

SÚJCHBO, v.v.i.

Certifikovaná metodika

Označení
metodiky:

**Stanovení účinnosti dekontaminace povrchů zamořených
radioaktivními látkami pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB**

Ing. Josef Holeček, Mgr. Petr Otáhal, Ph.D., Bc. Radek Černý

**Realizační výstup projektu MV ČR Výzkum moderních metod detekce a
identifikace nebezpečných látek a materiálů, metod snížení jejich nebezpečnosti a
dekontaminace; výzkum moderních prostředků ochrany osob a kritické
infrastruktury“**

Kód VF20112015013

Oponent: Ing. Michal Kolečka

Oponent: Ing. Ondřej Šťastný

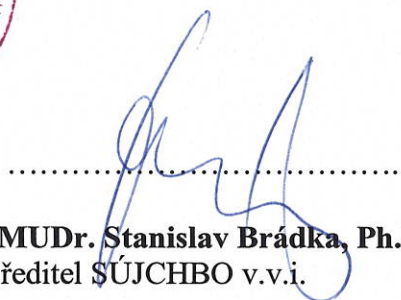
Uplatněno: říjen 2015

Schválil:





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



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

Obsah

1. Cíl metodiky	2
2. Vlastní popis metodiky	2
2.1 Úvod	2
2.2 Materiál a přístroje	2
3. Stanovení aktivity	2
3.1 Absolutní stanovení plošné aktivity	3
3.2 Relativní stanovení aktivity u laboratorních vzorků	3
3.3 Stanovení aktivity u terénních vzorků	4
4. Stanovení účinnosti dekontaminačního postupu	5
5. Rozsah metodiky	7
6. Nejistota metodiky	7
7. Inovativní postupy	7
8. Uplatnění metodiky	7
9. Literatura	7

1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je definovaně stanovit parametry charakterizující úspěšnost dezaktivacních postupů aplikovaných na běžné povrchy v městské infrastruktuře a to jak v terénních, tak v laboratorních podmínkách. Pojmem dezaktivace se pro tyto účely rozumí odstranění kontaminující radioaktivní látky z daného povrchu.

2. Vlastní popis metodiky

2.1 Úvod

Úspěšnost dezaktivacních postupů bude definována pomocí hodnot dekontaminační účinnosti a dekontaminačního faktoru. Hodnota dekontaminační účinnosti stejně jako hodnota dekontaminačního faktoru bude stanovena na základě zjištěných hodnot plošných aktivit na kontaminovaném povrchu. Pojmem dekontaminační účinnost je míněno procentuální vyjádření množství odstraněné plošné aktivity kontaminantu k počáteční plošné aktivitě kontaminantu nacházejícího se na povrchu daného vzorku před zahájením dekontaminace. Hodnota dekontaminačního faktoru ukazuje, kolikrát je zbylá plošná aktivita nižší, než byla plošná aktivita původní.

2.2 Materiál a přístroje

Měřidlo plošné aktivity schopné detekovat záření alfa, beta a gama, minimální detekovatelná odezva musí být 0,3 impulsu za sekundu, měřidlo musí být schopné stanovit odezvu přesahující 40000 impulsů za vteřinu.

Distanční nástavec.

Značkovací sůl např. NaCl nebo Na₂CO₃.

Bodec či jiný kovový značkovač.

Pipety.

Magnetické míchadlo.

3. Stanovení aktivity

Základem pro určení hodnoty výše uvedených veličin je stanovení počáteční a konečné plošné aktivity. Jak je uvedeno výše, metodika má za cíl stanovení dezaktivacní účinnosti, jak na pokusných vzorcích v laboratoři, tak i při reálném či simulovaném postupu v terénu. Jak vyplývá z definice dekontaminační účinnosti a dekontaminačního faktoru, je jejich stanovení metodou relativní, kdy jsou hodnoty vztaženy k hodnotě plošné aktivity před zahájením dekontaminačního postupu. Plošná aktivita je stanovována tedy relativně v porovnání s plošnou aktivitou měřenou před dekontaminací. Pro relativní měření plošné aktivity lze využít měřidlo plošné aktivity schopné detekovat záření alfa/beta/gama, kdy se v níže uvedených vzorcích porovnává aktivita ve formě odezvy měřidla v dané měřicí geometrii. Známé radionuklidové složení kontaminující látky v laboratorních podmínkách umožňuje za určitých podmínek též absolutní stanovení plošné aktivity, viz kap. 3.1. V kapitole 3.2 je popsán postup vedoucí ke stanovení plošné aktivity na pokusném vzorku v laboratorních

podmínkách. Postup stanovení aktivit pro měření v terénu, ať už během mimořádné situace nebo během simulace, je uveden v kapitole 3.3.

3.1 Absolutní stanovení plošné aktivity

Jak je uvedeno výše, znalost kontaminujícího radionuklidu umožňuje v laboratorních podmínkách též absolutní stanovení plošné aktivity. Pro absolutní stanovení plošné aktivity je nezbytné, aby pro použité měřidlo plošné aktivity byly známy převodní koeficienty pro přepočítání odezvy přístroje v imp/s na plošnou aktivitu v Bq/cm² pro danou měřicí geometrii. Tyto převodní koeficienty jsou odlišné od převodních koeficientů pro standardní geometrii, pro kterou jsou měřidla kalibrována již z výroby.

Jako příklad získání hodnoty absolutní aktivity je rozebráno stanovení plošné aktivity s využitím alfa/beta/gama sondy SABG-15+ s vyhodnocovacím zařízením COLIBRI TTC (výrobce CANBERRA Industries), viz Obr.3. S využitím transportního Monte Carlo kódu MCNPX byly pro toto měřidlo nasimulovány převodní koeficienty pro různé měřicí geometrie a vybrané radionuklidy. Vizualizace použitého modelu sondy SABG-15+ je na Obr. 5. Takto získané převodní koeficienty prezentované v tabulkách 1 a 2 umožňují pro danou měřicí geometrii a daný radionuklid přepočítat odezvu měřidla na plošnou aktivitu podle vzorce:

$$A_s = \frac{R}{\eta} \quad (1)$$

kde A_s je plošná aktivita od vzorku v Bq/cm²

R je odečtená odezva zařízení COLIBRI TTC

η je převodní koeficient pro daný radionuklid a danou měřicí geometrii podle tabulek 1 a 2 uvedených v příloze 3.

Měření přístrojem COLIBRI TTC s připojenou sondou SABG-15+ je prováděno s integrováním odezvy přístroje po nastavený čas (alespoň 20 s) a odezva je následně stanovena jako průměr přes nastavený čas. Měření přístrojem COLIBRI TTC je prováděno v přesně definované a velmi dobře reprodukovatelné geometrii, která je zajištěna použitím distančního nástavce upevněného na měřicí sondu, viz Obr. 3. Měření se provádí bezkontaktně v definované vzdálenosti vstupního okénka detektoru, viz Obr. 4. Hodnotu získané plošné aktivity pak můžeme dosadit do vzorců 3 – 8 pro stanovení účinnosti dekontaminace a dekontaminačního faktoru.

3.2 Relativní stanovení aktivity u laboratorních vzorků

Stanovení aktivity povrchu laboratorních vzorků za účelem stanovení účinnosti dekontaminačního procesu je popsáno v Certifikované metodice¹ SÚJCHBO, v.v.i. (dále jen „Metodika“). Použití Metodiky umožňuje kontaminaci povrchů známým radioizotopem o známé aktivitě, což je základem přesného stanovení dezaktivizačních parametrů a jeho aktivita je určena dle požadované přesnosti. Kromě možnosti přípravy požadované aktivity je výhodnou definované kontaminace povrchu i skutečnost, že povrch je kontaminován známým radionuklidem.

Za účelem stanovení dekontaminační účinnosti a dekontaminačního faktoru relativní metodou zvolíme vhodné měřidlo plošné aktivity, citlivé k alfa, beta a gama záření. Po zvolení měřidla stanovíme hodnotu pozadí. Následně změříme odezvu měřidla na aktivitu povrchu daného vzorku dle kapitoly 2.7 Metodiky před zahájením a po ukončení dekontaminačního postupu. Do vzorců 3 – 8 uvedených dále dosazujeme v tomto případě přímo hodnoty odezvy měřidla v počtu impulsů za sekundu. Měření před zahájením a po ukončení dekontaminačního

¹J. Holeček, P. Otáhal (2015): Certifikovaná metodika - Stanovení plošné kontaminace experimentálně zamořených povrchů radioaktivními látkami pro potřeby kontrolní činnosti SÚJB, SÚJCHBO, v.v.i.

postupu realizujeme na stejném místě vzorku a při zachování měřicí geometrie. Přesné nastavení vzdálenosti vstupního okénka detektoru příslušného měřidla nastavíme s využitím vhodného distančního nástavce pro dané měřidlo nebo zřízením měřicího místa zaručujícího zachování konstantní měřicí geometrie, viz Obr. 1.

3.3 Stanovení aktivity u terénních vzorků

Měření v terénu je jiný případ. Jelikož při měření kontaminovaných povrchů v terénu není často známo složení povrch kontaminující látky a tedy neznáme přítomné radionuklidy. Proto při stanovení aktivity v terénu nepostupujeme plně dle Metodiky. Před vlastním měřením stanovíme hodnotu pozadí. Připravíme si ostrý kovový předmět, nejlépe na násadě, umožňující vytvoření značky na určeném měřicím místě pro stanovení dezaktivací charakteristik a na kterém stanovíme hodnotu odezvy před a po provedení dekontaminačního postupu. Značku vytvoříme ještě před první měření. Vlastní stanovení plošné odezvy provedeme bez kontaktu samotného měřicího přístroje s kontaminovaným povrchem, k zaručení čehož využijeme vhodný distanční nástavec. Tento distanční nástavec upevněný na přístroji zaručuje též zachování měřicí geometrie, zvláště zajištění konstantní vzdálenosti. Distanční nástavec je tvořen plošinou na výměnných nožičkách (viz Obr. 2), které umožňují nastavit vzdálenost měřidla od povrchu na 1 nebo 5 cm. Nožičky jsou vyrobeny ze snadno dekontaminovatelného materiálu, což umožňuje v případě kontaminace jejich snadnou výměnu. Distanční nástavec zamezí kontaminaci měřicí sondy, jak je uvedeno výše. Distanční nástavec využíváme k omezení vlivu mrtvé doby a k zajištění opakovatelnosti měření ve stejné měřicí geometrii. Základním stanovením odezvy kontaminantu na povrchu je měření ze vzdálenosti 5 cm. Pokud je zjištěná odezva menší než 1000 impulsů za sekundu, měření zastavíme a k dalšímu stanovení aktivity používáme měření ze vzdálenosti 1 cm.

Vzhledem k neznalosti složení kontaminující látky provedeme na vybraných místech opakovaná stanovení odezvy v počtu minimálně tří stanovení s opakováním po minimálně 30 minut. Každé stanovení sestává z minimálně 5 hodnot. Zjištěné hodnoty zaznamenáme včetně záznamu o použité distanční vzdálenosti. Je-li pokles aktivity přibližně exponenciální, můžeme na základě rozdílu naměřených hodnot v daném měřicím bodě odhadnout orientační dobu sumárního poločasů přeměny v kontaminantu nacházející se směsi radionuklidů dle vztahu (2). V opačném případě provedeme další dvě měření v intervalu 30 minut pro zpřesnění časového poklesu aktivity kontaminantu. Do vztahu (2) pak dosazujeme hodnoty z oblasti získané křivky vykazující přibližně exponenciální pokles měřené aktivity. Není-li během tohoto měření pokles aktivity kontaminantu pozorovatelný, považujeme jej za dlouhodobý.

$$T_{1/2} = \frac{t_i}{\ln \left(\frac{A_0}{A_i} \right)} * \ln (2) \quad (2)$$

Kde

$T_{1/2}$ je poločas přeměny radionuklidu v hodinách

t_i je čas i-tého měření uběhlý od prvního měření do započetí i-tého měření v hodinách

A_0 je odezva v čase prvního měření v imp/s

A_i je odezva po čase t_i uběhlém od prvního měření v imp/s

Po skončení dekontaminačního postupu provedeme stanovení zbylé odezvy na povrchu. Stanovení zbylé odezvy provedeme na stejných místech, na jakých jsme měřili před dekontaminací. Měření provádíme ve stejné vzdálenosti, v jaké jsme provedli stanovení hodnoty kontaminace. Výsledná hodnota stanovení odezvy po dekontaminaci je opět získána jako průměr z 5 stanovení.

Po provedení těchto měření provedeme opět orientační stanovení poločasu přeměny kontaminantu dle výše uvedeného vzorce.

4. Stanovení účinnosti dekontaminačního postupu

Jak je uvedeno výše, účinnost dekontaminačního postupu je definována hodnotou dekontaminační účinnosti, udávanou v procentech a popisující vhodnost daného postupu, a hodnotou dekontaminačního faktoru, charakterizující spolehlivost použitého postupu. Hodnota dekontaminační účinnosti byla odvozena z následujícího vztahu:

$$DÚ = \frac{(A_{od} - A_p)}{(A_0 - A_p)} * 100 \quad (3)$$

kde DÚ je hodnota dekontaminační účinnosti v procentech

A_{od} je odstraněná odezva v Imp/s

A_0 je počáteční odezva v Imp/s

A_p je odezva pozadí použitého měřicího přístroje v Imp/s

Jelikož hodnota odstraněné aktivity je obtížně stanovitelná či její stanovení je zatíženo velkou chybou, byla hodnota odstraněné odezvy nahrazena ve výše uvedeném vztahu rozdílem hodnot odezev zjištěných na kontaminovaném povrchu před provedením a po provedení dekontaminačního postupu. Tím získal výše uvedený vztah následující tvar:

$$DÚ = \frac{A_0 - A_k}{A_0 - A_p} * 100 \quad (4)$$

kde DÚ je hodnota dekontaminační účinnosti v procentech

A_k je odezva povrchu po dekontaminaci v Imp/s

A_0 je počáteční odezva povrchu v Imp/s

A_p je odezva pozadí v Imp/s

Hodnota dekontaminační účinnosti je v praxi z důvodu snadnější orientace často nahrazována hodnotou dekontaminačního faktoru. Dekontaminační faktor je číslo udávající kolikrát se sníží plošná odezva kontaminovaného povrchu použitím dané dekontaminační metody. Hodnota dekontaminačního faktoru je zde definována jako poměr počáteční odezvy povrchu a konečné odezvy zjištěné na povrchu, matematicky ji lze vyjádřit vztahem:

$$DF = \frac{A_0 - A_p}{A_k - A_p} \quad (5)$$

kde DF je hodnota dekontaminačního faktoru

A_k je odezva povrchu po dekontaminaci v Imp/s

A_0 je počáteční odezva povrchu v Imp/s

A_p je odezva pozadí v Imp/s

Jelikož povrch může být kontaminován radionuklidem, jehož poločas rozpadu je krátký ve srovnání s časem nezbytným pro provedení dekontaminačního postupu a během procesu může tedy dojít k významnému poklesu aktivity, je nutné při výpočtech hodnot dekontaminační účinnosti a dekontaminačního faktoru použít korekční faktor na pokles aktivity vlivem radioaktivní přeměny. Hodnota korekčního faktoru je vypočtena dle vztahu:

$$K = e^{\ln(2) \cdot \frac{(D_k - D_0)}{T_{1/2}}} \quad (6)$$

kde K je korekční faktor

D_k je čas měření povrchu po dekontaminaci

D_0 je čas měření kontaminace povrchu

$T_{1/2}$ je poločas přeměny kontaminantu v hodinách

Po použití korekčního faktoru má vztah pro výpočet dekontaminační účinnosti tvar

$$DÚ = \frac{A_0 - K \cdot A_k}{A_0 - A_p} * 100 \quad (7)$$

kde DÚ je hodnota dekontaminační účinnosti v procentech

K je korekční faktor na pokles aktivity vlivem radioaktivní přeměny

A_k je odezva povrchu po dekontaminaci v Imp/s

A_0 je počáteční odezva povrchu v Imp/s

A_p je odezva pozadí v Imp/s

Stejným způsobem je pak upraven i vztah pro výpočet hodnoty dekontaminačního faktoru

$$DF = \frac{A_0 - A_p}{K \cdot A_k - A_p} \quad (8)$$

kde DF je hodnota dekontaminačního faktoru

K je hodnota korekčního faktoru na pokles aktivity vlivem radioaktivní přeměny

A_k je odezva povrchu po dekontaminaci v Imp/s

A_0 je počáteční odezva povrchu v Imp/s

A_p je odezva pozadí v Imp/s

Pozn.: V případě laboratorního měření, kdy je známý použitý radionuklid, je možné do výše uvedených vzorců dosazovat hodnotu plošné aktivity v jednotkách Bq/cm².

5. Rozsah metodiky

Metodika umožňuje stanovení účinnosti dekontaminačních postupů aplikovaných na libovolných površích. Užití metodiky není omezeno orientací povrchu, na kterém jsou dezaktivací parametry stanoveny. Metodika umožňuje stanovit hodnoty dekontaminačních účinností přesahujících 99,8 % a hodnoty dekontaminačních faktorů přesahujících 1000.

6. Nejistota metodiky

Hlavním zdrojem nejistoty stanovení účinnosti dekontaminačních postupů v rámci této metodiky je neznalost hodnoty pozadí povrchu při měření v terénu a nízká hodnota poměru „počáteční odezva/odezva pozadí“, je-li známa. Při dodržení hodnoty poměru „počáteční odezva/odezva pozadí“ rovnající se 1000 je nejistota stanovení hodnoty dekontaminační účinnosti 0,4 % pro hodnoty dekontaminační účinnosti 99%.

7. Inovativní postupy

Uvedená metodika umožňuje provádět stanovení parametrů dezaktivace nejen v laboratorních podmínkách, ale nabízí i rychlý a přesný odhad stanovení parametrů dezaktivace v terénních podmínkách.

8. Uplatnění metodiky

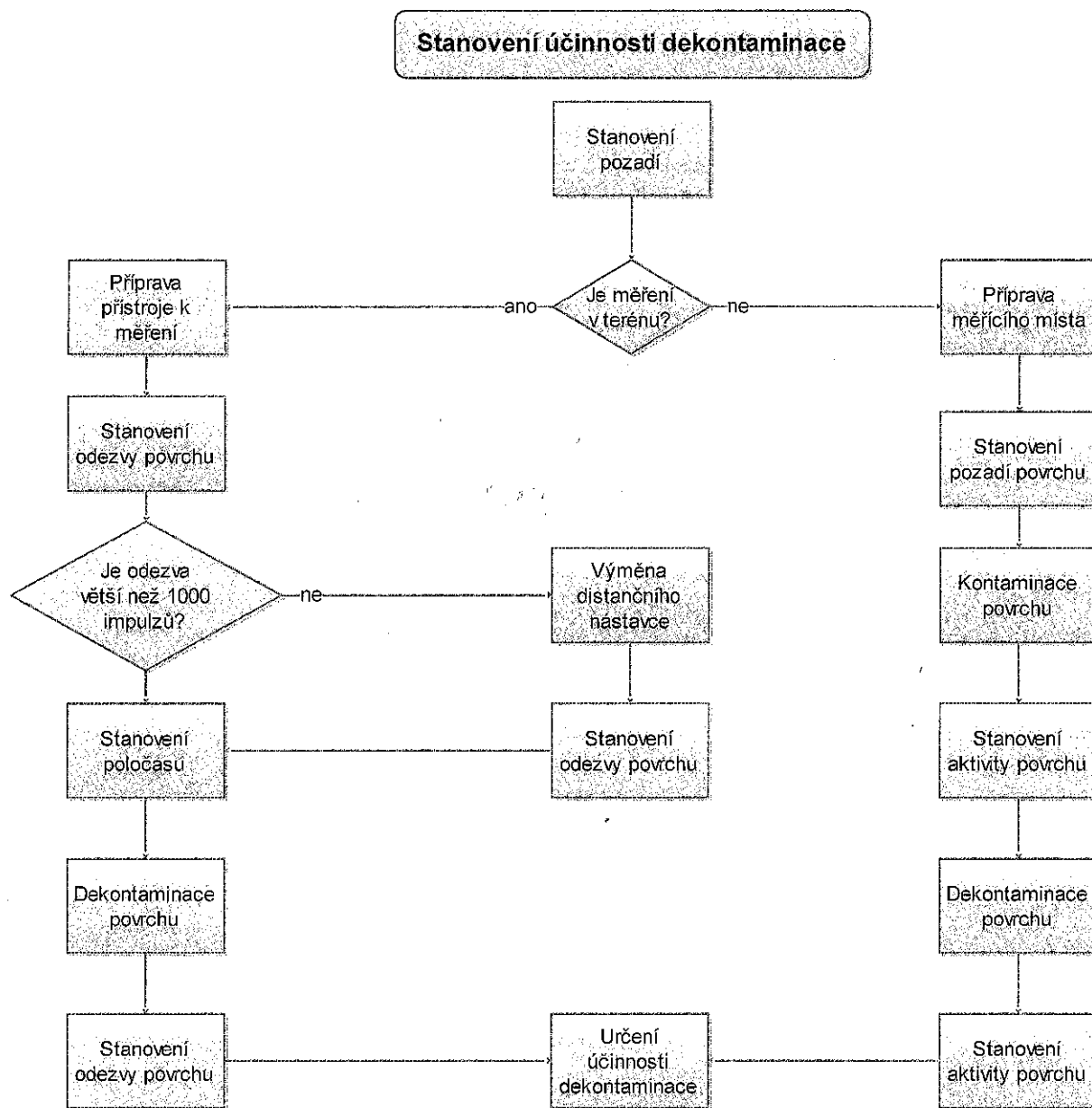
Metodika je užívána ke stanovení účinnosti jak celých dekontaminačních postupů, tak i jednotlivých dekontaminačních kroků, které tyto postupy tvoří. Výsledky získané pomocí této metodiky byly prezentovány jako poster na kongresu IRRRA-9 ve Valencii v roce 2014 viz [1]. Metoda stanovení převodních koeficientů pro sondu SABG-15+ s využitím Monte Carlo transportního kódu MCNPX spolu s ověřením, byla prezentována na konferenci ICHLNRRRA 2014 v Praze a následně publikována v Radiation Protection Dosimetry [2].

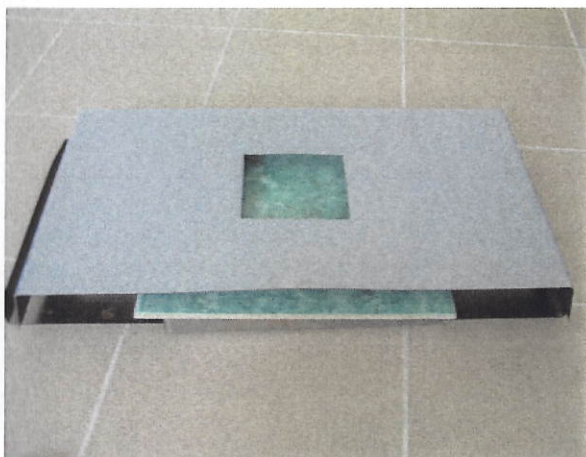
9. Literatura

- [1] Nondestructive radiological decontamination of building materials, Sborník IRRMA-9, Valencia 2014
- [2]. Cerny R, K. Johnova, M. Kozlovska, P. Otahal, and I. Vosahlikova. Determining Radioactive Aerosol Concentrations Using a Surface Radioactive Contamination Measurement Device. *Radiat. Prot. Dosimetry*, first published online May 15, 2015 doi:10.1093/rpd/ncv338

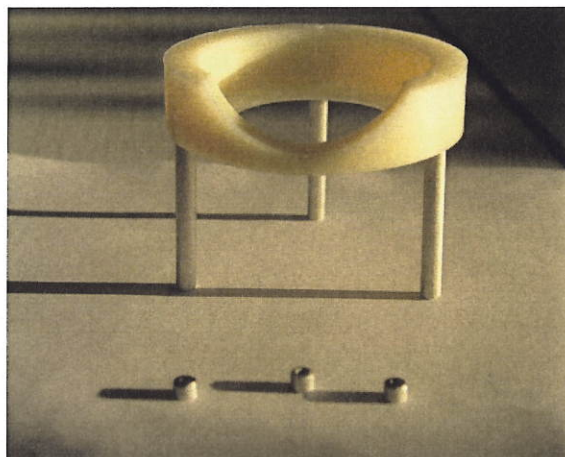
10. Seznam výstupů

- J. Holecek, P. Otahal (2015): Non-destructive decontamination of building materials; Radiation Physics and Chemistry, Article in Press
- J. Holecek, P. Otahal (2015): Surface Decontamination of Building Materials Using Decontamination Solution in the Form of Foam, International Conference on Applications of Nuclear Techniques, Crete – Greece, poster

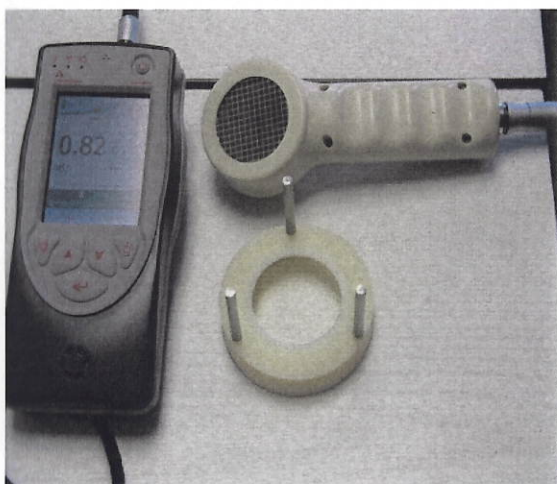




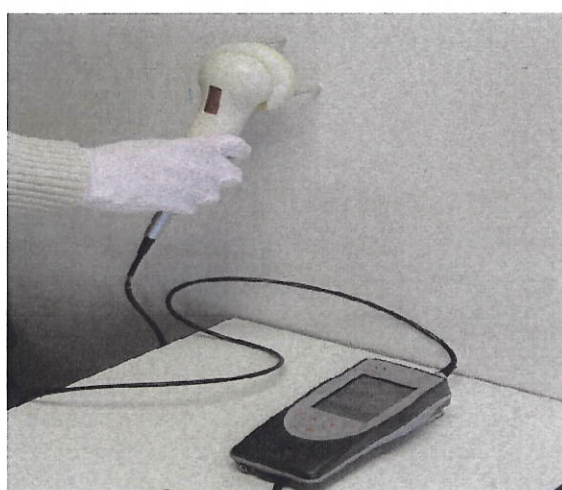
Obr. 1 Měřicí stanoviště pro laboratorní měření



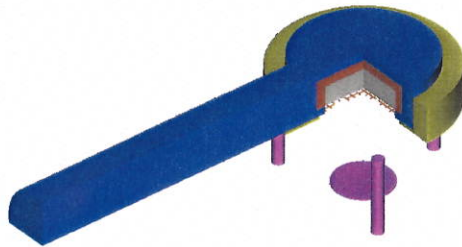
Obr. 2 Distanční nástavec pro terénní měření sondou SABG-15+



Obr. 3 Sestava měřicího přístroje COLIBRI TTC, alfa/beta/gama sondy SABG-15+ a distančního nástavce



Obr. 4 Stanovení kontaminace svislé stěny přístrojem COLIBRI TTC a sondou SABG-15+



Obr. 5 Vizualizace geometrického modelu sondy SABG-15+

Tab. 1 Převodní koeficienty pro přepočet odezvy přístroje COLIBRI TTC se sondou SABG-15+ pro distanční vzdálenost zdroj-detektor 5 cm

<i>distanční vzdálenost 5 cm</i>			
		$\frac{imp}{Bq}$	$\frac{imp}{Bq \times cm^{-2}}$
<i>La-140</i>	kruh R=1,5 cm	$3,14 \times 10^{-2}$	$2,22 \times 10^{-1}$
	kruh R=100 cm	$1,23 \times 10^{-4}$	$3,86 \times 10^0$
	čtverec a=12 cm	$5,15 \times 10^{-3}$	$7,41 \times 10^{-1}$
<i>Na-24</i>	kruh R=1,5 cm	$3,60 \times 10^{-2}$	$2,55 \times 10^{-1}$
	kruh R=100 cm	$1,41 \times 10^{-4}$	$4,42 \times 10^0$
	čtverec a=12 cm	$5,96 \times 10^{-3}$	$8,58 \times 10^{-1}$

Tab. 1 Převodní koeficienty pro přepočet odezvy přístroje COLIBRI TTC se sondou SABG-15+ pro distanční vzdálenost zdroj-detektor 1 cm

<i>distanční vzdálenost 1 cm</i>			
		$\frac{imp}{Bq}$	$\frac{imp}{Bq \times cm^{-2}}$
<i>La-140</i>	kruh R=1,5 cm	$2,13 \times 10^{-1}$	$1,51 \times 10^0$
	kruh R=100 cm	$1,36 \times 10^{-4}$	$4,29 \times 10^0$
	čtverec a=12 cm	$7,01 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^0$
<i>Na-24</i>	kruh R=1,5 cm	$2,39 \times 10^{-1}$	$1,69 \times 10^0$
	kruh R=100 cm	$1,57 \times 10^{-4}$	$4,94 \times 10^0$
	čtverec a=12 cm	$8,12 \times 10^{-3}$	$1,17 \times 10^0$