

SÚJCHBO, v.v.i.

Certifikovaná metodika

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i.

Hodnocení kvality ochranných oděvů určených k ochraně osob proti ionizujícímu záření pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB

Mgr. Michaela Kozlovská, Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.

Realizační výstup projektu MV ČR: „*Výzkum moderních metod detekce a identifikace nebezpečných chemických, biologických, jaderných a radioaktivních látok (CBRN) a materiálů, metod snížení jejich nebezpečnosti a dekontaminace; výzkum moderních prostředků ochrany osob a prvků kritické infrastruktury*“.

Kód projektu: VF20112015013

Oponent: Ing. Jaroslav Šolc, Ph.D.

Oponent: Ing. Ondřej Šťastný

Uplatněno:

Schválil: kulaté razítko

.....
Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.
vedoucí Odboru jaderné ochrany,
SÚJCHBO, v.v.i.

.....
MUDr. Stanislav Brádka, Ph.D.
ředitel SÚJCHBO, v.v.i.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	1
1. CÍL CERTIFIKOVANÉ METODIKY	1
2. VLASTNÍ POPIS METODIKY	1
2.1. Úvod	1
2.2. Materiál a přístroje.....	2
2.3. Pracovní postup	3
A. Stanovení parametrů ochranného oděvu.....	4
a. Popis ochranného oděvu a materiálu.....	4
b. Stanovení hmotnosti ochranného oděvu	4
c. Stanovení plochy ochranného oděvu.....	4
d. Stanovení tloušťky ochranného oděvu	4
e. Výpočet plošné hmotnosti ochranného oděvu	4
B. Přípravné práce	5
a. Příprava zařízení k činnosti	5
b. Energetická rekalibrace sondy	5
c. Kontrola energetické kalibrace sondy	5
d. Sestavení geometrie měření	5
C. Měření spekter	6
a. Měření spekter pozadí před začátkem vlastního měření	6
b. Měření spekter zářiče bez ochranného oděvu	6
c. Měření spekter zářiče s ochranným oděvem	6
d. Kontrolní měření spekter zářiče bez ochranného oděvu	7
e. Měření spekter pozadí po skončení vlastního měření	7
D. Zpracování výsledků měření	7
a. Stanovení čistých ploch pílků spekter po odečtu pozadí.....	7
b. Kontrola neměnnosti geometrie měření	8
c. Stanovení zeslabení fluence gama záření v ochranném oděvu	8
d. Stanovení ekvivalentu olova	9
e. Souhrnná tabulka výsledků pro všechna měřená místa daného vzorku ochranného oděvu	10
2.4. Údržba přístroje INSPECTOR 1000	11
3. INOVACNÍ ASPEKTY, NOVOST POSTUPŮ.....	11
4. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	11
5. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY.....	11
6. SEZNAM PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ	12
Příloha č. 1:	13
Příloha č. 2:	14

Příloha č. 3:	15
Příloha č. 4:	16
Příloha č. 5:	17
Příloha č. 6:	18
Příloha č. 7:	19
Příloha č. 8:	20
Příloha č. 9:	21

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚJCHBO, v.v.i.	Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, veřejná výzkumná instituce
Nepřímo ionizující záření	záření, které není vytvořeno nabitymi částicemi
Fluence	počet kvant záření procházejících za 1 sekundu jednotkovou plochou směřující kolmo na směr šíření záření
H*(10)	příkon prostorového dávkového ekvivalentu
Detektorové spektrum	spektrum odezvy detektoru na fluenci částic daného radionuklidu
GM trubice	<i>Geiger – Müller tube</i> , součást GM plynového ionizačního detektoru
NaI(Tl)	jodid sodný, dotovaný thaliem
LaBr ₃	bromid lanthanitý
IPROL – 1	<i>Intelligent LaBr Probe</i> , externí scintilační spektrometrická sonda s LaBr ₃ krystalem, příslušenství spektrometru INSPECTOR 1000
Centroid píku	energie ve spektru impulzů detektoru, na které je detekováno nejvíce impulsů daného píku
IPRON – N	<i>Intelligent Neutron Probe</i> , externí detekční ³ He sonda určená pro měření odezvy neutronů (v CPS), příslušenství spektrometru INSPECTOR 1000
³ He	izotop helia
TheInSpectorMaintenance Utility	program pro komunikaci spektrometru INSPECTOR 1000 s externím počítačem
GENIE 2000	software firmy CANBERRA Industries, Inc. pro vyhodnocování naměřených spekter
Příruční HPGe detektor	<i>HighPurity Germanium</i> detektor, přenosný polovodičový detektor pro gamaspektrometrické měření in situ

Build-upfactor	vzrůstový faktor, zvýšení počtu kvant gama záření v původním širokém svazku záření, vlivem vícenásobného rozptylu záření při průchodu stínícím materiélem
EASY MODE	režim nastavení spektrometru INSPECTOR 1000 pro nabírání a vyhodnocování spekter, vhodný pro méně kvalifikované uživatele
LUCIA	<i>Laboratory Universal Computer Image Analysis</i> , měřicí zařízení a software pro vyhodnocování velikosti zobrazených ploch 2. řádu, např. vodorovně umístěných ochranných oděvů
^{137}Cs	radioaktivní izotop cesia
^{241}Am	radioaktivní izotop americia
^{60}Co	radioaktivní izotop kobaltu
^{152}Eu	radioaktivní izotop europia
ASF soubor	<i>Automatic Sequence Analysis File</i> , soubor automatické sekvenční analýzy, pomocí kterého je prováděno automatické vyhodnocení naměřeného spektra spektrometrem INSPECTOR 1000
The ANSI Nuclear Library	knihovna radionuklidů pro spektrometr INSPECTOR 1000, vhodná pro orientační měření přírodního pozadí
NORM	knihovna radionuklidů pro spektrometr INSPECTOR 1000, vhodná pro orientační měření přírodního pozadí
CPS	<i>Counts per Second</i> , počet naměřených impulsů za sekundu
FWHM	<i>Full Width in Half Maximum</i> , pološířka píku, tj. šířka píku v polovině jeho výšky

1. CÍL CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Cílem certifikované metodiky *Hodnocení kvality ochranných oděvů určených k ochraně osob proti ionizujícímu záření pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB* je poskytnout ucelený základní nástroj pro testování osobních ochranných prostředků pomocí bodových zdrojů ionizujícího záření a určení relativního zeslabení fluencerentgenového a gama záření emitovaného různými radionuklidy ve speciálních ochranných oděvech proti nepřímo ionizujícímu rentgenovému a gama záření, které je velmi pronikavé. Tyto ochranné oděvy je možno potenciálně využít pracovníky Integrovaného záchranného systému v případě podezření na možný výskyt radioaktivních látek v zásahovém prostoru.

Dle stanovené hodnoty procentuálního zeslabení fluence rentgenového a gama záření lze pak pro jednotlivé ochranné oděvy určit oblast energií, respektive radionuklidů, jejichž záření je daným speciálním ochranným oděvem zeslabováno minimálně o stanovený počet procentních bodů, např. 50.

Z hodnoty zeslabení fluence rentgenového a gama záření lze pak pro daný ochranný oděv a danou energii záření stanovit ekvivalent olova, tj. tloušťku olova, která by záření o dané energii zeslabovala stejně jako daný ochranný oděv. Podle ekvivalentu olova pro danou energii gama záření pak lze ochranné oděvy mezi sebou porovnávat.

2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1. Úvod

Po havárii reaktoru v jaderné elektrárně Fukushima Daiichi (Japonsko, 2011) bylo mimo jiné vynaloženo velké úsilí na výzkum v oblasti osobních ochranných prostředků proti nepřímo ionizujícímu fotonovému záření. Mnoho výrobců, kteří vyrábějí tento druh osobních ochranných prostředků, vstoupilo na trh s novými produkty, které poskytují celotělovou nebo lokální ochranu pracovníků zasahujících v případě radiační havárie. Jednotlivé osobní ochranné prostředky proti nepřímo ionizujícímu rentgenovému a gama záření se od sebe velmi odlišují použitým materiélem pro stínící vrstvu a její tloušťkou, což má za důsledek různou úroveň zeslabení fluence nepřímo ionizujícího záření (tj. rentgenového záření a záření gama) těmito ochrannými prostředky.

Úroveň zeslabení fluence fotonového záření v daném ochranném oděvu lze stanovit z naměřených detektorových spekter gama záření pomocí poklesu velikosti čisté plochy písku gama záření o určité energii centroidu naměřeném spektru gama záření procházejícího daným ochranným oděvem, oproti čisté ploše písku gama záření o téže energii centroidu stanovené měřením bez přítomnosti ochranného oděvu.

Pro měření spekter gama záření je v rámci této metodiky používán přístroj INSPECTOR 1000, což je přenosný scintilační detektor vyráběný firmou CANBERRA Industries, Inc., která je součástí nadnárodního koncernu AREVA. Jedná se o přenosný spektrometr, který měří příkon prostorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ pomocí vnitřní GM trubice, a po připojení externí scintilační sondy kromě stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ a naměření spektra identifikuje jednotlivé radionuklidы a stanovuje jejich aktivitu. Přístroj INSPECTOR 1000 s externí scintilační sondou je znázorněn v příloze č. 1.

Externí scintilační sondy obsahují buď krystal NaI(Tl) nebo LaBr₃. Pro užití spektrometru INSPECTOR 1000 v rámci této metodiky je výhodnější použít sondu IPROL-1 se scintilačním detektorem LaBr₃ o rozměrech krystalu 1,5 x 1,5“ (zhruba 3,8 x 3,8 cm), který má lepší energetické rozlišení (tj. poměr pološírky píku a energiecentroidu tohoto píku) než scintilační detektor NaI(Tl). Kromě externích scintilačních sond může být k přístroji INSPECTOR 1000 připojena současně i externí sonda IPRON-N s ³H detektorem pro měření toku neutronů.

Naměřená spektra mohou být automaticky vyhodnocována v reálném čase v samotném spektrometru INSPECTOR 1000, nebo je možno je pomocí programu TheInSpectorMaintenance Utility zkopírovat do počítače a tam je vyhodnotit pomocí programu GENIE 2000, což je přesnější a komplexnější způsob vyhodnocení.

Výhodou použití spektrometru INSPECTOR 1000 s externí scintilační sondou pro měření spekter je možnost v dané geometrii měření použít zdroje záření vyšší aktivitou, a tím měřit vyšší četnosti impulsů, než při použití příručního polovodičového HPGe detektoru. Tento detektor se totiž při vyšších četnostech impulsů zahlcuje a velmi se u něj zvětšuje mrtvá doba, a tím i nepřesnost měření vlivem koincidencí signálů od jednotlivých impulsů.

Další výhodou použití externí scintilační sondy je její velmi snadná kolimace, což je důležité pro měření v geometrii úzkého svazku záření, kdy je minimalizována hodnota vztušového faktoru (build-up factor). V geometrii širokého svazku záření totiž dochází při průchodu svazku záření stínícím materiélem nadhodnocování počtu fotonů vesvazku vlivem návratu několikanásobně odražených fotonů do původního svazku gama záření.

Výhodou spektrometru INSPECTOR 1000 je rovněž možnost při nabírání spekter pracovat v tzv. EASY MODE režimu, který je vhodný pro méně kvalifikované uživatele a ve kterém nelze měnit parametry nastavení přístroje pro nabírání a vyhodnocování spekter. (Nevýhodou tohoto režimu je pak např. nemožnost změnit dobu nabírání spektra, tato doba se dá pouze prodloužit několikanásobným nabráním spektra za sebou).

2.2. Materiál a přístroje

- spektrometr INSPECTOR 1000 s dodávaným softwarem (programy TheInSpectorMaintenance Utility a GENIE 2000)
- externí scintilační sonda IPROL-1
- rekalibrační zdroj, např.zdroj ¹³⁷Cs o aktivitě 370 – 740 Bq pro energetickou rekalibraci
- kalibrační zdroj pro energetickou kalibraci, např. směsný zdroj ²⁴¹Am, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs o celkové aktivitě 20 – 30 kBq. (Pozn: energetickou kalibracíze rovněž provádět pomocí spektra přírodního pozadí, měřeného po dobu nejméně 30000s.)
- laboratorní zářiče, jejichž energetické linky pokrývají širokou oblast spektra, například:
 - ⁶⁰Co, aktivita 20 - 50 MBq
 - ¹³⁷Cs, aktivita 20 - 50 MBq
 - ¹⁵²Eu, aktivita 20 - 50 MBq
 - ²⁴¹Am, aktivita 30-300 MBq,

(Pozn: energetické linky použité při vyhodnocování spekter a jim odpovídající výtěžky gama záření výše zmíněných radionuklidů jsou uvedeny v tabulce 1, která je součástí přílohyč. 2.)

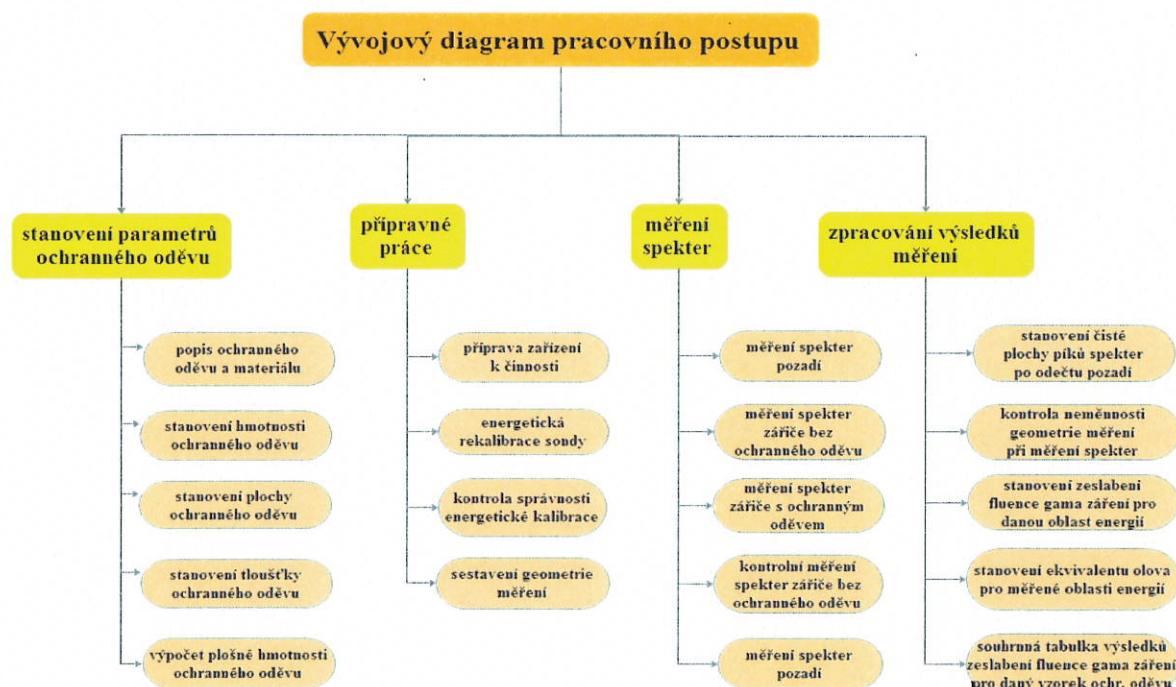
- olověné stínění vhodného tvaru ke kolimování fotonových svazků emitovaných laboratorním zářiči: 2 malé duté válce s vnitřním průměrem 1 - 2 cm (dle průměru zářiče), vnějším průměrem alespoň 11-12 cm a délkou alespoň o 7 cm větší, než je délka zářičů. Tyto kolimátory je možno nahradit soustavou kolimátorů s větším vnitřním průměrem a

vnitřních kolimátorů s průměrem 1-2 cm, celková tloušťka obou kolimátorů pak musí být nejméně 5 cm. Vnitřní průměr kolimátorů maximálně 2cm je dán normou ČSN EN 61331-1. Tloušťka kolimátorů pro kolimování fotonových svazků minimálně 5 cm je nutná kvůli zeslabení fluence vysoce energetického záření gama (např. fluence záření radionuklidu ^{60}Co bude touto tloušťkou zeslabena na cca 1/30), jejich délka minimálně o 7 cm přesahující záříč zajišťuje dostatečné zeslabení fluence vysokoenergetického záření gama (např. fluence záření radionuklidu ^{60}Co bude touto délkou zeslabena na méně než 1/100).

- olověné stínění vhodného tvaru ke kolimování externí scintilační sondy: 1 velký dutý válec s vnitřním průměrem cca 7 cm, vnějším průměrem alespoň 17 cm a délkou alespoň 40 cm. Rozměry kolimátoru pro kolimování sondy IPROL-1 jsou odvozeny z jejích rozměrů, pro tloušťku platí stejný požadavek na zeslabení fluence fotonového záření radionuklidů přírodního pozadí (např. radionuklidu ^{40}K nebo ^{208}Tl).
- olověné stínění ve formě cihel k radiační ochraně osob provádějících měření
- vhodné měřicí místo k nastavení potřebné geometrie měření, které unese vyšší hmotnost olověného stínění
- držák na měřené oděvy, který unese jejich vyšší hmotnost
- plošný scanner (součást zařízení LUCIA) ke skenování ploch 2. řádu, v tomto případě ochranných oděvů
- software LUCIA (upravený vyhodnocovací software NIS-Elements 2.30) pro určení velikosti ploch 2. řádu
- váhy s rozsahem minimálně 15 kg
- mikrometrický šroub

2.3. Pracovní postup

Na obrázku 1 je znázorněn vývojový diagram pracovního postupu při hodnocení kvality ochranných oděvů určených kochraněosob proti nepřímo ionizujícímu rentgenovému a gamazáření dle této metodiky.



Obr. 1: Vývojový diagram pracovního postupu

A. Stanovení parametrů ochranného oděvu

a. Popis ochranného oděvu a materiálu

- Do vzorové tabulky č. 1 uvedené vpříloze č. 3 se zapíše název měřeného oděvu, číslo vzorku oděvu, název výrobce a všechny části, z nichž daný ochranný oděv sestavá.
- Rovněž se uvede bližší popis ochranného oděvu (zejména materiál stínící vrstvy, chemická a teplotní odolnost, pokud jsou výrobcem udány) a ekvivalent olova ochranného oděvu nebo jeho částí, pokud jej výrobce udává.

b. Stanovení hmotnosti ochranného oděvu

- Daný vzorek ochranného oděvu (nebo jeho části) proti pronikavému ionizujícímu záření se nejméně pětkrát zváží, hodnoty naměřené hmotnosti se zapíší do vzorové tabulky č. 1 (viz příloha č. 3), spočte se průměrná hmotnost \bar{m} [g] a směrodatná odchylka $u_{\bar{m}}$.
- Výsledná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu a její nejistota na hladině významnosti k = 1 tedy je $(\bar{m} \pm u_{\bar{m}})$ g.

c. Stanovení plochy ochranného oděvu

- Pomocí zařízení a software LUCIA pro stanovení velikostí ploch 2. řádu se určí plocha daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části) S [cm^2] a nejistota velikosti plochy oděvu (nebo jeho části) u_S , hodnoty se zaznamenají do vzorové tabulky č. 1 (viz příloha č. 3).
- Výsledná velikost plochy daného vzorku ochranného oděvu a její nejistota na hladině významnosti k = 1 tedy je $(S \pm u_S)$ cm^2 .

d. Stanovení tloušťky ochranného oděvu

- Pokud je to možné, nejméně pětkrát se mikrometrickým šroubem změří na různých místech tloušťka daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části), hodnoty se zapíší do vzorové tabulky č. 1 (viz příloha č. 3) a spočte se průměrná hodnota tloušťky daného vzorku ochranného oděvu \bar{x} [mm] a směrodatná odchylka $u_{\bar{x}}$.
- Výsledná tloušťka daného vzorku ochranného oděvu a její nejistota na hladině významnosti k = 1 tedy je $(\bar{x} \pm u_{\bar{x}})$ mm.

e. Výpočet plošné hmotnosti ochranného oděvu

- Plošná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části) ρ_p se určí jako:

$$\rho_p = \frac{\bar{m}}{S} \quad (1)$$

Kde

ρ_p je plošná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu [g/cm^2],

\bar{m} je průměrná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu [g],

S je plocha daného vzorku ochranného oděvu [cm^2].

- Nejistota plošné hmotnosti daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části) u_{ρ_p} se určí jako:

$$u_{\rho_p} = \sqrt{\left(\frac{u_{\bar{m}}}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{u_S}{S}\right)^2} \cdot \rho_p \quad (2)$$

Kde

ρ_p je plošná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části) [g/cm^2],

u_{ρ_p} je nejistota plošné hmotnosti daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části),

\bar{m} je průměrná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části) [g],

- $u_{\bar{m}}$ je směrodatná odchylka průměrné hmotnosti daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části),
 - S je plocha daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části), stanovená softwarem LUCIA [cm^2],
 - u_S je nejistota plochy daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části), stanovená softwarem LUCIA.
- Výsledná plošná hmotnost daného vzorku ochranného oděvu a její nejistota na hladině významnosti $k = 1$ tedy má hodnotu $(\rho_p \pm u_{\rho_p}) \text{ g/cm}^2$.

B. Přípravné práce

a. Příprava zařízení k činnosti

- Spektrometr INSPECTOR 1000 s připojenou scintilační sondou IPROL-1 se uvede do měřícího režimu a zapne se, čímž začne probíhat automatická stabilizace napětí na sondě. (Pozn.: průběh stabilizace sondy je zobrazen na displeji přístroje.)

b. Energetická rekalibrace sondy

- K zamezení posunu energetické kalibrace vlivem okolní teploty se provede automatická energetická rekalibrace scintilační sondy pomocí vhodného rekalibračního zdroje – např. radionuklidu ^{137}Cs o aktivitě 370 – 740 Bq, který se na dobu 30 spřiloží na čelní desku scintilační sondy IPROL-1 dle instrukcí zobrazených na displeji přístroje. (Pozn.: přístroj INSPECTOR 1000 lze nastavit tak, že po zapnutí upozorňuje na nutnost provedení energetické rekalibrace).

c. Kontrola energetické kalibrace sondy

- Kontrola energetické kalibrace sondy se provede na základě 5 – 10 min měření pozadí pomocí nekolimované sondy. Měření je automaticky vyhodnoceno přístrojem INSPECTOR 1000. (Pozn.: jako knihovna radionuklidů musí být v přístroji INSPECTOR 1000 nastavena některá z knihoven The ANSI Nuclear Library nebo NORM, které obsahují data radionuklidu ^{40}K). Pokud v naměřeném spektru pozadí nebude nalezen radionuklid ^{40}K (energetická linka 1460,8 keV), znamená to, že došlo k posunu přiřazeného kanálu – energie vůči energetické kalibraci, která musí být tudíž provedena znova. V takovém případě lze naměřená spektra vyhodnocovat až po nově provedené energetické kalibraci.

d. Sestavení geometrie měření

- Schéma doporučené geometrie měření je znázorněno v příloze č.4.
- Dle tohoto schématu se sestaví geometrie měření tak, že se stabilizovaná a rekalibrovaná sonda vloží dovnitř válcového vnějšího kolimátoru a před jejíčelo se do téhož kolimátoru vloží malý válcový vnitřní kolimátor s úzkým vnitřním průměrem (1-2 cm), který je o něco větší než průměr laboratorního zářiče. (Pozn.: při vhodné délce obou kolimátorů je možno externí sondu po opakovaném zapnutí rekalibrovat po vyjmutí malého vnitřního kolimátoru bez nutnosti jejího vyjmutí z vnějšího kolimátoru.)
- Při měření spekter zářiče se do vzdálenosti cca 150 cm od čela sondy vodorovně umístí laboratorní zářič, vložený rovněž do válcového kolimátoru s úzkým vnitřním průměrem, tak, aby byl umístěn proti středu sondy (viz příloha č. 4 – schéma geometrie měření). Vzdálenost zdroj – detektor je měřena od vnějšího pláště laboratorního zářiče v místě, kde kryje aktivní objem, k ochrannému obalu sondy, který kryje detektor, v místě, které je nejbliže aktivnímu objemu zářiče (viz schéma geometrie měření, uvedené v příloze 4). Vzdálenost zdroj – detektor je třeba upravit tak, aby při měření spekter zářičů bez

ochranného oděvu bylahodnota mrtvé doby detektoru maximálně 5 %. (Pozn.: velikost mrtvé doby je vždy zobrazena na displeji spektrometru INSPECTOR 1000 v údajích o nabíraném spektru.)

- Mezi zdroj a detektor (nad jejich pomyslnou spojnici) se co nejbližše kolimátoru na scintilační sondu IPROL-1 umístí vhodný držák na měřené oděvy, který unese jejich vyšší hmotnost.
- Prostor, ve kterém dochází k manipulaci s laboratorními zářiči, a prostor, ve kterém je umístěn spektrometr INSPECTOR, se z boku odstíní olověným stíněním k ochraně osob, provádějících měření

C. Měření spekter

a. Měření spekter pozadí před začátkem vlastního měření

- Před začátkem měření s laboratorními zářiči se provede měření spekter pozadí v daném místě.
- Stabilizovaná externí sonda IPROL-1 se rekalibruje, vloží se do kolimátoru a před ní se vloží přídavný kolimátor.
- Opakován se nejméně třikrát změří spektrum pozadí po dobu nejméně 1 800s, spektra se uloží. Kvůli minimalizaci nejistoty měření je doporučeno měřit spektrum pozadí po dobu, která je několikanásobně delší, než doba měření spekter s laboratorními zářiči.

b. Měření spekter zářiče bez ochranného oděvu

- Požadovaný laboratorní zářič se vyjme z ochranného stínícího pouzdra a vloží se do příslušného kolimátoru do vzdálenosti cca 150 cm od čela sondy dle postupu uvedeného výše v sekci „Sestavení geometrie měření“. Vzdálenost zářič – detektor se volí tak, aby při měření spekter zářiče byla mrtvá doba detektoru nejvýše 5 %.
- Opakován se nejméně pětkrát změří spektrum zářiče a každé spektrum se uloží.
- Doba měření spekter každého zářiče se volí tak, aby čistá plocha písků měřených linek o energii $> 100 \text{ keV}$ po odečtu čisté plochy příslušných písků pozadí byla vyšší než 50000 impulsů a pro energie linek do 100 keV vyšší než 100000 impulsů.

c. Měření spekter zářiče s ochranným oděvem

- Na držák ochranných oděvů se umístí daný vzorek ochranného oděvu tak, aby pomyslná spojnice mezi zářičem a detektorem procházela pouze 1 vrstvou oděvu a aby v těchto místech nebyly na oděvu žádné švy, nášivky, zdvojené vrstvy, apod.
- Ve stejné geometrii, jaká byla použita pro měření spekter zářiče bez ochranného oděvu, viz odstavec 2.3.C.b. se změří spektra laboratorního zářiče se vzorkem ochranného oděvu cca pro 4 místa ochranného oděvu. Pokud je to možné, tak se spektra gama záření změří pro tyto části ochranného oděvu: přední strana oděvu – místa kryjící prsa, břicho, gonády, zadní strana oděvu – místa kryjící ledviny. Naměřená spektra se uloží. Pokud výrobce deklaruje použití různých stínících materiálů nebo různých tlouštěk stínících vrstev pro různá místa ochranného oděvu, změří se spektra laboratorního zářiče s daným vzorkem ochranného oděvů nejméně pětkrátka každém takovém místě.
- Doba měření spekter zářiče s ochranným oděvem je stejná jako doba měření spekter stejného zářiče bez ochranného oděvu, uvedená v odstavci 2.3.C.b.
- Celkový počet měření spekter zářiče pro jedno konkrétní měřené místo ochranného oděvu je stejný jako počet měření spekter bez ochranného oděvu pro příslušné místo ochranného oděvu, viz odstavec 2.3.C.b.
- Následně je možno měřit ve stejné geometrii spektra dalších míst stejněho vzorku ochranného oděvu nebo spektra dalších vzorků příslušného ochranného oděvu, či jiných

ochranných oděvů bez nutnosti pokaždě opakovat měření spekter zářiče bez ochranného oděvu.

d. Kontrolní měření spekter zářiče bez ochranného oděvu

- Po skončení měření s daným zářičem a ochrannými oděvy se provede kontrolní měření spekter daného zářiče bez ochranného oděvu.
- Opakováně se ve stejné geometrii měření jako při měření, popsaném v odstavci 2.3.C.b nejméně pětkrát změří spektrum daného zářiče bez ochranného oděvu, spektra se uloží.
- Doba kontrolního měření spekter zářiče bez ochranného oděvu je stejná jako u prvního měření spekter stejného zářiče bez ochranného oděvu, popsaného v odstavci 2.3.C.b.

e. Měření spekter pozadí po skončení vlastního měření

- Po skončení měření spekter laboratorních zářičů, se rovněž provede měření spekter pozadí v daném místě.
- Laboratorní záříc se vyjme z kolimátoru, vloží se do ochranného stínícího pouzdra a spolu s ním se uloží do olověného krytu pro uzavřené zářiče.
- Opakováně se změří spektrum pozadí po dobu nejméně 1800s, spektra se uloží.
- Doba měření spekter pozadí po skončení měření spekter laboratorních zářičů je stejná jako při měření spekter pozadí před začátkem měření spekter laboratorních zářičů, viz odstavec 2.3.C.a.
- Celkový počet opakovaných měření spekter pozadí (tj. součet počtu naměřených spekter před začátkem měření spekter laboratorních zářičů a po jeho skončení) je stejný, jako počet měření spekter bez ochranného oděvu, popsaných v odstavci 2.3.C.b.

D. Zpracování výsledků měření

a. Stanovení čistých ploch píků spekter po odečtu pozadí

- Přístroj INSPECTOR 1000 se připojí k počítači. Pomocí programu TheInspectorMaintenance Utility jsou spektra převedena do PC.
- Zpracování všech naměřených spekter probíhá v programu GENIE 2000. Po načtení každého jednotlivého spektra se do popisu spektra vyplní základní údaje (číslo měření, použitý radionuklid, vzdálenost zdroj – detektor, údaje o ochranném oděvu a číslo vzorku) a ke spektru se nahraje příslušná energetická kalibrace. Jednotlivé kroky analýzy spektra se pak mohou zadávat ručně, nebo pomocí vytvořeného souboru automatické sekvenční analýzy.
- Nejprve jsou zpracována spektra pozadí, u nichž jsou automaticky vyhledány píky jednotlivých energetických linek radionuklidů v pozadí, a je určena velikost čistých plochpíků.
- V ostatních zpracovávaných spektrech jsou automaticky vyhledány píky jednotlivých energetických linek daného zářiče a je určena velikost jejich čistých ploch po odečtu čistých ploch odpovídajících píků pozadí.
- Při určování plochy píků se v dialogovém okně nastavení parametrů zaškrtně použití fixní FWHM (pološírky píku) a fixního limitu ROI (dle doporučení firmy CANBERRA pro analýzu spektra scintilačních detektorů) – viz příloha č. 5: dialogové okno pro nastavení parametrů pro určení čisté plochy píku.
- Do vzorové tabulky č. 2, uvedené v příloze č. 6, se zapíše druh laboratorního zářiče, jeho aktivita, doba měření, název měřeného oděvu, číslo vzorku, místo průniku gama záření oděvem a popíše se geometrie měření, zejména se uvede vzdálenost zdroj – detektor, měřená od pláště zářiče v místě, které kryje aktivní objem, po kryt sondy IPROL-1 v místě, které je nejbliže zářiči - viz schéma měření, uvedené v příloze č. 4.

- Uvedou se zde hodnoty čistých ploch píků jednotlivých energetických linek daného zářiče po odečtu čistých ploch odpovídajících píků pozadí ve spektrech daného zářiče bez a s daným ochranným oděvem. Pro oba typy spekter se spočtou jejich průměrné hodnoty (\bar{N}_Z pro spektrum zářiče bez ochranného oděvu a \bar{N}_O pro spektrum zářiče s ochranným oděvem) a příslušné směrodatné odchylky $u_{\bar{N}_Z}$ a $u_{\bar{N}_O}$.
- Z vypočítaných hodnot čistých ploch píků pro danou energetickou linku vyloučí ty, které se od jejich průměrné hodnoty liší o více než 5% - viz norma ČSN EN 61331-1. V takovém případě se průměrná hodnota čisté plochy píku \bar{N}_Z nebo \bar{N}_O pro danou energetickou linku a příslušná směrodatná odchylka následně spočtou znova ze zbylých hodnot. Pokud by se ale průměrná hodnota čisté plochy píku počítala z méně než 3 hodnot, je třeba všechna příslušná spektra pro výpočet dané průměrné hodnoty naměřit znova.
- Výsledná čistá plocha píku příslušné energetické linky a její nejistota na hladině významnosti $k = 1$ tedy má pro spektra daného zářiče měřená bez ochranného oděvu hodnotu ($\bar{N}_Z \pm u_{\bar{N}_Z}$) impulsů, pro spektra daného zářiče měřená s příslušným ochranným oděvem je pak hodnota čisté plochy píku dané energetické linky ($\bar{N}_O \pm u_{\bar{N}_O}$) impulsů.
- Průměrné hodnoty čistých ploch píků \bar{N}_Z a \bar{N}_O a jejich směrodatné odchylky $u_{\bar{N}_Z}$ a $u_{\bar{N}_O}$ se zaznamenají do vzorové tabulky č. 3, uvedené v příloze č. 7, pro příslušnou energii gama záření.

b. Kontrola neměnnosti geometrie měření

- Do vzorové tabulky č. 2 uvedené v příloze č. 6 se rovněž uvedou i hodnoty čistých ploch píků uvažovaných energetických linek daného zářiče (po odečtu čistých ploch odpovídajících píků pozadí) v kontrolních spektrech daného zářiče, která byla měřena po ukončení měření spekter stejného zářiče s ochranným oděvem. Spočte se průměrná hodnota čisté plochy daného kontrolního píku \bar{N}_Z a její směrodatná odchylka $u_{\bar{N}_Z}$.
- Z takto stanovených hodnot čistých ploch kontrolních píků \bar{N}_Z pro danou energetickou linku vyloučí ty, které se od jejich průměrné hodnoty liší o více než 5% - viz norma ČSN EN 61331-1. V takovém případě se průměrná hodnota čisté plochy kontrolního píku pro danou energetickou linku \bar{N}_Z a příslušná směrodatná odchylka následně spočtou znova ze zbylých hodnot. Pokud by se ale průměrná hodnota čisté plochy píku a směrodatná odchylka počítala z méně než 3 hodnot, je třeba všechna příslušná spektra pro výpočet dané průměrné hodnoty naměřit znova.
- Průměrná hodnota velikosti čisté plochy kontrolního píku dané energetické linky \bar{N}_Z se porovná s průměrnou hodnotou velikosti čisté plochy píku dané energetické linky \bar{N}_Z .
- Výsledná čistá plocha píku příslušné energetické linky a její nejistota na hladině významnosti $k = 1$ tedy má pro spektra daného zářiče měřená bez ochranného oděvu hodnotu ($\bar{N}_Z \pm u_{\bar{N}_Z}$) impulsů.
- V případě, že je relativní rozdíl hodnot \bar{N}_Z a \bar{N}_Z větší než 2 %, došlo nejspíše během měření ke změně geometrie a měření je tudíž nutno opakovat.

c. Stanovení zeslabení fluence gama záření v ochranném oděvu

- Pro každou jednotlivou energetickou linku gama záření všech použitých laboratorních zářičů se pro všechna měřená místa daného ochranného oděvu stanoví relativní zeslabení fluence fotonů a jeho nejistota.
- Relativní zeslabení Z_{engama} záření dané energetické linky daného laboratorního zářiče na daném místě daného ochranného oděvu se stanoví jako:

$$Z_{\text{en}} = 100 \cdot \frac{\bar{N}_Z - \bar{N}_O}{\bar{N}_Z} \quad [\%] \quad (3)$$

Kde

- \bar{N}_z je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje bez přítomnosti ochranného oděvu po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí [impulzy],
- \bar{N}_o je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí [impulzy].

Nejistota relativního zeslabení $u_{Z_{en}}$ se určí jako:

$$u_{Z_{en}} = (100 - Z_{en}) \sqrt{\left(\frac{u_{\bar{N}_o}}{\bar{N}_o}\right)^2 + \left(\frac{u_{\bar{N}_z}}{\bar{N}_z}\right)^2} \quad (4)$$

Kde

- \bar{N}_z je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje bez přítomnosti ochranného oděvu po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,
- $u_{\bar{N}_z}$ je nejistota průměrné čisté plochy píkované energetické linky daného zdroje bez přítomnosti ochranného oděvu po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,
- \bar{N}_o je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,
- $u_{\bar{N}_o}$ je nejistota průměrné čisté plochy píkované energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí.

- Výsledná hodnota relativního zeslabení gama záření o dané energii v ochranném oděvu a jeho nejistota na hladině významnosti $k = 1$ tedy je $(Z_{en} \pm u_{Z_{en}}) \%$.
- Zeslabení gama záření v daném oděvu pro danou energetickou linku daného radionuklidu a jeho nejistota se uvede do vzorové tabulky č. 2 (viz příloha č. 6), a také do vzorové tabulky č. 3 uvedené v příloze č. 7.
- Z hodnot zeslabení gama záření všech energetických linek všech použitých laboratorních zářičů, zaznamenaných ve vzorové tabulce č. 3 v příloze č. 7, se sestrojí graf závislosti zeslabení gama záření na energii pro dané měřené místo daného ochranného oděvu a určí se energetická oblast, ve které je fluence gama záření zeslabenav daném místě ochranného oděvu nejméně o 50%.

d. Stanovení ekvivalentu olova

- Ekvivalent olova $x_{(Pb)}$ pro gama záření o dané energii se stanoví jako:

$$x_{(Pb)} = 10 \cdot \frac{\ln \frac{\bar{N}_z}{\bar{N}_o}}{\mu_{Pb} \cdot \rho_{Pb}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Kde

- \bar{N}_z je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje bez přítomnosti ochranného oděvu po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,
- \bar{N}_o je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,
- μ_{Pb} je hmotnostní koeficient zeslabení olova pro danou energii gama záření, (hodnoty pro dané energie gama záření viz vzorová tabulka č. 3 v příloze č. 7, příslušné hodnoty byly získány odečtením z grafu 1; uvedeném v příloze č. 8), [cm^2/g]. Pro další hodnoty energie, neuvedené ve vzorové tabulce č. 3 (viz příloha č. 7) je nutno odečít hodnoty

hmotnostního koeficientu zeslabení olova pro příslušné energie z grafu 1, viz příloha č. 8.

$\rho_{(Pb)}$ je hustota olova, $\rho_{(Pb)} = 11,34 \text{ g/cm}^3$.

- Nejistota ekvivalent olova $u_{x(Pb)}$ pro gama záření o dané energii v daném materiálu ochranného oděvu se určí jako:

$$u_{x(Pb)} = \sqrt{\frac{\left(\frac{u_{\bar{N}_Z}}{\bar{N}_Z}\right)^2 + \left(\frac{u_{\bar{N}_O}}{\bar{N}_O}\right)^2}{\ln\left(\frac{\bar{N}_Z}{\bar{N}_O}\right)^2} + \left(\frac{u_{\mu_{Pb}}}{\mu_{Pb}}\right)^2} \cdot x_{(Pb)} \quad (6)$$

Kde

\bar{N}_Z je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,

$u_{\bar{N}_Z}$ je nejistota průměrné čisté plochy píkudané energetické linky daného zdroje po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,

\bar{N}_O je průměrná čistá plocha píku dané energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,

$u_{\bar{N}_O}$ je nejistota průměrné čisté plochy píkudané energetické linky daného zdroje s daným ochranným oděvem po odečtu čisté plochy odpovídajícího píku pozadí,

$\rho_{(Pb)}$ je hustota olova, $\rho_{(Pb)} = 11,34 \text{ g/cm}^3$,

$u_{\mu_{Pb}}$ je nejistota hmotnostního koeficientu zeslabení olova pro danou energii gama záření (viz vzorová tabulka č. 3 v příloze č. 7)

μ_{Pb} je hmotnostní koeficient zeslabení olova pro danou energii gama záření, (hodnoty pro dané energie gama záření viz vzorová tabulka č. 3 v příloze č. 7, příslušné hodnoty byly získány odečtením z grafu 1; zobrazeném v příloze č. 8), [cm^2/g]. Pro další hodnoty energie, neuváděné ve vzorové tabulce č. 3 (viz příloha č. 7) je nutno odečíst hodnoty hmotnostního koeficientu zeslabení olova pro příslušné energie z grafu 1, viz příloha č. 8.

- Výsledná hodnota ekvivalentu olova pro danou energii gama záření v ochranném oděvu a jeho nejistota na hladině významnosti $k = 1$ tedy je $(x_{(Pb)} \pm u_{x_{(Pb)}})$ mm.

e. Souhrnná tabulka výsledků pro všechna měřená místa daného vzorku ochranného oděvu

- Do souhrnné tabulky výsledků pro všechna měřená místa daného vzorku ochranného oděvu (viz souhrnná tabulka č. 1, uvedená v příloze 9) se zaznamená a) datum měření, b) název ochranného oděvu a číslo vzorku a jeho c) plošná hmotnost a d) tloušťka. Pro všechna měřená místa se pro jednotlivé energie gama záření od všech použitých laboratorních zářičů uvede a) zeslabení gama záření procházející daným měřeným místem daného vzorku ochranného oděvu, b) ekvivalent olova pro toto měřené místo a c) oblast energií gama záření, ve které je fluence gama záření při průchodu daným měřeným místem zeslabováno minimálně o 50%.

2.4. Údržba přístroje INSPECTOR 1000

Nejméně jednou za rok je třeba provést novou energetickou kalibraci přístroje INSPECTOR 1000 pomocí vhodných radionuklidů, jejichž energetické linky gama záření pokrývají širokou oblast spektra, případně pomocí spektra přírodního pozadí, měřeného nekolimovanou sondou po dobu minimálně 30 000 s, aby byla dosažena dostatečná velikost čistých ploch píků, viz odstavec 2.2. Nejméně jednou za tři měsíce je nutno kontrolovat stav baterií přístroje INSPECTOR 1000 a případně je dobré nebo vyměnit.

3. INOVAČNÍ ASPEKTY, NOVOST POSTUPŮ

Tato metodika umožňuje testovat stínící vlastnosti speciálních ochranných oděvů určených k ochraně osob proti nepřímo ionizujícímu rentgenovému a gamazáření. Metodika je založená na testování pomocí bodových laboratorních zářičů umožňující pro každou energii monoenergetických fotonů záření gama (resp. pro radionuklidy) určit relativní zeslabení fluence záření gama v testovaném materiálu. Rovněž je možno pomocí ní odhadnout tloušťku daného materiálu ochranného oděvu, ve které by byla fluencemonoenergetického gama záření o dané energii zeslabována na polovinu, případně na jinou zvolenou úroveň. Autorům není známa existence a využívání obdobného postupu testování osobních ochranných prostředků proti ionizujícímu záření v ČR ani v zahraničí.

4. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Certifikovaná metodika *Hodnocení kvality ochranných oděvů určených k ochraně osob proti ionizujícímu záření pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB* byla vyvinuta jako základní nástroj pro testování osobních ochranných prostředků pomocí bodových zdrojů ionizujícího záření. Tato metodika je potenciálně využitelná zejména v rámci kontrolní, deklarační a dozorové činnosti SÚJB.

5. SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- manuál k přístroji INSPECTOR 1000, CANBERRA INDUSTRIES
- Knoll, G. F. *Radiation Detection and Measurement*, 3rd ed.; John Wiley&Sons, Inc.: USA, 1999.
- ČSN EN 61331-1 *Ochranné prostředky před lékařským diagnostickým rentgenovým zářením – Část 1: Stanovení vlastností zeslabení materiálů*
- Databáze radionuklidů NUCLEAR DATA, <http://nucleardata.nuclear.lu.se>.

- Hubbell, J. *PhotonCrossSections, AttenuationCoefficients and EnergyAbsorptionCoefficients from 10 keV to 100 GeV*, NSRDS-NBS 29, 1st ed.; National Standard Reference Data System: Washington,D.C., 1969.
- Databáze NIST hmotnostních koeficientů zeslabení v materiálech, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tabc3.html>.

6. SEZNAM PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ

Kozlovská, M.; Otáhal, P. Stínící vlastnosti ochranných materiálů BIORUBBER RSM. *Bezpečnost jaderné energie* 2014, 22 (5/6), pp 161-168.

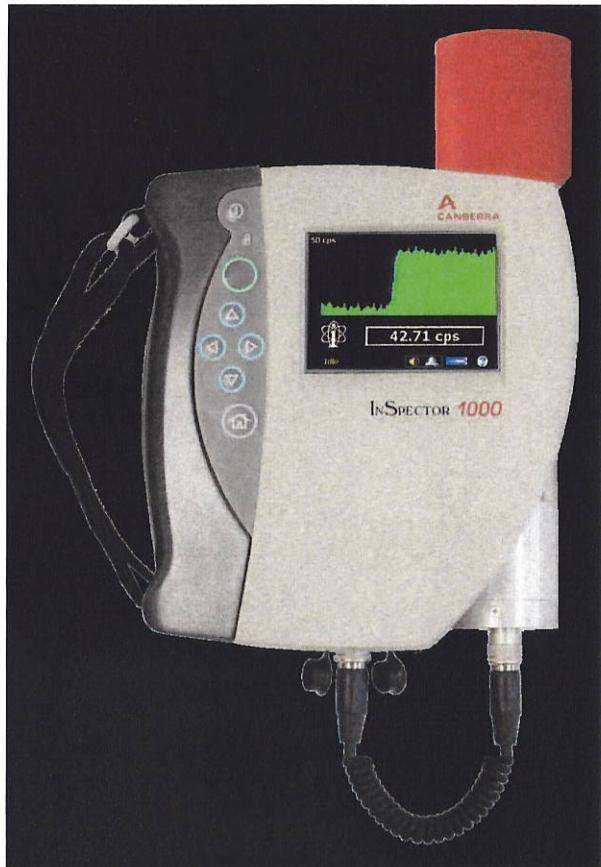
POSTERY:

Kozlovská, M.; Otáhal, P. Stínící vlastnosti materiálu BIORUBBER RSM. *Dny radiační ochrany* 2013, Třeboň (11. - 15. 11. 2013).

Kozlovská, M.; Otáhal, P. Radiation Shielding of Personal Protective Equipment. In Session: *MEASUREMENTS & DOSIMETRY, IRPA 2014*, Ženeva (23. – 27. 6. 2014).

Příloha č. 1:

Spektrometr INSPECTOR 1000 se scintilační sondou IPROL-1



Obr. 2: Spektrometr INSPECTOR 1000 se sondou IPROL-1

Příloha č. 2:

Tabulka 1: Doporučené radionuklidы a jejich hlavní energetické linky a výtěžky gama záření, ze kterých je možno určovat zeslabení fluence gama záření

Radionuklid	⁶⁰ Co		¹³⁷ Cs		¹⁵² Eu		²⁴¹ Am	
Aktivita [MBq]	37,0		40,0		37,0		37,0	
Poločas přeměny [r]	5,27		30,07		13,54		432,2	
Hlavní energetické linky gama záření, ze kterých se určuje zeslabení fluence gama záření	E [keV]	Y [%]	E [keV]	Y [%]	E [keV]	Y [%]	E [keV]	Y [%]
	1173,2 1332,5	100,0 100,0	661,7	85,1	121,8 344,3 964,1 244,7 867,4	28,6 26,5 14,6 7,6 4,3	59,5	35,9

Pozn.: Pro získání energetické závislosti zeslabení fluence gama záření v ochranném oděvu je potřeba používat pro měření všechny zde zmíněné radionuklidы, jejichž energetické linky dohromady pokrývají široký rozsah energií. Tyto radionuklidы je možno nahradit jinými s podobným rozsahem energetických linek.

U daných radionuklidů se pro stanovení hodnoty zeslabení gama záření používají pouze energetické linky s vyšším výtěžkem (Y), které vzájemně neinterferují. Nepoužívají se linky rentgenového záření, protože spektrometr INSPECTOR s externí sondou IPROL detekuje gama záření až od cca 30 keV a v oblasti 30 – 40 keV je ve spektrech přítomno několik pílků gama záření od radionuklidu ¹³⁸La, který má přírodní zastoupení a je tudíž obsažen v samotném krystalu LaBr₃. Z důvodu koincidence gama záření pocházejícího z laboratorního zářiče s gama zářením radionuklidu ¹³⁸La se u radionuklidu ¹⁵²Eu pro vyhodnocování rovněž nepoužívají energetické linky 778,9 keV a 1408,0 keV.

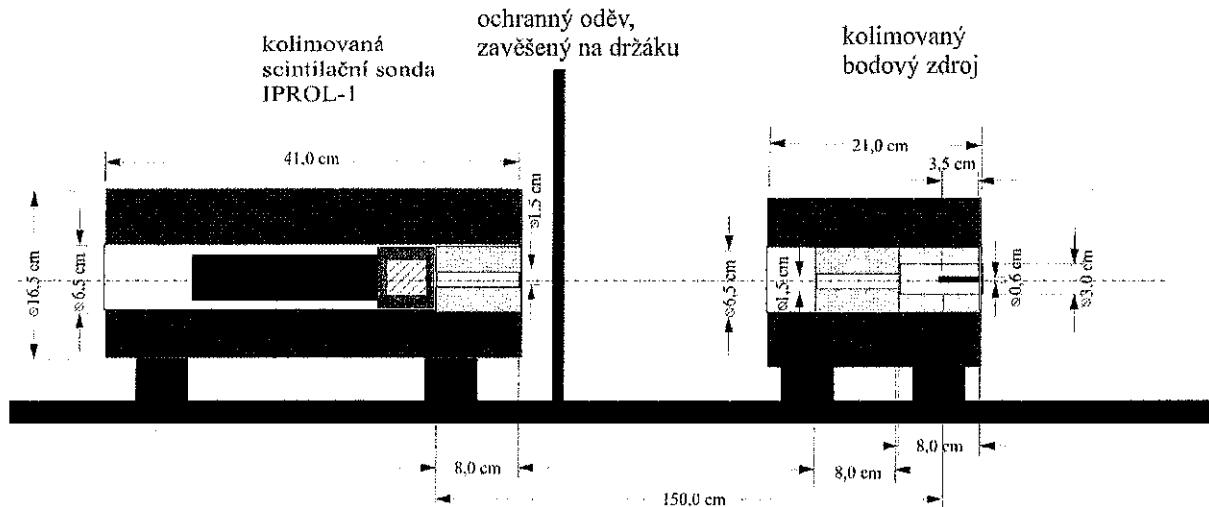
Příloha č. 3:

Vzorová tabulka č. 1: Stanovení parametrů daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části):

měřený oděv:								
výrobce:								
součásti oděvu:								
popis oděvu:								
výrobcem ustanovený ekvivalent Pb [mm]:								
číslo vzorku:								
datum měření:								
číslo měření	hmotnost [g]	± [g]	tloušťka [mm]	± [mm]	plocha [cm ²]	± [cm ²]	pl. hmotnost [g/cm ²]	± [g/cm ²]
1								
2								
3								
4								
5								
průměr								

Příloha č. 4:

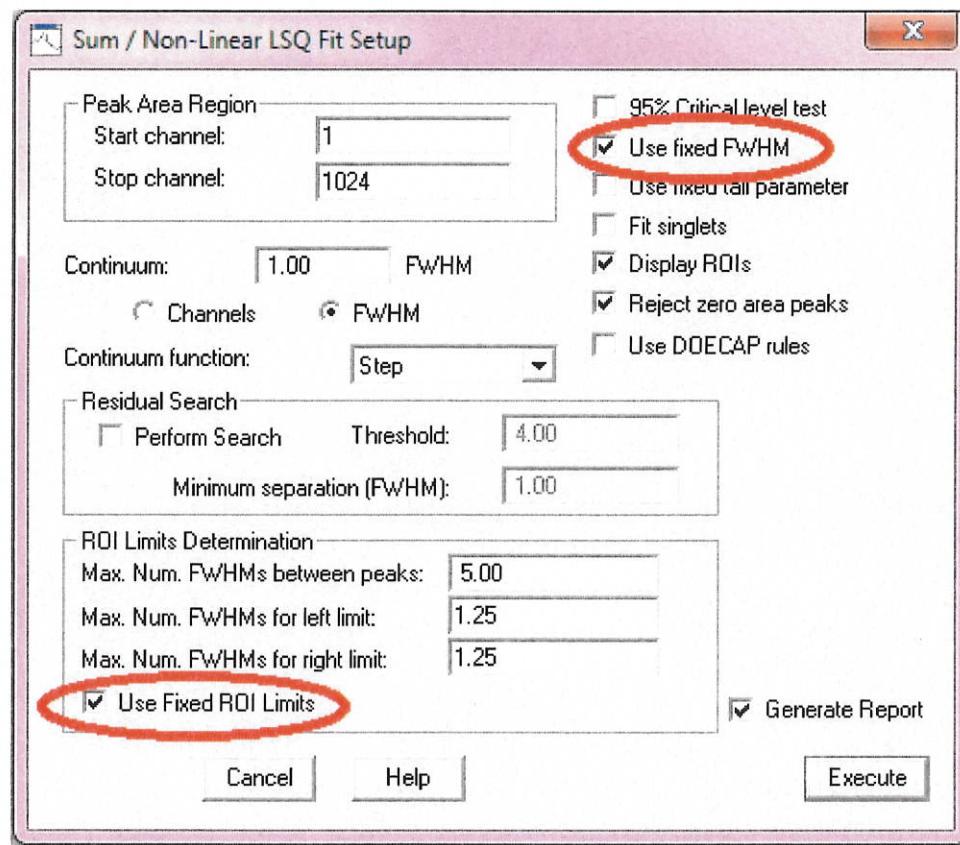
Schéma geometrie měření:



Pozn.: Uvedené rozměry všech kolimátorů jsou pouze doporučené, stejně jako vzdálenost zdroj – detektor. Dle normy ČSN EN 61331-1 musí být maximální šířka vnitřního průměru kolimátorů 2 cm. Dále je dle této normy pro geometrii úzkého svazku požadovaná vzdálenost zdroj - vzdálenější strana ochranného oděvu 150 cm pro vnitřní průměr kolimátorů 2 cm, pro vnitřní průměr kolimátorů 1,5 cm je pak tato vzdálenost 112,5 cm a pro vnitřní průměr kolimátorů 1 cm je požadovaná vzdálenost 75 cm. Vzdálenost zdroj – detektor je měřena od vnějšího obalu detektora v přímé linii k hraně zářiče. Držák na ochranné oděvy je umístěn co nejbliže kolimátoru na scintilační sondě IPROL-1. Na obrázku je vyšrafovánou umístění krystalu detektoru v sondě IPROL-1.

Příloha č. 5:

Dialogové okno nastavení parametrů pro určení čisté plochy píku v softwaru GENIE 2000 v.3.2:



Příloha č. 6:

Vzorová tabulka č. 2: Stanovení zeslabení gama záření jedné energetické linky daném místě danéhozorku ochranného oděvu:

měřený oděv:							
číslo vzorku:							
měřené místo:							
plnošná hmotnost [g/cm^2]:					± [g/cm^2]		
tloušťka oděvu [mm]:					± [mm]		
laboratorní zářič:							
referenční datum:							
aktivita k ref. datu [MBq]:							
energetická linka [keV]:							
vzdálenost zářič - detektor [cm]:							
datum měření:							
čistá (live) doba měření [s]:							
číslo měření	mrtvá doba detektoru [%]	čistá plocha písku záříc bez oděvu před měřením oděvu	relativní nejistota N _z %	čistá plocha písku záříc s oděvem relativní nejistota N _z %	relativní nejistota N _z %	čistá plocha písku záříc bez oděvu po měření oděvu nejistota N _z %	zeslabení fluence gamma zařízení N(z) / N _z [%]
1							
2							
3							
4							
5							
průměr							

Pozn: Vzdálenost zdroj – detektor je měřena od vnějšího obalu detektoru v přímé linii k hraně zářiče(viz schéma geometrie měření, uvedené v příloze 4).

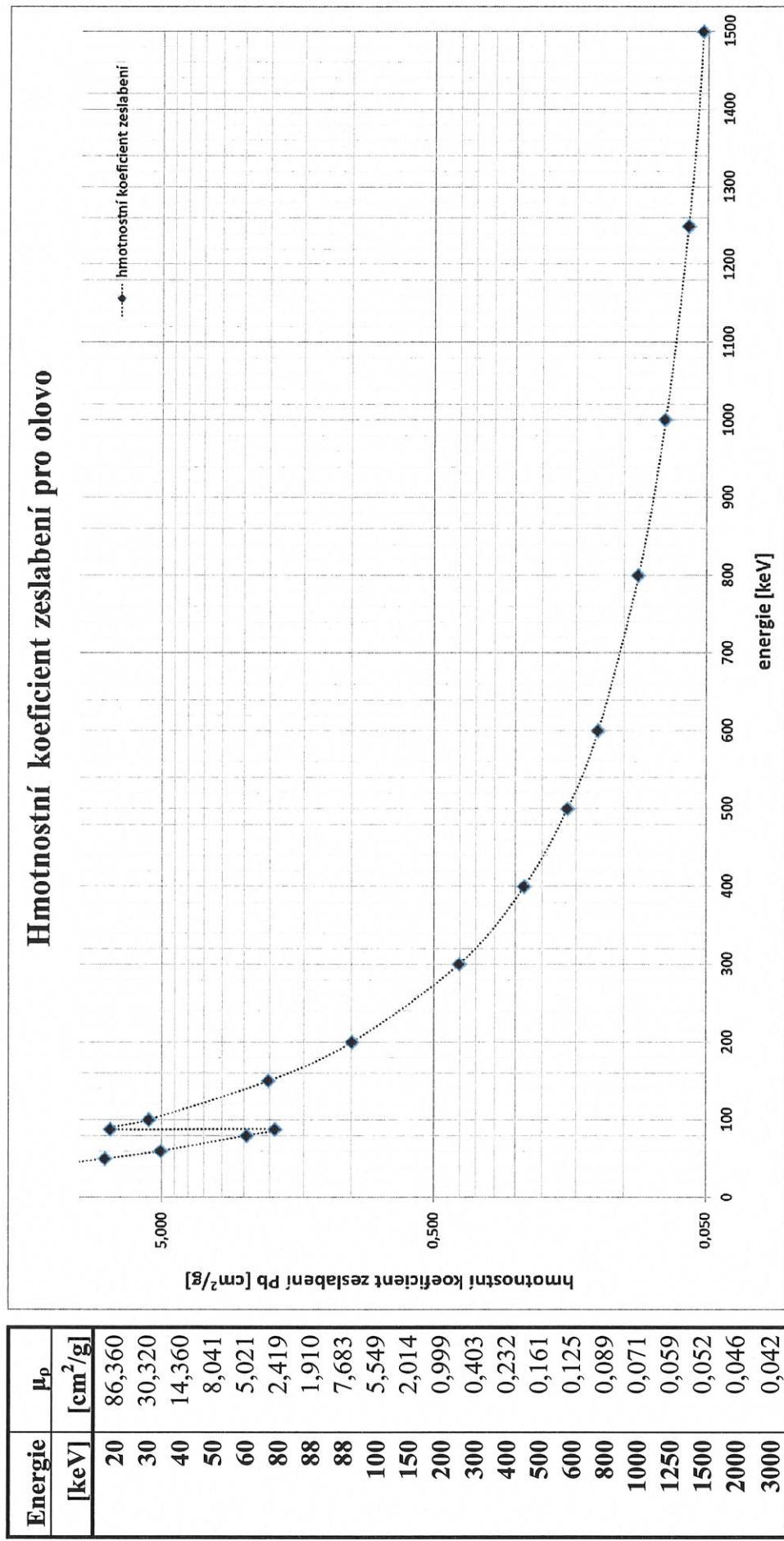
Příloha č. 7:

Vzorová tabulka č. 3: Zeslabení gama záření v daném místě daného vzorku ochranného oděvu (nebo jeho části):

měřený oděv:											
číslo vzorku:											
měřené místo:											
plošná hmotnost [g/cm ²]:					± [g/cm ²]						
tloušťka oděvu [mm]:					± [mm]						
datum měření:											
hustota Pb [g/cm ³]:	11,34										
energie gama záření [keV]	průměrná čistá plocha píku				zeslabení fluence záření [%]	hmotnostní koeficient		ekvivalent Pb [mm]			
	zářič bez oděvu \bar{N}_z	±	zářič s oděvem \bar{N}_o	±		zeslabení pro olovo [cm ² /g]	±				
59,5						4,99	0,01				
121,8						3,73	0,01				
244,7						0,6938	0,0001				
344,3						0,2895	0,0001				
661,7						0,1132	0,0001				
867,4						0,07991	0,00005				
964,1						0,07740	0,00005				
1173,2						0,06353	0,00001				
1332,5						0,05535	0,00001				

Příloha č. 8:

Graf 1: Hmotnostní koeficient zeslabení μ_p [cm^2/g] pro olovо:



Příloha č. 9:

Souhrnná tabulka č. 1: Výsledné hodnoty zeslabení fluence gamma záření a ekvivalentu olova pro všechna měřená místa daného vzorku ochranného oděvu: