

Univerzita Karlova v Praze

1. lékařská fakulta



Optimalizace měření při kontrole plošného zamoření

Bakalářská práce

Autor: Miroslav Procházka

Obor: Zdravotnická technika

Vedoucí práce: RNDr. Olga Nováková, CSc.

Pracoviště: Ústav nukleární medicíny 1. LF a VFN

2007

Poděkování

Děkuji RNDr. Olze Novákové, CSc. za odborné vedení mé práce, za ochotu a trpělivost, za hodnotné rady a připomínky, které mi velmi pomohly k jejímu napsání.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci zpracoval samostatně s přispěním vedoucího práce. Veškerou použitou literaturu jsem uvedl v seznamu použité literatury. Souhlasím se zapůjčováním a zveřejňováním mé bakalářské práce se souhlasem katedry.

V Praze dne

.....
Miroslav Procházka

OBSAH

OBSAH	4
ABSTRAKT	5
1. ÚVOD	7
2. PROGRAM MONITOROVÁNÍ V ÚNM	8
2.1. Monitorování osob	8
2.2. Monitorování prostředí	11
3. POPIS A PARAMETRY PŘÍSTROJŮ	13
3.1. Měřič dávkového příkonu PTR 12 Ga	13
3.2. Měřič dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L	14
3.3. MicoCont typu H 13422	15
3.4. Scintilační detektor NKG 314 + spektrometr JKA 300	16
3.5. Měřič aktivity Bqmetr 3	17
4. EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY	18
4.1. Postup při měření	18
4.2. Výsledky měření pro ^{99m}Tc s jednotlivými přístroji	20
4.2.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G	20
4.2.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L	20
4.2.3. MicroCont H 13422	21
4.2.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300	25
4.3. Výsledky měření pro ^{111}In s jednotlivými přístroji	26
4.3.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G	26
4.3.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L	26
4.3.3. MicroCont H 13422	27
4.3.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300	30
4.4. Výsledky měření pro ^{125}I s jednotlivými přístroji	31
4.4.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G	31
4.4.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L	31
4.4.3. MicroCont H 13422	32
4.4.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300	35
5. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	36
6. ZÁVĚR	39
7. POUŽITÁ LITERATURA	40

ABSTRAKT

V práci je uvedeno porovnání citlivosti 4 typů přístrojů, které lze použít pro kontrolu referenčních úrovní otevřených radionuklidových zářičů dle Programu monitorování ÚNM 1. LF a VFN.

Jsou porovnány přístroje: měřič dávkového příkonu PTR 12 G, měřič dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L, měřič zamoření MicroCont H 13422 a sestava scintilačního detektoru NKG 314 + spektrometru JKA 300.

Nejmenší měřitelné odezvy jsou stanoveny na základě experimentálních výsledků pro radionuklidy ^{99m}Tc , ^{111}In a ^{125}I .

ABSTRACT

In my study is given comparison of responsiveness of four types contamination detectors, that we can use for the control of reference levels of free radionuclid sources according to the Monitoring Programme of Institute of Nuclear Medicine by 1st Faculty of Medicine and General Teaching Hospital.

There are compared the following equipments in the study: an indicator of the dose rate PTR 12 G, an indicator of the dose rate Thermo FH 40 G-L, a radiometer MicroCont H 134222 and a set of a scintillation detector NKG 314 with a spectrometer JKA 300.

The minimal measurable responses are determined on the basis of experimental results for radionuclides ^{99m}Tc , ^{111}In and ^{125}I .

1. ÚVOD

V Ústavu nukleární medicíny 1.LF UK a VFN (dále ÚNM) se pracuje se zdroji ionizujícího záření. Pro diagnostické účely se jedná o zdroje emitující záření gama. Pro terapii se používá korpuskulární záření beta.

Jako radionuklidový zářič je označován zdroj, který svou aktivitou překračuje ve vyhlášce stanovenou mez. Zářiče jsou buď uzavřené nebo otevřené. Uzavřený radionuklidový zářič je zářič, jehož úprava (zapouzdření) zabezpečuje zkouškami ověřenou těsnost a vylučuje tak možnost, že za předvídatelných podmínek použití dojde k úniku radionuklidů ze zářiče. Otevřený radionuklidový zářič je ten, který není uzavřený zářič. Manipulace s radionuklidy je kontrolována Státním úřadem pro jadernou bezpečnost podle vyhlášky č. 307/2002 Sb. O radiační ochraně („Atomový zákon“) [1].

Při práci na oddělení nukleární medicíny se pracuje s otevřenými radionuklidovými zářiči a může dojít ke kontaminaci pracovníků, pracovního prostředí i prádla.

Podle výše uvedeného Atomového zákona musí každé pracoviště vypracovat Program monitorování, který určuje způsob kontroly ozáření osob a případné zamoření osob a pracoviště. Program monitorování v ÚNM [2] obsahuje postup při kontrole pracovníků a pracovišť a stanovuje i kvantitativní meze (úrovně) při měření zamoření.

Úkolem diplomové práce je optimalizovat parametry různých typů přístrojů při měření zamoření a posoudit jejich citlivost z hlediska úrovní, které se podle Monitorovacího programu ÚNM mají kontrolovat. Při porovnání uvažovat jak přímou metodu, tak metodu stěrů.

2. PROGRAM MONITOROVÁNÍ V ÚNM [2]

Podle tohoto dokumentu je třeba zajistit trvalou kontrolu zevního ozáření pracovníků a pravidelnou kontrolu případného zamoření prostředí a pracovních prostor. V dokumentu jsou stanoveny jednotlivé referenční úrovně, při jejichž překročení se musí dodržovat určitá ochranná opatření. Za správnost dodržování, pravidelnou kontrolu a informovanost radiačních pracovníků o obdržených dávkách odpovídá dohlízející osoba na daném pracovišti.

2.1. Monitorování osob

Součástí ochrany radiačních pracovníků kategorie A je osobní dozimetrie. Do kategorie A patří lékaři, VŠ nelékaři a SZP, u kterých je kontrolována dávka, kterou obdrželi za sledované období. Sledované období podle §77 vyhlášky č. 307/2002 Sb. je 1 měsíc. Pracovníci musí být vybaveni osobními filmovými dozimetry a podle charakteru práce i prstovými termoluminiscenčními dozimetry.

Osobní filmové dozimetry pracovníci nosí na levé přední straně hrudníku (referenční místo). Filmovým dozimetrem je film uložený ve světlotěsném červeném plastovém pouzdře, na jehož vnitřní stěně obalu jsou uloženy filtry. Filtr je tvořen destičkami z olova, mědi, hliníku a plastu. Velikost dávky se určuje podle zčernání filmu.

Při přípravě otevřených radionuklidových zářičů (radiofarmak), kdy jsou nejvíce exponovány ruce, se používá prstových termoluminiscenčních dozimetrů. Tento dozimetr tvaru prstenu je nošen na prsteníčku více exponované ruky otočený směrem k dlani. Uvnitř prstenu je k vyhodnocení použit jako citlivý materiál krystal lithium fluoridu, který po zahřátí emituje množství tepla úměrného obdržené dávce.

Vyhodnocení dozimetrů provádí nezávislá Celostátní služba osobní dozimetrie. Výsledky hodnot zasílá na pracoviště ÚNM a současně do Registru ozáření osob. Dohlízející osoba na ÚNM má povinnost informovat radiační pracovníky o hodnotách osobních dávek a zároveň sledovat nepřekročení pětiletého limitu. Tyto hodnoty jsou podle vyhlášky č. 307/2002 Sb. archivovány po dobu 30 let.

U pracovníků kategorie A se sledují hodnoty osobního dávkového ekvivalentu (ODE) a ekvivalentní dávky (ED). Osobní dávkový ekvivalent označován $H_p(d)$ je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce tkáně d [1]. Ekvivalentní dávka H_T je součin radiačního váhového faktoru w_R a střední absorbované dávky D_{TR} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R , nebo součet takových součinů, jestliže pole ionizujícího záření je složeno z více druhů nebo energií [1]. Jednotkou těchto veličin je Sv (sievert), rozměrově J/kg. Často se místo jednotky Sv používá jednotka menší a to mSv.

Limity těchto dávek jsou děleny do tří referenčních úrovní stanovené v Programu monitorování ÚNM. Hodnoty, při jejich překročení je třeba údaj patřičně zaznamenat jsou v tabulce 1. Při podezření na vnitřní kontaminaci osob, která se při běžném provozu nepředpokládá, se provádí měření na celotělovém detektoru ÚNM.

Měsíční referenční úrovně	Filmové dozimetry ODE HT(10)	Prstové dozimetry ED
Záznamová úroveň	0,2 mSv	5 mSv
Vyšetřovací úrovně	0,7 mSv	15 mSv
Zásahová úrovně	5 mSv	50 mSv

tabulka 1: Referenční úrovně pro ozáření radiačních pracovníků (ODE osobní dávkový ekvivalent, ED ekvivalentní dávka)

Překročení záznamové úrovně je uvedeno v záznamech o monitorování příslušné kontrolované veličiny (měsíční údaje filmových dozimetrů, údaje o příkonu dávkového ekvivalentu nebo povrchové kontaminace ploch) s uvedením příslušné naměřené hodnoty [2].

Překročení vyšetřovací úrovně je podnětem k následnému šetření o příčinách a návrh preventivních opatření. Příčina zjištěného překročení se uvede v zápise, který pořizuje dohlížející osoba ve spolupráci s pracovníkem s přímou odpovědností za zajištění radiační ochrany včetně přijatých opatření [2].

Při překročení zásahové úrovně je třeba rozhodnout o zavedení účinných opatření, omezujících na minimum riziko dalšího ozáření radiačních pracovníků, případně jejich

kontaminaci. Současně se zváží možnosti prevence opakovaného překročení zásahové úrovně. Při překročení zásahové úrovně je sepsán protokol a podle charakteru dané situace rozhodne dohlížející osoba spolu s pracovníkem s přímou odpovědností za zajištění radiační ochrany o informování Úřadu, včetně návrhu přijatých opatření [2].

Pro povrchovou kontaminaci radiačních pracovníků se užívá měření příkonu dávkového ekvivalentu nebo plošné aktivity. Příkon dávkového ekvivalentu je dávkový ekvivalent uvažovaný vždy za jednotku času. Jednotkou je Sv/s. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty příkonu dávkového ekvivalentu při kontrole kontaminace osob a pracovních oděvů. Kontaminace pracovních oděvů nebo osob se měří na 3 místech ve vzdálenosti detektoru cca 5 cm od povrchu.

Referenční úroveň	Příkon dávkového ekvivalentu
Záznamová úroveň	0,7 $\mu\text{Sv/h}$
Vyšetřovací úroveň	5 $\mu\text{Sv/h}$
Zásahová úroveň	100 $\mu\text{Sv/h}$

tabulka 2: Referenční úrovně příkonu dávkového ekvivalentu při kontrole kontaminace osob a pracovních oděvů

V tabulce 3 jsou uvedeny referenční úrovně pro plošnou aktivitu při kontrole kontaminace osob a pracovních oděvů s rozdělením prvků do tříd podle radiotoxicity a potenciálního ohrožení zevním ozářením. Plošná aktivita je aktivita vztažená na jednotku plochy. Základní jednotkou je Bq/m^2 .

Referenční úroveň	Plošná aktivita (kBq/m^2)	
	Třída radiotoxicity 1 + 2	Třída radiotoxicity 3
Záznamová úroveň	3	30
Vyšetřovací úroveň	15	150
Zásahová úroveň	30	300

Tabulka 3: Referenční úrovně plošné aktivity při kontrole kontaminace osob a pracovních oděvů

Používané radionuklidy třídy radiotoxicity 1: ^{223}Ra

Používané radionuklidy třídy radiotoxicity 2: ^{18}F , ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{99}Mo , ^{111}In , ^{125}I , ^{153}Sm , ^{201}Tl , ^{169}Yb

Používané radionuklidy třídy radiotoxicity 3: ^{51}Cr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I , ^{90}Y , ^{186}Re , ^{188}Re , ^{188}W , ^{89}Sr

2.2. Monitorování prostředí

Kontrola pracoviště se provádí každodenně vždy na konci pracovní doby a dále podle typu a charakteru práce. Kontrolují se pracovní plochy a podlahy, zda nedošlo k úniku radionuklidů. Kontrola povrchu ploch lze provádět metodou přímou a metodou stěru.

K vyhledání a lokalizaci místa kontaminace se volí přímá metoda. Metoda spočívá v přiložení přístroje nad kontaminovaný objekt. Z kontaminované plochy je také možno provést stěry. Stěry se provádějí čtverečkem buničiny za pomoci pinzety. Vzdálenost přístroje od měřeného objektu a velikost plochy pro metodu stěrů vychází z Programu monitorování na ÚNM.

V Monitorovacím programu ÚNM je při měření plošného zamoření volena přímá metoda kontroly buď měřičem dávkového příkonu „dozimetrem“ nebo měřičem zamoření. Pro oba způsoby jsou stanoveny referenční meze viz tabulku 4, 5. Při jejich překročení platí stejné opatření jako při monitorování osob. Při měření příkonu dávkového ekvivalentu je poloha přístroje cca 5 cm od měřeného objektu.

Referenční úroveň	Kontrolované pásmo		Sledované pásmo
	Vnitřní část laminárních boxů	Ostatní prostory	
Záznamová úroveň	5 $\mu\text{Sv/h}$	1 $\mu\text{Sv/h}$	0,7 $\mu\text{Sv/h}$
Vyšetřovací úroveň	50 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	5 $\mu\text{Sv/h}$
Zásahová úroveň	500 $\mu\text{Sv/h}$	200 $\mu\text{Sv/h}$	100 $\mu\text{Sv/h}$

tabulka 4: Referenční úrovně příkonu dávkového ekvivalentu v kontrolovaném a sledovaném pásmu

V ÚNM jsou pro kontrolu používány dozimetr PTR 12 G nebo Thermo FH 40 G-L. Pro kontrolu plošného zamoření měřič kontaminace MicroCont typu H 13422. Pro účely diplomové práce byl sortiment porovnávaných přístrojů rozšířen o scintilační spektrometr JKA 300, který je někdy používán při kontrole zamoření nízkoenergetickými zářiči např. ¹²⁵I. V tomto případě se užívá nepřímé metody stěrů. Aktivita stěrů se měří se studnovém scintilačním detektoru NKG 314.

Při měření kontaminace povrchů je přístroj ve vzdálenosti 5 cm od pracovní plochy a 50 cm od podlahy. Při kontrole a měření pracovních ploch se volí nejméně 3 místa vzdálená od sebe 50 cm a vzdálenost přístroje je cca 5 cm od plochy. Při kontrole a měření podlah se volí nejméně 3 místa vzdálená cca 50 cm od sebe a přístroj ve vzdálenosti 50 cm. Pokud se zjistí zamoření nějakým radionuklidem, tak se pro bližší lokalizaci volí vzdálenost cca 5 cm.

Nepřímou metodu provádíme čtverečkem buničiny, kdy ze 3 ploch (pracovních ploch či podlah) minimálně o rozměrech 50 cm x 50 cm provedeme 3 stěry, aby bylo dosaženo nezávislosti měření. Buničinu uzavřeme do zkumavky a vložíme do studnového detektoru NKG 314.

Referenční úroveň	Plošná aktivita (kBq/m ²)	
	Třída radiotoxicity 1 + 2	Třída radiotoxicity 3
Záznamová úroveň	30	300
Vyšetřovací úroveň	150	1500
Zásahová úroveň	300	3000

tabulka 5: Referenční úrovně plošné aktivity pro kontaminaci povrchů v kontrolovaném pásmu

Všechny přístroje používané pro monitorování prostředí jsou na ÚNM kontrolovány podle Pracovních postupů pro zkoušky provozní stálosti [3] na krátkodobou a dlouhodobou stabilitu. Tento dokument navazuje na Program zabezpečování jakosti pro klinický provoz zdrojů ionizujícího záření [4]. V Pracovních postupech je stanoveno, která osoba má povoleno provádět tyto zkoušky, s jakou frekvencí se kontroly funkčnosti jednotlivých přístrojů provádějí, jakými metodami se stanovují a zda přístroj vykazuje parametry v předepsaném intervalu.

3. POPIS A PARAMETRY PŘÍSTROJŮ

3.1. Měřič dávkového příkonu PTR 12 Ga

Tento jednoduchý přístroj velikosti kalkulačky (obr. 1) o rozměrech 118 x 74 x 32 mm se používá v radiační ochraně k proměrování pracovníků, pracovních ploch a pomůcek. Jako detektor je použita plášťová halogenová Geiger-Mullerova trubice (dále GMT) typu SBM 20. Tento detektor je umístěn rovnoběžně s podélnou osou skříňky přibližně v jedné třetině zleva. Je schopen detekovat záření gama s energií vyšší než 30 keV a záření beta s energií vyšší než 500 keV. K lokalizaci kontaminovaných míst je přístroj vybaven světelnou signalizací a zvukovou signalizací. Zvukovou signalizaci je možno stisknutím tlačítka na měřiči vypnout. V horní části přístroje je jednořádkový LCD displej, na kterém se zobrazují hodnoty dávkového příkonu v $\mu\text{Sv/h}$. Hodnoty se aktualizují každou sekundu. K napájení jsou použity 2 tužkové články typu AAA.



obrázek 1: Měřič dávkového příkonu PTR 12 Ga

3.2. Měřič dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

Tento měřicí přístroj v přenosném provedení (obr. 2) o rozměrech 195 x 73 x 42 mm je vhodný pro měření dávkového příkonu a dávky. Přístroj FH 40 G-L je vybaven masivním plastickým krytem, který je vodotěsný, aby odolal i extrémním pracovním podmínkám. Masivní tlačítka je možno ovládat i v pracovních rukavicích. Bateriový kompartment je oddělen od vnitřku přístroje, aby v případě netěsnosti baterií nebyla porušena elektronika přístroje. Přístroj je k registraci jednotlivých impulzů vybaven akusticky a dále je možno nastavit výši prahu dávkového příkonu, kdy při jeho překročení se spustí alarm. Měřič má podsvícený LCD displej. Hodnoty jsou zobrazovány jak digitálně tak v analogové formě, jako délka sloupce grafu (lišta). Stupnice přístroje se automaticky přepíná na zobrazení potřebného rozsahu spolu s jednotkami. Rozsah měření je 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ – 0,99 Sv/h. Energetický rozsah pro záření gama je 48 keV – 1,3 MeV. K napájení se používají 2 baterie typu Mignon 1,5 V nebo 2 lithiové baterie 1,5 V. Jestliže napětí měřiče klesne pod 2,2 V objeví se na displeji blikající symbol baterie. Jakmile napětí klesne na 1,8 V, přístroj se automaticky vypne. Vše kontroluje mikroprocesor. Jako detektor je použit proporcionální detektor o délce 25,8 mm a průměru 25 mm. Citlivost detektoru je 2,2 imp/s na $\mu\text{Sv/h}$. Střed detektoru je vymezen hrotem trojúhelníku na krytu a čtvercovou značkou na čele dozimetru.



obrázek 2: Měřič dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

3.3. MicroCont typu H 13422

MicroCont (obr. 3) je digitální monitor měření radioaktivní kontaminace tvaru „žehličky“. Je vybaven velkoplošným proporcionalním detektorem o účinné ploše 226 mm x 112 mm. Jako náplň detektoru je použit xenon. Jako zhasací plyn je použito 15% metanu. Tento hermeticky utěsněný detektor je vhodný pro měření beta a gama kontaminace. Z nízkoenergetických zářičů nejčastěji používaných na ÚNM VFN to jsou ^{99m}Tc , ^{111}In , ^{125}I , ^{131}I . Folie, kterou je detektor pokryt, je vyrobena z titanu o hmotnosti 5 mg/cm². Folie je tam z důvodu, aby bylo možné registrovat nízkoenergetické beta zářiče např. ^{14}C . Xenonový detektor nevyžaduje žádnou dodávku plynu a v případě mechanického poškození folie musí opravu provést výrobce.

Velkoplošný LCD displej s kapalnými krystaly, který může být osvětlen, poskytuje řadu parametrů a funkcí, umožňuje rovněž měření v číslicové a analogové podobě. Parametry zvoleného měření mohou být zobrazovány v jednotkách imp/s, imp/s po odečtení pozadí, Bq nebo Bq/cm². Přístroj je vybaven jednoduchou pamětí EEPROM, kde jsou uložena specifická data o přístroji a poslední výsledky měření. K napájení jsou použity tři standardní monočlánky IEC R14, každý o napětí 1,5 V. Při měření s tímto detektorem se setkáme s relativně dlouhou časovou konstantou. Při změně aktivity musí být hodnoty odečítány až po 20 až 30 sekundách.



obrázek 3: MicroCont typu H 13422

3.4. Scintilační detektor NKG 314 + spektrometr JKA 300

Analyzátor JKA 300 je určen pro zpracování signálu ze 4 standardních scintilačních sond s jednožilovým napájením, které jsou zapojeny na speciální slučovač. Spektrometr obsahuje 3 nezávislé měřicí trasy, kdy každá trasa je tvořena 100 kanálovým amplitudovým analyzátozem impulsů a čítačem impulsů. Šíře kanálu analyzátoru impulsů je 30 mV. Přístroj je vybaven autokalibrací pro nastavení energetického rozsahu měření. Pro ovládání slouží klávesnice s 16 tlačítky s akustickou signalizací stisku tlačítka. K zobrazení údajů je použit alfanumerický LCD displej 4 řádky x 20 znaků s možností podsvětlení pro práci za nepříznivých světelných podmínek. Pro záznam naměřených hodnot lze připojit tiskárnu nebo údaje přenést pomocí sériového rozhraní do počítače. Konektory pro připojení jsou na horním čele přístroje. Na dolním čele je konektor výstupu vysokého napětí zdroje (označen SONDA1), konektor vstupu zesilovače (označen SONDA2), vypínač přístroje, vypínač osvětlení displeje a konektor pro připojení síťového napáječe. Výstupní napětí zdroje je 400 až 1250 V a maximální výstupní proud 1,5 mA. Maximální četnost impulsů ze sondy je 30 000 imp/s. Vyhodnocení je možné jak v integrálním, tak diferenciálním spektru. Ovládání přístroje je řešeno systémem menu zobrazovaných na displeji. Nastavení parametrů přístroje je ukládáno do zálohované paměti. Je možno nastavit a uložit až 7 konfigurací. Při zapnutí přístroje se automaticky zobrazí naposledy používaná konfigurace. Napájení přístroje zajišťují vestavěné akumulátory, které se dobíjejí síťovým napáječem. Spektrometr je vestavěn do plastové skříňky o rozměrech 200 x 110 x 50 mm.

Scintilační detektor NKG 314 je určen pro měření nízkých aktivit vzorků, emitujících záření gama nízkých a středních energií. Skládá se ze zapouzdřeného krystalu NaI (TI) studnového typu, sondy s fotonásobičem, děličem napětí na jednotlivé dynody a olověného stínění o tloušťce cca 9 cm. Vzorky o objemu do 5 cm³ ve zkumavkách se vkládají do studny detektoru a jsou měřeny v geometrii 4 π .

3.5. Měřič aktivity BQMETR 3

Bqmetr je určen k měření aktivity radiofarmak. Vzorky je možno měřit v penicilinkách, ampulích nebo plastových injekčních stříkačkách, které se vkládají do příslušných přípravků, v nichž se spouštějí do studny ionizační komory. Jako plynová náplň je použit argon pod tlakem 0,35 MPa. Přístroj se skládá z měřicí části, tvořené studnovou ionizační komorou a zdroje vysokého napětí. Ionizační komora má výšku 270 mm, průměr 200 mm a pracuje při napětí 1000 V. Samotná studna má průměr 45 mm a hloubku 206 mm. Dále se přístroj skládá z vyhodnocovací části, která je umístěna odděleně. Vyhodnocovací část obsahuje desku řídicího mikropočítače s napájecí zdrojem včetně zálohovacího akumulátoru a desku displeje s ovládacími tlačítky. Měření je možno provádět ručně pomocí tlačítek jednotlivě nebo cyklicky nebo automaticky řídicím počítačem typu PC XT/AT. Naměřené hodnoty lze odečítat na LCD displeji. Displej tvoří 2 řádky po 16 znacích. K Bqmetru 3 je možno připojit externí displej nebo paralelní tiskárnu. Rozměr aktivity je indikován barevně odlišenými diodami. Pro kBq zelenou, pro MBq žlutou a pro GBq červenou LED diodou.

4. EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

4.1. Postup při měření

Cílem experimentální části je zjistit, který z přístrojů je vhodnější k měření povrchové kontaminace, jaké jsou rozdíly v citlivosti a jakou minimální měřitelnou aktivitu je schopen přístroj změřit a tu porovnat s referenčními úrovněmi Monitorovacího programu ÚNM.

K experimentu jsem použil tři radionuklidy: ^{99m}Tc a ^{111}In používané v ÚNM a ^{125}I používané v ÚKBLD (Ústav klinické biochemie a laboratorní diagnostiky). Všechny zvolené radionuklidy jsou zdrojem záření gama, ale s rozdílným poločasem přeměny a rozdílnou hlavní energií gama. ^{111}In má poločas přeměny 2,8 dne a hlavní energii gama 171,3 keV a 245 keV. ^{99m}Tc má poločas přeměny 6,02 h a hlavní energii gama 140,5 keV. ^{125}I má poločas přeměny 60,2 dne a energie 27,2 keV a 35,5 keV.

Každý z radionuklidů byl nakapán na čtvereček buničiny o rozměrech 5 cm x 5 cm, a to na rohy a střed buničiny. Čtvereček buničiny byl vložen do eurofolie velikosti A4, aby se vyloučila případná kontaminace s povrchem pracovní plochy nebo naopak.

Měření jednotlivých radionuklidů s různými přístroji bylo provedeno krátce po sobě. Pro ^{99m}Tc jsem aktivitu měřeného vzorku přepočítával vždy k době měření s příslušným přístrojem. Pro přepočet jsem použil vztah (1).

$$A_t = A_0 \cdot (1/2)^n \quad \text{kde } n = t / t_{1/2} \quad (1)$$

kde: A_t je aktivita radionuklidu v čase $t = t$
 A_0 je aktivita radionuklidu v čase $t = 0$
 t je čas od začátku měření
 $t_{1/2}$ je poločas přeměny radionuklidu

Všechny hodnoty byly měřeny 5 krát. V tabulkách jsou uváděny průměrné hodnoty. Citlivost jednotlivých typů přístrojů jsem hodnotil podle minimální měřitelné odezvy (aktivity). Ke stanovení minimální měřitelné odezvy jsem použil dvě kritéria.

První kritérium je definované vztahem (2).

$$N_{S1} = 3 \cdot N_P \quad (2)$$

kde: N_{S1} je odezva přístroje v přítomnosti radionuklidu ($\mu\text{Sv/h}$, Bq/cm^2 , imp/s)

N_P je odezva přístroje na pozadí ($\mu\text{Sv/h}$, Bq/cm^2 , imp/s)

Druhé kritérium je definováno vztahem (3).

$$N_{S2} = N_P + 3 \cdot \sqrt{N_P} \quad (3)$$

Aktivitu měřeného vzorku – čtverečku buničiny jsem pro $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a ^{111}In stanovil na měřiči aktivit Bqmetru 3.

Pro vzorek ^{125}I jsem aktivitu stanovil na spektrometru JKA 300 se studnovým scintilačním detektorem porovnáním četnosti impulzů měřeného vzorku a etalonu ^{125}I o známé aktivitě.

Porovnání všech přístrojů jsem prováděl vždy s jedním vzorkem. Aktivitu vzorku – čtverečku buničiny – je uvedena vždy na začátku kapitoly příslušného radionuklidu.

Při měření na spektrometru JKA 300 jsem volil integrální vyhodnocení s diskriminační hladinou 80 keV pro $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a ^{111}In a 23 keV pro ^{125}I .

4.2. Výsledky měření pro ^{99m}Tc s jednotlivými přístroji

Aktivita čtverečku buničiny byla 687,01 kBq, tj. 27480 Bq/cm².

4.2.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

Nejprve jsem si změřil pozadí. Pozadí vzniká všudypřítomností přírodních zdrojů záření, kosmickým zářením a často také nežádoucími impulzy způsobenými samotným detektorem. K samotnému měření jsem použil dvě podložky o výšce 1,5 cm, k umístění přístroje. Pod ten, v místě detektoru jsem umístil vzorek radionuklidu.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (μSv/h)	0,15
^{99m}Tc (μSv/h)	7,59
N _{S1} (μSv/h)	0,45
N _{S2} (μSv/h)	0,187

tabulka 6: Měřené hodnoty pro ^{99m}Tc s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

4.2.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

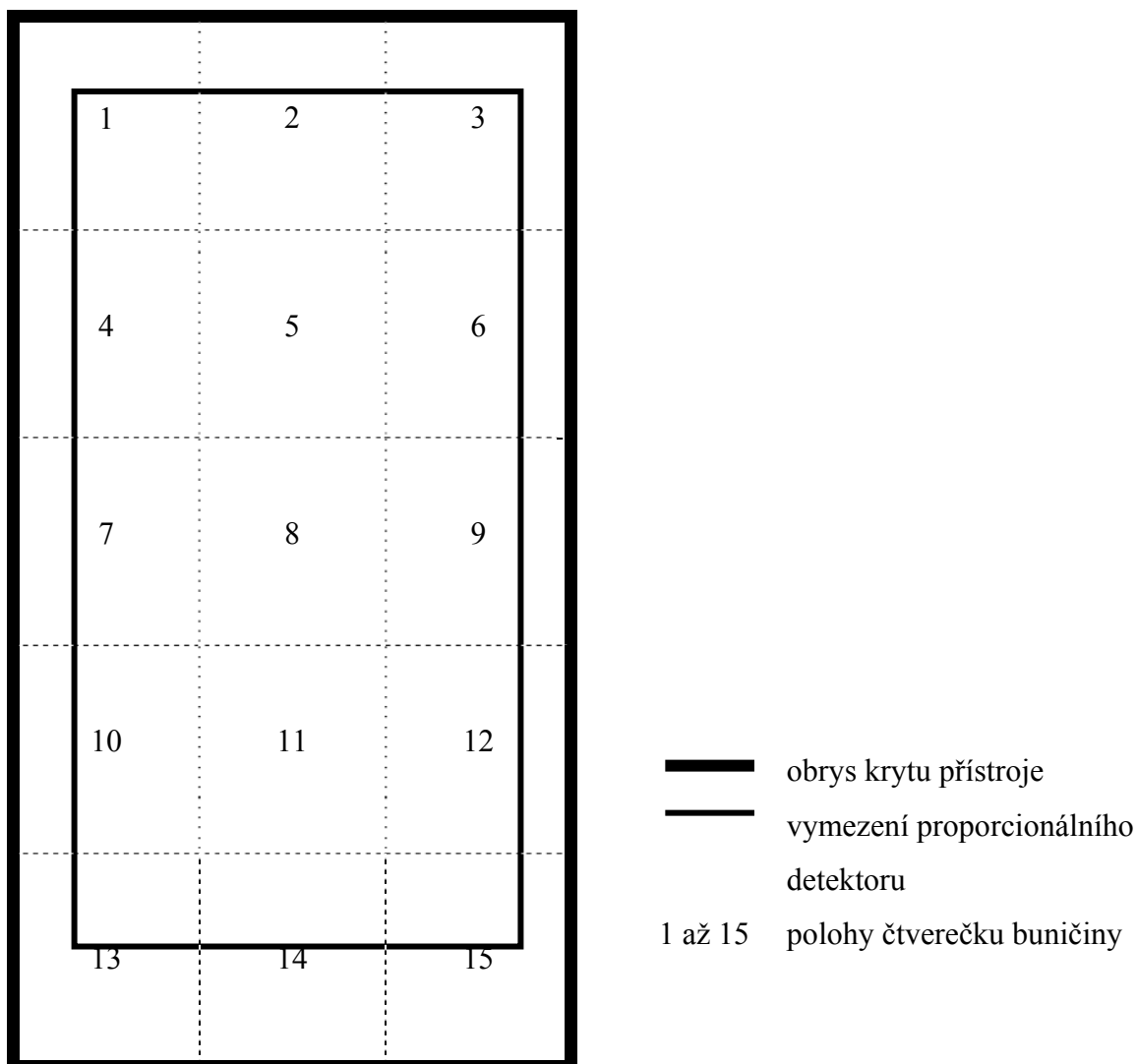
Nejprve jsem si změřil pozadí. Čtvereček buničiny s nakapaným ^{99m}Tc jsem umístil pod značku na čele přístroje. Přístroj byl postaven na dvou podložkách o výšce 1,5 cm.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (μSv/h)	0,115
^{99m}Tc (μSv/h)	7,526
N _{S1} (μSv/h)	0,345
N _{S2} (μSv/h)	0,147

tabulka 7: Měřené hodnoty pro ^{99m}Tc s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

4.2.3. MicroCont H 13422

Velkoplošný proporcionální detektor o účinné ploše 226 x 112 mm je umístěn zesponu přístroje. Detektor je chráněn proti znečištění a mechanickému poškození černým plastovým krytem, který je snímatelný. Jelikož přesná poloha detektoru není při běžném provozu vidět, vyrobil jsem si šablonu velikosti půdorysu krytu detektoru. Šablonu jsem si rozdělil na jednotlivá políčka velikosti čtverečku buničiny s radionuklidem. Na políčka jsem přikládal čtvereček buničiny a měřil jak se mění citlivost (detekční účinnost) pro různé polohy vzorku (místa zamoření) pod detektorem. Půdorys detektoru a krytu přístroje je v poměru 1:2 na obrázku 5.



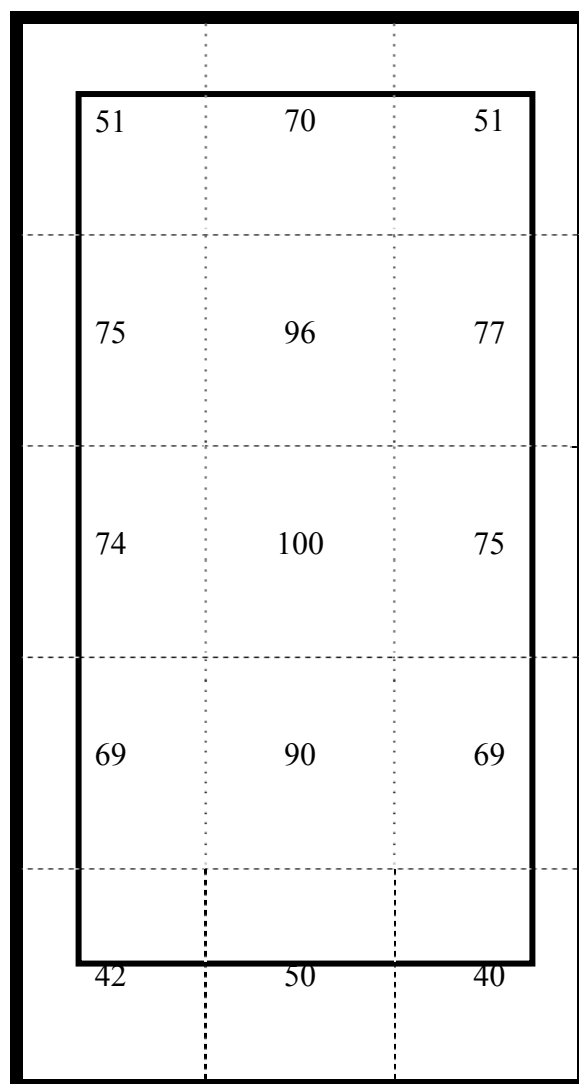
obrázek 5: Půdorys Microcontu H 13422 v poměru 1:2

Přístroj je vybaven delší časovou konstantou. První hodnotu pro pozadí jsem odečetl po 90 sekundách a další hodnoty v 30 sekundových intervalech. Stejný postup byl i pro samotné měření. Měřič byl vždy umístěn na podložce o výšce 1,5 cm nad příslušným políčkem spolu se čtverečkem buničiny. V tabulce 8 jsou četnosti impulzů přepočtené podle poločasů přeměny. Z těchto čistých hodnot (bez pozadí), jsem si spočítal relativní účinnost přístroje nad příslušným políčkem. Nejvyšší hodnota (ve středu detektoru) byla brána za 100 %.

Měření	Průměrné hodnoty (imp/s)	Průměrné četnosti impulzů bez pozadí (imp/s)	Relativní účinnosti (%)
Pozadí (imp/s)	30,2		
Poloha č. 1 (imp/s)	2258	2227,8	50,8
Poloha č. 2 (imp/s)	3088	3057,8	69,8
Poloha č. 3 (imp/s)	2257,6	2227,4	50,8
Poloha č. 4 (imp/s)	3295,6	3265,4	74,5
Poloha č. 5 (imp/s)	4249,6	4219,4	96,3
Poloha č. 6 (imp/s)	3396,8	3366,6	76,8
Poloha č. 7 (imp/s)	3257,4	3227,2	73,7
Poloha č. 8 (imp/s)	4412	4381,8	100
Poloha č. 9 (imp/s)	3319,6	3289,4	75,1
Poloha č. 10 (imp/s)	3054	3023,8	69
Poloha č. 11 (imp/s)	3963,8	3933,6	89,8
Poloha č. 12 (imp/s)	3030,4	3000,2	68,5
Poloha č. 13 (imp/s)	1888,2	1858	42,4
Poloha č. 14 (imp/s)	2230,8	2200,6	50,2
Poloha č. 15 (imp/s)	1791,6	1761,4	40,2

tabulka 8: Přepočtené četnosti impulzů ^{99m}Tc pro Microcont H 13422

Pro lepší orientaci jsem relativní účinnosti polí z tabulky 8 zakreslil do obrázku 6.



obrázek 6: Relativní účinnosti polí (%) Microcontu pro ^{99m}Tc z tabulky 8

Pro převod imp/s z tabulky 8 na plošnou aktivitu je potřeba znát absolutní aktivitu vzorku. Aktivita buničiny i naměřené četnosti impulzů byly přepočteny ke stejné době. Celková plocha půdorysu detektoru je 375 cm^2 . Celková aktivita půdorysu je $10305,2 \text{ kBq}$. Podělením celkové aktivity a plochy půdorysu dostanu plošnou aktivitu, která činí $27,48 \text{ kBq/cm}^2$. Tato plošná aktivita odpovídá celkové odezvě půdorysu detektoru, která činí $45040,4 \text{ imp/s}$.

Na základě naměřeného pozadí jsem spočítal:

$$N_{S1} = 90,6 \text{ imp/s, což odpovídá } 55,28 \text{ Bq/cm}^2$$

$$N_{S2} = 46,7 \text{ imp/s, což odpovídá } 28,49 \text{ Bq/cm}^2$$

Měřené hodnoty na Microcontu lze odečítat buď v četnostech impulzů (imp/s), v aktivitě (Bq), nebo v plošné aktivitě (Bq/cm²). Přepočet četnosti impulzů na aktivitu závisí na typu radionuklidu a příslušná konstanta je pevně uložena v přístroji. Přepočet na plošnou aktivitu předpokládá měření vzorku – zamořeného místa o ploše rovnající se nebo větší než detektor. Pokud má vzorek menší plochu, neodpovídá odečtená hodnota plošné aktivity vzorku. Proto jsem měřil všechny polohy vzorku 1 až 15 v četnostech impulzů. Z naměřených hodnot a známé aktivity čtverečku buničiny jsem spočítal hodnoty N_{S1} a N_{S2} a jim přiřadil příslušné plošné aktivity podle velikosti vzorku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 9.

Při výpočtu N_{S1} a N_{S2} byla při 50 cm² uvažovaná průměrná hodnota četnosti impulzů v políčku (8+9), (8+7), (8+11) a (8+5), obdobně při ploše 100 cm² v políčku (8+5+7+4), (8+7+10+11), (8+5+6+9) a (8+9+11+12), v rohu při ploše 50 cm² v políčku (1+4), (3+6), (10+13) a (12+15).

Měřené místo pod detektorem	Plocha (cm ²)	N_{S1} (Bq/cm ²)	N_{S2} (Bq/cm ²)
Celá plocha	375	55,28	28,49
Ve středu	100	167,31	86,24
Ve středu	50	309,31	159,44
Ve středu	25	568,2	292,88
V rohu	50	480,4	247,62
V rohu	25	1233,36	635,74

tabulka 9: Vliv umístění zamořeného místa pod detektorem na hodnoty N_{S1} a N_{S2}

Z tabulky je vidět, že při stejné plošné aktivitě vzorku jsou nejmenší měřitelné aktivity značně závislé na velikosti zamořeného místa a na jeho umístění pod detektorem.

4.2.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300

Nejprve jsem ve studnovém scintilačním detektoru změřil pozadí. Poté jsem do detektoru vložil zkumavku s uzávěrem, do které jsem smotal čtvereček buničiny. Výsledné hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 10.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (imp/s)	3,2
^{99m}Tc (imp/s)	84222
N_{S1} (imp/s)	9,6
N_{S2} (imp/s)	8,57

tabulka 10: Měřené hodnoty pro ^{99m}Tc se spektrometrem JKA 300

Nejmenší aktivity u spektrometru jsem vypočetl:

$$N_{S1} = 78,3 \text{ Bq}$$

$$N_{S2} = 69,9 \text{ Bq}$$

U spektrometru měříme celkovou aktivitu vzorku. Vyjádření v plošné aktivitě bude záležet na tom, jakou plochu setřeme buničinou (vatou), kterou vkládáme do zkumavky a měříme ve studnovém detektoru. Přitom je třeba, aby stěr na buničině (vatě) při vložení do zkumavky zaujímal objem 1 až 3 ml. Přepočtem pro různé plochy jsem dostal hodnoty plošné aktivity uvedené v tabulce 11.

Měření	Plocha 375 cm ²	Plocha 25 cm ²
N_{S1} (Bq/cm ²)	0,21	3,13
N_{S2} (Bq/cm ²)	0,19	2,8

tabulka 11: Nejmenší měřitelné plošné aktivity pro stěry a měření na spektrometru JKA 300

4.3. Výsledky měření pro ^{111}In

Aktivita čtverečku buničiny byla 121,8 kBq, tj. 4872 Bq/cm².

4.3.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

Nejprve jsem si změřil pozadí. K samotnému měření jsem použil dvě podložky o výšce 1,5 cm, k umístění přístroje. Pod ten, v místě detektoru jsem umístil vzorek radionuklidu.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (μSv/h)	0,15
^{111}In (μSv/h)	6,692
N _{S1} (μSv/h)	0,45
N _{S2} (μSv/h)	0,187

tabulka 12: Měřené hodnoty pro ^{111}In s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

4.3.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

Nejprve jsem si změřil pozadí. Čtvereček buničiny s nakapaným ^{111}In jsem umístil pod značku na čele přístroje. Přístroj byl postaven na dvou podložkách o výšce 1,5 cm.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (μSv/h)	0,115
^{111}In (μSv/h)	5,114
N _{S1} (μSv/h)	0,345
N _{S2} (μSv/h)	0,147

tabulka 13: Měřené hodnoty pro ^{111}In s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

4.3.3. MicroCont H 13422

Postup při měření ^{111}In byl stejný jako pro $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Měření	Průměrné hodnoty (imp/s)	Průměrné četnosti impulzů bez pozadí (imp/s)	Relativní účinnosti (%)
Pozadí (imp/s)	30,2		
Poloha č. 1 (imp/s)	1441	1410,8	44,8
Poloha č. 2 (imp/s)	2016,2	1986	63,1
Poloha č. 3 (imp/s)	1550	1519,8	48,3
Poloha č. 4 (imp/s)	2078	2047,8	65
Poloha č. 5 (imp/s)	3011	2980,8	94,7
Poloha č. 6 (imp/s)	2153,2	2123	67,4
Poloha č. 7 (imp/s)	2116	2085,8	66,2
Poloha č. 8 (imp/s)	3179	3148,8	100
Poloha č. 9 (imp/s)	2411,4	2381,2	75,6
Poloha č. 10 (imp/s)	2175,6	2145,4	68,1
Poloha č. 11 (imp/s)	3002	2971,8	94,4
Poloha č. 12 (imp/s)	2168,8	2138,6	67,9
Poloha č. 13 (imp/s)	1031	1000,8	31,8
Poloha č. 14 (imp/s)	1432	1401,8	44,5
Poloha č. 15 (imp/s)	1003,4	973,2	30,9

tabulka 14: Četnosti impulzů ^{111}In pro Microcont H 13422

Pro lepší orientaci jsem relativní účinnosti polí z tabulky 14 zakreslil do obrázku 7.

45	63	48
65	95	67
66	100	76
68	94	68

32 45 31

obrázek 7: Relativní účinnosti polí (%) Microcontu pro ^{111}In z tabulky 14

Pro převod imp/s z tabulky 14 na plošnou aktivitu je potřeba znát absolutní aktivitu vzorku. Celková plocha půdorysu detektoru je 375 cm^2 . Celková aktivita půdorysu je 1827 kBq . Podělením celkové aktivity a plochy půdorysu dostanu plošnou aktivitu, která činí $4,872 \text{ kBq/cm}^2$. Tato plošná aktivita odpovídá celkové odezvě půdorysu detektoru, která činí $30315,6 \text{ imp/s}$.

Na základě naměřeného pozadí jsem spočítal:

$$N_{S1} = 90,6 \text{ imp/s, což odpovídá } 14,56 \text{ Bq/cm}^2$$

$$N_{S2} = 46,7 \text{ imp/s, což odpovídá } 7,51 \text{ Bq/cm}^2$$

Z naměřených hodnot a známé aktivity čtverečku buničiny jsem spočítal hodnoty N_{S1} a N_{S2} a jim přiřadil příslušné plošné aktivity podle velikosti vzorku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 15.

Měřené místo pod detektorem	Plocha (cm²)	N_{S1} (Bq/cm²)	N_{S2} (Bq/cm²)
Celá plocha	375	14,56	7,51
Ve středu	100	42,15	21,73
Ve středu	50	76,72	39,54
Ve středu	25	140,18	72,26
V rohu	50	132,16	68,12
V rohu	25	359,99	185,56

tabulka 15: Vliv umístění zamořeného místa pod detektorem na hodnoty N_{S1} a N_{S2}

Z tabulky je vidět, že při stejné plošné aktivitě vzorku jsou nejmenší měřitelné aktivity značně závislé na velikosti zamořeného místa a na jeho umístění pod detektorem.

4.3.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300

Nejprve jsem ve studnovém scintilačním detektoru změřil pozadí. Poté jsem do detektoru vložil zkumavku s uzávěrem, do které jsem smotal čtvereček buničiny. Výsledné hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 16.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (imp/s)	3,2
^{111}In (imp/s)	48226
N_{S1} (imp/s)	9,6
N_{S2} (imp/s)	8,57

tabulka 16: Měřené hodnoty pro ^{111}In se spektrometrem JKA 300

Nejmenší aktivity u spektrometru jsem vypočetl:

$$N_{S1} = 24,25 \text{ Bq}$$

$$N_{S2} = 21,64 \text{ Bq}$$

U spektrometru měříme celkovou aktivitu vzorku. Vyjádření v plošné aktivitě bude záležet na tom, jakou plochu setřeme buničinou (vatou), kterou vkládáme do zkumavky a měříme ve studnovém detektoru. Přitom je třeba, aby stěr na buničině (vatě) při vložení do zkumavky zaujímal objem 1 až 3 ml. Přepočtem pro různé plochy jsem dostal hodnoty plošné aktivity uvedené v tabulce 17.

Měření	Plocha 375 cm ²	Plocha 25 cm ²
N_{S1} (Bq/cm ²)	0,065	0,97
N_{S2} (Bq/cm ²)	0,058	0,87

tabulka 17: Nejmenší měřitelné plošné aktivity pro stěry a měření na spektrometru JKA 300

4.4. Výsledky měření pro ^{125}I s jednotlivými přístroji

Aktivita čtverečku buničiny byla 2,107 kBq, tj. 84,28 Bq/cm².

4.4.1. Měření s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

Nejprve jsem si změřil pozadí. K samotnému měření jsem použil dvě podložky o výšce 1,5 cm, k umístění přístroje. Pod ten, v místě detektoru jsem umístil vzorek radionuklidu.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (μSv/h)	0,186
^{125}J (μSv/h)	0,186
N _{S1} (μSv/h)	0,558
N _{S2} (μSv/h)	0,227

tabulka 18: Měřené hodnoty pro ^{125}I s měřičem dávkového příkonu PTR 12 G

4.4.2. Měření s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

Nejprve jsem si změřil pozadí. Čtvereček buničiny s nakapaným ^{125}I jsem umístil pod značku na čele přístroje. Přístroj byl postaven na dvou podložkách o výšce 1,5 cm.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (nSv/h)	0,159
^{125}J (nSv/h)	0,159
N _{S1} (μSv/h)	0,477
N _{S2} (μSv/h)	0,197

tabulka 19: Měřené hodnoty pro ^{125}I s měřičem dávkového příkonu Thermo FH 40 G-L

4.4.3. MicroCont H 13422

Použil jsem stejný postup jako při měření ^{99m}Tc .

Měření	Průměrné hodnoty (imp/s)	Průměrné četnosti impulzů bez pozadí (imp/s)	Relativní účinnosti (%)
Pozadí (imp/s)	55,8		
Poloha č. 1 (imp/s)	84,2	28,4	49,3
Poloha č. 2 (imp/s)	95,8	40	69,4
Poloha č. 3 (imp/s)	84,2	28,4	49,3
Poloha č. 4 (imp/s)	91,2	35,4	61,5
Poloha č. 5 (imp/s)	111,8	56	97,2
Poloha č. 6 (imp/s)	94,8	39	67,7
Poloha č. 7 (imp/s)	102	46,2	80,2
Poloha č. 8 (imp/s)	113,4	57,6	100
Poloha č. 9 (imp/s)	90,2	34,4	59,7
Poloha č. 10 (imp/s)	88,4	32,6	56,6
Poloha č. 11 (imp/s)	110,8	55	95,5
Poloha č. 12 (imp/s)	84,8	29	50,3
Poloha č. 13 (imp/s)	68,2	12,4	21,5
Poloha č. 14 (imp/s)	81,2	25,4	44,1
Poloha č. 15 (imp/s)	70,6	14,8	25,7

tabulka 20: Četnosti impulzů ^{125}I pro Microcont H 13422

Pro lepší orientaci jsem relativní účinnosti polí z tabulky 20 zakreslil do obrázku 8.

49	69	49
62	97	68
80	100	60
57	96	50

22 44 26

obrázek 8: Relativní účinnosti polí (%) Microcontu pro ^{125}I z tabulky 20

Pro převod imp/s z tabulky 20 na plošnou aktivitu je potřeba znát absolutní aktivitu vzorku. Aktivita buničiny i naměřené četnosti impulzů byly přepočteny ke stejné době. Celková plocha půdorysu detektoru je 375 cm^2 . Celková aktivita půdorysu je $31,6 \text{ kBq}$. Podělením celkové aktivity a plochy půdorysu dostanu plošnou aktivitu, která činí $84,28 \text{ kBq/cm}^2$. Tato plošná aktivita odpovídá celkové odezvě půdorysu detektoru, která činí $534,6 \text{ imp/s}$.

Na základě naměřeného pozadí jsem spočítal:

$$N_{S1} = 167,4 \text{ imp/s, což odpovídá } 26,39 \text{ Bq/cm}^2$$

$$N_{S2} = 78,2 \text{ imp/s, což odpovídá } 12,33 \text{ Bq/cm}^2$$

Z naměřených hodnot a známé aktivity čtverečku buničiny jsem spočítal hodnoty N_{S1} a N_{S2} a jim přiřadil příslušné plošné aktivity podle velikosti vzorku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 21.

Měřené místo pod detektorem	Plocha (cm²)	N_{S1} (Bq/cm²)	N_{S2} (Bq/cm²)
Celá plocha	375	26,39	12,33
Ve středu	100	75,29	35,17
Ve středu	50	133,73	62,47
Ve středu	25	244,94	114,42
V rohu	50	256,52	119,83
V rohu	25	671,83	313,84

tabulka 21: Vliv umístění zamořeného místa pod detektorem na hodnoty N_{S1} a N_{S2}

Z tabulky je vidět, že při stejné plošné aktivitě vzorku jsou nejmenší měřitelné aktivity značně závislé na velikosti zamořeného místa a na jeho umístění pod detektorem.

4.4.4. Scintilační detektor NKG 314 a spektrometr JKA 300

Nejprve jsem ve studnovém scintilačním detektoru změřil pozadí. Poté jsem do detektoru vložil zkumavku s uzávěrem, do které jsem smotal čtvereček buničiny. Výsledné hodnoty jsem zaznamenal do tabulky 22.

Měření	Průměrné hodnoty
Pozadí (imp/s)	3,3
^{125}J (imp/s)	1565,7
N_{S1} (imp/s)	9,9
N_{S2} (imp/s)	8,7

tabulka 22: Měřené hodnoty pro ^{125}I se spektrometrem JKA 300

Nejmenší aktivity u spektrometru jsem vypočet:

$$N_{S1} = 13,32 \text{ Bq}$$

$$N_{S2} = 11,7 \text{ Bq}$$

U spektrometru měříme celkovou aktivitu vzorku. Vyjádření v plošné aktivitě bude záležet na tom, jakou plochu setřeme buničinou (vatou), kterou vkládáme do zkumavky a měříme ve studnovém detektoru. Přitom je třeba, aby stěr na buničině (vatě) při vložení do zkumavky zaujímal objem 1 až 3 ml. Přepočtem pro různé plochy jsem dostal hodnoty plošné aktivity uvedené v tabulce 23.

Měření	Plocha 375 cm ²	Plocha 25 cm ²
N_{S1} (Bq/cm ²)	0,036	0,53
N_{S2} (Bq/cm ²)	0,031	0,47

tabulka 23: Nejmenší měřitelné plošné aktivity pro stěry a měření na spektrometru JKA 300

5. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V tabulce jsou přehledně uvedeny hodnoty nejmenší měřitelné odezvy pro jednotlivé radionuklidy a různé typy přístrojů.

Přístroj	^{99m} Tc		¹¹¹ In		¹²⁵ I	
	N _{S1}	N _{S2}	N _{S1}	N _{S2}	N _{S1}	N _{S2}
PTR 12 G (μSv/h)	0,45	0,187	0,45	0,187	0,558	0,227
FH 40 GL (μSv/h)	0,345	0,147	0,345	0,147	0,477	0,197
Microcont						
S 375 (Bq/cm ²)	55,28	28,49	14,56	7,51	26,39	12,33
S 100 (Bq/cm ²)	167,31	86,24	42,15	21,73	75,29	35,17
S 25 (Bq/cm ²)	568,2	292,88	140,18	72,26	244,94	114,42
R 25 (Bq/cm ²)	1233,36	635,74	359,99	185,56	671,83	313,84
Spektrometr						
375 (Bq/cm ²)	0,21	0,19	0,065	0,058	0,036	0,031
25 (Bq/cm ²)	3,13	2,8	0,97	0,87	0,53	0,47

tabulka 24: Přehled hodnot minimální měřitelné odezvy. S značí umístění zamořeného místa ve středu, R v rohu detektoru. Číslo je velikost zamořené plochy.

Z tabulky shodně pro všechny měřené radionuklidy vyplývá:

- 1) Citlivost obou hodnocených měřičů dávkového příkonu (PTR 12 G, FH 40 G-L) je prakticky shodná, i když typ detektoru a jeho rozměry se liší. Uvedené hodnoty platí za předpokladu, že přístroj umístíme nad zamořené místo o rozměrech do cca 25 cm².
S rostoucí plochou zamořeného místa se bude citlivost snižovat.
- 2) Citlivost vyjádřená v Bq/cm² je značně závislá na velikosti vzorku – zamořeného místa. Hodnota uvedená na displeji přístroje platí pouze v případě, že vzorek má alespoň rozměr detektoru nebo je větší.

- 3) Z důvodů geometrické závislosti odezvy je třeba pro měřiče dávkového příkonu i měřič zamoření nejdříve vyhledat maximální odezvu a pak teprve provést měření.
- 4) Nejcitlivější způsob vyhodnocení je měření stěrů ve studnovém scintilačním detektoru s tím, že musí být uvedena plocha, ze které je stěr proveden. Pro vyjádření hodnoty zamoření v Bq/cm² je třeba pro sestavu spektrometru se scintilačním detektorem znát detekční účinnost sestavy pro měřený radionuklid (převod imp/s na Bq). Jedná se o metodu nepřímou, a tedy časově náročnější než přímé metody uvedené v bodě 1 až 3.

Úkolem diplomové práce bylo kromě porovnání citlivosti přístrojů i posouzení možnosti jejich použití při kontrole referenčních úrovní Programu monitorování ÚNM. Pro kontrolu povrchové kontaminace pracovníků, pracovních oděvů i pracovních ploch ve sledovaném pásmu jsou uvedeny shodné limity při měření s měřiči dávkové příkonu.

Referenční úroveň	Příkon dávkového ekvivalentu
Záznamová úroveň	0,7 μSv/h
Vyšetřovací úroveň	5 μSv/h
Zásahová úroveň	100 μSv/h

tabulka 25: Referenční úrovně příkonu dávkového ekvivalentu pro povrchovou kontaminaci pracovníků, pracovních oděvů a pracovních ploch ve sledovaném pásmu

Porovnáme-li tyto hodnoty s hodnotami N_{S1} a N_{S2} , je vidět, že lze zkontrolovat všechny uvedené referenční úrovně a to i v kontrolovaném pásmu (viz tabulku 4 na straně 11, kde jsou hodnoty úrovní ještě vyšší). Pro ¹²⁵I však tento závěr neplatí, neboť energie záření gama tohoto radionuklidu je nižší než udávaný energetický práh PTR 12 G i FH 40 G-L a tyto přístroje jsou pro ¹²⁵I prakticky necitlivé.

Při měření plošné kontaminace v Bq/cm² jsou pro měřené radionuklidy uváděny v Programu monitorování ÚNM následující referenční úrovně (kBq/m² přepočteny na Bq/cm²).

Referenční úroveň	Místo	Plošná aktivita (Bq/cm ²)	
		^{99m} Tc	¹¹¹ In, ¹²⁵ I
Záznamová úroveň	Pracovníci, oděvy	3	0,3
	Pracovní plochy, podlahy	30	3
Vyšetřovací úroveň	Pracovníci, oděvy	15	1,5
	Pracovní plochy, podlahy	150	15
Zásahová úroveň	Pracovníci, oděvy	30	3
	Pracovní plochy, podlahy	300	30

tabulka 26: Referenční úrovně plošné aktivity pro pracovníky, pracovní oděvy, pracovní plochy a podlahy

Pro ^{99m}Tc jsou MicroContem měřitelné všechny úrovně plošného zamoření pracovních ploch a podlahy, pokud přístroj nastavíme na místo s největší odezvou a rozměr zamořeného místa bude porovnatelný s plochou detektoru. Vyšetřovací a zásahovou úroveň lze kontrolovat i při menší ploše zamořeného místa. Při kontrole pracovníků a oděvů a dostatečně velkém místě zamoření lze zkontrolovat zásahovou úroveň.

Pro ¹¹¹In a ¹²⁵I jsou limitní hodnoty o řád přísnější, MicroContem lze kontrolovat zásahovou úroveň pro měření pracovních ploch a podlah při ploše větší než 100 cm² a orientačně prověřit vyšetřovací úroveň.

Spektrometrem ve spojení se studnovým detektorem lze kontrolovat všechny referenční úrovně pro uvedené radionuklidy, a to jak při kontrole pracovníků a oděvů, tak při kontrole pracovních ploch a podlah.

6.ZÁVĚR

Měřiče dávkového příkonu volíme za předpokladu, že se jedná o místo zamoření o malé ploše a přístrojem vyhledáme největší odezvu, tj. přístroj bude cca 1 cm nad kontaminovaným místem. Měřiče lze použít pro kontrolu všech referenčních úrovní ve sledovaném i kontrolovaném pásmu s výjimkou ^{125}I .

Nejmenší měřitelná hodnota u měřiče zamoření Microcontu závisí značně na velikosti zamořeného místa a jeho poloze vůči detektoru.

Spektrometr je nejcitlivějším přístrojem. Z hodnoty N_{S1} a N_{S2} je vidět, že tento přístroj změří celkové aktivity stěrů v hodnotách desítek Bq a hodnota plošné aktivity bude závislá na velikosti plochy, ze které se provádí stěr. Tento přístroj tedy vyhovuje s rezervou pro všechny tři úrovně, a to jak pro kontrolu ploch dle tabulky 5 na straně 12, tak pro kontrolu osob dle tabulky 3 na straně 10.

Ve shodě se zadáním diplomové práce je uvedeno vzájemné porovnání citlivosti přístrojů a možnost jejich použití pro kontrolu referenčních úrovní uvedených v Programu monitorování ÚNM 1. LF a VFN.

7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vyhláška SÚJB O radiační ochraně č.307/Sb., 2002
- [2] V. Vrána, O. Nováková: Program monitorování pro klinický provoz zdrojů ionizujícího záření v Ústavu nukleární medicíny VFN, Praha 2004
- [3] D. Kotalová, O. Nováková: Pracovní postupy pro zkoušky provozní stálosti, ÚNM a VFN, Praha, 2006
- [4] O. Nováková, V. Vrána, L. Judas: Program zabezpečování jakosti pro klinický provoz zdrojů ionizujícího záření, ÚNM VFN a 1.LF UK, Praha, 2003
- [5] PTR 12 G- návod k obsluze a údržbě
- [6] Thermo FH 40 G-L - návod k obsluze a údržbě
- [7] MicoCont verze H 13422 - provozní pokyny
- [8] JKA 1102 - návod k obsluze a údržbě
- [9] Bqmetr 3 - návod k použití, Praha 10, 2007
- [10] Olga Nováková: Detekce ionizujícího záření v nukleární medicíně, ÚNM 1.LF a VFN, Praha 2003
- [11] Knoll, F. Glenn: Radiation detection and measurement, John Wiley & Sons, New York, c2000
- [12] K. Bakos, V. Hušák: Nukleární medicína, Avicenum, Praha, 1985
- [13] Program Monitorování pro Laboratoř molekulární kardiologie ÚKB LD