Technický parametr hmotnost se svou vahou 30 g splňuje. Přístroj nemá žádnou možnost přenést data mimo zařízení. Lokalizace pomocí GPS také není možná. Výsledný index IV<sub>i</sub> je 0,50.

Tabulka 20: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj BR 6

## BR 6

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	0	<b>0,25</b>
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	0	<b>0.15</b>
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	0	
vůči teple	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 μSv/h	0	<b>0.15</b>
<b>4. Možnosti měření</b>		
β, γ	1	<b>0.10</b>
dávka	0	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	0	<b>0.10</b>
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	0	<b>0.10</b>
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	1	<b>0.05</b>
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	0	<b>0.05</b>
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	0	<b>0.05</b>
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>0,25</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

Z tabulky č. 20 je patrné, že přístroj BR 6 není stanoveným měřidlem. Zařízení nesplňuje žádné kritérium odolnosti přístroje. Dávkový příkon od 0,01 μSv/h neumí zařízení měřit. K možnostem měření patří měření beta záření bez možnosti měřit dávku. BR 6 signalizuje detekované záření pouze zvukově. Zařízení používá ke svému napájení baterii bez možnosti použít akumulátor. Se svou hmotností 145 g splňuje kritérium hmotnosti. Hodnocené zařízení nemá možnost přenášet data a je bez možnosti lokalizace pomocí GPS. Spočítaný index IV<sub>i</sub> činí 0,25.



Tabulka 21: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj BR 9B

## BR 9B

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	V <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		<b>0,25</b>
stanovené měřidlo	0	
<b>2. Odolnost přístroje</b>		<b>0,15</b>
voděodolnost	0	
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	0	
vůči teplu	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		<b>0,15</b>
od 0,01 μSv/h	0	
<b>4. Možnosti měření</b>		<b>0,10</b>
β, γ	1	
dávka	1	
<b>5. Signalizace detekce</b>		<b>0,10</b>
světelná	0	
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		<b>0,10</b>
akumulátor	0	
<b>7. Hmotnost</b>		<b>0,05</b>
<250 g	1	
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		<b>0,05</b>
do PC	0	
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		<b>0,05</b>
GPS	0	
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>		<b>0,35</b>

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 21 můžeme vidět, že přístroj BR 9B není stanoveným měřidlem. Není splněno ani jedno kritérium technického parametru odolnosti přístroje. Dávkový příkon není měřen od 0,01 μSv/h. K možnostem měření patří jak měření dávky, tak i beta záření. K signalizování detekce zařízení využívá pouze zvukovou signalizaci. Napájení přístroje BR 9B je řešeno pouze použitím baterií bez možnosti použít akumulátor. Hmotnost přístroje činí 169 g, a proto vyhovuje parametru hmotnosti. Z přístroje není možné přenášet naměřená data a ani není dostupná lokalizace pomocí GPS. Vypočtená hodnota indexu IV<sub>i</sub> je 0,35.

Tabulka 22: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj

VOLTCRAFT Gamma-Check-A

## VOLTCRAFT Gamma-Check-A

Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>	v <sub>j</sub>
Kritérium tech. parametru		
<b>1. Přesnost</b>		
stanovené měřidlo	0	0,25
<b>2. Odolnost přístroje</b>		
voděodolnost	0	0,15
vůči elmg záření	0	
vůči nárazu	0	
vůči teplu	0	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>		
od 0,01 μSv/h	1	0,15
<b>4. Možnosti měření</b>		
β, γ	0	0,10
dávka	0	
<b>5. Signalizace detekce</b>		
světelná	0	0,10
zvuková	1	
<b>6. Napájení</b>		
akumulátor	0	0,10
<b>7. Hmotnost</b>		
<250 g	1	0,05
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>		
do PC	0	0,05
bezdrátový přenos	0	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>		
GPS	0	0,05
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>	<b>0,30</b>	

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 22 vidíme, že přístroj VOLTCRAFT Gamma-Check-A není stanoveným měřidlem. Ani jedno kritérium nesplňuje technický parametr odolnost přístroje. Dávkový příkon je měřen v rozsahu od 0,01 μSv/h. Přístroj neumožňuje měřit dávku a ani beta záření. Z možností signalizace detekce je splněno pouze kritérium zvuková signalizace. K napájení není možné mimo baterie použít akumulátor. Se svojí hmotností 150 g splňuje kritérium být lehčí než 250 g. Naměřená data není možné, jakkoliv přenést do počítače. Lokalizování pomocí GPS také není možné. Výsledek vypočítaného indexu IV<sub>i</sub> je 0,30.

## 4.2 Porovnání přístrojů pro laickou veřejnost s profesionálními přístroji

V této podkapitole jsou pomocí CLA analýzy porovnávány vícekriteriální analýzou zhodnocené technické parametry přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G. Výsledky provedené CLA analýzou jsou znázorněny v tabulce č. 23.

Tabulka 23: Porovnání technických parametrů přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G pomocí CLA analýzy

Sledovaný tech. parametr Kritérium tech. parametru		K <sub>ij</sub>		Název přístroje						
				URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT
<b>1. Přesnost</b>										
stanovené měřidlo	K <sub>i1</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
<b>2. Odolnost přístroje</b>										
voděodolnost	K <sub>i2</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
vůči elmg záření	K <sub>i3</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
vůči nárazu	K <sub>i4</sub>	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	
vůči teplu	K <sub>i5</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>										
od 0,01 μSv/h	K <sub>i6</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	
<b>4. Možnosti měření</b>										
β, γ	K <sub>i7</sub>	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	
dávka	K <sub>i8</sub>	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	
<b>5. Signalizace detekce</b>										
světelná	K <sub>i9</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
zvuková	K <sub>i10</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>6. Napájení</b>										
akumulátor	K <sub>i11</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
<b>7. Hmotnost</b>										
<250 g	K <sub>i12</sub>	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>										
do PC	K <sub>i13</sub>	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	
bezdrátový přenos	K <sub>i14</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
<b>9. Možnosti lokalizace</b>										
GPS	K <sub>i15</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
<b>Souhrnný index IV<sub>i</sub></b>		<b>1,55</b>	<b>1,25</b>	<b>0,70</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>0,35</b>	<b>0,30</b>	<b>0,25</b>	

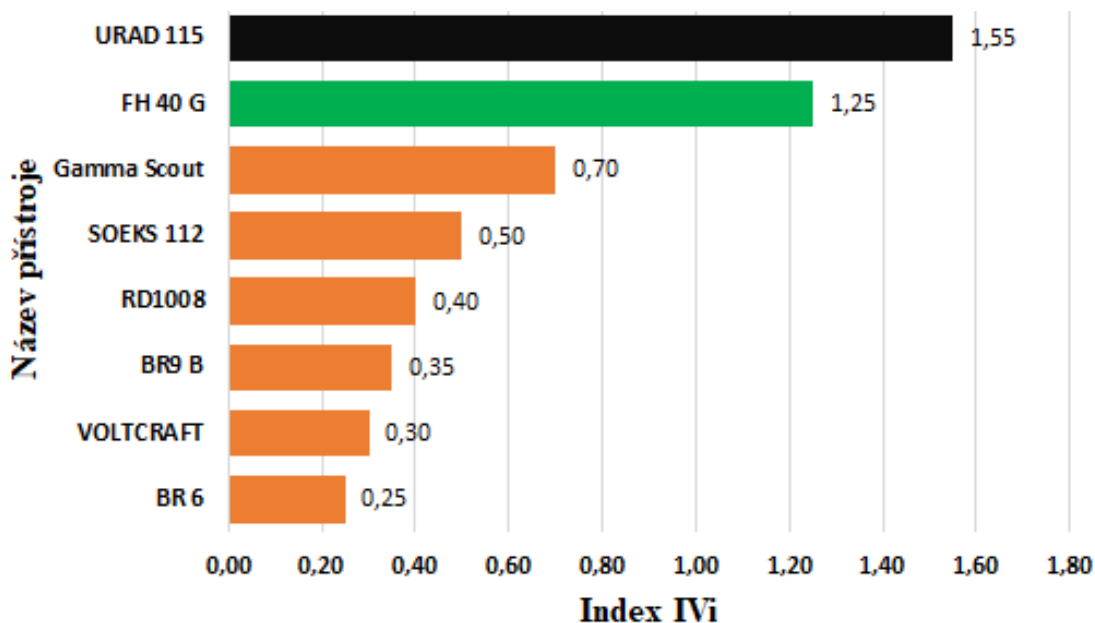
Zdroj: vlastní výzkum

V levé části tabulky č. 23 jsou uvedeny technické parametry s příslušným očíslováním a zároveň jsou jednotlivé technické parametry zvýrazněny oranžovou barvou. Pod každým technickým parametrem jsou uvedena jeho kritéria. Ke každému kritériu je přiřazeno jeho příslušné označení ( $K_{ij}$ ). Pomocí symbolů je pak znázorněno, zda daný přístroj splňuje příslušné kritérium daného technického parametru (symbol ✓ = splňuje, symbol ✗ = nesplňuje). Pro lepší přehlednost jsou barevně odlišeny profesionální přístroje od přístrojů pro laickou veřejnost. Jednotlivé přístroje jsou v tabulce seřazeny sestupně zleva doprava na základě hodnoty vypočítaného indexu  $IV_i$  pro každého z nich. Hodnota indexu  $IV_i$  je uvedena ve spodní části tabulky.

Z tabulky je patrné, že profesionální přístroje URAD 115 a FH 40 G splňují více kritérií technických parametrů než přístroje pro laickou veřejnost. Přístroj URAD 115 splňuje ze všech přístrojů nejvíce kritérií a dále pak přístroj FH 40 G. Přístroj URAD 115 splňuje třináct kritérií, FH 40 G deset kritérií, Gamma Scout sedm kritérií, SOEKS 112 pět kritérií, RD1008 spolu s BR 9B splňují čtyři kritéria a VOLTCRAFT spolu s BR 6 pak splňují pouze tři kritéria. Profesionální přístroje kompletně splňují kritéria pro technický parametr přesnost, rozsah dávkového příkonu, signalizace detekce a možnosti přenosu dat. Žádný z profesionálních přístrojů nesplňuje kritérium hmotnost pod 250 g a neumí spolu se zářením gama měřit i beta záření.

Přístroje pro laickou veřejnost kompletně splňují všechna kritéria pouze u technického parametru hmotnost a z technického parametru signalizace splňují pouze jeho část, konkrétně všechna laická zařízení splňují kritérium  $K_{i10}$  – zvuková signalizace. Oproti profesionálním přístrojům není žádný z laických přístrojů stanoveným měřidlem a nesplňuje technický parametr odolnost přístroje. Pouze přístroj Gamma Scout splňuje z parametru odolnost přístroje kritérium  $K_{i4}$  – odolnost vůči nárazům. Kromě přístroje Gamma Scout žádný z přístrojů určen pro laiky nemá oproti profesionálním přístrojům žádnou možnost přenosu dat do PC. GPS lokalizace u laických zařízení také není možná. Z profesionálních přístrojů má tuto možnost jen URAD 115. Oproti profesionálním přístrojům jsou všechny laické přístroje kromě přístroje VOLTCRAFT schopny měřit záření beta a gama. Dále přístroje určené pro laickou veřejnost nepoužívají kromě baterií k napájení akumulátor a signalizace detekce je realizována pouze zvukově.

Z tabulky č. 23 je také patrné, že hodnoty indexů  $IV_i$  profesionálních zařízení značně převyšují hodnoty indexů  $IV_i$  přístrojů určených pro laiky. Výsledné indexy  $IV_i$  všech přístrojů jsou mezi sebou porovnány pomocí grafu uvedeným na obrázku č. 18.



Obrázek 18: Graf porovnání indexů  $IV_i$  přístrojů určených pro laickou veřejnost s indexy  $IV_i$  profesionálních přístrojů

Zdroj: vlastní výzkum

Na levé ose grafu jsou uvedeny názvy jednotlivých zkoumaných přístrojů. Spodní osa tvoří hodnoty indexu  $IV_i$ . Laická zařízení jsou pro lepší přehled zvýrazněna oranžovou barvou. Přesné hodnoty vypočítaného indexu  $IV_i$  pro konkrétní zařízení jsou vepsány do grafu. Přístroje jsou seřazeny sestupně podle hodnoty indexu  $IV_i$ .

Největší hodnoty indexu  $IV_i$  dosáhl přístroj URAD 115 ( $IV_i=1,55$ ). Další hodnoty indexů  $IV_i$  jednotlivých přístrojů jsou následovné: FH 40 G ( $IV_i=1,25$ ), Gamma Scout ( $IV_i=0,70$ ), SOEKS 112 ( $IV_i=0,50$ ), RD1008 ( $IV_i=0,40$ ), BR 9B ( $IV_i=0,35$ ), VOLTCRAFT ( $IV_i=0,30$ ), BR6 ( $IV_i=0,25$ ).

Z grafu je patrné, že hodnoty indexu  $IV_i$  profesionálních přístrojů URAD 115 a FH 40 G značně převyšují hodnoty indexu  $IV_i$  přístrojů pro laickou veřejnost. Je tomu proto, že splňují nejvíce kritérií, a hlavně nejvíce kritérií pro nejlépe hodnocené technické parametry a tím je technický parametr přesnost a odolnost přístroje, jak je detailněji popsáno k přechozí tabulce č. 23.

### 4.3 Porovnání jednotlivých tech. parametrů přístrojů pro laickou veřejnost s jednotlivými tech. parametry profesionálních přístrojů

V této podkapitole jsou jednotlivé technické parametry profesionálních přístrojů a přístrojů pro laickou veřejnost jednotlivě blíže porovnány. Celkem je vypracováno 9 tabulek, které jsou koncipovány stejně jako tabulka č. 24. Každá tabulka je pak slovně okomentována.

Tabulka 24: Porovnání přesnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

		Název přístroje							
		URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>								
Kritérium tech. parametru									
<b>1. Přesnost</b>									
stanovené měřidlo	K <sub>i1</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Zdroj: vlastní výzkum

Jak můžeme vidět v tabulce č. 24 tak kritérium přesnosti splňují jen profesionální přístroje URAD 115 a FH 40 G. Je to z toho důvodu, že žádný z přístrojů pro laickou veřejnost není stanoveným měřidlem podle zákona o metrologii (zákon č. 505/1990 Sb.).

Tabulka 25: Porovnání odolnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

		Název přístroje							
		URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>								
Kritérium tech. parametru									
<b>2. Odolnost přístroje</b>									
voděodolnost	K <sub>i2</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
vůči elmg záření	K <sub>i3</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
vůči nárazu	K <sub>i4</sub>	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
vůči teplu	K <sub>i5</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 25 můžeme vidět, že všechny profesionální přístroje splňují kritéria voděodolnost, odolnost vůči elmg záření a nárazu. Přístroj FH 40 G oproti přístroji URAD 115 nesplňuje kritérium odolnosti vůči teplu. Žádný z přístrojů pro laickou veřejnost nesplňuje kritérium voděodolnost na rozdíl od profesionálních ani nesplňují kritéria odolnosti vůči elmg záření a teplu. Kritérium odolnosti z laických přístrojů pak splňuje pouze přístroj Gamma Scout.

Tabulka 26: Porovnání rozsahu dávkového příkonů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

		Název přístroje							
		URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>								
Kritérium tech. parametru									
<b>3. Rozsah dávkového příkonu</b>									
od 0,01 $\mu\text{Sv/h}$	K <sub>i6</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗

Zdroj: vlastní výzkum

Z tabulky č. 26 vyplývá, že všechny přístroje kromě laických přístrojů BR 9B a BR6 jsou schopné pracovat v měření rozsahu dávkového příkonu od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ .

Tabulka 27: Porovnání možnosti detekce přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

Sledovaný tech. parametr Kritérium tech. parametru		K <sub>ij</sub>	Název přístroje							
			URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
<b>4. Možnosti detekce</b>										
b,y	K <sub>i7</sub>	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	
dávka	K <sub>i8</sub>	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	

Zdroj: vlastní výzkum

Jak je patrné z tabulky č. 27 tak profesionální přístroje URAD 115 a FH 40 G nejsou schopny detekovat spolu s gama zářením i záření beta. Oba dva přístroje jsou ale schopné měřit dávku. Z laických přístrojů dávku neměří pouze přístroj RD1008 a BR6. Co se týče detekce beta záření tak to jsou schopny detekovat všechny laické přístroje kromě přístroje VOLTCRAFT.

Tabulka 28: Porovnání signalizace detekce přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

Sledovaný tech. parametr Kritérium tech. parametru		K <sub>ij</sub>	Název přístroje							
			URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
<b>5. Signalizace detekce</b>										
světelná	K <sub>i9</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
zvuková	K <sub>i10</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 28 můžeme vidět, že profesionální přístroje URAD 115 a FH 40 G kompletně splňují kritéria technického parametru signalizace detekce. Žádný s z laických přístrojů nemá možnost signalizovat detekci světelně. Naopak ale jsou všechna laická zařízení schopna signalizovat detekci zvukově.



Tabulka 29: Porovnání napájení přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

Sledovaný tech. parametr Kritérium tech. parametru		K <sub>ij</sub>	Název přístroje						
			URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT
<b>6. Napájení</b>									
baterie a akumulátor	K <sub>i11</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Zdroj: vlastní výzkum

Z tabulky č. 29 je patrné, že možností použít spolu s baterií i akumulátor se vyznačuje pouze profesionální přístroj URAD 115. Žádné z ostatních zařízení takovou možnost nemá.

Tabulka 30: Porovnání hmotnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

Sledovaný tech. parametr Kritérium tech. parametru		K <sub>ij</sub>	Název přístroje						
			URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT
<b>7. Hmotnost</b>									
<250 g	K <sub>i12</sub>	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Zdroj: vlastní výzkum

Jak můžeme vidět v tabulce č. 30 tak žádný z profesionálních přístrojů nesplňuje kritérium hmotnosti <250 g. Naopak všechny přístroje pro laickou veřejnost toto kritérium splňují, jsou tedy lehčí než 250 g.

Tabulka 31: Porovnání možnosti přenosu dat přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

		Název přístroje							
		URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>								
Kritérium tech. parametru									
<b>8. Možnosti přenosu dat</b>									
do PC	K <sub>i13</sub>	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
bezdrátový přenos	K <sub>i14</sub>	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Zdroj: vlastní výzkum

Z tabulky č. 31 je patrné, že profesionální přístroje URAD 115 a FH 40 G splňují všechna kritéria technického parametru „možnosti přenosu dat“. Z laických přístrojů je pouze přístroj Gamma Scout schopen přenést naměřená data do PC. Jinak ostatní přístroje pro laickou veřejnost kritéria nesplňují.

Tabulka 32: Porovnání možnosti lokalizace přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G

		Název přístroje							
		URAD 115	FH 40 G	Gamma Scout	SOEKS 112	RD1008	BR 9B	VOLTCRAFT	BR 6
Sledovaný tech. parametr	K <sub>ij</sub>								
Kritérium tech. parametru									
<b>9. Možnosti lokalizace</b>									
GPS	K <sub>i15</sub>	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Zdroj: vlastní výzkum

V tabulce č. 32 můžeme vidět, že pouze profesionální přístroj URAD 115 oproti všem ostatním přístrojům splňuje kritérium GPS, a to formou přípojného GPS modulu. Ostatní přístroje nemají GPS modul zabudovaný a ani nemají možnost ho dodatečně připojit.

## 5 Diskuze

V této části práce jsou zhodnocené technické parametry dozimetrů určených pro laickou veřejnost včetně jejich možnosti použití pro praxi.

### *5.1 Zhodnocení technických parametrů dozimetrů určených pro laickou veřejnost*

V práci je porovnáváno na základě zvolené metodiky šest dozimetrů určených pro laickou veřejnost. Jak bylo uvedeno v teoretické části – na českém online trhu s přístroji pro měření ionizujícího záření jsem vyhledal ještě dalších devět dozimetrů. Pokud bychom se na ně blíže podívali tak bychom zjistili, že se jedná víceméně o obdobné přístroje. Z vyhledatelných elektrotechnických vlastností se prakticky liší jen v drobných rozdílech hodnot energetického rozsahu pro daný typ detekovaného záření, zda detekuje spolu s gama zářením i záření beta a v ojedinělých případech i záření alfa. Dále pak voltáží napájení a pravděpodobně i možností sledovat měřenou veličinou okamžitě nebo s časovým odstupem. Vzhledem k neúplnosti dostupných informací se toto nedá u všech zkoumaných přístrojů posoudit. Nicméně u části dozimetrů pro laickou veřejnost zkoumaných v této práci – konkrétně u přístrojů Gamma Scout, RD1008, SOEKS 112 a VOLT-CRAFT bychom zjistili, zda přístroj vyhodnocuje měřené veličiny okamžitě nebo konkrétně s jakým odstupem.

Vzhledem k tomu, že u zkoumaných přístrojů chyběla informace o době vyhodnocení měření jen u dozimetrů BR 6 a BR 9B, tak jsem kontaktoval prodejce uvedených zařízení s žádostí o doplnění informace, ale nedostalo se mi odpovědi. Jelikož nejsem schopen tuto vlastnost posoudit u všech zkoumaných přístrojů tak nebyla doba vyhodnocení měření začleněna do porovnávaných technických parametrů. Technické parametry uvedené u přístrojů pro laickou veřejnost považuji za pochybné. Například u přístroje BR 6 uvádí prodejce (hotair.cz), že dozimetr měří dávkový příkon od 0,1  $\mu\text{Sv/h}$ . Nicméně vyhledal jsem, že tento dozimetr je prodáván zároveň na webu dozimetr.com.ua a tam je uvedena informace, že přístroj měří dávkový příkon již od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$ . U dozimetrů BR 6 a BR 9B není ani dohledatelný jakýkoliv manuál k použití nebo technická příručka.

Výrobci přístrojů určených pro laickou veřejnost uvádějí v technické specifikaci, že přístroje pracují v určitém rozsahu teplot. U přístroj Gamma Scout výrobce dokonce udává dolní mez pracovní teploty  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a horní mez pracovní teploty až  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  což je více než u zkoumaných porovnávaných profesionálních zařízení. Výrobce daného dozimetru ovšem nedokládá k tomuto tvrzení žádný certifikát, který by to prokazoval.

Dle mého názoru výrobci přístrojů určených pro laickou veřejnost určují rozsah pracovních teplot přístroje podle provozních teplot použité GM trubice. Například zmíněný přístroj Gamma Scout používá k detekci GM trubici typu LND 712 (Gamma Scout, © 2021). U této trubice její výrobce uvádí, že pracovní rozsah teplot trubice je od  $-40$  až  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  (LND 712, © 2021). Pravděpodobně tomu tak je i u ostatních přístrojů určených pro laickou veřejnost. Nutno podotknout, že od rozsahu pracovních teplot GM trubice nemůžeme určovat rozsah pracovních teplot přístroje. Při teplotách nad  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  může být ovlivněna činnost elektrotechnických součástí, pokud nejsou na tyto teploty dimenzovány (Watson a Castro, 2015).

Otázkou také je, jakým způsobem byla provedena kalibrace přístrojů a zda vůbec program přístrojů počítá při měření dávkového příkonu a dávky s mrtvou dobou GM trubice při přepočtu počtu detekovaných impulzů za jednotku času do schématu CPM. Tento fakt je u dozimetrů velmi důležité zohlednit, jak uvádí Pavka (2012).

Tím, že nejsou zkoumané přístroje stanoveným měřidlem podle zákona o metrologii (zákon č. 505/1990 Sb.), nemůžeme brát technické parametry uváděné výrobcem a prodejci za důvěryhodné. Podle uvedeného zákona se jedná pouze o tzv. orientační (informativní) měřidla, která pouze orientačně informují o měřené veličině. Zároveň žádný přístroj určen pro laickou veřejnost neodpovídá normě ČSN EN 60846-1 (356569): Měřiče a/nebo monitory (příkonu) prostorového a/nebo směrového dávkového ekvivalentu záření beta, X a gama.

## **5.2 Zhodnocení využitelnosti dozimetrů určených pro laickou veřejnost**

Zkoumané dozimetry určené pro laickou veřejnost mohou být dle mého názoru použity pro účely SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice (pro účely SÚJB a HZS obecně) pouze jako orientativní měřidla k hrubému odhadu dávkového příkonu záření gama. Oficiálně za stávajícího právního rámce být použity ani nemohou, protože dozimetry určené pro laickou veřejnost nejsou přístroje radiační ochrany podle normy ČSN EN 60846-1 (356569). Je třeba si uvědomit, že k přesnému vyměření zamořených zón, které jsou ještě bezpečné pro člověka je nutné mít přístroj u kterého je doloženo, že opravdu měří v uvedeném rozsahu. To žádný ze zkoumaných dozimetrů pro laickou veřejnost nedokládá – tedy že je stanoveným měřidlem podle zákona o metrologii (zákon č. 505/1990 Sb.). Hasičský záchranný sbor má navíc stanovené ještě další specifické technické podmínky na používané přístroje, a to především ve vztahu k odolnosti přístroje (voděodolnost, odolnost vůči teplu, elmg záření a nárazům) a nutnosti zobrazovat naměřené veličiny okamžitě (Technické podmínky pro pořízení věcného prostředku požární ochrany, 2007).

Kromě vybraných zkoumaných profesionálních přístrojů disponuje samozřejmě SÚJB a HZS České Budějovice i jinými přístroji. Z uvedených faktů ale jasně plyne, že žádné ze zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost nemůže těmto zařízením konkurovat. Všechny přístroje používané jmenovanými organizacemi jsou stanoveným měřidlem podle zákona o metrologii a splňují normu ČSN EN 60846-1 (356569). Ani u žádných jiných přístrojů určených pro laickou veřejnost na českém trhu nebylo nalezeno, že by splňovali uvedené skutečnosti. Navíc na českém trhu nebyl nalezen žádný přístroj určený pro laickou veřejnost, který by uměl stanovit plošnou aktivitu, detekovat neutronové záření a byl osazen GPS modulem.

Nepodařilo se mi dohledat odborné publikace, studie a ani kvalifikační práce, které by se zabývaly problematikou dozimetrů určených pro laickou veřejnost dostupných na českém trhu. Dohledatelné jsou práce zabývající se zahraničním laickým dozimetrem Safecast bGeigie Nano (dále jen „dozimetr Safecast“). Jak uvádí například Marunka (2019) ve své bakalářské práci: *„Přesto, že detektor Safecast bGeigie Nano nedosahuje přesnosti laboratorního měření, pomáhá při eliminaci radiofobie u široké veřejnosti“*. To je v souladu se studií: Safecast: Successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima (Brown et al., 2016). K tomu účelu mohou být dle mého názoru využity i dozimetry určené pro laickou veřejnost dostupné na českém trhu. Podotýkám, že laický dozimetr Safecast se od roku 2011 používá v rámci projektu RAMESIS Státního ústavu radiační ochrany a je určen pro monitorování radiační situace v České republice zapojením laické veřejnosti (O projektu RAMESIS, © 2021). Od ledna 2021 je přístroj u HZS kraje jihočeského, moravskoslezského a kraje vysočina v testovacím režimu (Halada, 2021). Je třeba si uvědomit, že dozimetr Safecast oproti jiným přístrojům pro měření IZ určených pro laickou veřejnost na českém trhu je voděodolný (IP67) a hlavně je osazen GPS modulem s možností odesílat naměřená data. Naměřená data pomocí dozimetru Safecast pak lze převést do centrální celosvětové databáze a zobrazit je na mapě světa (O projektu RAMESIS, © 2021). Zařízení dostupná na českém trhu neposkytují takovou možnost a není je tak možné k tomuto účelu použít.

Zandl ve svém článku v Hospodářských novinách (2011) uvádí, že amatér pomocí hodinek fungujících jako dozimetr našel radioaktivní materiál na hřišti. Dozimetry určené pro laickou veřejnost v podobě hodinek mohou tedy nalézt uplatnění při objevování radioaktivních materiálů v prostředí. K uvedenému účelu mohou být použité i další dozimetry určené pro laickou veřejnost dostupné na českém trhu a nejenom dozimetry v podobě náramkových hodinek.

Podotýkám, že část laické veřejnosti také dodnes používá staré vojenské detektory ionizujícího záření z dob minulého století používané Československou lidovou armádou nebo z bývalého armádního vybavení sovětské armády. Nejedná se sice vyloženě o přístroje určené pro laickou veřejnost, ale jsou jimi využívány. Ze starých vojenských detektorů se především používají laickou veřejností (nadšenci či amatérští speleologové) přístroje Československé lidové armády (IZ-65 a RGBT-62) a staré sovětské (například DP-5B) (Měřiče radioaktivity, © 2021). Tyto přístroje ovšem měří staré, již nepoužívané veličiny.

## 6 Závěr

Zkoumanými přístroji v práci jsou dozimetry, a to vzhledem k tomu, že na trhu pro laickou veřejnost se mi nepodařilo najít zařízení, která by odpovídala pojmu radiometr. Některé přístroje na trhu sice nesou označení radiometr, ale účel přístroje není v souladu s používanou definicí radiometru.

Výsledné hodnoty souhrnného indexu  $IV_i$  vybraných profesionálních přístrojů URAD 115 a FH 40 G značně převyšují hodnoty indexu  $IV_i$  vybraných přístrojů určených pro laickou veřejnost. Největší hodnoty indexu  $IV_i$  dosáhl přístroj URAD 115 ( $IV_i=1,55$ ). Další hodnoty indexů  $IV_i$  jednotlivých přístrojů jsou následovné: FH 40 G ( $IV_i=1,25$ ), Gamma Scout ( $IV_i=0,70$ ), SOEKS 112 ( $IV_i=0,50$ ), RD1008 ( $IV_i=0,40$ ), BR 9B ( $IV_i=0,35$ ), VOLTCRAFT ( $IV_i=0,30$ ), BR6 ( $IV_i=0,25$ ).

Z výsledku CLA analýzy je patrné, že zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost se oproti zkoumaným profesionálním zařízením vyznačují nižší hmotností a možností detekovat záření beta kromě přístroje VOLTCRAFT. Přístroj Gamma Scout je zároveň schopný kromě uvedených záření detekovat i záření alfa. Kromě přístroje Gamma Scout žádný jiný z přístrojů určen pro laiky nemá oproti profesionálním přístrojům žádnou možnost přenosu dat do PC. GPS lokalizace u zkoumaných laických zařízení také není možná. Zkoumaná zařízení určená pro laiky nepoužívají kromě baterií k napájení akumulátor a signalizace detekce je realizována pouze zvukově. Zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost nemají ověřenou přesnost podle zákona o metrologii č. 505/1990 sb. a nesplňují požadavky normy ČSN EN 60846-1 (356569).

Došel jsem k závěru, že na základě výše uvedených skutečností zjištěných výzkumem můžeme na výzkumnou otázku odpovědět tak, že zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost nelze považovat za konkurenci schopné vůči obdobným zařízením používaných SÚJB a HZS České Budějovice. Zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost mohou být v praxi podle mého názoru na základě zjištěných skutečností využity jako orientační měřidla, která pouze orientačně informují o měřené veličině, tedy dávkovém příkonu a u některých přístrojů o hodnotě dávky. Mohou pomoci při eliminaci radiofobie veřejnosti a to tím, že si pomocí těchto zařízení budou moci změřit orientativně hodnotu dávkového příkonu a v případě některých zařízení i dávku.

Kromě vybraných zkoumaných profesionálních přístrojů disponuje samozřejmě SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice i jinými přístroji. Všechny přístroje používané jmenovanými organizacemi jsou stanoveným měřidlem podle zákona o metrologii a splňují normu ČSN EN 60846-1 (356569). Vzhledem k tomuto faktu, nemůže žádné ze zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost těmito zařízeními konkurovat. Ani u žádných jiných přístrojů určených pro laickou veřejnost na českém trhu nebylo potvrzeno, že by splňovali uvedené skutečnosti. Navíc na českém trhu nebyl nalezen žádný přístroj určený pro laickou veřejnost, který by uměl stanovit plošnou aktivitu, detekovat neutronové záření nebo byl osazen GPS modulem. Jediným voděodolným přístrojem (IP67) určeným pro laickou veřejnost na českém trhu jsou náramkové hodinky PM1208M a PM1603A. Co se odolnosti týče tak pouze přístroj Gamma Scout je odolný vůči nárazům. Odolností vůči teplu a rušivému elmg záření není žádný přístroj určený pro laickou veřejnost dostupný na českém trhu. Všechny přístroje určené pro laickou veřejnost na českém trhu, které jsem doledal, jsou dozimetry, kromě přístrojů Airthings corentium home a RADEX MR107+. To jsou spektrometry záření alfa měřící objemovou aktivitu radonu.

Bohužel kvůli nedostupnosti potřebných dat (technických parametrů) nebo jejich neúplnosti nejsou zkoumané přístroje určené pro laickou veřejnost tak detailně porovnány. Byla vybraná jen část technických parametrů, které bylo možné spolehlivě zjistit nebo dohledat v technických příručkách a popisích na stránkách prodejce u všech zkoumaných zařízení určených pro laickou veřejnost. Pokusil jsem se kontaktovat prodejce dvou zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost s cílem zjistit, zda přístroje vyhodnocují měřenou veličinu okamžitě nebo s časovou prodlevou včetně s upřesněním její doby. Protože tyto informace pouze u dvou zkoumaných zařízení nebyly jiným způsobem zjistitelné. Bohužel se mi nedostalo odpovědi. Nepodařilo se dojednat ani zapůjčení zkoumaných přístrojů nebo jejich ukázkou, a to primárně kvůli probíhající pandemii onemocnění COVID-19 a s tím souvisejících opatření. Byly proto vybrány pouze takové technické parametry, kterou jsou dostupné ke zjištění u všech zkoumaných zařízení.

I přes nedostatek dostupných dat výsledky práce přispívají k zhodnocení využitelnosti zkoumaných přístrojů pro účely SÚJB České Budějovice a HZS České Budějovice při řešení radiální mimořádné události. Práce také umožňuje posoudit kvalitu zkoumaných přístrojů.



## 7 Seznam použitých zdrojů

1. ADAM, J., © 2021. *04 - Semiconductor detectors* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: [https://physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02DPD/DPD\\_04-Semiconductor\\_detectors.pdf](https://physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02DPD/DPD_04-Semiconductor_detectors.pdf)
2. ALUKER L. N., SUZDAL'TSEVA M. Y., DULEPOVA S. A., HERRMANN. Thermoluminescent detectors for surveillance studies of radiation exposure of the population. *Science Evolution* [online]. Volume 1(2):3-10, 2016 [cit. 2021-02-08]. Dostupné prostřednictvím ResearchGate.DOI: 10.21603/2500-1418-2016-1-2-3-10
3. Anon., © 2021. Arduino. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
4. Anon., © 2021. BR 6. In: *hotair* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/merici-pristroje/mereni-neelektricky-velicin/digitalni-dozimetr-br-6-gaiger-detektor-beta-gama-a-rentgenoveho-zareni.html>
5. Anon., © 2021. BR 9B In: *battery.nabizi* [online]. [cit. 2021-02-27] Dostupní z: [http://battery.nabizi.cz/geiger-counter-br-9b-nuclear-radiation-detector-osobni-dozimetr-marble-tester-x-ray-obrazovka-radiacni-dozimetr-v2\\_p88553/](http://battery.nabizi.cz/geiger-counter-br-9b-nuclear-radiation-detector-osobni-dozimetr-marble-tester-x-ray-obrazovka-radiacni-dozimetr-v2_p88553/)
6. Anon., © 2021. Detektor SAFecast bGeigie Nano-technické parametry. In: *SÚRO* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Detektor\\_SAFecast\\_bGeigie\\_Nano\\_-\\_technick%C3%A9\\_parametry](https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/Detektor_SAFecast_bGeigie_Nano_-_technick%C3%A9_parametry)
7. Anon., © 2021. Detektor záření Safecast a jeho využití pro veřejnost. In: *SÚRO* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/vyzkum/vysledky/safecast>
8. Anon., © 2021. *Gas Filled Detectors* [online]. McMaster University. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: [https://science.mcmaster.ca/radgrad/images/6R06CourseResources/4R6Notes3\\_GasFilled\\_Detectors.pdf](https://science.mcmaster.ca/radgrad/images/6R06CourseResources/4R6Notes3_GasFilled_Detectors.pdf)

9. Anon., © 2021. Geiger Counter - Radiation Sensor Board for Arduino and Raspberry Pi. In: *Cooking hacks* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/geiger-counter-radiation-sensor-board-arduino-raspberry-pi-tutorial/index.html#testing>
10. Anon., © 2021. Introduction to Radiation Detectors. In: *Mirion* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.mirion.com/learning-center/radiation-detector-types/introduction-to-radiation-detectors>
11. Anon., © 2021. *Ionizující záření v lékařství* [online]. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.med.muni.cz/biofyz/files/kapitola%202.6.pdf>
12. Anon., © 2021. IT-65. In: *Československá lidová armáda* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://www.csla.cz/vyzbroj/dozimetrickepristroje/it65.htm>
13. Anon., © 2021. Jak funguje Geiger-Müllerův (GM) detektor? In: *SÚRO* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/faq/copy\\_of\\_jak-funguje-geiger-mulleruv-gm-detektor](https://www.suro.cz/cz/faq/copy_of_jak-funguje-geiger-mulleruv-gm-detektor)
14. Anon., © 2021. LND 712. In: *Indinc* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.lndinc.com/products/geiger-mueller-tubes/712/>
15. Anon., © 2021. Měřiče radioaktivity. In: *Radiotox* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://www.radiox.cz/shop/cenpart.php?sh=2&dlt=2&firm=184&ur=0&cosid=656973&keyin=couac88vxc>
16. Anon., © 2021. Mlžná komora. In: *fyzikální ústav Akademie věd České republiky* [online]. FZU [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/popularizace/pro-skoly/mlzna-komora>
17. Anon., © 2021. Monitorování radiační situace. In: *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: SÚJB. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace/>
18. Anon., © 2021. O projektu RAMESIS. In: *SÚRO* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/O\\_projektu\\_RAMESIS](https://www.suro.cz/aplikace/ramesis-wiki/index.php/O_projektu_RAMESIS)
19. Anon., © 2021. Právní rámec metrologie. In: *Český metrologický institut* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/komentovany%20zakon%20o%20metrologii>

20. Anon., © 2021. Přírodní radioaktivita a problematika radonu. In: *Státní ústav radiační ochrany* [online]. Praha: SÚRO. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>
21. Anon., © 2021. RADEX MR107+. In: *Dozimetry* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: [http://www.dozimetry.eu/product.php?id\\_product=85](http://www.dozimetry.eu/product.php?id_product=85)
22. Anon., © 2021. Radiometr IT-65. In: *Danyk* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <http://danyk.cz/it65.html>
23. Anon., © 2021. RD1008. In: *conrad* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/rd1008-geigeruv-citac-radiacni-merici-pristroj-dozimetr-1214644>
24. Anon., © 2021. *Scintillation Detectors* [online]. McMaster University [cit. 2021-02-26] Dostupné z: [https://www.science.mcmaster.ca/radgrad/images/6R06CourseResources/4R6Notes4\\_ScintillationDetectors.pdf](https://www.science.mcmaster.ca/radgrad/images/6R06CourseResources/4R6Notes4_ScintillationDetectors.pdf)
25. Anon., © 2021. Slovník cizích slov. In: *Slovník cizích slov* [online]. [cit. 2021-01-01]. Dostupné z: <http://www.slovník-cizich-slov.cz/>
26. Anon., © 2021. SOEKS 112. In: *dozimetry.eu* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: [http://www.dozimetry.eu/product.php?id\\_product=81](http://www.dozimetry.eu/product.php?id_product=81)
27. Anon., © 2021. Veličiny a jednotky. In: *ČEZ* [online]. [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/veliciny\\_5.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/veliciny_5.html)
28. Anon., © 2021. VOLTcraft. In: *conrad* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/voltcraft-gamma-check-a-geigeruv-pocitac-zareni-gama-vc-funkce-dozimetru-1034097>
29. Anon., 2000. *Radiační ochrana pro vybrané pracovníky* [online]. ČEZ [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2020/08/zoz\\_sluzbyx\\_20200209.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2020/08/zoz_sluzbyx_20200209.pdf)
30. Anon., 2007. Geiger-Mueller (GM) Detectors. In: *ORAU* [online]. Oak Ridge Associated Universities [cit. 2021-02-27] Dostupné z: <https://www.ornl.gov/ptp/collection/gms/introgms.htm>
31. Anon., 2007. Proportional Counters. In: *ORAU* [online]. Oak Ridge Associated Universities [cit. 2021-02-27] Dostupné z: <https://www.ornl.gov/ptp/collection/proportional%20counters/introprops.htm>

32. Anon., 2007. *Technické podmínky pro pořízení věcného prostředku požární ochrany* [online]. MV GR HZS [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/7-tp-zasahovy-dozimetr-pdf>
33. Anon., 2009. Ionization Chamber. In: *ORAU* [online]. Oak Ridge Associated Universities. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.ornl.gov/ptp/collection/ionchamber/introionizationchamberr.htm>
34. Anon., 2011. Měření ionizujícího záření. In: *Eniweb* [online]. Eniweb s.r.o. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://www.eniweb.cz/85887>
35. Anon., 2013. Detecting Radiation Levels In Fukushima: an example of crowdsourcing. In: *Libelium* [online]. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [https://www.libelium.com/libeliumworld/success-stories/fukushima\\_crowdsourcing\\_radiation\\_social\\_project/](https://www.libelium.com/libeliumworld/success-stories/fukushima_crowdsourcing_radiation_social_project/)
36. Anon., 2016. UltraRadiac. In: *Canberra* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: [https://www.canberra.com/fr/produits/emergency\\_response/ultraradiac-plus.html](https://www.canberra.com/fr/produits/emergency_response/ultraradiac-plus.html)
37. Anon., 2017. Saturn TLD ring [online]. Landauer [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: [https://www.landauer.com/sites/default/files/product-specification-file/Saturn\\_Ring\\_2.pdf](https://www.landauer.com/sites/default/files/product-specification-file/Saturn_Ring_2.pdf)
38. Anon., 2018. Klasické baterie versus akumulátory. In: *Český Kutil* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-17569-klasicke-baterie-versus-akumulatory>
39. Anon., 2018. Overview of Kits. In: *DIYGeiger*. [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/diygeigercounter/home>
40. Anon., 2018. *UltraRadiac*. [online]. Mirion technologies [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: [https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4\\_mirion/files/pdf/spec-sheets/c0556\\_urad\\_spec\\_sheet.pdf?1562600527](https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/spec-sheets/c0556_urad_spec_sheet.pdf?1562600527)
41. Anon., 2020. Radiometr. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radiometr>
42. Anon., 2020. Specifications. In: *Github* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://github.com/Safecast/bGeigieNanoKit/wiki/Specifications>
43. BELAS, E., MORAVEC P., 2011. *Polovodičové detektory záření* [online]. Fyzikální ústav UK [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <http://fu.mff.cuni.cz/semicond/files/courses/Belasdetekce.pdf>
44. BENEŠ, J., STRÁNSKÝ, P., VÍTEK, F., 2007. *Základy lékařské biofyziky*. 2. vydání. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1386-4.

45. BENEŠ, J., KYMPLOVÁ, J., VÍTEK F., 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Grada Publishing, ISBN 978-80-247-4712-5.
46. BERKA, Š., 2010. *Elektrotechnická schémata a zapojení 2*. Praha: BEN-technická literatura. ISBN 978-80-7300-254-1.
47. BOONS, R., 2012. External and Environmental Radiation Dosimetry with Optically Stimulated Luminescent Detection Device Developed at the SCK·CEN. *World Journal of Nuclear Science and Technology* [online]. Scientific Research Publishing, Volume 2(01) [cit. 2021-02-]. Dostupné prostřednictvím ResearchGate. DOI: 10.4236/wjnst.2012.21002
48. BROWN, A., FRANKEN, P., BONNER, S., DOLEZAL, N., MOROSS, J. Safecast: Successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *Journal of Radiological Protection* [online]. Volume 36(2), 2016 [cit. 2021-04-08]. Dostupné prostřednictvím ResearchGate. DOI: 10.1088/0952-4746/36/2/S82
49. BROŽOVÁ, H., HOUŠKA, M., ŠUBRT, T. 2003. *Modely pro vícekritériální rozhodování*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta. ISBN 80-1019-7.
50. BUREŠ, J. 2002. Jednotky působení ionizujícího záření. In: *Converter* [online]. [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/prevody/dozimetrie-detekce.htm>
51. CENEK, M., 2003. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public. ISBN 80-86534-03-0.
52. DLUBALOVÁ, K., © 2021. Ministerstvo vnitra podpořilo projekt ke zjišťování radiace na území České republiky. In: *mvcr* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/ministerstvo-vnitra-podporilo-projekt-ke-zjistovani-radiace-na-uzemi-ceske-republiky.aspx>
53. DOLEŽAL, Z., 2020. *Polovodičové detektory* [online]. Ústav částicové a jaderné fyziky [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [http://ipnp.cz/~dolezal/teach/semicon/semi\\_p.pdf](http://ipnp.cz/~dolezal/teach/semicon/semi_p.pdf)
54. DRÁBOVÁ, D. et al., 2001. *Patnáct let od havárie Černobylu – důsledky a poučení*. [online]. Praha: SÚJB. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/15let\\_od\\_havarie\\_Cernobyl\\_u.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/15let_od_havarie_Cernobyl_u.pdf)

55. DYNAROVÁ, M., 2016. *Měření radioaktivního záření*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav biomedicínského inženýrství.
56. EKENDAHL, D., 2012. *Osobní dozimetrie* [online]. SÚRO [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg\\_bulletin\\_2012.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg_bulletin_2012.pdf)
57. FORD, J., 2004. *Radiation, People and the Environment*. [online]. IAEA, Vienna, Austria. [cit. 2020-28-12]. Dostupné z: <https://www.iaea.org/sites/default/files/radiation0204.pdf>
58. GERNDT, J., PRŮŠA, P., 2011. *Detektory ionizujícího záření*. 2.vyd. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04710-1.
59. GLOBUS, M., GRINYOVA, B. Scintillation detectors for medical and biology applications: Materials, design and light collection conditions. *Radiation Detectors for Medical Applications* [online]. Springer, pp 209-242, 2008 [cit. 2021-03-03]. Dostupné prostřednictvím SpringerLink. DOI: [https://doi.org/10.1007/1-4020-5093-3\\_9](https://doi.org/10.1007/1-4020-5093-3_9)
60. HALADA, M. Příslušník HZS České Budějovice, Chemická laboratoř [ústní sdělení]. České Budějovice, 1. 4. 2021
61. HAVRÁNKOVÁ, R. *Radiotoxikologie*. [powerpoint přednáška]. České Budějovice: Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva, ZSF, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, © 2021.
62. HAVRÁNKOVÁ, R., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HAVRÁNEK, J., ZÖLZER, F., KUNA, P., 2018. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, ZSF. ISBN 978-80-739-4696-8.
63. HAVRÁNKOVÁ, R., HAVRÁNEK, J., KARDA, L., NAVRÁTIL, L., BREHOVSKÁ, L. Elektronická osobní dozimetrie jako prostředek ochrany osob při zásahu složek integrovaného záchranného systému. *The science for population protection* [online]. Volume 3, 2012 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://www.population-protection.eu/prilohy/casopis/19/129.pdf>
64. HELEBRANT, J., RULÍK, P., 2011. *Mapa kontaminace půdy České republiky <sup>137</sup>Cs po havárii JE Černobyl* [online]. Praha: SÚJB. [cit. 2021-01-01]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/plosna-aktivita-radionukliduzjistena-ve-vzorcich-odebranych-pud/Zprava%202011%20-%202022%20-%20Kontaminace%20pudy%20Ceske%20republiky%20137Cs%20-%20Mapa.pdf>

65. HILKE H. J., RIEGLER, W. Gaseous Detectors. *Particle Physics Reference Library* [online]. Springer, Volume 2: Detectors for Particles and Radiation, 2020. [cit. 2021-02-13]. DOI: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35318-6\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-35318-6_4)
66. HOROWITZ Y., CHEN, R., OSTER, L., ELIYAHU, I., 2017. *Thermoluminescence Theory and Analysis: Advances and Impact on Applications* [online]. Elsevier [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://www.tau.ac.il/~chenr/Pubs/Impact.pdf>
67. KAŇUCH, J., KOVÁČ, D., KOVÁČOVÁ, I., 2006. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. BEN-technická literatura. ISBN 80-7300-202-7.
68. KEYZER J., 2011. MightyOhm. In: *MightyOhm* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://mightyohm.com/blog/>
69. KEYZER, J., © 2021. Geiger Counter. In: *MightyOhm* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://mightyohm.com/blog/products/geiger-counter/>
70. KLENER, V. et al., 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: AZIN CZ. ISBN 80238-3703-6.
71. KNOLL G. F., 2010. *Radiation Detection and Measurement. 4th Edition*. [online]. John Wiley & Sons, Inc. [cit. 2021-02-18]. ISBN: 978-0-470-13148-0. Dostupné z: <http://dpnc.unige.ch/~bravar/LaboIII/Knoll.pdf>
72. KOLLÁR, D., 2007. *6 Plynové detektory* [online]. [cit. 2021-02-23] Dostupné z: <http://www.dnp.fmph.uniba.sk/~kollar/duko/>
73. KONEČNÝ, J., 2006. *Radiační fyzika*. České Budějovice: Zdravotně sociální fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 80-7040-843-X.
74. KREJČÍ, V., 2002. *Scintilační detektory* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Scintilacni%20detektory.pdf>
75. KUČEROVÁ, L., 2020. *Analýza a hodnocení detekčních přístrojů pro měření radiace využívaných složkami Integrovaného záchranného systému*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství.
76. KUNA, P., NAVRÁTIL, L., 2005. *Klinická radiobiologie*. 1. vydání. Praha: Manus. ISBN 80-86571-09-2.

77. L'ANNUNZIATA, M., 2012. *Handbook of Radioactivity Analysis. 3rd Edition.* Academic Press. ISBN: 9780123848741
78. MALCOLM, C. et al., 2016. *Ionizující záření: účinky a zdroje* [online]. UNEP [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb\\_2017-1.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf)
79. MAREK, R. Zásahový dozimetr-URAD 115. [powerpoint přednáška]. Hasičský záchranný sbor České republiky, 2008.
80. MATZNER, J., 2004. *Praktika z dozimetrie.* České Budějovice: Zdravotně sociální fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 80-7040-707-7.
81. MIHULKA, S., 2016. Jak polonium zabilo Alexandra Valteroviče Litviněnka? In: *OSEL* [online]. [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.osel.cz/8659-jak-polonium-zabilo-alexandra-valterovice-litvinenka.html>
82. MURPHY et al., © 2021. Thermoluminescent dosimeter. In: *Radiopedia* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://radiopaedia.org/articles/thermoluminescent-dosimeter>
83. NAVRÁTIL et al. 2014. Radiobiologie. In: *fbmi.sirdik* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>
84. NAVRÁTIL L., ROSINA J., 2019. *Medicínská biofyzika: 2., zcela přepracované a doplněné vydání.* Praha: Grada Publishing, 978-80-271-0209-9.
85. NAVRÁTIL, L., ROSINA, J., 2005. *Medicínská biofyzika.* Praha: Grada Publishing, ISBN 80-247-1152-4.
86. OPLETAL, M., 2011. *Srovnání vlastností radiometrů GR 135 a FH40 G.* Ostrava. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství
87. OZDEMIR, A. et al. Luminescence characteristics of newly-developed  $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Ce}^{3+},\text{Na}^+$  phosphor as an OSL dosimeter. *Journal of Alloys and Compounds.* [online]. Elsevier, Volume 865, 2021. [cit. 2021-02-08]. Dostupné prostřednictvím ScienceDirect. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158498>
88. PANDEY S, PANDEY, A., DESHMUKH M., SHRIVASTAVA, A. K. Role of Geiger Muller Counter in Modern Physics. *Journal of Pure Applied and Industrial Physics.* [online]. Volume 7(5), 192-196, 2017. [cit. 2021-02-27]. Dostupné prostřednictvím Physics-journal. ISSN 2319-8133.



89. PODZIMEK, F., 2013. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05319-5.
90. PRASANNA, G., JAYAPANDIAN, J. An embedded read-out for GM counter. *International Journal of Instrumentation Technology* [online]. Volume 1. No.3, 2014. [cit. 2021-02-21]. Dostupné prostřednictvím Inderscience. DOI: 10.1504/IJIT.2014.065180
91. PRÁŠIL, Z., ŽILKA, L., SATORIE, Z., PALEK, M., DUFKOVÁ, M., 1998. *Užitečné záření*. Praha: ČEZ. ISBN: 80-7073-047-1.
92. REICHL, J., VŠETIČKA, M., © 2021. Encyklopedie fyziky In: *fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
93. RIZZI, M., D'ALOIA, M., CASTAGNOLO, B. Semiconductor Detectors and Principles of Radiation-matter Interaction. *Journal of Applied Sciences* [online]. Volume 10, Issue 35, 2010. [cit. 2021-03-01]. Dostupné prostřednictvím Scialert. DOI: 10.3923/jas.2010.3141.3155
94. ROSINA, J., 2013. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4237-3
95. SABOL J., NAVRÁTIL L., HUDZIETZOVÁ J., 2011. *Současný systém veličin a jednotek v radiační ochraně* [online]. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta biomedicínského inženýrství [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/43/130/43130864.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/130/43130864.pdf)
96. SAHA, G., 2001. *Gas-Filled Detectors* [online]. [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/300512039\\_Gas-Filled\\_Detectors](https://www.researchgate.net/publication/300512039_Gas-Filled_Detectors)
97. SAJDL, P., © 2021. *Přehled detektorů ionizujícího záření* [online]. [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~sajdlp/>
98. SAULI, F., 2014. *Gaseous Radiation Detectors. Fundamentals and Applications*. [online]. Cambridge University Press. [cit. 2021-02-12] Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/281766852\\_Gaseous\\_radiation\\_detectors\\_Fundamentals\\_and\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/281766852_Gaseous_radiation_detectors_Fundamentals_and_applications)
99. SILVA R. D., 2015. *Ionizing Radiation Detectors* [online]. OpenIntech. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/evolution-of-ionizing-radiation-research/ionizing-radiation-detectors>.
100. SINGER, J., 2005. *Dozimetrie ionizujícího záření*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta. ISBN: 80-7040-752-2.

101. SINGER, J., HEŘMANSKÁ, J., 2004. *Principy radiační ochrany*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta. ISBN:80-7040-708-5.
102. SMETANA, C., 1998. *Hluk a vibrace. Měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. ISBN 80-90 1936-2-5.
103. STEINHAUSER G., BUCHTELA, K., 2020. *Gas Ionization Detectors*. [online]. [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/339911475\\_Gas\\_ionization\\_detectors](https://www.researchgate.net/publication/339911475_Gas_ionization_detectors)
104. ŠIMEK, P., 2002. *Detekce ionizujícího záření (principy, technická realizace)* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Svadlenkova/Detekce%20zareni.pdf>
105. ŠNEJDAR, M., 2012. *Přehled detektorů ionizujícího záření a vyhodnocující elektroniky*. Plzeň. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni fakulta elektrotechnická katedra aplikované elektroniky a telekomunikace.
106. ŠVEC, J., 2005. *Radioaktivita a ionizující záření*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 80-86634-62-0.
107. TÖLG, T., BENDA, M., 2009. *Fyzikální praktikum*. 6. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 978-80-7043-829-9.
108. ULLMANN, V., 2010. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření: Jaderná a radiační fyzika. In: *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
109. VELOSO J.F.C.A., SILVA A. L. M. Gaseous detectors for energy dispersive X-ray fluorescence analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. [online]. Elsevier, Volume 878, 2018. [cit. 2021-02-10]. Dostupné prostřednictvím ScienceDirect. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.09.011>
110. WATSON, J., CASTRO, G. A review of high-temperature electronics technology and applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. [online]. Volume 26(12), 2015. [cit. 2021-04-08]. Dostupné prostřednictvím ResearchGate. DOI: 10.1007/s10854-015-3459-4

111. YILMAZ, D., BUYUKILDIZ M. Calcium-based TLD materials for radiation applications. *Radiation Physics and Chemistry*. [online]. Elsevier, Volume 179, 2021. [cit. 2021-02-04]. Dostupné prostřednictvím ScienceDirect. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109196>
112. Zákon č. 239/2000 Sb., Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů (zákon o IZS), 2000. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ISSN 1211-1244.
113. Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ISSN 1211-1244.
114. Zákon č. 505/1990 Sb., Zákon o metrologii, 1990. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ISSN 1211-1244.
115. ZEMKOVÁ, B., 2019. Jak vybrat dozimetr? Objevte tajemství měření radiace. In: *Elektrina*. [online]. [cit. 2021-19-01]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/jak-vybrat-dozimetr>

## 8 Seznam obrázků a tabulek

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní schéma aparatury pro měření IZ	20
Obrázek 2: Zjednodušené schéma principu fungování scintilátoru	24
Obrázek 3: Schéma scintilačního detektoru	25
Obrázek 4: Schéma polovodičového detektoru	26
Obrázek 5: Prstový TL dozimetr	28
Obrázek 6: OSL detektor	29
Obrázek 7: Filmový dozimetr	30
Obrázek 8: Voltamperová charakteristika plynem plněných detektorů	31
Obrázek 9: Princip fungování GM trubice	35
Obrázek 10: Gamma Scout	40
Obrázek 11: RD1008	41
Obrázek 12: SOEKS 112	42
Obrázek 13: BR 6	43
Obrázek 14: BR 9B	44
Obrázek 15: VOLTCRAFT	45
Obrázek 16: Zásahový dozimetr URAD 115	47
Obrázek 17: Dozimetr FH 40 G	48
Obrázek 18: Graf porovnání indexů $IV_i$ přístrojů určených pro laickou veřejnost s indexy $IV_i$ profesionálních přístrojů	69

### 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled mrtvé doby a časového rozlišení u detektorů IZ	37
Tabulka 2: Seznam přístrojů určených pro laickou veřejnost na českém trhu	39
Tabulka 3: Vybrané technické parametry dozimetru Gamma Scout	40
Tabulka 4: Vybrané technické parametry dozimetru RD1008	41
Tabulka 5: Vybrané technické parametry dozimetru SOEKS 112	42
Tabulka 6: Vybrané technické parametry dozimetru BR 6	43

Tabulka 7: Vybrané technické parametry dozimetru BR 9B	44
Tabulka 8: Vybrané technické parametry dozimetru VOLTCRAFT Gamma-Check-A	45
Tabulka 9: Základní parametry přístroje URAD 115	47
Tabulka 10: Základní parametry dozimetru FH 40 G	48
Tabulka 11: Seznam zkoumaných přístrojů určených pro laickou veřejnost	50
Tabulka 12: Kritéria pro výběr obdobných profesionálních zařízení	51
Tabulka 13: Seznam zkoumaných profesionálních přístrojů	51
Tabulka 14: Přehled stanovených tech. parametrů včetně kritérií a vah	58
Tabulka 15: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro URAD 115	59
Tabulka 16: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro FH 40 G	60
Tabulka 17: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro Gamma Scout	61
Tabulka 18: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro RD1008	62
Tabulka 19: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro SOEKS 112	63
Tabulka 20: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj BR 6	64
Tabulka 21: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj BR 9B	65
Tabulka 22: Ohodnocení stanovených tech. parametrů a jejich kritérií pro přístroj VOLTCRAFT Gamma-Check-A	66
Tabulka 23: Porovnání technických parametrů přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G pomocí CLA analýzy	67

Tabulka 24: Porovnání přesnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	70
Tabulka 25: Porovnání odolnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	71
Tabulka 26: Porovnání rozsahu dávkového příkonů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	71
Tabulka 27: Porovnání možnosti detekce přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	72
Tabulka 28: Porovnání možnosti detekce přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	72
Tabulka 29: Porovnání napájení přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	73
Tabulka 30: Porovnání hmotnosti přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	73
Tabulka 31: Porovnání možnosti přenosu dat přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	74
Tabulka 32: Porovnání možnosti lokalizace přístrojů pro laickou veřejnost s přístroji URAD 115 a FH 40 G	74

## **9 Seznam zkratek**

**IZ** – ionizující záření

**OSL** – opticky stimulovaná luminiscence

**TLD** – termoluminiscenční detektory

**SÚJB** – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

**HZS** – Hasičský záchranný sbor

**SÚRO** – Státní ústav radiační ochrany

**GM** – Geiger-Müller

**CPM** – counts per minute