

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

**Srovnání radiometrů používaných Hasičským
záchranným sborem ČR**

bakalářská práce

Autor práce: Josef PETRŮV
Studijní program: Ochrana obyvatelstva
Studijní obor: Ochrana obyvatelstva se zaměřením na chemické, biologické,
radiologické a jaderné noxy a výbušniny

Vedoucí práce: Mgr. Jiří HAVRÁNEK

Datum odevzdání práce: 15. 8. 2013

Abstrakt

Hasičský záchranný sbor je základní složkou integrovaného záchranného systému, na jehož činnosti jsou kladeny vysoké nároky. Množství činností, které jednotky požární ochrany vykonávají, je velmi rozsáhlé, zvláště velká pozornost je věnována zásahům s možným výskytem ionizujícího záření. Ionizující záření nelze detekovat lidskými smysly, ale lze detekovat pouze pomocí přístrojů. Identifikace ionizujícího záření není snadná, vyžaduje určitý čas, odborné znalosti a technické prostředky. Z důvodu předejití ozáření osob přítomných na místě zásahu tak i zasahujících osob jsou jednotky Hasičského záchranného sboru České republiky v souladu s Koncepcí chemické služby vybavovány přenosnými detektory ionizujícího záření. Jedná se o přístroje DC-3E-98, DC-3H-08 a Ultra-Radiac (U-RAD 115). Přístroje jsou určeny pro zjišťování radiační situace.

Cílem této bakalářské práce je provést porovnání přístrojů z hlediska přesnosti a rychlosti měření a zhodnotit vhodnost použití přístrojů jednotkami Hasičského záchranného sboru České republiky, ekonomické srovnání a použitelnost přístrojů.

DC-3E -98 je ruční detektor plošné kontaminace a dávkového příkonu, konstrukčně pochází ze sedmdesátých let minulého století z typové řady DC-3 pro potřebu operativního radiačního průzkumu. Byl vyvinut a vyráběn v dnes již zaniklém Závodě mechanizace a automatizace Ostrov nad Ohří. Po následných úpravách provedených na konci devadesátých let a z potřeby dodržet zákon o metrologii je tento přístroj pro potřebu ochrany obyvatelstva používán dodnes. Skládá se ze dvou částí - samostatného přístroje a odnímatelné sondy. Obě části tvoří snadno rozebíratelný celek umožňující při měření manipulaci jednou rukou. Jeho velkou předností je rychlá odezva a velkoplošná sonda, jako detektor slouží Geiger-Müllerova trubice. Tento přístroj má analogové provedení, složité odečítání na spodní a horní části ručkového měřidla a komplikované nastavování rozsahů měření. Díky tomu, že je vybaven pouze detektorem SBT 10, je nejvyšší měřitelný dávkový příkon 10 mGy/hod. Uživatelské možnosti odpovídají technickým možnostem konce 20. století. Pro zasahující hasiče pracující

v protichemickém obleku v rukavicích a ve stresu je tento přístroj naprosto nevyhovující.

DC-3H-08 je posledním přístrojem vycházejícím z typové řady DC-3 a vznikl inovací předchozího typu DC-3E-98. Tento přístroj byl vyvinut ve firmě VF a.s. Černá Hora z finančních zdrojů Evropské unie pro Hasičský záchranný sbor České republiky. Jedná se o přístroj s dostatečně velkým displejem a robustní konstrukcí vhodný pro měření v terénu. Skládá se ze dvou samostatných dílů – indikační a základní jednotky. Ve složeném stavu funguje tento přístroj jako jeden celek, při rozpojení může každá jednotka pracovat samostatně a komunikace mezi nimi probíhá bezdrátově pomocí Bluetooth. Ovládání přístroje se provádí čtyřmi tlačítky na indikační jednotce. S tímto přístrojem je možno měřit příkon kermu ve vzduchu, příkon prostorového dávkového ekvivalentu, plošnou aktivitu, akumulovanou dávku a kontrolovat kontaminace osob. Nevýhodou tohoto přístroje je jeho velká hmotnost, nemožnost ovládání hlasitosti zvukového výstupu, doba provozu (pouze 4 hodiny) a proti ostatním jeho vysoká pořizovací cena.

Ultra-Radiac (U-RAD 115) je ruční detektor určený pro indikaci přítomnosti zdrojů záření gama, měření dávkového příkonu pro účely stanovení doby pobytu zasahujících, vytyčování bezpečnostní zóny záření gama a pro přímé odečítání akumulované dávky. Tento přístroj je výrobkem firmy Canberra Dover, Inc.. Jedná se o přístroj menší velikosti, ovládání je v podstatě jednoduché a intuitivní pomocí šesti tlačítek. Pro svou odolnost je vhodný pro práci v terénu. Tento přístroj je v současné době dostačující pro základní jednotky HZS ČR a v době, kdy firma Canberra Packard ukončí prototypové stadium beta sondy tohoto přístroje pro náš trh, může plně nahradit dosluhující přístroj DC-3E.

K naplnění potřeby a provedení této práce byl proveden výběr a shromážděn dostatečný počet přístrojů pro porovnávací měření, jejich základní údaje jsou přehledně uspořádány a popsány. Veškerá kontrolní měření se z důvodu bezpečnosti uskutečnila ve Školícím středisku a laboratoři Hasičského záchranného sboru Plzeňského kraje v Třemošné u Plzně. Srovnávací měření všech přístrojů probíhalo na základě měření

odezvy jednoduchého zdroje gama záření ^{137}Cs umístěného v olověném kontejneru. Při tomto měření byla sledována stabilita a stálost odezvy přístrojů a pozorovány nároky na obsluhu během prováděných měření. Podobným způsobem bylo provedeno měření plošné aktivity přístroji DC-3 na základě měření odezvy zářičů beta ^{90}Sr , jedná se o uzavřené zářiče ve formě hliníkového plechu kruhového tvaru. Během prováděných měření byly přístroje sledovány a vyhodnoceny z důvodu uživatelské obsluhy a vhodnosti použití jednotkami Hasičského záchranného sboru ČR. Jako další bylo provedeno ekonomické srovnání všech přístrojů.

Ze srovnání, které jsem provedl, vychází nejlépe U-RAD 115. Největší předností tohoto přístroje je jeho malá velikost a hmotnost, velká kapacita elektrického zdroje a nízká cena. Ovládání přístroje pomocí šesti tlačítek je jednoduché a intuitivní a odpadá tudíž potřeba náročné školení obsluhy. Pro potřeby Hasičského záchranného sboru ČR je tento detektor velkým přínosem v porovnání s ostatními používanými přístroji.

Klíčová slova: Dávkový příkon

Plošná aktivita

Radiometr DC-3E-98

Radiometr DC-3H-08

Ultra-Radiac U-RAD 115

Abstract

Fire Rescue Service is the basic component of an integrated rescue system, with high working demands placed on their activity. The number of activities firefighter units perform is extensive; especially great attention is paid to interventions with eventual incidence of ionizing radiation. Ionizing radiation is not possible to detect by human senses, but is possible to detect with special instruments. Identification of ionizing radiation is not simple; it requires certain amount of time, professional knowledge, and facilities. To prevent irradiation of people who are present at an intervention place and also people who intervene, the units of Fire Rescue Service of the Czech Republic are equipped with the portable ionizing radiation detectors according to Conception of Chemical Service. These are namely DC-3E-98, DC-3H-08 and Ultra- Radiac (U-RAD 115). The instruments are constructed to detect radiation.

The goal of the thesis is to compare instruments in terms of the accuracy and speed of measurement and to assess suitability of use of the instruments by fire protection units of the Czech Republic, economic comparison and the practicability of the instruments.

DC-3E-98 is hand contamination detector used for surface contamination and dose rate meter that dates with its design back to 1970s of the series DC-3 used for operative radiological survey. It was developed and manufactured in today's nonexistent plant Zavod mechanizace a automatizace Ostrov nad Ohri. This device has been used until recent days after had been modified at the end of 1990s and because of needs to follow Act on Metrology. It is consisting of two parts, separate instrument and removable probe. Both parts create easily demountable unit allowing carrying out measuring by only one hand. Its great advantage is fast response and large-area probe with Geiger-Müller tube used as a detector. Concept which was use for manufacturing is analogue; there is also present complicated reading at the bottom and the top part of the pointer instrument and complicated setting of range of the measurement scale. Because the instrument is equipped only with the detector SBT-10, the highest measurable dose rate allowed is 10mGy/hour. User's means reflect technical means of the end of 20th century.

This device is for firefighters working in chemical splash suit and gloves and also under stressful conditions absolutely unsuitable.

DC-3H-08 is the latest type coming out of type series DC-3 and was developed by the innovation of previous type DC-3E-98. This device was developed by the company VF a.s. Cerna Hora using financial sources coming from European Union for the Fire Rescue Service of the Czech Republic. It is the instrument with satisfactorily large display and robust construction suitable for measuring outdoors. It is consisting of two independent parts – indicator and basic units. When mounted together, the device works as complex, when separated, each unit can work independently and the communication between them is wireless using Bluetooth. The device is possible operate using four buttons at the indicator unit. It is possible to use the device for measuring kerma dose in the air, areal dose equivalent dosage, surface activity, accumulated dose and for checking people's contamination. The disadvantage of the device is its heavy weight and impossibility of controlling audio output, operating time (only 4 hours), and its high purchase price when compared to others.

Ultra-Radiac (U-RAD115) is hand detector determined for indication of gama radiation sources, measuring dose rates, scheduling the time for people who intervene, setting-out safety zone for gama radiation and for direct data reading of accumulated dose. The device is company Canberra Dover Inc.' product. It is device of smaller size; its operation is actually easy and intuitive with the help of six buttons. It is suitable to be used outdoors because of its robustness. This device is recently sufficient for basic units HZS CR and when Canberra Packard finishes prototype stage of beta probe of this device for our market, it can fully replace device DC-3E that is recently serving out.

To match the needs and to complete the thesis, there was carried out selection and gathered satisfactory number of instruments for comparison measurements from which were the data well-arranged and described. All check measurements were carried out at the Training Center and Laboratory of Fire Rescue Service of Pilsen County at Tremosna near Pilsen because of safety reasons. Comparison measurements of all instruments were carried out based on echo measurements of single source of gamma

radiation ^{137}Cs placed in the lead container. There was monitored stability and echo persistence of the instruments during the measurement and observed operating needs. In similar way were carried out measurements of surface activity by instruments DC-3 based on echo measurement of emitters ^{90}Sr , these are closed emitters in the form of aluminum metal plate of circle shape. During the measurements carried out, the instruments were observed and analyzed due to operating staff's control and suitability for work of units of Fire Rescue Service of the Czech Republic. As next step, there was carried out economic comparison of all instruments.

The best instrument of all I was comparing was the U-RAD 115. The best advantage of this device is its small size and weight, big capacity of electrical source and low price. The control of the instrument with the help of six buttons is easy and intuitive and therefore there is no need for difficult training of operating staff. This device is for needs of Fire Rescue Service of the Czech Republic greatly beneficial when compared to other instruments used today.

Key words : Dose rate

Surface activity

Radiometer DC-3E-98

Radiometer DC-3E-08

Ultra – Radiac U-RAD 115

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich 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 kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne: 15. 8. 2013

.....

Josef PETRŮV

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Jiřímu Havránkovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky v průběhu zpracování mé bakalářské práce.

Děkuji HZS Jihočeského kraje a vedoucímu pracovníku na úseku Chemické služby panu Ing. Michalovi Haladovi za zapůjčení přístrojů a poskytnutí ostatního technického zázemí.

Děkuji HZS Plzeňského kraje a pracovníku Školícího střediska a laboratoře Třemošná Bc. Janu Kubešovi za spolupráci a poskytnutí materiálů pro tuto práci nezbytných.

Obsah

ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	15
1.1 Činnost jednotek.....	15
1.1.1 Zásahová činnost	15
1.1.2 Prvotní průzkum a vytyčení nebezpečných zón	16
1.2 Předurčenost jednotek HZS ČR	18
1.2.1 Předurčenost chemických laboratoří a výjezdových skupin	19
1.3 Statistika zásahů HZS ČR	21
1.4 Radiometry.....	22
1.4.1 Vývoj radiometrů typu DC-3	22
1.4.2 Radiometr DC-3E-98	23
1.4.3 Radiometr DC-3H-08	27
1.4.4 Ultra – Radiac U-RAD 115	31
2 HYPOTÉZA A METODIKA VÝZKUMU	34
2.1 Hypotéza	34
2.2 Metodika	34
2.2.1 Výběr přístrojů pro srovnávací měření	34
2.3 Srovnávací měření dávkového příkonu.....	37
2.3.1 Zdroj záření gama - γ	37
2.3.2 Způsob měření záření gama	37
2.4 Srovnávací měření plošné aktivity	38
2.4.1 Zdroj záření beta – β	39
2.4.2 Způsob měření plošné aktivity	40
2.5 Ekonomické zhodnocení	41

3	VÝSLEDKY	42
3.1	Výsledky měření dávkového příkonu	42
3.2	Výsledky měření plošné aktivity.....	44
3.3	Stanovená cena použitých přístrojů	49
4	DISKUZE	50
4.1	Měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu).....	50
4.2	Měření plošné aktivity.....	51
4.3	Obsluha a manipulace	53
4.4	Ekonomické zhodnocení	53
5	ZÁVĚR	55
6	SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	57

Seznam použitých zkratek:

EU	Evropská unie
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
CHL	Chemická laboratoř
IOO	Institut ochrany obyvatelstva
IZS	Integrovaný záchranný systém
PO	Požární ochrana
PSOD	Prozatímní služba osobní dozimetrie
RaL	Radioaktivní látka

Úvod

Hasičský záchranný sbor ČR je základní složkou integrovaného záchranného systému (dále jen „*IZS*“), na jehož činnosti jsou v současné globální a politické situaci kladeny vysoké nároky. Jednotky požární ochrany jsou určeny k záchraně lidských životů, zdraví osob, jejich majetku a k ochraně životního prostředí. Množství činností, které jednotky vykonávají je velmi rozsáhlé. Z těchto základních činností je v současné době věnována velká pozornost zásahům s možným výskytem ionizujícího záření.

Ve všech oborech lidské činnosti dochází ke stále širšímu využití radioaktivních látek. Tyto látky nalezneme ve výzkumu, v průmyslu, v energetice nebo v medicíně. S ohledem na to může dojít při přepravě, manipulaci, nebo ve výrobě k nepřipustnému uvolnění radioaktivních látek nebo nekontrolovanému ozáření osob. Ke kontaminaci může dojít ve spojení s mírovým využitím radioaktivních látek, tak i v případě použití radiologické zbraně tzv. „špinavé bomby“ při teroristickém útoku. Vzhledem k tomu nelze tuto hrozbu a riziko vyloučit ani podceňovat.

Ionizující záření nelze detekovat lidskými smysly, ale pouze pomocí přístrojů. Jako příslušník Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje dobře vím, že bezpečně identifikovat ionizující záření není snadné. Správná identifikace vyžaduje určitý čas, odborné znalosti a technické prostředky. Proto jsem si jako téma své bakalářské práce zvolil „Srovnání radiometrů používaných Hasičským záchranným sborem ČR“. Cílem mé bakalářské práce je porovnání přístrojů DC-3E-98, DC-3H-08 a Ultra-Radiac (U-RAD 115).

Z důvodu předejití ozáření osob přítomných na místě zásahu tak i zasahujících, jsou jednotky Hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen „*HZS ČR*“) vybavovány detektory ionizujícího záření - radiometry. Na spolehlivosti jejich měřicích systémů závisí bezpečnost zasahujících příslušníků i dalších lidí, proto je nezbytné jí věnovat patřičnou pozornost.

V první fázi zásahu zajišťují radiační monitorování hasiči základních jednotek. Jde o osoby vybavené a proškolené k používání jednoduchých detekčních přístrojů, cílem je

provést základní monitorování a prvotní vyhodnocení situace. Nejde o specialisty na ionizující záření, proto Hasičský záchranný sbor disponuje chemickými laboratořemi rovnoměrně rozloženými na území státu. Hlavní složkou je Institut ochrany obyvatelstva (dále jen „IOO“) Lázně Bohdaneč, který přešel pod Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru a chemické laboratoře Kamenice, Třemošná, Tišnov a Frenštát pod Radhoštěm. Odborná činnost chemických laboratoří v místě zásahu je zaměřena na zabezpečení speciálních úkolů v oblasti chemických a radiačních nehod a havárií. Pro základní jednotky jsou chemické laboratoře opěrným bodem a na základě uzavřených dohod spolupracují se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Činnost jednotek

1.1.1 Zásahová činnost

Jako první se obvykle dostavují jednotky HZS na místa nejrůznějších událostí, např. dopravní nehody, požáry, povodně nebo výbuchy. Tyto druhy událostí mohou být spojeny se ztrátou kontroly nad zdrojem ionizujícího záření a z toho vyplývajícím radiačním rizikem. K záchraně životů postižených, k zabránění dalších zdravotních a materiálních následků, a samozřejmě i k ochraně příslušníků HZS, musí být velitelé jednotek schopni kvalifikovaně a samostatně posoudit radiační nebezpečí události a provádět patřičná rozhodnutí a opatření do doby, kdy řízení a další opatření budou vykonávána jinými orgány (1).

Velitel zásahu nebo velitel jednotky na místě zásahu rozhoduje o nasazení detekčních prostředků. Obsluhovat detekční prostředky musí umět velitel družstva, technik nebo určený hasiči v družstvu. Není-li jednotka HZS ČR schopna dostupnými detekčními prostředky identifikovat látku nebo zdroj ionizujícího záření, povolá na místo příslušnou chemickou laboratoř HZS ČR nebo výjezdovou skupinu chemického průzkumu (2).

„Jako ochranu před rozptýlenými radioaktivními látkami (dále jen „RaL“), kdy hrozí povrchová a vnitřní kontaminace osob vdechnutím nebo požitím RaL, se používají izolační dýchací přístroje a protichemické oděvy, které chrání proti kontaminaci, neposkytují však ochranu proti vnějšímu ozáření zářením gama a neutrony“ (3).

O nebezpečí spojeném se zásahem musí být zasahující příslušníci a osoby prokazatelně informováni a zásahu se musí účastnit dobrovolně. Příslušníci jsou prokazatelně informováni při pravidelných školeních na stanicích a ve vzdělávacích zařízeních HZS, jejich dobrovolnost je zakotvena v přísaze příslušníka HZS ČR. Na místě zásahu všechny zúčastněné osoby informuje velitel zásahu. Havarijní ozáření

zasahujících osob a příslušníků je nutné optimalizovat a usměrňovat tak, aby bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout (4, 5).

V roce 2009 byla u HZS ČR zřízena prozatímní služba osobní dozimetrie (dále jen „PSOD“), která má za úkol sledovat obdržené dávky příslušníků HZS ČR a popřípadě dalších osob. Dále vystavuje ověření o kalibraci a evidenci dozimetrických měřidel. Provádí školení příslušníků a stanovuje požadavky na odbornou způsobilost osob zabezpečující PSOD (6, 7).

Údaje o dávkách ionizujícího záření příslušníků HZS ČR se uchovávají po celou dobu služby a dále až do doby kdy dosáhnou nebo by dosáhli 75 let nebo po dobu 30 let po ukončení služebního poměru (2, 8).

1.1.2 Prvotní průzkum a vytyčení nebezpečných zón

Nejdůležitějším úkolem při příjezdu na místo události je provedení prvotního průzkumu v místě zásahu a jeho bezprostředním okolí. Mimo jiné mezi dílčí činnosti patří zjištění, zda se v místě zásahu nevyskytují zdroje ionizujícího záření. Činnosti vedoucí k tomuto zjištění nazýváme prvotní radiační průzkum (9, 10).

Prvotním radiačním průzkumem se potvrdí nebo vyvrátí podezření na výskyt zdroje ionizujícího záření. Velitelem zásahu je předurčen příslušník HZS ČR nebo funkcionář HZS ČR s právem přednostního velení a po potvrzení zvýšené úrovně ionizujícího záření nebo kontaminace RaL v místě zásahu okamžitě převezme velení. Velitel zásahu vyhlásí odpovídající stupeň poplachu podle rozsahu zasaženého prostoru - Vyhláška č.328/2001 Sb. o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému a příslušné operační a informační středisko IZS vyhlásí zvláštní stupeň poplachu (11, 12).

V první řadě je nutné bez ohledu na předurčenost jednotky HZS vytyčit předběžnou ochranou zónu. Pro ionizující záření nebo radioaktivní látky se předběžná ochranná zóna vytyčuje ve vzdálenosti 50 m od předpokládaného zdroje ionizujícího záření. V místech vytyčení musí být příkon dávkového ekvivalentu záření gama nižší než

0,5 $\mu\text{Sv/h}$, při nesplnění této podmínky je třeba vytyčit ochranou zónu ve větší vzdálenosti (1, 13).

„Velitel zásahu je oprávněn na nezbytnou dobu záchranu osob, zvířat nebo majetku přerušit v případě, kdy již nelze, ani přes vynaložení všech dostupných sil a prostředků, osoby, zvířata nebo majetek zachránit anebo pokračování v zásahu by bezprostředně ohrožovalo život zasahujících hasičů“ (14).

Dále se na základě radiačního průzkumu vytyčují následující prostory (3):

- **bezpečnostní zóna** – vytyčit hranici v úrovni dávkového příkonu záření 10 $\mu\text{Gy/h}$ (10 $\mu\text{Sv/h}$) nebo v úrovni plošné aktivity 10 Bq/cm^2 . V tomto prostoru je nutné zavést režimová opatření, dodržovat zásady radiační ochrany, omezit pohyb zasahujících osob na obvodu této zóny,
- **nebezpečná zóna** – vytyčení hranice s naměřeným dávkovým příkonem rovným 1 mGy/h (1 mSv/h) nebo naměřenou plošnou aktivitou 1 kBq/cm^2 . Pobyť v této zóně znamená potencionální ohrožení zasahujících osob. Pohyb jednotlivých zasahujících na hranici nebezpečné zóny je třeba omezit na odpovídající roční limity dávky pro radiační pracovníky,
- **dekontaminační stanoviště** – pro dekontaminaci osob se zřizuje v prostoru, kde dávkový příkon nepřesáhne 1 $\mu\text{Gy/h}$ (1 $\mu\text{Sv/h}$) nebo úroveň plošné aktivity není vyšší než 1 Bq/cm^2 .

Tabulka 1 – Hodnoty dávkového příkonu a plošné aktivity pro vytyčené zóny

	dávkový příkon	plošná aktivita
nebezpečná zóna	1 mGy/h (1 mSv/h)	1000 Bq/cm^2
bezpečnostní zóna	10 $\mu\text{Gy/h}$ (10 $\mu\text{Sv/h}$)	10 Bq/cm^2
dekontaminační stanoviště	1 $\mu\text{Gy/h}$ (1 $\mu\text{Sv/h}$)	1 Bq/cm^2

Zdroj: Řád chemické služby HZS ČR (2)

Dále v místě zásahu postupně vytyčíme třídící stanoviště raněných s možnou dekontaminací před jejich převozem do zdravotnického zařízení, shromaždiště osob,

týlový prostor, nástupní prostor, bezpečnostní uzávěry, stanovíme vstup a výstup do bezpečnostní zóny, výdej ochranných prostředků pro zasahující osoby a další potřebná stanoviště. Nebezpečná zóna musí být na místě zásahu vytyčena co možná nejdříve na základě dostupných informací, její hranice musí být přísně dodržována. Zóna se zpravidla vyznačuje páskami, lany, dopravními kužely, různými zábranami, přirozenými nebo umělými překážkami a tabulkami s označením „Nebezpečná zóna“, „Vstup zakázán“. Velikost a tvar jednotlivých zón se může výrazně měnit vlivem povětrnostních podmínek nebo charakterem terénu (2, 11).

1.2 Předurčenost jednotek HZS ČR

Zásahy na havárie nebezpečné látky se rozumí i zásahy na látky *emitující ionizující záření* (radioaktivní látky) nebo výskyt a projevy infekčních onemocnění a nákaz. Podle rozsahu vybavení a speciálních záchranných prací při haváriích nebezpečných látek jsou stanoveny následující typy předurčenosti jednotek požární ochrany (dále jen „PO“) k zásahu na nebezpečné látky (14, 15):

- **O** - jednotka HZS kraje určená jako opěrný bod pro likvidaci havárií nebezpečných látek, zajišťuje pohotovost skupiny 3 specialistů na nebezpečné látky k výjezdu nad rámec základního početního stavu směny příslušné stanice HZS kraje stanovené zvláštním právním předpisem, maximální doba dojezdu jednotky typu „O“ z místa dislokace této jednotky na předpokládané nejvzdálenější místo zásahu je 120 minut,
- **S** - jednotka HZS kraje určená Ministerstvem vnitra - generálním ředitelstvím HZS ČR na návrh HZS kraje dislokovaná zpravidla v místech hlavních přepravních tras nebezpečných látek tak, aby maximální doba dojezdu jednotky PO s typem předurčenosti „S“ z místa dislokace této jednotky na předpokládané nejvzdálenější místo zásahu byla 40 minut,
- **Z** - každá jednotka HZS kraje nezařazená do typu předurčenosti „S“ nebo „O“ nebo jednotka Sboru dobrovolných hasičů vybrané obce kategorie JPO II určená územně příslušným HZS kraje.

Základní úkoly jednotek PO předurčených k zásahu při haváriích nebezpečných látek a jejich vybavení jsou uvedeny v Koncepci chemické služby HZS ČR (16).

1.2.1 Předurčenost chemických laboratoří a výjezdových skupin

Podle koncepce chemické služby přešel pod Generální ředitelství HZS ČR IOO Lázně Bohdaneč. Chemické laboratoře (dále jen „CHL“) Kamenice, Třemošná, Tišnov a Frenštát pod Radhoštěm spadají pod místně příslušná HZS krajů, ale metodické usměrňování zůstává v kompetenci Generálního ředitelství HZS ČR.

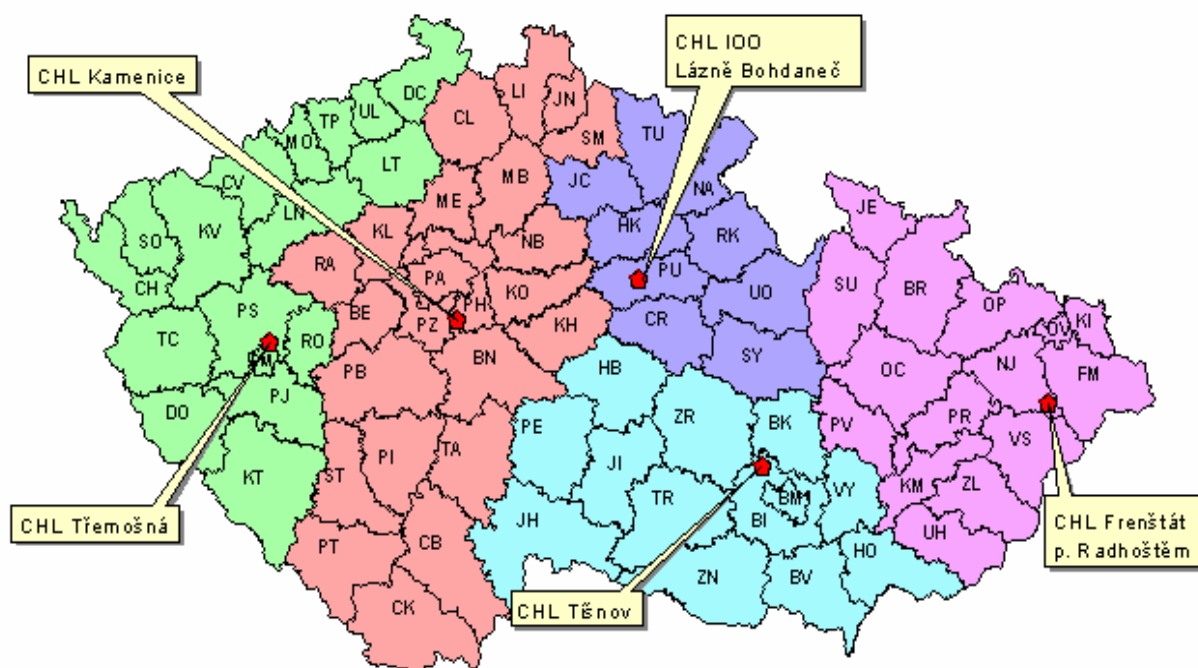
Odborná činnost CHL HZS ČR v místě zásahu je zaměřena zejména na zabezpečení speciálních úkolů v oblasti chemického a radiačního průzkumu, dozimetrické, laboratorní chemické i radiologické kontroly, zjišťování kontaminace a účinnosti v případě mimořádných událostí s únikem nebezpečných látek, při teroristických útocích nebo při použití zbraní hromadného ničení (16).

V návaznosti na činnost jednotek HZS krajů při provádění zásahů na nebezpečné látky jsou výjezdové skupiny CHL předurčeny podle jejich předpokládané doby výjezdu, jejich činnosti na místě zásahu, mobilního přístrojového vybavení, činnosti ve stacionárních laboratořích související se zásahem:

- **S** - střední: CHL Kamenice, Třemošná, Frenštát pod Radhoštěm pro radiační účely; CHL Tišnov, Třemošná a Frenštát pod Radhoštěm pro chemické účely,
- **O** – opěrná: CHL Tišnov a IOO Lázně Bohdaneč pro radiační účely a CHL IOO Lázně Bohdaneč a Kamenice pro chemické účely.

Všechny CHL spolupracují se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost na základě uzavřených dohod. Rozmístění CHL HZS ČR je na Obrázku 1 (16).

Obrázek 1 - Rozmístění CHL HZS ČR a IOO LB



Zdroj: Koncepce chemické služby (16)

Z hlediska reálných potřeb a ekonomické náročnosti se nepředpokládá další zvyšování počtu CHL. Pokrytí území státu CHL v porovnání s rizikem a dobou dojezdu výjezdových skupin je však nedostatečné. Proto podle Koncepce chemické služby vznikl návrh řešení zřídit výjezdovou skupinu v hlavním městě Praha, Ústeckém, Libereckém a v Jihočeském kraji (16).

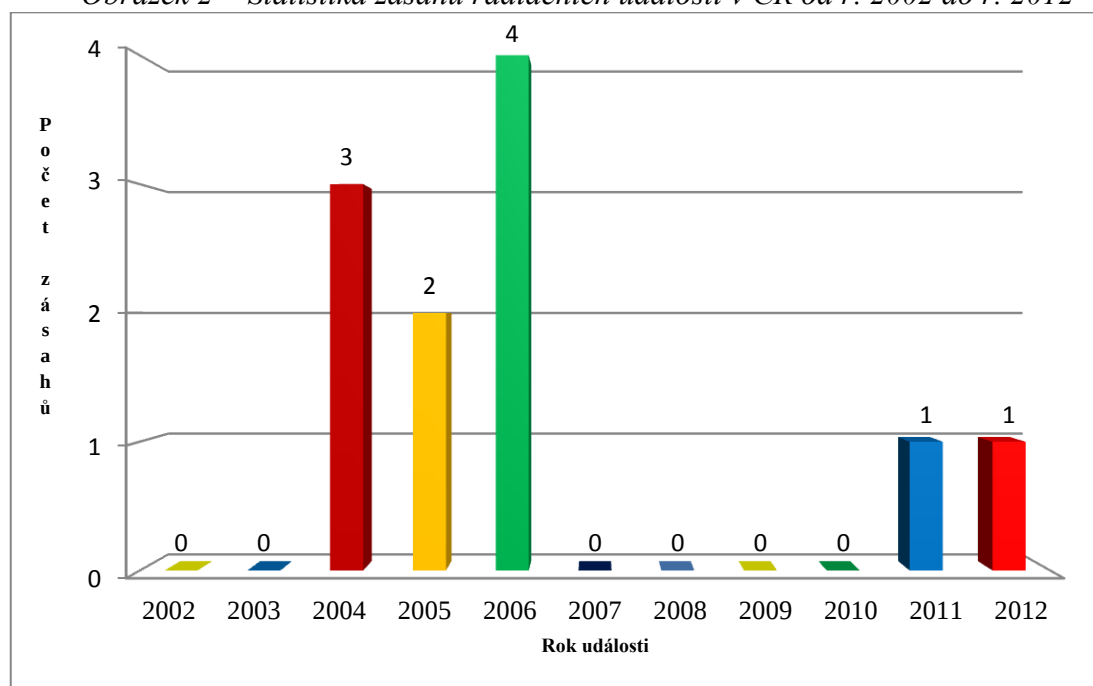
Výjezdová skupina byla zřízena u HZS hl. m. Prahy z důvodu vysokého bezpečnostního rizika a možnosti teroristického útoku nebezpečnými látkami. Výjezdová skupina zlepšila plnění úkolů v Libereckém kraji (zejména přeprava nebezpečných látek) a v Ústeckém kraji (chemický průmysl a přeprava nebezpečných látek). Poslední výjezdová skupina byla zřízena u HZS Jihočeského kraje, a to z důvodu blízkosti Jaderné elektrárny Temelín (16).

Posádky výjezdových skupin jsou tvořeny příslušníky HZS ČR, mají k dispozici technický automobil (TA) na podvozku Mercedes Vario s potřebným vybavením pro zásahy na nebezpečnou látku a ionizující záření v terénu.

1.3 Statistika zásahů HZS ČR

Do roku 2001 statistika HZS ČR nerozlišovala radiační nehody a havárie jako samostatný druh události, ale začleňovala je do jiných technických zásahů nebo technických pomocí. Teprve od roku 2002 se radiační nehody a havárie objevily jako samostatný druh události ve statistické ročence zpracovávané HZS ČR. Od roku 2002 do roku 2012 jednotky HZS ČR zasahovaly dle statistiky u 11 událostí, které jsou vyznačeny na Obrázku 2. I když těchto zásahů není mnoho, nelze přípravu a výcvik nijak podceňovat (17).

Obrázek 2 - Statistika zásahů radiačních událostí v ČR od r. 2002 do r. 2012



Zdroj: Statistické ročenky HZS ČR dostupné z www.hzscr.cz (17)

1.4 Radiometry

1.4.1 Vývoj radiometrů typu DC-3

Pro realizaci prostředků dozimetrické techniky byla v sedmdesátých letech minulého století vytvořena výzkumně-vývojová a výrobní základna v československém uranovém průmyslu. V Závodě mechanizace a automatizace Ostrov nad Ohří byly vyvíjeny a vyráběny prostředky šesti typových řad s označením DC-1 až DC-6 (18).

Pro potřebu této práce nás nejvíce bude zajímat typová řada DC-3. Ta byla v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století naplňována přenosnými prostředky operativního radiačního průzkumu typů DC-3A-72, DC-3B-72 a DC-3C-78 měřící dávkové příkony od 1 $\mu\text{Gy/h}$ do hodnoty 2 Gy/h (19).

Nejúspěšnějším prostředkem typové řady DC-3 se stal radiometr DC-3E-83, tento umožňoval měření dávkového příkonu od úrovně přírodního pozadí cca 0,1 $\mu\text{Gy/h}$ až do hodnoty 10 Gy/h a současně i měření povrchové kontaminace beta v rozmezí od 0,1 Bq/cm² do 30 kBq/cm². Dále s dodávaným příslušenstvím umožňoval i orientační měření kontaminace vody a potravin na úrovni „válečných norem“.

Po následných úpravách provedených na konci devadesátých let a z potřeby dodržet zákon o metrologii je tento prostředek pod typovým označením DC-3E -98 používán pro potřeby ochrany obyvatelstva a při zásazích HZS ČR dodnes. Jeho velkou předností je rychlá odezva a velkoplošná sonda, jako detektor slouží Geiger-Müllerova trubice (19).

Posledním typem vycházející z typové řady DC-3 je DC-3H-08, který byl vyvinut ve firmě VF a.s. Černá Hora z finančních zdrojů Evropské unie (dále jen „EU“) pro HZS ČR (19).

1.4.2 Radiometr DC-3E-98

Výrobce tohoto přístroje byl Závod mechanizace a automatizace Ostrov nad Ohří, tato společnost ovšem zanikla a všechna práva na tento výrobek odkoupila společnost VF, a.s. Černá Hora.

DC-3E-98 je elektronický přístroj přenosného provedení. Skládá se ze dvou částí, samostatného přístroje a odnímatelné sondy. Obě části tvoří snadno rozebíratelný celek umožňující při měření manipulaci jednou rukou. Sonda je s přístrojem elektricky spojena pomocí kabelu. Skříňky přístroje a sondy jsou z termostatické látky. V dolní části víka přístroje je prostor pro vložení akumulátoru. V horní části přístroje je umístěno ručkové měřidlo kryté skleněným průhledem. Přístroj je vybaven zvukovou indikací. Na spodní části přístrojové skříňky je popisný štítek s grafy energetických závislostí použitého detektoru sondy (20, 21).

Sonda se připojuje k pravému boku přístroje pomocí kabelu s konektorem, na svém pravém boku má namontován držák odnímatelné rukojeti, který současně slouží jako cívka pro navinutí kabelu. Na spodku skříňky sondy jsou namontovány lyžiny s vysunovací clonou, která slouží k odstínění záření beta nebo filtraci záření gama. Vysunovatelná clona kryje pevně namontovanou ochranou mřížku se silonovým výpletem chránícím okénko detektoru. Horní část skříňky má nalepen štítek se stručným návodem k obsluze přístroje (20).

Popis ovládacích prvků na čelním panelu přístroje: (Obrázek 3)

1. Ručkové měřidlo
2. Horní stupnice měřidla
3. Dolní stupnice měřidla
4. Toleranční pole pro kontrolu baterie
5. Stupnice funkčních rozsahů mGy/h
6. Stupnice funkčních rozsahů $\mu\text{Gy/h}$
7. Stupnice funkčních rozsahů Bq/cm^2
8. Stupnice časových konstant

9. Přepínač krátké časové konstanty sdružený

s vypínačem zvukové indikace

10. Zvukovod

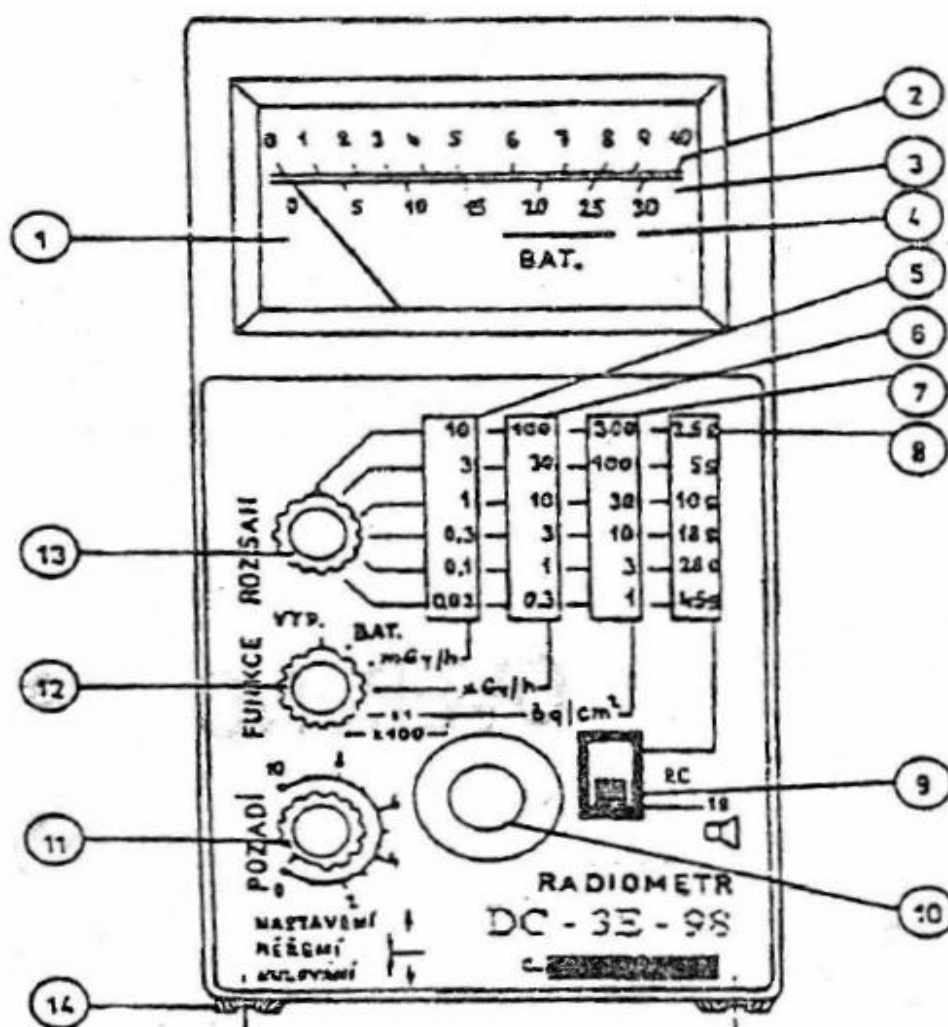
11. Knoflík kompenzace pozadí

12. Knoflík přepínače funkcí

13. Knoflík přepínače rozsahů

14. Šrouby krytu zdroje

Obrázek 3 - Rozmístění ovládacích prvků na čelním panelu DC-3E-98



Zdroj: Záznamník radiometr DC-3E-98 (20)

Přístroj je vybaven detektorem ionizujícího zařízení typu SBT-10, který je umístěn v sondě a je napájen zdrojem stabilizovaného napětí. Přepínačem FUNKCE (ovládací prvek č. 12, viz Obrázek 3) se zapíná jedna nebo deset sekcí detektoru SBT-10. Impulsy ze sondy jsou zesilovány elektronickým zesilovačem a dále zpracovávány elektronickými obvody. Přepínač FUNKCE (ovládací prvek č. 12, viz Obrázek 3) má šest poloh: první poloha - přístroj vypnutý, druhá poloha - kontroluje stav napětí baterie (odečítá se na ručkovém měřidle), třetí a čtvrtá poloha nastavuje měření dávkového příkonu v mGy/h a $\mu\text{Gy/h}$, pátá a šestá poloha nastavuje měření plošné aktivity v Bq/cm^2 a $\times 100 \text{ Bq/cm}^2$. Naměřené údaje se odečítají ručkovým měřidlem, které je rozděleno na spodní a horní část. Na spodní části je vyznačen rozsah 0 až 30 a na horní části rozsah 0 až 10 - podle nastavení přepínače ROZSAH pak odečítáme na spodní nebo na horní části v rozmezí, které je nastaveno přepínačem. Polohu přepínače volíme vždy tak, aby se ručička měřidla pohybovala vždy v rozmezí druhé až třetí třetiny měřicí stupnice.

Přepínačem RC (ovládací prvek č. 9, viz Obrázek 3) lze zvolit buď krátký měřicí čas – 1 s (současně se zapíná zvuková indikace impulsů) za cenu velkých fluktuací údaje měřidla, nebo delší čas, kdy fluktuace nepřesáhne $\pm 5 \%$ plné výchylky ručky měřidla (20).

Radiometr je určen k měření dávkového příkonu záření gama, zjišťování záření beta, k měření plošné aktivity povrchu kontaminovaného radioaktivními látkami a k měření měrné aktivity sytkých a tekutých materiálů, kontaminovaných radioaktivními látkami (22).

Základní parametry přístroje (20, 23):

- detektor ionizujícího záření Geiger – Müllerova trubice SBT 10
- účinná detekční plocha 35 cm^2
- rozsah měření:
 - gama záření od $0 \mu\text{Gy/h}$ do 10 mGy/h
 - plošná aktivita od 0 Bq/cm^2 do $30\,000 \text{ Bq/cm}^2$
- hmotnost přístroje $0,47 \text{ kg}$

- hmotnost sondy 0,89 kg
- rozměry přístroje 140x76x42 mm
- rozměry sondy 140x76x52 mm
- cejchování:
 - pro gama záření radionuklid ^{137}Cs
 - pro beta záření radionuklid ($^{90}\text{Sr}+\text{Y}$)
- napájení 1 akumulátor R6 – 1,5 V
- životnost zdroje asi 80 hod. při průměrné zátěži
- rozsah pracovních teplot -10 °C až +50 °C

Přístroj je ve smyslu zákona o metrologii zařazen mezi pracovní měřidla stanovená (24). Ověření přístroje provádí Autorizované metrologické středisko pro ověřování stanovených měřidel v oboru měřidel atomové a jaderné fyziky – Skladovací a opravárenské zařízení HZS ČR Olomouc.

Obrázek 4 - DC-3E-98



Zdroj: Dozimetrické prostředky pro ochranu hasičů při zásahu (25)

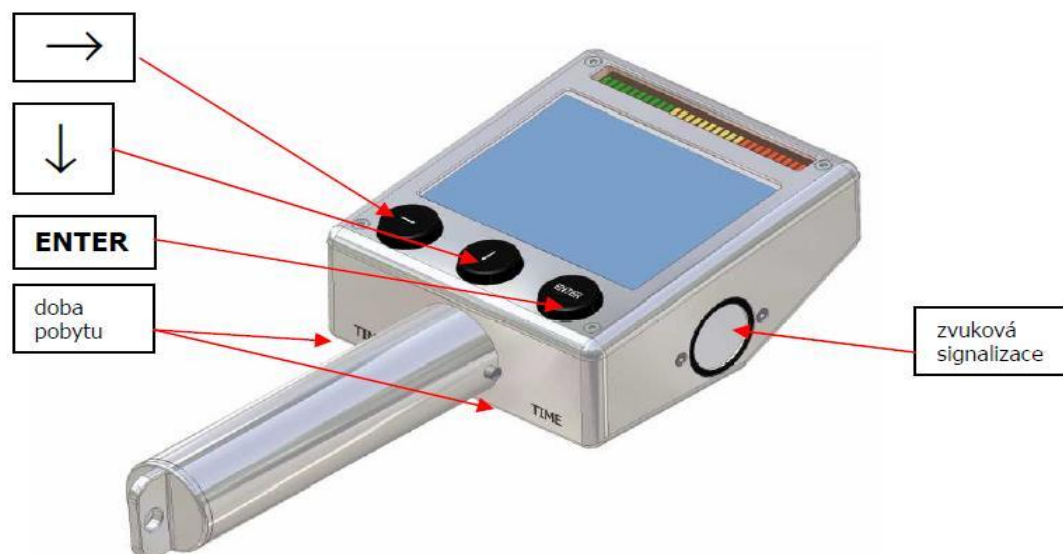
1.4.3 Radiometr DC-3H-08

Přístroj vznikl inovací předchozího typu DC-3E-98. Po provedeném průzkumu trhu ustanovilo Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru pracovní skupinu odborníků ze zástupců krajů a IOO Lázně Bohdaneč, která stanovila technické požadavky pro vývoj nového přístroje. Koncepce radiometru byla pojata tak, aby byly využity vlastnosti a komponenty DC-3E-98, přístroj byl obohacen novými funkcemi a zastaralé prvky a vlastnosti nahrazeny současnými. Podmínky zadání splnila pouze jedna firma, a to VF, a.s., Černá Hora. Firma vývoj tohoto radiometru ukončila v roce 2008 a od té doby je výhradním dodavatelem těchto přístrojů pro jednotky HZS ČR (26).

Tento přístroj má robustní konstrukci vhodnou pro měření v terénu. Skládá se ze dvou samostatných dílů - indikační a základní jednotky.

Indikační jednotka je vybavena velkým displejem, který přehledně zobrazuje měřenou veličinu, dále obsahuje řídicí jednotku s procesorem a pamětí, čtyři ovládací tlačítka, bargraf (řada barevných diod, které se postupně rozsvěčují se vzrůstající naměřenou hodnotou), a dvojici paralelně zapojených piezo bzučáků. Při spojení se základní jednotkou čtyřmi pružnými kontakty je napájení společné a komunikace probíhá po rozhraní RS – 232. Odpojením od základní jednotky je napájení samostatné, komunikace probíhá bezdrátově pomocí technologie Bluetooth a umožňuje měření ve špatně přístupných místech. Ovládání přístroje se provádí čtyřmi tlačítky umístěnými na indikační jednotce. Tlačítka na indikační jednotce jsou šipka „→“ (přepínání mezi jednotlivými režimy), šipka „↓“ (přepínání položek v menu přístroje) a tlačítko ENTER, čtvrté tlačítko pro odhad doby pobytu je zdvojené a umístěné ze spodní strany indikační jednotky. Detail indikační jednotky s ovládacími prvky je na Obrázku 5 (27).

Obrázek 5 - Indikační jednotka DC-3H-08



Zdroj: Návod k používání DC-3H-08 (27)

Základní jednotka obsahuje desky s elektronikou detektorů, dva detektory (SBT 10 a ZP 1302), držadlo s připojením indikační jednotky, vypínač a bateriové napájení. Na obalu přístroje je umístěn konektor pro nabíjení a konektor USB pro připojení k počítači. Data uložená v paměti přístroje se mohou přes konektor USB přenést do počítače k vyhodnocení a dalšímu zpracování (27).

Detektor SBT 10 je uložen na spodní straně základní jednotky, měří příkon kermy ionizujícího záření ve vzduchu a plošnou aktivitu. Před měřícím oknem detektoru je umístěna výsuvná kompenzační clona ve vodících lištách, upravující průběh energetické závislosti. Se zasunutou clonou je možno měřit pouze záření gama, při vysunuté cloně se měří záření beta a gama. Při zasunuté cloně měří detektor příkon kermy ve vzduchu, tato hodnota se přepočítává stanovenou konstantou na příkon prostorového dávkového ekvivalentu a ten je zobrazován na displeji. Při měření plošné aktivity je možné ze seznamu v menu přístroje vybrat příslušný radionuklid, jehož aktivita se pak přímo zobrazí na displeji. Detektor ZP 1302 je umístěn na desce plošného spoje uvnitř základní jednotky a měří příkon prostorového dávkového ekvivalentu vyšších hodnot (26).

Pokud je přístroj kompletní, zapíná se pouze vypínačem na základní jednotce, ale pokud jsou jednotky oddělené, je nutno zapnout každou samostatně. Po zapnutí přístroje probíhá test, jehož výsledek se zobrazí na displeji. Po dokončeném testu je předvolen režim měření - vyhledávací, podsvícení displeje je možno spustit po stisknutí tlačítka a dále je aktivován zvukový výstup.

Měření probíhá ve dvou režimech. V režimu vyhledávacím je časová konstanta 0,5 s, zobrazovaná hodnota rychle reaguje na změnu, ale příliš kolísá. V režimu měřicím dochází k automatickému přepínání detektorů a doby měření, maximální hodnota časové konstanty je 50 s a minimální 0,5 s, vlivem poklesu odezvy detektoru dojde k nárůstu časové konstanty (27).

Na displeji se zobrazují hodnoty ve třech úrovních, na horním řádku jsou nadpisy měřených veličin nebo pracovní režimy. Uprostřed je naměřená hodnota a jednotky, ve kterých se měření provádí. Při překročení přednastavených signalizačních úrovní se nadpisy měřených veličin rozblíkají. Ve spodním řádku se zobrazují doplňující informační zprávy. V pravém a levém horním rohu se zobrazují informační ikony týkající se provozu přístroje. Přepínání rozsahů měřených veličin probíhá automaticky (26).

K dispozici jsou dvě úrovně alarmů pro indikování menšího nebo závažného rizika. Hodnoty nastavení alarmů jsou shodné s hodnotami pro vytýčení nebezpečné a bezpečnostní zóny, v přístroji jsou pevně nastaveny a nelze je měnit.

Přístroj je možno použít pro stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, měření plošné aktivity, měření příkonu kermu ve vzduchu, ke kontrole kontaminace osob, měření dávky a pro stanovení délky pobytu zasahujících při zásahu se zdrojem ionizujícího záření (27).

Základní parametry přístroje (27):

- | | |
|--------------------------------|---|
| - detektor ionizujícího záření | Geiger-Müllerova trubice SBT10 a ZP1302 |
| - účinná detekční plocha | 35 cm ² |
| - | |

- rozsah měření:

• gama záření	od 0,1 $\mu\text{Gy/h}$ do 10 mGy/h
• plošná aktivita	od 0,3 Bq/cm^2 do 30 000 Bq/cm^2
- hmotnost základní jednotky	1 767 g
- hmotnost indikační jednotky	650 g
- rozměry základní jednotky	108 x 210 x 103 mm
- rozměry indikační jednotky	67 x 235 x 100 mm
- napájení	2,4 V DC, akumulátory NiMH 2 x 2 ks
- životnost zdroje	výrobce neuvádí
- rozsah pracovních teplot	-10 °C až +40 °C

Přístroj je ve smyslu zákona o metrologii zařazen mezi pracovní měřidla stanovená (24). Ověření přístroje provádí Autorizované metrologické středisko pro ověřování stanovených měřidel v oboru měřidel atomové a jaderné fyziky – Skladovací a opravárenské zařízení HZS ČR Olomouc.

Obrázek 6 - DC-3H-08



Zdroj: Návod k používání DC-3H-08 (27)

1.4.4 Ultra – Radiac U-RAD 115

Tento přístroj je výrobkem firmy Canberra Dover, Inc. sídlící ve Spojených státech amerických a na český trh ho distribuuje dceřiná společnost Canberra Packard s.r.o. Česká republika.

Tyto přístroje byly nakoupeny z finančních zdrojů EU pro HZS ČR, které byly určeny na zajištění bezpečnosti jednání ministrů členských zemí EU pořádaných v České republice v době našeho předsednictví v roce 2008 (28).

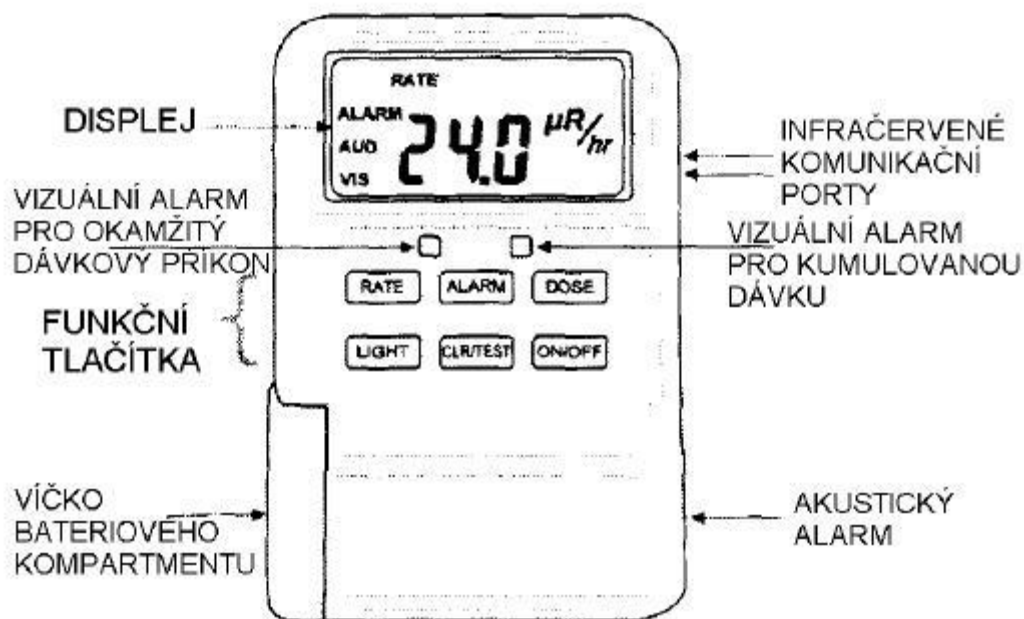
Přístroj má odolnost dle požadavků NATO (angl. North Atlantic Treaty Organisation – Organizace Severoatlantické smlouvy), je voděodolný do hloubky 1 m, odolný proti vibracím, nárazu a elektromagnetickému záření. Má hliníkové pouzdro, odolná ovládací tlačítka a je bezpečný ve výbušném prostředí (21).

Hodnoty se zobrazují na velkém displeji, který je odečitatelný z jednoho metru, aktualizace hodnot na displeji činí jednu sekundu, pro použití v noci může být podsvícen. Je lehce ovladatelný pomocí šesti funkčních kláves (29):

- On/Off - k vypnutí nebo spuštění přístroje (stisknout a podržet),
- Rate - stisknout pro změnu na dávkový příkon,
- Dose - stisknout pro změnu na režim dávky,
- Alarm - stisknout ke zjištění doby pobytu v minutách, po kterou můžeme bezpečně setrvat v oblasti,
- Light - při stisknutí ve tmě se osvětlí displej asi na dobu 5 vteřin,
- Clr/Test - v režimu Rate stisknout a podržet – aktivuje se sekvence testu displeje.

Přístroj standardně zobrazuje hodnoty dávkového příkonu, po stisknutí tlačítka „DOSE“ zobrazí hodnotu akumulované dávky. Přepínání rozsahů naměřených veličin se mění automaticky (30).

Obrázek 7 - Čelní panel přístroje U-RAD 115



Zdroj: Uživatelský manuál U-RAD 115 (29)

Dále je přístroj vybaven infračerveným portem pro komunikaci se čtečkou a dalšími doplňky. Na přístroji lze nastavit dvě úrovně signalizace, a to jak pro akumulovanou dávku, tak pro dávkový příkon, z nichž dolní úroveň se nastavuje jako výstražná a horní úroveň jako limitní. Pro optickou signalizaci alarmu slouží dvoubarevné LED diody umístěné pod displejem (viz Obrázek 7). Vedle optické signalizace umožňuje přístroj signalizaci akustickou a vibrační. Pro účely dohledání zdroje ionizujícího záření je vybaven možností akustického sledování četnosti impulzů.

Přístroj je určen pro indikaci přítomnosti zdrojů záření gama, měření dávkového příkonu pro účely stanovení doby pobytu zasahujících, vytyčování bezpečnostní zóny záření gama a pro přímé odečítání akumulované dávky (29, 30).

Základní parametry přístroje (29):

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| - detektor ionizujícího záření | Geiger – Müllerova trubice |
| - rozsah přík. dávkového ekvivalentu | od 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ do 5 Sv/h |
| - rozsah ekvivalentní dávky | od 0,01 μSv do 10 Sv |

- hmotnost přístroje	275 g (včetně baterií)
- rozměry přístroje	100 x 60 x 29 mm
- napájení	4 ks AAA 1,5 V alkalické baterie
- životnost zdroje	150 hod. při běžném monitorování
- rozsah pracovních teplot	-47 °C až +65 °C

Obrázek 8 - U-RAD 115



Zdroj: vlastní

Přístroj je ve smyslu zákona o metrologii zařazen mezi pracovní měřidla stanovená (24). Ověření přístroje provádí Autorizované metrologické středisko pro ověřování stanovených měřidel v oboru měřidel atomové a jaderné fyziky – Skladovací a opravárenské zařízení HZS ČR Olomouc.

2 HYPOTÉZA A METODIKA VÝZKUMU

2.1 Hypotéza

Používání radiometru U-RAD 115 jednotkami HZS ČR je velkým přínosem v porovnání s používanými radiometry DC-3E-98 a DC-3H-08.

2.2 Metodika

Tato bakalářská práce je zaměřena na porovnání přenosných přístrojů popsaných v teoretické části, používaných HZS ČR při zásazích na nebezpečnou radioaktivní látku s možným výskytem ionizujícího záření. HZS ČR v současné době používá tři druhy přenosných přístrojů a to DC-3E-98, DC-3H-08 a U-RAD 115.

Při tvorbě této práce bylo třeba nejprve shromáždit základní dostupnou literaturu a jiné zdroje, řešící danou problematiku, které byly pro tuto práci potřebné. Poté bylo nutné prostudovat dodané návody k obsluze, které jsou součástí každého přístroje, a s jednotlivými přístroji se seznámit a osvojit si jejich ovládání. A v neposlední řadě díky pochopení pracovníků Chemické služby HZS ČR bylo možné soustředit potřebné množství přístrojů a vzájemně je mezi sebou porovnat.

2.2.1 Výběr přístrojů pro srovnávací měření

Všechny přístroje jsou ve smyslu zákona o metrologii zařazeny mezi měřidla stanovená. Jako měřidla stanovená podléhají povinnému ověřování ve stanovených lhůtách.

Ke srovnání jednotlivých parametrů bylo použito celkem devět přístrojů, tři DC-3E-98, tři DC-3H-08 a tři přístroje U-RAD 115, které mi byly k dispozici po celou dobu měření a hodnocení. Část byla zapůjčena od vedoucích pracovníků na úseku chemické služby Hasičského záchranného sboru Jihočeského kraje v Českých Budějovicích a další část byla zapůjčena ve Školicím středisku a laboratoři Třemošná Hasičského

záchranného sboru Plzeňského kraje. Každý z těchto přístrojů jsem opatřil vlastním pořadovým číslem, aby během porovnávacích měření nedocházelo k jejich záměně, a pod těmito čísly jsou uváděny dále. V Tabulce 2 jsou uvedeny základní údaje o měřicích přístrojích s tím, že pro DC-3E-98 nejsou uvedena čísla ověřovacích listů, jelikož místo ověřovacího listu se potvrzení o ověření vydává formou razítka Skladovacího a opravárenského zařízení HZS ČR Olomouc do tzv. Záznamníku (20).

Tabulka 2 - Seznam používaných přístrojů

číslo přístroje	typ přístroje	výrobní číslo	ověřeno do (ověřovací list)
1.	DC-3E-98	85 00 25	21.11.2013
2.	DC-3E-98	89 02 57	16.11.2013
3.	DC-3E-98	89 02 38	22.11.2013
4.	DC-3H-08	11 01 105	OL0154/2012
5.	DC-3H-08	09 00 382	OL0815/2011
6.	DC-3H-08	08 01 254	OL0452/2012
7.	U-RAD 115	80 92 29	OL0267/2013
8.	U-RAD 115	80 92 32	OL0270/2013
9.	U-RAD 115	09 08 352	OL0469/2012

Veškerá měření probíhalo ve Školícím středisku a laboratoři Hasičského záchranného sboru Plzeňského kraje v Třemošné u Plzně, které patří do systému školicích zařízení Ministerstva vnitra. Školící středisko a laboratoř Třemošná provádí detekci chemických látek a kontaminantů životního prostředí, detekci a identifikaci radioaktivního záření a radionuklidů. Z hlediska školení provádí školení a výcvik jednotek HZS podle potřeby a požadavků systému HZS.

Zde jsem, díky pochopení krajského ředitele a pod odborným vedením por. Bc. Jana Kubeše mohl po dobu tří dnů provádět konkrétní srovnávací měření všech zapůjčených přístrojů. Na Obrázku 9 jsou všechny přístroje pohromadě.

Obrázek 9 - Používané přístroje



Zdroj: vlastní

S každým přístrojem bylo provedeno 15 měření dané veličiny (dávkový příkon, příkon dávkového ekvivalentu a plošná aktivita). Z naměřených hodnot byl vypočítán průměr (aritmetický průměr), což je nečastěji používaný statistický pojem. Aritmetický průměr je obecný moment 1. řádu a vyjadřuje součet všech hodnot vydělených jejich počtem. Byla určena maximální naměřená hodnota každého měření a jako opačná hodnota maxima je uvedena nejnižší naměřená hodnota označená jako minimum. Jako

další byla pro všechny řady naměřených hodnot vypočtena směrodatná odchylka. Směrodatná odchylka je druhá odmocnina z empirického rozptylu (centrální moment 2. řádu) a vyjadřuje, jakou výpovědní hodnotu má aritmetický průměr. Je-li směrodatná odchylka velká, výpovědní hodnota aritmetického průměru je malá a naopak. Medián je prostřední hodnota v souboru uspořádaném podle velikosti, při lichém počtu hodnot člení statistický soubor na dvě stejně četné poloviny.

2.3 Srovnávací měření dávkového příkonu

2.3.1 Zdroj záření gama - γ

Pro srovnávací měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) byl v laboratoři k dispozici jednoduchý zdroj gama záření (γ) – ^{137}Cs (cesium). Jednalo se o uzavřený zářič ve formě ocelového válce, ve kterém je zalisované cesium. Podle osvědčení číslo 094307 byla aktivita k 16. 10.2007 daného radionuklidu 4,85 GBq. Po dobu měření byl zdroj ^{137}Cs umístěn v olověném přepravním kontejneru (viz Obrázek 10).

2.3.2 Způsob měření záření gama

Všechna měření se uskutečnila v uzavřené laboratoři za pevně stanovených podmínek. K měření byly použity postupně všechny deklarované přístroje. Místo určené pro měření bylo stanoveno ve vzdálenosti 1,7 m od zdroje záření. Tato vzdálenost byla vybrána z toho důvodu, že v této vzdálenosti se dávkový příkon (příkon dávkového ekvivalentu) použitého zdroje ionizujícího záření ^{137}Cs pohyboval na úrovni 10 $\mu\text{Gy/hod.}$ (10 $\mu\text{Sv/hod.}$), což je hodnota rozhodná pro vytyčení bezpečnostní zóny. Pro všechny přístroje bylo toto místo stejné a každý přístroj byl použit samostatně. Každý přístroj byl volně položen na podložku stolu po zapnutí ponechán dvě minuty v klidu ke stabilizaci. Poté bylo postupně z displeje přístroje popřípadě ručkového měřidla u DC-3E-98 každých deset sekund odečteno a zaznamenáno patnáct po sobě

jdoucích naměřených hodnot. Cílem srovnávacího měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) radionuklidového zdroje ^{137}Cs nebylo přesné určení měřené veličiny (přístroje jsou metrologicky ověřené), ale určit stabilitu a stálost odezvy testovaných přístrojů při měření a zjistit, jaké jsou nároky na obsluhu přístroje během měření.

Obrázek 10 - Olověný přepravní kontejner na zářič ^{137}Cs



Zdroj: vlastní

2.4 Srovnávací měření plošné aktivity

Původní záměr této práce předpokládal také provedení měření plošné aktivity všemi přístroji, protože v době zadávání bakalářské práce měly být dodány na náš trh beta sondy k U-RAD 115. Tato sonda se připojuje k přístroji U-RAD pomocí spirálového kabelu k infračervenému (IR) portu a automaticky zobrazuje naměřené hodnoty na displeji přístroje. Bohužel dle vyjádření zástupce firmy CAMBERA PACKARD s.r.o.

je tato sonda „doposud v prototypovém stádiu“. Proto je škoda, že tyto přístroje nemohly být použity k porovnání s ostatními přístroji a plošná aktivita byla měřena pouze přístroji DC-3E-98 a DC-3H-08.

2.4.1 Zdroj záření beta – β

Pro srovnávací měření plošné aktivity byla v laboratoři k dispozici sada cvičných etalonů – čistých zářičů beta $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (stroncium + yttrium). Konstrukcí se jednalo o uzavřený zářič ve formě hliníkového plechu (3 mm) kruhového tvaru, na které je nanesena vrstvička soli chloridu strontnatého s radionuklidem a překryto vrstvou hliníkové folie. Podle kategorizace zdrojů ionizujícího záření daných vyhláškou č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., se jedná o nevýznamné zdroje ionizujícího záření. Tyto etalony byly vybrány na základě hodnot své plošné aktivity (rozsah dle jednotlivých etalonů, plošná aktivita se pohybuje v rozsahu jednoho až sto Bq/cm^2). Typově se jednalo o zářiče s označením CZ0203, CZ0206, CZ0207 a CZ0208, jejich charakteristika je uvedena v Tabulce 3. Účinná plocha etalonů CZ0206, CZ0207 a CZ0208 je $50,24 \text{ cm}^2$, u etalonu CZ0203 je to $12,56 \text{ cm}^2$. Jelikož se jedná o staré etalony, nepodařilo se dohledat certifikáty.

Tabulka 3 – Referenční hodnoty cvičných etalonů

referenční datum k :		5.12.1986		5.9. 1995		21.9. 2011	
označení etalonu	radionuklid	Bq/cm^2		Bq/cm^2		Bq/cm^2	
		40 mm	150 mm	40 mm	150 mm	40 mm	150 mm
CZ 02 03	$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$	110,00		88,90		59,70	
CZ 02 06	$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$	2,30	0,29	1,86	0,24	1,25	0,16
CZ 02 07	$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$	21,00	2,20	17,00	1,80	11,40	1,19
CZ 02 08	$^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$	205,00	21,50	165,80	17,40	111,30	11,70

Zdroj: laboratoř Třemošná

Obrázek 11 - Plošný zdroj CZ0203 $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$

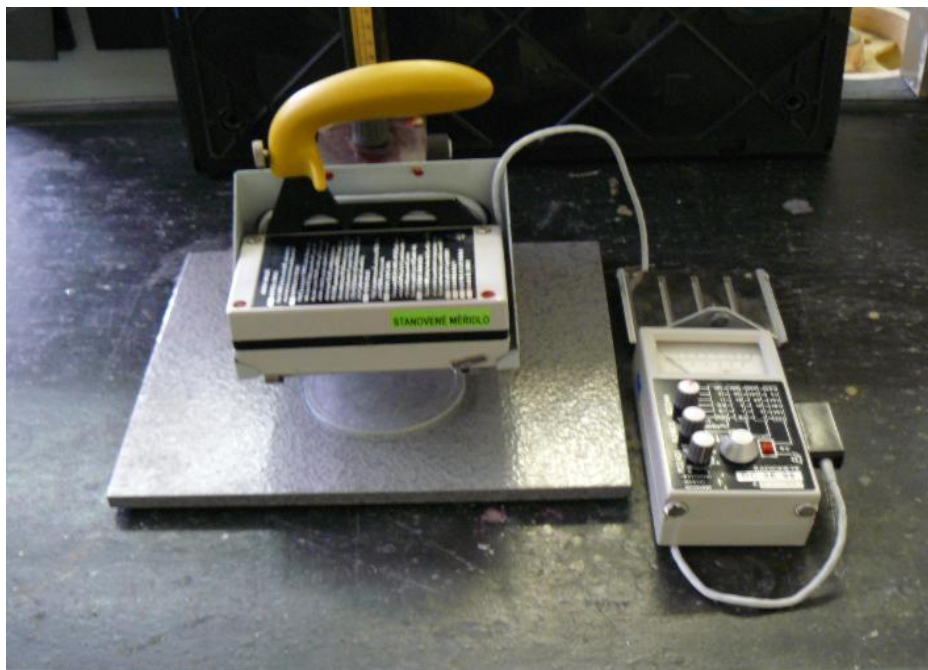


Zdroj: vlastní

2.4.2 Způsob měření plošné aktivity

Všechna měření se uskutečnila v uzavřené laboratoři za pevně stanovených podmínek, k měření byly použity postupně všechny deklarované přístroje. U plošné aktivity byl použit obdobný způsob zaznamenávání odečtených hodnot jako u předchozích měření. Po zapnutí přístrojů byl na každém nastaven režim „měřící“ s proměnou dobou odezvy na měřenou veličinu. U každého přístroje byla vysunuta clona detektoru, aby bylo možno měřit záření beta. Přístroje DC-3E 98 byly umístěny na stojánek ze základní výbavy a DC-3H-08 byly upevněny do chemického držáku tak, aby měřená geometrie zůstávala neměnná při výměně jednotlivých zářičů a také přístrojů. Měření probíhalo ve vzdálenosti 40 mm od čela detektoru. Postupně byly vystřídány všechny zářiče a všechny přístroje. Každý přístroj byl po zapnutí ponechán dvě minuty v klidu ke stabilizaci. Poté bylo postupně z displeje přístroje popřípadě ručkového měřidla u DC-3E-98 každých deset sekund odečteno a zaznamenáno patnáct po sobě jdoucích naměřených hodnot. Cílem měření plošné aktivity výše uvedených etalonů nebylo přesné určení měřené veličiny (přístroje jsou metrologicky ověřené), ale zjistit stabilitu a stálost odezvy testovaných přístrojů při měření.

Obrázek 12 - Měření plošné aktivity



Zdroj: vlastní

2.5 Ekonomické zhodnocení

Ke zjištění ekonomické stránky posuzovaných přístrojů bylo nutné oslovit jednotlivá obchodní oddělení firem se žádostí o sdělení ceny jejich přístroje pro HZS ČR. Firmu VF a.s., Černá Hora a Canberra Packard spol. s.r.o. jsem obeslal emailem se žádostí o sdělení ceny přístroje pro potřebu mé bakalářské práce. Obě firmy mi ochotně vyhověly a obratem zaslaly mnou požadované údaje. Obchodní oddělení výrobce třetího přístroje ZMA Ostrov nad Ohří bohužel nebylo možné obeslat, protože tato firma zanikla a tento přístroj se už nevyrábí. Podařilo se mi pouze získat evidenční kartu tohoto přístroje s uvedenou cenou poplatné době stáří výrobku.

3 Výsledky

3.1 Výsledky měření dávkového příkonu

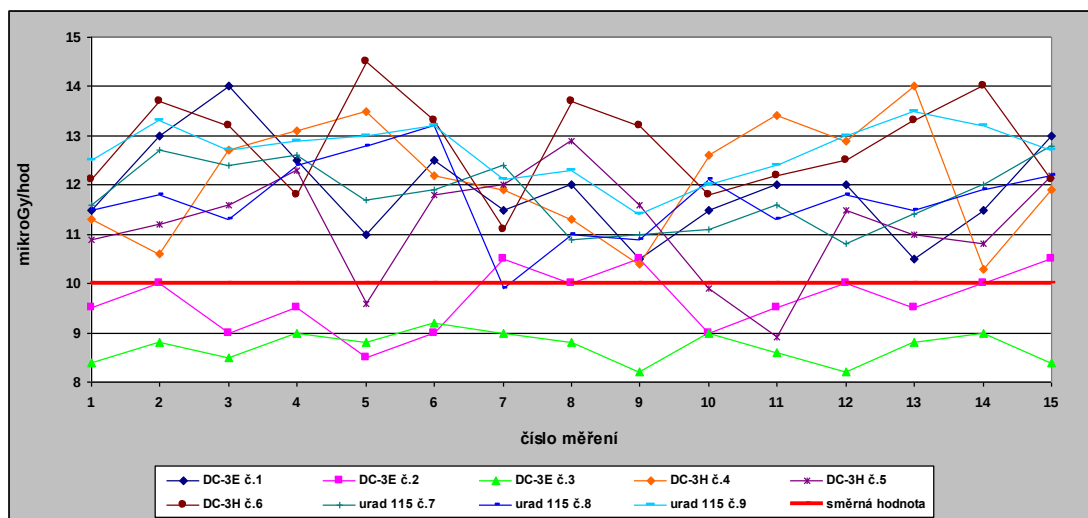
Kontrolní měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) záření gama bylo provedeno postupně se všemi přístroji. Zjištěné hodnoty při tomto měření jsou uvedeny v Tabulce 4. Přístroje jsou v tabulce uspořádány ve sloupcích a u každého jsou uvedeny jednotky, v jakých daný detektor měří. V každém sloupci je zapsáno patnáct hodnot měření pro každý přístroj. Ve spodní části tabulky jsou jednotlivá měření statisticky vyhodnocena. U každého přístroje je uveden aritmetický průměr, maximální a minimální naměřená hodnota, medián a směrodatná odchylka.

Naměřené hodnoty dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) záření gama z Tabulky 4 byly pro lepší znázornění průběhu měření každého přístroje vloženy do Obrázku 13. Tento obrázek zobrazuje odezvu měření všech použitých přístrojů. Každý přístroj zde má přiřazenou svou barvu křivky, aby byl zřetelně poznat jeho průběh měření. V úrovni $10 \mu\text{Gy/hod}$ je v grafu vyznačena směrná hodnota radionuklidu ^{137}Cs , která je vyznačena červenou čarou.

Tabulka 4 – Výsledky měření dávkového příkonu

číslo měření	DC-3E č.1	DC-3E č.2	DC-3E č.3	DC-3H č.4	DC-3H č.5	DC-3H č.6	U-RAD 115 č.7	U-RAD 115 č.8	U-RAD 115 č.9
	(μGy/hod)	(μGy/hod)	(μGy/hod)	(μSv/hod)	(μSv/hod)	(μSv/hod)	(μSv/hod)	(μSv/hod)	(μSv/hod)
1.	11,5	9,5	8,4	11,3	10,9	12,1	11,6	11,5	12,5
2.	13,0	10,0	8,8	10,6	11,2	13,7	12,7	11,8	13,3
3.	14,0	9,0	8,5	12,7	11,6	13,2	12,4	11,3	12,7
4.	12,5	9,5	9,0	13,1	12,3	11,8	12,6	12,4	12,9
5.	11,0	8,5	8,8	13,5	9,6	14,5	11,7	12,8	13,0
6.	12,5	9,0	9,2	12,2	11,8	13,3	11,9	13,2	13,2
7.	11,5	10,5	9,0	11,9	12,0	11,1	12,4	9,9	12,1
8.	12,0	10,0	8,8	11,3	12,9	13,7	10,9	11,0	12,3
9.	10,5	10,5	8,2	10,4	11,6	13,2	11,0	10,9	11,4
10.	11,5	9,0	9,0	12,6	9,9	11,8	11,1	12,1	12,0
11.	12,0	9,5	8,6	13,4	8,9	12,2	11,6	11,3	12,4
12.	12,0	10,0	8,2	12,9	11,5	12,5	10,8	11,8	13,0
13.	10,5	9,5	8,8	14,0	11,0	13,3	11,4	11,5	13,5
14.	11,5	10,0	9,0	10,3	10,8	14,0	12,0	11,9	13,2
15.	13,0	10,5	8,4	11,9	12,2	12,1	12,8	12,2	12,7
průměr	11,9	9,7	8,7	12,1	11,2	12,8	11,8	11,7	12,7
maximum	14,0	10,5	9,2	14,0	12,9	14,5	12,8	13,2	13,5
minimum	10,5	8,5	8,2	10,3	8,9	11,1	10,8	9,9	11,4
směr. odchylka	0,9	0,6	0,3	1,1	1,0	0,9	0,7	0,8	0,6
medián	12,0	9,5	8,8	12,2	11,5	13,2	11,7	11,8	12,7

Obrázek 13 – Grafické znázornění výsledků měření dávkového příkonu



3.2 Výsledky měření plošné aktivity

Kontrolní měření plošné aktivity bylo provedeno postupně všemi přístroji DC-3. Naměřené hodnoty provedených měření jsou uvedeny v Tabulce 5 pro DC-3E č. 1 až 3 a v Tabulce 6 pro DC-3H č. 4 až 6. Každý přístroj je zde uveden v samostatném sloupci, ten je rozdělen na čtyři samostatné oddíly kde jsou zaznamenány údaje měření kontrolních etalonů CZ 0203, CZ 0208, CZ 0207 a CZ 0206 v Bq/cm². Pro každé měření je v tabulkách vyjádřen aritmetický průměr, maximální a minimální hodnota každého měření, směrodatná odchylka a medián.

Hodnoty měření plošné aktivity těmito přístroji jsou pro lepší znázornění a představu znázorněny na Obrázcích 14 až 17 pro každý kontrolní etalon zvlášť. Na grafickém znázornění je každý přístroj vyznačen jinou barvou křivky.

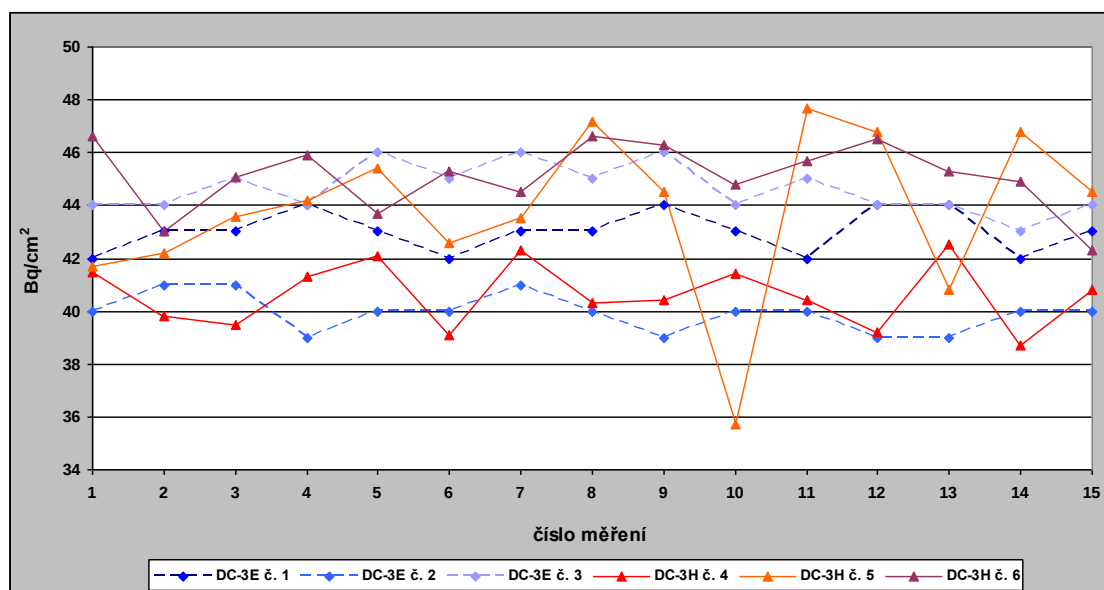
Tabulka 5 – Výsledky měření odezvy na plošnou aktivitu přístroji DC-3E

číslo měření	DC-3E č. 1				DC-3E č. 2				DC-3E č. 3			
	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)
1.	42,0	86,0	8,6	1,5	40,0	78,0	9,2	1,5	44,0	86,0	8,8	1,5
2.	43,0	87,0	8,8	1,5	41,0	80,0	9,0	1,5	44,0	87,0	9,0	1,4
3.	43,0	86,0	9,0	1,5	41,0	79,0	9,1	1,5	45,0	86,0	8,9	1,5
4.	44,0	87,0	8,9	1,6	39,0	80,0	9,4	1,6	44,0	88,0	9,0	1,5
5.	43,0	88,0	9,0	1,5	40,0	78,0	9,5	1,6	46,0	87,0	9,1	1,5
6.	42,0	86,0	9,0	1,5	40,0	79,0	9,3	1,6	45,0	88,0	9,2	1,4
7.	43,0	87,0	8,8	1,6	41,0	79,0	9,4	1,6	46,0	87,0	9,0	1,6
8.	43,0	86,0	9,0	1,5	40,0	80,0	9,2	1,7	45,0	88,0	9,1	1,7
9.	44,0	84,0	9,0	1,5	39,0	79,0	9,3	1,6	46,0	89,0	9,2	1,7
10.	43,0	85,0	8,9	1,6	40,0	80,0	9,4	1,7	44,0	88,0	9,3	1,6
11.	42,0	86,0	9,1	1,7	40,0	81,0	9,0	1,7	45,0	87,0	9,2	1,7
12.	44,0	86,0	9,0	1,6	39,0	80,0	9,3	1,7	44,0	89,0	9,4	1,6
13.	44,0	87,0	9,2	1,6	39,0	82,0	9,4	1,6	44,0	87,0	9,1	1,6
14.	42,0	86,0	9,3	1,6	40,0	83,0	9,3	1,7	43,0	89,0	9,2	1,7
15.	43,0	88,0	9,2	1,7	40,0	80,0	9,5	1,6	44,0	88,0	9,1	1,7
průměr	43,0	86,3	9,0	1,5	39,9	79,9	9,3	1,6	44,6	87,6	9,1	1,6
maximum	44,0	88,0	9,3	1,7	41,0	83,0	9,5	1,7	46,0	89,0	9,4	1,7
minimum	42,0	84,0	8,6	1,5	39,0	78,0	9,0	1,5	43,0	86,0	8,8	1,4
směr. odchylka	0,7	1,0	0,2	0,1	0,7	1,3	0,2	0,1	0,9	1,0	0,1	0,1
medián	43,0	86,0	9,0	1,6	40,0	80,0	9,3	1,6	44,0	88,0	9,1	1,6

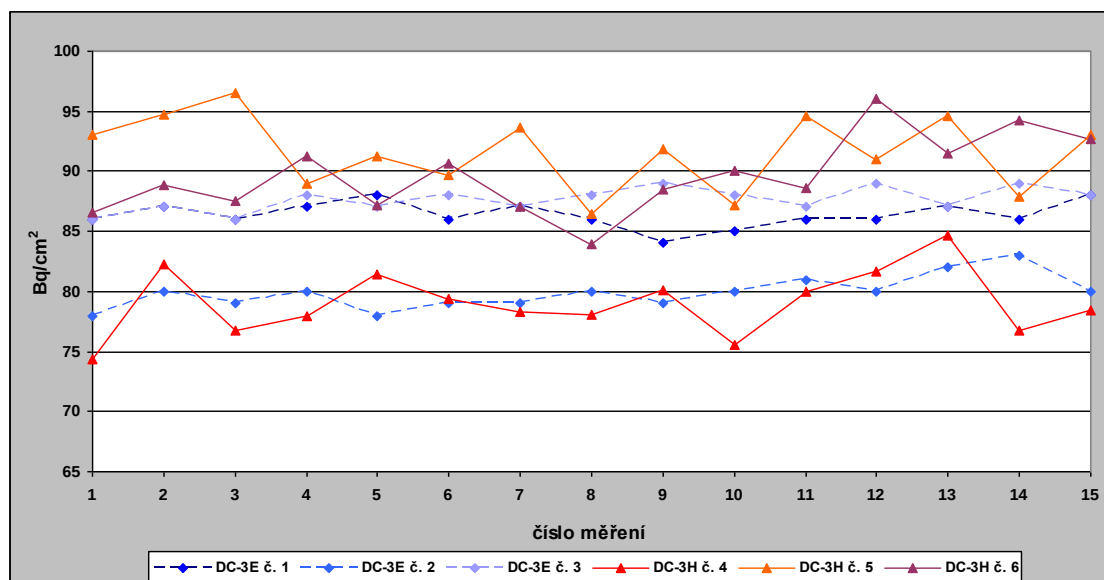
Tabulka 6 – Výsledky měření odezvy na plošnou aktivitu přístroji DC-3H

číslo měření	DC-3H č. 4				DC-3H č. 5				DC-3H č. 6			
	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)	CZ0203 (Bq/cm ²)	CZ0208 (Bq/cm ²)	CZ0207 (Bq/cm ²)	CZ0206 (Bq/cm ²)
1.	41,5	74,3	9,3	1,8	41,7	93,0	10,7	1,9	46,6	86,6	10,3	2,0
2.	39,8	82,3	10,1	1,9	42,2	94,7	10,8	1,8	43,0	88,8	10,0	2,3
3.	39,5	76,8	9,9	1,9	43,6	96,5	10,6	1,8	45,1	87,5	10,1	2,5
4.	41,3	77,9	9,8	1,9	44,2	89,0	9,8	2,0	45,9	91,2	10,4	2,6
5.	42,1	81,4	9,5	1,8	45,4	91,2	10,1	2,0	43,7	87,2	9,9	2,7
6.	39,1	79,4	10,1	1,8	42,6	89,7	9,7	2,0	45,3	90,7	9,6	2,4
7.	42,3	78,3	9,7	1,7	43,5	93,7	9,4	2,2	44,5	87,1	10,4	2,4
8.	40,3	78,1	10,2	1,7	47,2	86,5	11,2	2,2	46,6	83,9	10,8	2,3
9.	40,4	80,1	9,6	1,7	44,5	91,8	10,3	2,1	46,3	88,5	10,2	2,1
10.	41,4	75,6	9,5	1,6	35,7	87,2	10,0	1,9	44,8	90,1	10,1	2,0
11.	40,4	80,0	9,3	1,7	47,7	94,6	10,9	1,8	45,7	88,6	9,4	2,0
12.	39,2	81,7	9,2	1,7	46,8	91,0	10,1	1,9	46,5	96,1	10,2	2,1
13.	42,5	84,7	9,6	1,7	40,8	94,6	10,5	1,9	45,3	91,5	9,9	2,0
14.	38,7	76,7	9,9	1,7	46,8	87,9	10,7	2,0	44,9	94,3	9,3	1,9
15.	40,8	78,4	9,7	1,8	44,5	93,1	10,3	2,0	42,3	92,7	9,8	1,8
průměr	40,6	79,0	9,7	1,8	43,8	91,6	10,3	2,0	45,1	89,7	10,0	2,2
maximum	42,5	84,7	10,2	1,9	47,7	96,5	11,2	2,2	46,6	96,1	10,8	2,7
minimum	38,7	74,3	9,2	1,6	35,7	86,5	9,4	1,8	42,3	83,9	9,3	1,8
směr. odchylka	1,2	2,7	0,3	0,1	3,0	2,9	0,5	0,1	1,3	3,1	0,4	0,3
medián	40,4	78,4	9,7	1,7	44,2	91,8	10,3	2,0	45,3	88,8	10,1	2,1

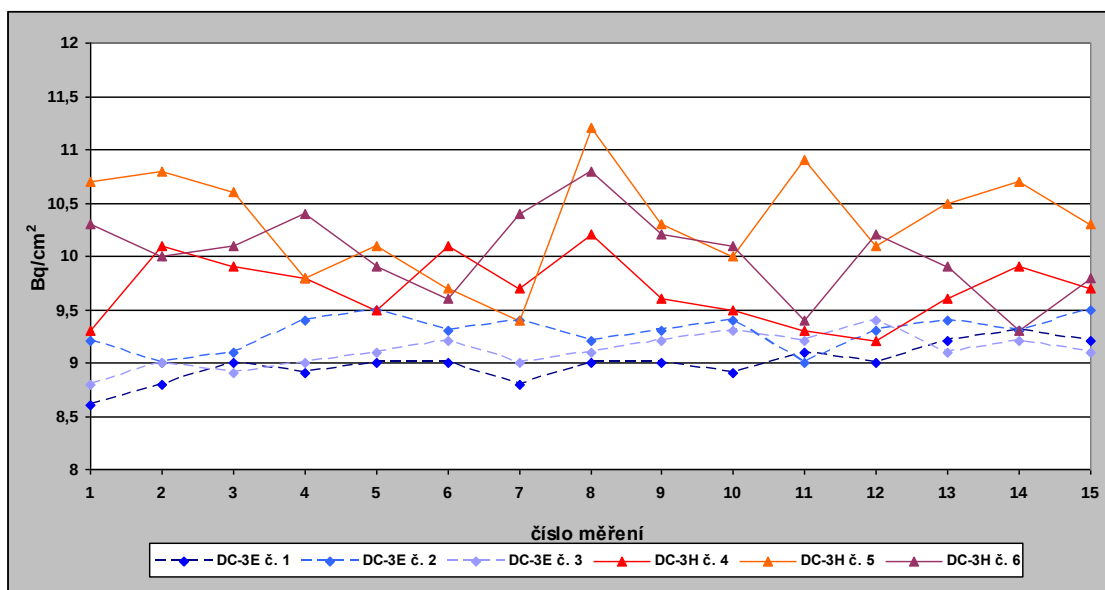
Obrázek 14 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0203



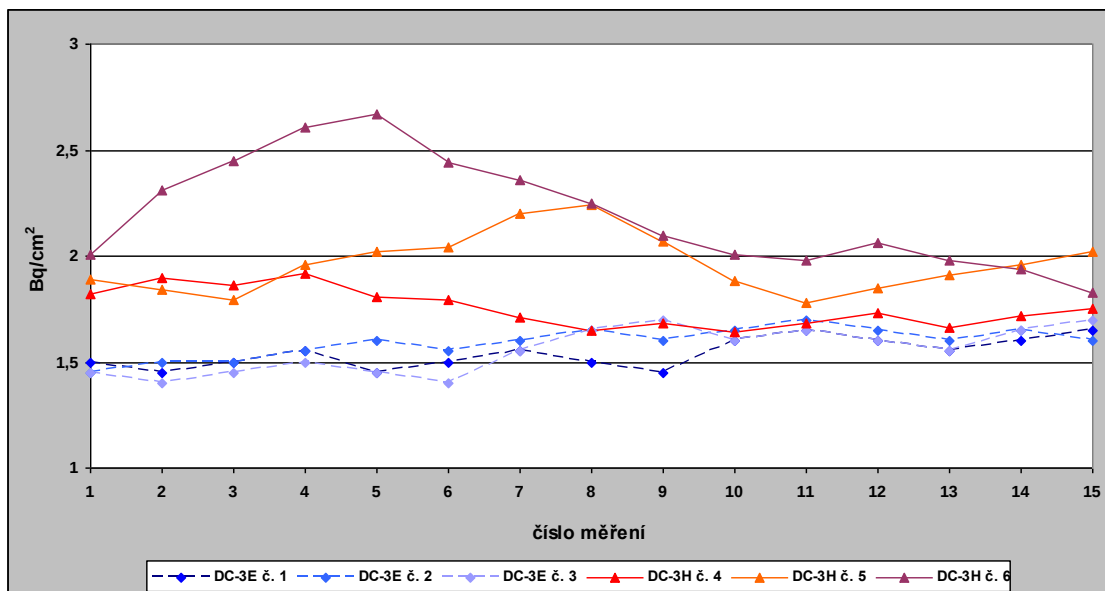
Obrázek 15 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0208



Obrázek 16 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0207



Obrázek 17 - Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0206



3.3 Stanovená cena použitých přístrojů

Jedním z posuzovaných parametrů daných přístrojů je také ekonomické porovnání. Proto byli osloveni výrobci a dovozci posuzovaných přístrojů a jimi deklarované ceny dodávaných přístrojů pro HZS ČR jsou uvedeny zde:

DC-3E-98	11 150,- Kč bez DPH (z roku 2002)
DC-3H-08	121 895,- Kč bez DPH
U-RAD 115	33 000,- Kč bez DPH

4 Diskuze

Jako téma této práce jsem si vybral porovnání radiometrů používaných HZS ČR. Po přečtení všech návodů k použití a dostupné literatury jsem měl možnost provést několik různých měření, které byly následně vyhodnoceny. Při práci s těmito přístroji jsem mohl pozorovat jejich přednosti i nedostatky, které se projevily při manipulaci s nimi.

4.1 Měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu)

Tabulka 4 obsahuje výsledky měření dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu). Pro tato měření byly použity všechny deklarované přístroje a jako zářič bylo použito ^{137}Cs . Každý přístroj je vyhodnocen v samostatném sloupci.

Naměřené hodnoty dávkového příkonu (příkonu dávkového ekvivalentu) z Tabulky 4 byly vloženy do Obrázku 13. Každý přístroj je v grafu znázorněn jinou barvou křivky pro lepší znázornění průběhu měření. Na svislé ose grafu jsou vyznačeny hodnoty měření v $\mu\text{Gy/hod}$ (pro záření gama je $1 \mu\text{Gy/hod} = 1 \mu\text{Sv/hod}$), rozptyl měření přístrojů je od 8 do 16 $\mu\text{Gy/hod}$. Na vodorovné ose grafu je vyznačen skutečný počet měření. V úrovni 10 $\mu\text{Gy/hod}$ je vyznačena směrná hodnota radionuklidu ^{137}Cs , která je vyznačena červenou čarou. Maximální naměřená hodnota činila 14,5 $\mu\text{Gy/hod}$ a minimální 8,2 $\mu\text{Gy/hod}$. Z tohoto grafu je patrné, že většina použitých přístrojů při měření mírně nadhodnocuje, kromě přístroje č. 2 (růžová křivka) a č. 3 (zelená křivka). Křivky všech přístrojů jsou mírně rozkolísané, ale pouze v řádu jednotek, proto rozdíly jejich měření nejsou nijak velké.

Z experimentálně naměřených hodnot byly vypočítány aritmetické průměry a směrodatné odchylky (viz Tabulka 4). Z nich vyplývá, že použitá měřidla typu DC-3E měla průměrné hodnoty dávkového příkonu 11,9; 9,7 a 8,7. Vypočítaná směrodatná odchylka byla 0,9; 0,6 a 0,3. Měřidla typu DC-3H měla průměrné hodnoty naměřených příkonů dávkového ekvivalentu 12,1; 11,2 a 12,8. Vypočítaná směrodatná odchylka byla 1,1 1,0 a 0,9. Pro měřidla typu U-RAD 115 byly vypočítány průměry příkonu dávkového ekvivalentu 11,8; 11,7 a 12,7. Směrodatná odchylka činila 0,7; 0,8 a 0,6.

Porovnáme-li průměry naměřených hodnot, jako nejvíce vyrovnané vychází měřidlo typu U-RAD 115 (11,7 až 12,7), potom je DC-3H (11,2 až 12,8) a jako poslední vychází DC-3E (8,7 až 11,9). Hodnoty, které se nejvíce blížily směrné hodnotě 10 $\mu\text{Gy/hod}$ (10 $\mu\text{Sv/hod}$) naměřilo měřidlo č.2 (DC-3E; 9,7 $\mu\text{Gy/hod}$) a potom měřidlo č. 5 (DC-3H; 11,2 $\mu\text{Sv/hod}$). Jako nejvyrovnanější hodnoty směrodatných odchylek vykazují měřidla typu U-RAD 115 (0,6 až 0,8), následováno měřidly typu DC-3H (0,9 až 1,1) a potom jsou měřidla DC-3E (0,3 až 0,9). Nejnižší směrodatnou odchylku vykazalo měřidlo typu DC-3E (č. 3) a to 0,3, nejvyšší potom DC-3H (č. 4) – 1,1.

4.2 Měření plošné aktivity

Výsledky měření odezvy na plošnou aktivitu jsou zaznamenány v Tabulce 5 a 6. V Tabulce 5 jsou uvedeny výsledky měření plošné aktivity pro přístroje typové řady DC-3E č. 1 až 3 a v Tabulce 6 pro přístroje typové řady DC-3H č. 4 až 6. Každým přístrojem bylo provedeno měření kontrolních etalonů CZ 0203, CZ 0208, CZ 0207 a CZ 0206. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách uspořádány ve sloupcích, patnáct zaznamenaných měření pro každý kontrolní etalon. Hodnoty v tabulkách jsou uvedeny v Bq/cm^2 a zaokrouhlené na jedno desetinné místo.

Srovnáme-li hodnoty naměřených plošných aktivit uvedených v Tabulce 5 a 6 pro etalon CZ0203, přístroje řady DC-3E mají oproti řadě DC-3H menší rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou hodnotou (měřidla DC-3H mají vyšší směrodatnou odchylku), ale průměrné hodnoty jsou srovnatelné. Odezva na etalon CZ0208 je velmi podobná, opět měřidla DC-3H vykazují větší rozptyl naměřených hodnot i vypočítaných průměrů. U odezvy měřidel na etalon CZ0207 se situace opakuje, měřidla DC-3H mají dvojnásobnou směrodatnou odchylku. U etalonu CZ0206 je tento rozdíl u měřidel DC-3H ještě větší. Z naměřených hodnot tedy vyplývá, že měřidla řady DC-3E jsou ve své odezvě stabilnější a vykazují menší rozpětí naměřených hodnot než měřidla řady DC-3H. Tento rozdíl je patrnější u nižších měřených hodnot (etalony CZ0206 a CZ0207, přibližná aktivita 1 a 11 Bq/cm^2). Tato skutečnost však může být zapříčiněna způsobem odečtu naměřených hodnot. Zatímco měřidla řady DC-3H jsou plně digitální

a odečítá se číslo udané na displeji, měřidla DC-3E jsou analogová, navíc ručkové měřidlo má dvě stupnice (trojková a desítková) a odečet může být vzhledem neustálému pohybu ručky do jisté míry individuální, což se projeví hlavně u měření nízkých hodnot.

Hodnoty zaznamenané v Tabulce 5 a 6 byly vloženy do Obrázku 14 až 17, pro každý kontrolní etalon byl vytvořen samostatný obrázek. Obrázek 14 znázorňuje odezvu přístrojů na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0203. Pro snadné rozlišení má v grafu každý přístroj přidělenou svojí barvou. Na svislé ose grafu jsou vyznačeny hodnoty měření v Bq/cm^2 , všechny přístroje se pohybují vyrovnaně v rozmezí několika Bq/cm^2 kromě přístroje č. 5, který má proti ostatním v druhé polovině měření větší rozptyl.

Měření plošné aktivity pro kontrolní etalon č. CZ 0208 vyjadřuje Obrázek 15. Naměřené hodnoty přístrojů se pohybují v rozmezí mezi 70 Bq/cm^2 až 100 Bq/cm^2 . Zde jsou naměřené hodnoty soustředěny ve dvou rovinách, ale jejich rozptyl není vzájemně nijak výrazný.

Do Obrázku 16 jsou vloženy hodnoty z Tabulky 5 a 6 pro plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0207. I na tomto obrázku mají všechny přístroje určenou svojí barvu a naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 8,5 až 11,5 Bq/cm^2 . Přístroje zastoupené modrou barvou (DC-3E) zde vykazují plošší a stabilnější křivku, přístroje DC-3H vykazují nepatrné rozkolísání naměřených hodnot.

Poslední Obrázek 17 znázorňuje odezvu měřících přístrojů na etalon č. CZ 0206. Plošná aktivita tohoto etalonu se pohybovala okolo hodnoty 1 Bq/cm^2 . Rozptyl naměřených hodnot na tomto obrázku se proto pohybuje v řádu desetin becquerelů. Přístroj č. 8 vykazuje v první části měření zvýšené hodnoty, ale rozdíly mezi hodnocenými přístroji jsou zde téměř zanedbatelné.

Z těchto provedených měření a naměřených hodnot lze usoudit, že přesnost a rychlost měření posuzovaných přístrojů je pro potřeby HZS ČR dostačující pro provedení prvotního radiačního průzkumu při zásahu na nebezpečnou látku a vytyčení nebezpečné zóny.

4.3 Obsluha a manipulace

Při pokusných měřeních se ukázalo, že nároky na obsluhu jednotlivých typových řad měřicích přístrojů se velice liší. Zatímco měřidla U-RAD 115 a DC-3H jsou plně digitální a manipulace s nimi se omezuje pouze na zapnutí/vypnutí přístroje a volbu měřené veličiny (u přístrojů U-RAD 115 sice nebyla dodána sonda na měření plošné aktivity, ale přístroj toto měření umožňuje). Naproti tomu u typové řady DC-3E je nutné všechny parametry měření (měřená veličina, rozsah) měnit ručně a odečítat na horní nebo dolní stupnici ručkového měřidla. Tyto úkony zvládne pouze důkladně proškolený a s tímto typem měřidla seznámený pracovník, který si tyto vědomosti musí udržovat. Pokud s přístrojem manipuluje neproškolený pracovník, nebo měření probíhá ve ztížených podmínkách (např. protichemický oblek – ztížená manipulace s knoflíky nastavení rozsahu a měřené veličiny, špatný výhled na stupnice ručkového měřidla, časový stres), je velká pravděpodobnost špatně zvoleného rozsahu měření nebo odečtu ze špatné strany stupnice. U přístrojů DC-3H a U-RAD 115 je obsluha jednoduchá a intuitivní pomocí tlačítek a odečet naměřených hodnot probíhá z relativně velkých displejů s možností podsvícení.

Všechny typové řady jsou ručními měřidly, takže jejich hmotnost je přijatelná pro držení v jedné ruce (DC-3E 1,36 kg; DC-3H 2,42 kg; U-RAD115 0,275 kg), avšak měřidlo DC-3E vyžaduje manipulaci (nastavení měřené veličiny a průběžně během měření i rozsahu) i druhou rukou. Toto u DC-3H a U-RAD 115 odpadá, pracovník je schopen přístroj ovládat rukou, ve které přístroj drží. Kromě relativně vysoké hmotnosti má typová řada DC-3H v porovnání s DC-3E a U-RAD 115 velmi malou dobu provozu (kvůli velké spotřebě elektrické energie).

4.4 Ekonomické zhodnocení

Jedním z posuzovaných parametrů daných přístrojů byla také pořizovací cena. Byli osloveni výrobci a dovozci posuzovaných přístrojů a jimi deklarované ceny dodávaných přístrojů pro HZS ČR jsou uvedeny v kapitole 3.3.

Z cenové nabídky vyplývá, že nejlevnější jsou přístroje typové řady DC-3E (11 150,- Kč bez DPH) následovány U-RAD 115 (33 000,- Kč bez DPH) a DC-3H (121 895,- Kč bez DPH). Jelikož se typová řada DC-3E již nevyrábí (cena je z inventární karty), tak jako ekonomicky nejvýhodnější se jeví U-RAD 115.

5 Závěr

Ionizující záření nelze detekovat lidskými smysly, ale pouze pomocí přístrojů. Jednotky HZS ČR provádějí detekci ionizujícího záření pro ochranu obyvatelstva i pro ochranu zasahujících hasičů. Záměrem je provést základní monitorování a první vyhodnocení situace.

Cílem této práce bylo porovnání a zhodnocení vhodnosti použití přenosných přístrojů používaných HZS ČR pro prvotní radiační průzkum a následné vytyčení předběžné, bezpečnostní a nebezpečné zóny. Tento cíl byl splněn.

Shrnutí a zhodnocení výsledků potvrzuje hypotézu této práce. Používání radiometru U-RAD 115 jednotkami HZS ČR je velkým přínosem v porovnání s používanými radiometry DC-3E-98 a DC-3H-08.

Přístroj DC-3E-98 má analogové provedení, složité odečítání na spodní a horní části ručkového měřidla a komplikované nastavování rozsahů měření. Díky tomu že je vybaven pouze detektorem SBT 10, je nejvyšší měřitelný dávkový příkon 10 mGy/hod. Uživatelské možnosti odpovídají technickým možnostem konce 20. století. Pro zasahující hasiče pracující v protichemickém obleku v rukavicích a ve stresu je tento přístroj naprosto nevyhovující.

Přístroj DC-3H-08, jehož předností je robustní konstrukce, dostatečně velký displej a možnost oddělení základní jednotky od indikční jednotky komunikující mezi sebou bezdrátově pomocí Bluetooth. Nevýhodou tohoto přístroje ve srovnání s ostatními je jeho velká hmotnost, nemožnost ovládání hlasitosti zvukového výstupu, relativně krátká doba provozu (pouze 4 hodiny) a proti ostatním jeho vysoká pořizovací cena.

Největší předností přístroje U-RAD 115 je jeho malá velikost, nízká hmotnost, dlouhá doba provozu při měření a přijatelná cena. Ovládání přístroje pomocí šesti tlačítek je v podstatě jednoduché a intuitivní. Tento přístroj je v současné době dostačující pro základní jednotky HZS ČR a v době kdy firma Canberra Packard ukončí prototypové stadium beta sondy tohoto přístroje pro náš trh, může plně nahradit dosluhující přístroj DC-3E. Poté by bylo zajímavé podrobit tento přístroj podrobnému

testu, zpracovat metodiku práce s tímto přístrojem a provést vyškolení příslušníků HZS ČR.

6 Seznam informačních zdrojů

1. NERUDA, Otakar a Zdeněk PROUZA. *Problematika zásahů při událostech s radiačním rizikem*. 1. vyd. Vydavatelství Seidl - FACOM pro MV ČR - HS Sboru PO, 1992, ISBN 80-901368-2-6.
2. MV – generální ředitelství HZS ČR. *Řád chemické služby*. 1. vyd. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2007. ISBN 8086640701. Dostupné také z: www.hzscr.cz
3. KOLEKTIV AUTORŮ. *Bojový řád jednotek požární ochrany. Nebezpečí ionizujícího záření – metodický list č. 4/N*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, 561 s. ISBN 978-80-7385-026-5.
4. ČESKO. Zákon č. 18 ze dne 24. ledna 1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In *Sbírka zákonů České republiky*. 1997, částka 6, s. 82.
5. MAREK, René a Iason URBAN. Radiační průzkum. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 8, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz
6. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 35 ze dne 27. 7.2009 ke zřízení a zabezpečení prozatímní služby osobní dozimetrie u Hasičského záchranného sboru České republiky.
7. GAVEL, Alan. Osobní dozimetrie. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 7, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz
8. ČESKO. Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2002, částka 113, s. 6362.
9. MAREK, René. Prvotní radiační průzkum. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 6, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz

10. MATĚJKA, Jiří. *Chemická služba: učební skripta*. vyd. 1. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2012, 310 s. ISBN 978-80-87544-09-9.
11. Katalogový soubor typových činností složek integrovaného záchranného systému při společném zásahu: *Uskutečněné a ověřené použití radiologické zbraně STČ - 01/IZS*. Praha: Ministerstvo vnitra GŘ HZS ČR, 2007. Dostupné také z: www.hzscr.cz
12. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 26 ze dne 8. 6. 2009, kterým se stanoví postup při používání souborů typové činnosti složek integrovaného záchranného systému při společném zásahu.
13. LOČÁREK, Miroslav. Činnost jednotek požární ochrany při radiační události. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 9, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz
14. ČESKO. Vyhláška č. 247 ze dne 22. června 2001 Sb., o organizaci a činnosti jednotek požární ochrany, ve znění vyhlášky č. 226/2005 Sb. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 95, s. 5490
15. Pokyn generálního ředitele HZS ČR a náměstka ministra vnitra č. 27 ze dne 25. 8. 2006, kterým se stanoví opěrné body Hasičského záchranného sboru České republiky
16. KOLEKTIV AUTORŮ. *Koncepce chemické služby Hasičského záchranného sboru České republiky*. Praha: MV - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2005, ISBN 80-866-4040-X.
17. Statistické ročenky dostupné z www.hzscr.cz
18. ŠILHÁNEK, Bohumil a Josef DVOŘÁK. *Stručná historie ochrany obyvatelstva v našich podmínkách*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo vnitra, generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2003, ISBN 80-866-4012-4.
19. MATOUŠEK, Jiří, Iason URBAN a Petr LINHART. *CBRN: detekce a monitorování, fyzická ochrana, dekontaminace*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008, ISBN 978-80-7385-048-7.

20. *Záznamník: Radiometr DC-3E-98*. 54 s.
21. PROUZA, Zdeněk a Jiří ŠVEC. *Zásahy při radiační mimořádné události*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008, 125 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-046-3.
22. KOTINSKÝ, Petr a Jaroslava HEJDOVÁ. *Dekontaminace v požární ochraně*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003, ISBN 80-866-3431-0.
23. MATOUŠEK, Jiří, Jan ÖSTERREICHER a Petr LINHART. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007, ISBN 978-80-7385-029-6.
24. ČESKO. Zákon č. 505/1990 Sb. *o metrologii*, ve znění pozdějších předpisů.
25. URBAN, Iason. Dozimetrické prostředky pro ochranu hasičů při zásahu. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 5, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz
26. URBAN, Iason. Zásahový radiometr DC-3H-08. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2009, VIII, č. 1, s. 35. ISSN 1213-7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz
27. *Návod k používání: Zásahový radiometr DC-3H-08*, VF Černá Hora, 2008, 22 s.
28. MATĚJKA, Jiří. Nákup prostředků chemického a radiačního průzkumu úspěšně dokončen. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2009, VIII, č. 2, s. 20-21. ISSN 1213- 7057.
29. *Uživatelský manuál: Ultra-Radiac U-RAD 115*, Canberra Dover Inc., Dover, 2003, 110 s.
30. URBAN, Iason. Nové dozimetrické prostředky u HZS ČR. *112: odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. 2008, VII, č. 12, s. 35. ISSN 1213- 7057. Dostupné také z: www.hzscr.cz

Seznam tabulek a obrázků:

Tabulka 1 - Hodnoty dávkového příkonu a plošné aktivity pro vytyčené zóny	17
Tabulka 2 - Seznam používaných přístrojů	35
Tabulka 3 – Referenční hodnoty cvičných etalonů	39
Tabulka 4 – Výsledky měření dávkového příkonu	43
Tabulka 5- Výsledky měření odezvy na plošnou aktivitu přístroje DC – 3E	45
Tabulka 6- Výsledky měření odezvy na plošnou aktivitu přístroje DC – 3H.....	46
Obrázek 1 - Rozmístění CHL HZS a IOO LB	20
Obrázek 2 - Statistika zásahů radiačních událostí v ČR od r. 2002 do r. 2012	21
Obrázek 3 - Rozmístění ovládacích prvků na čelním panelu DC-3E-98.....	24
Obrázek 4 - DC-3E-98.....	26
Obrázek 5 - Indikační jednotka.....	28
Obrázek 6 - DC-3H-08	30
Obrázek 7 - Čelní panel přístroje U-RAD 115	32
Obrázek 8 - U-RAD 115.....	33
Obrázek 9 - Používané přístroje.....	36
Obrázek 10 - Olověný přepravní kontejner na zářič ^{137}Cs	38
Obrázek 11 - Plošný zdroj CZ0203 $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	40
Obrázek 12 - Měření plošné aktivity	41
Obrázek 13 – Grafické znázornění výsledků měření dávkového příkonu	44
Obrázek 14 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0203	47
Obrázek 15 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0208	47
Obrázek 16 – Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0207	48
Obrázek 17 - Odezva na plošnou aktivitu etalonu č. CZ 0206	48

