

Kontaminace povrchů v KP pracovišť nukleární medicíny – požadavky a realita

P. Solný, T. Kráčmerová, P. Karhan,
M. Koláček, L. Jonášová, K. Daňová



Povrchová kontaminace

- 422/2016 Sb.

(4) Monitorování radioaktivní kontaminace musí být na pracovišti s otevřeným radionuklidovým zdrojem prováděno tak, aby

a) umožnilo signalizovat

1. provozní odchylky od běžného provozu a
2. nedostatečnou funkci nebo selhání bariér bránících rozptylu a

b) potvrzovalo nepřekročení hodnot pro radioaktivní kontaminaci povrchu; hodnoty pro radioaktivní kontaminaci povrchu stanoví příloha č. 18 k této vyhlášce.

(3) Kontrolované pásmo musí být vymezeno v rozsahu zahrnujícím všechna pracovní místa, kde nelze vyloučit, že

- a) průměrný příkon prostorového dávkového ekvivalentu na pracovním místě může být za kalendářní rok vyšší než $2,5 \mu\text{Sv/h}$,
- b) součet součinů objemových aktivit jednotlivých radionuklidů v ovzduší na pracovišti a konverzních faktorů h_{inh} pro příjem vdechnutím radiačním pracovníkem může být v průměru za rok větší než $2,5 \mu\text{Sv/m}^3$, nebo
- c) povrchová kontaminace na pracovním místě může být vyšší než hodnoty plošné aktivity stanovené v příloze č. 18 k této vyhlášce.

Povrchová kontaminace

dle 307/2002 Sb.

Třída	Radionuklidy	Směrné hodnoty povrchové aktivity pro radioaktivní kontaminaci [Bq/cm ²]	Uvolňovací úrovně plošné aktivity [Bq/cm ²]
1	Ra-223	30	0,3
2	F-18, In-111, I-131	300	3
3	Tc-99m, I-123, Lu-177, Re-186	3000	30

dle 422/2016 Sb.

Radionuklidy	Směrné hodnoty povrchové aktivity pro radioaktivní kontaminaci [Bq/cm ²]	Uvolňovací úrovně plošné aktivity [Bq/cm ²]
F-18, In-111, I-131, Tc-99m, I-123, Lu-177, Re-186	4	0,4
Ra-223	0,4	0,04

Metodika měření

- měření na 4 pracovištích NM (diagnostika i terapie)
- vybraná místa na oddělení, prádlo, nádobí, patientské věci
- maximální hodnota– např. max. na podlaze, stole, ...
- otěrové zkoušky na vybraných místech
- z měření spočítaná minimální detekovatelná plošná aktivita pro daný přístroj

Přístroje

	Přístroj	Stáří	Poznámky
Pracoviště 1	PAM-300	7 let	nutná korekce u ^{99m}Tc – kor. koef. 1,4
Pracoviště 2	Isotrak AB/100	15 let	GM nutná korekce u ^{131}I – kor. koef. 2,28
Pracoviště 3	LB-124	2 roky	
Pracoviště 4	LB-124	1 rok	



PET

	Pozadí	Podlahy								Povrchy								Pozn: před/po úklidu
	mimo KP	Čekárna a bez apl.	Aplikační box/OZ	Čekárna a po aplikaci/OZ	Chodba a/OZ	WC napl./ OZ	Aplikační m./OZ	Vyšetřovna/ OZ	Kamera 1/OZ	Čekárna bez apl. židle	Aplikační box - židle /OZ	Čekárna a po aplikaci židle/ OZ	Umyvadlo WC/OZ	Lůžko vyšetřovna/ OZ	Aplikační lůžko/ OZ	Stůl aplikací místnost/ OZ	Lamináční box aplikací e/OZ	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,425	0,400	0,425	0,455	0,445	0,515	0,800	0,695	-	-	0,515	-	0,815	0,815	-	0,360	-	servis
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	0,025	0,083	0,319	0,193	0,344	0,307	0,248	0,033	0,168	0,155	0,265	0,213	0,207	0,034	0,232	2,879	0,249	před

limit 4 Bq/cm²

SPECT

	Pozadí	Podlahy										Povrchy							Pozn: před/ po úklid u
	mimo KP	Čekárna a/OZ	Čekárna a dospělí /OZ	Chodba a/OZ	WC po apl./OZ	Aplikační m./OZ	Vyšetřovna/ OZ	Kamera a 1/OZ	Kamera a 2/OZ	Kamera a 3/OZ	Kamera	Čekárna - židle/OZ	WC naapl./ OZ	Umyvadlo WC/OZ	Lůžko vyšetřovna/ OZ	Aplikační lůžko/ OZ	Stůl aplikační místnost/ OZ	Laminární box aplikace/ OZ	
1	6,0	0,1	0,1	0,1	18,3	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	67,3	2,5	0,6	0,5	3,6	248,1	po
	6,0	0,4	0,0	0,0	10,3	1,1	0,6	0,0	0,6	0,1	0,2	0,5	18,3	4,8	0,6	0,6	6,9	500,7	před
2	2,6	1,0	1,6	2,9	9,2	1,4	1,2	0,7	0,8	0,2	0,5	1,7	24,1	3,8	1,1	11,3	18,6	-	po
	4,3	0,9	2,1	2,7	16,4	3,5	0,7	0,0	2,3	0,7	1,0	1,3	1413,9	13,2	1,3	19,0	18,3	-	před
3	2,1	1,9	2,3	2,0	2,32	2,4	2,1	1,8	2,3	2,4	2,2	2,0	2,44	2,1	2,2	2,2	2,8	-	po
	2,4	2,5	3,0	2,9	10,4	7,7	2,7	4,0	2,1	3,1	3,1	2,6	20,4	4,2	3,1	7,5	294,4	-	před
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	2,0	0,2	0,3	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,4	3,3	0,0	po
	0,3	0,2	0,8	0,5	14,3	8,8	0,3	0,3	0,3	-	0,3	0,4	30,2	0,5	0,5	4,4	33,3	1,3	před
Nutnost provádět OZ					45%	32%							51%	25%		32%	60%		

limit 4 Bq/cm²

Laboratoř SPECT

	Pozadí	Podlahy			Povrchy			Pozn: před/po úklidu
	mimo KP	Laboratoř SPECT	Filtr SPECT	Přípravna	Lamibární box SPECT	Stůl v laboratoři SPECT	Lamibární box leukocyty SPECT	
Pracoviště 1	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	
Pracoviště 2	3,37	25,80	7,76	-	270,50	19,40	6,35	před
	3,10	21,67	4,77	-	331,67	13,00	156,50	po
Pracoviště 3	1,94	9,98	2,04	1,90	62,00	10,04	1,80	před
	2,02	8,56	2,40	3,26	210,70	6,96	1,94	po
Pracoviště 4	0,10	6,12	0,09	-	29,45	6,03	-	před
	0,50	41,52	0,41	-	70,80	30,20	-	po

Lůžková stanice

	Radionuklid	Pozadí	Pozadí	Povrchy						Podlahy			Pozn: před/po úklidu
		mimo KP	v KP před pokojem	Parapet/O Z	Pacientský stolek	Postel	Jídelní stůl/OZ	Umyvadlo /OZ	WC/OZ	Pokoj/ OZ	Koupelna/ OZ	Chodbička/OZ	
1	diag	1,46	3,43	1,79	5,16	15,40	2,94	88,65	23,94	2,09	5,84	2,28	po
	ter	1,37	2,49	3,30	6,07	8,93	7,46	34,50	55,75	6,12	18,35	5,73	po
2	diag	-	0,40	0,50	0,69	0,56	0,70	1,80	2,50	0,50	1,60	-	po
	ter	-	1,60	1,30	4,17	7,06	1,90	12,00	20,70	2,50	20,10	-	po
3	ter	0,20	0,84	0,572	0,94	1,06	0,85	2,086	17,81	6,49	3,48	0,59	před
	ter	0,19	1,01	1,87	3,20	3,18	1,16	3,02	16,06	5,57	5,89	2,53	po
4	ter+diag	0,38	0,56	0,59	1,24	0,97	0,68	1,98	2,22	1,21	0,90	0,58	po
Nutnost provádět OZ					25%	34%		73%	73%	22%	56%		

limit 4 Bq/cm²

Zázemí lůžková stanice

	Pozadí	Povrchy								Podlahy						
	mimo KP	Lůžko vyšetřovna/OZ	Stoly DM/OZ	Židle DM/OZ	Laminární box/OZ	Stůl laboratoř/OZ	Aplikační místnost stůl/OZ	Aplikační lůžko/OZ	Úkl. míst./OZ	Denní místnost sestry/OZ	DM/OZ	Vyšetřovna/OZ	Chodba/OZ	Laboratoř/OZ	Aplikační místnost/OZ	Úkl. míst./OZ
1	1,41	1,28	0,24	0,14	4,13	3,52	4,79	-	2,50	0,07	0,21	-	0,08	8,91	2,49	5,89
2	0,34	0,29	0,24	0,26	5,09	12,88	0,26	0,25	0,91	-	0,22	0,29	0,31	1,80	0,22	0,76
3	0,20	0,22	0,20	0,22	3,27	1,03	0,47	0,36	0,24	0,20	0,19	0,24	0,23	1,67	0,34	0,24
4	0,26	0,31	-	-	-	-	0,28	0,27	0,54	-	-	0,34	0,30	-	0,29	0,37

limit 4 Bq/cm²

Nádobí

Pracoviště 1	před mytím	-
	po mytí	1,35
Pracoviště 2	před mytím	3,07
	po mytí	-
Pracoviště 3	před mytím	1,59
	po mytí	0,22
Pracoviště 4	před mytím	0,50
	po mytí	0,19

limit 0,4 Bq/cm²

Prádlo

Pracoviště 1	před skladováním	129,40
	skladované 90 dní	1,41
Pracoviště 2		-
	po vyprání	9,03
Pracoviště 3		-
	skladované 40 dní	2,37
Pracoviště 4	před praním	10,27
	po vyprání	2,04

limit 0,4 Bq/cm²

Pacientské věci

	mobil	notebook	pantofle	kniha	brýle
Pracoviště 1	2,56	2,85	17,11	4,35	3,57
Pracoviště 2	3,93	3,86	-	-	-
Pracoviště 3	0,98	0,92	-	0,80	-
Pracoviště 4	0,57	-	0,80	-	-

limit 0,4 Bq/cm²

Pracovníci

	Radionuklid	Ruce	Pracovní oděv	Obuv
Pracoviště 1	^{131}I	1,41	1,43	3,07
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	3,68	3,73	4,42
Pracoviště 2	^{131}I	1,00	1,02	1,02
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	7,58	5,00	6,86
Pracoviště 3	^{131}I	0,22	0,22	0,34
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2,10	2,10	2,02
Pracoviště 4	^{18}F	0,07	0,10	0,09
	^{131}I	0,17	0,17	0,12
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0,14	0,15	0,13

limit 0,4 Bq/cm²

Otěrové zkoušky

	Celkem stěrů	Z toho pozitivních	
Pracoviště 1*	46	27	58%
Pracoviště 2	24	4	17%
Pracoviště 3	72	17	24%
Pracoviště 4*	45	33	73%

*výběr exponovaných míst

Minimální detekovatelná plošná aktivita

$$MDA_{poz} = \frac{k \cdot (2K\sqrt{p} + K \cdot K)}{t}$$

$$MDA_{KP} = \frac{k \cdot (2K\sqrt{2p} + K \cdot K)}{t}$$

K = 1,645

k ... kalibrační koeficient

t = 5s

p ... detekovaný počet impulsů za 1s

ISO 11929:2010

	radionuklid	mimo KP	chodba lůžkové oddělení	laboratoř lam.box
Pracoviště 1	131I	0,19	0,25	0,63
	99mTc	0,90	2,59	3,08
Pracoviště 2	131I	0,07	0,10	0,20
	99mTc	1,10	2,00	2,40
Pracoviště 3	131I	-	-	-
	99mTc	-	-	-
Pracoviště 4	131I	-	-	-
	99mTc	-	-	-

Hodnocení výsledků

- pouze **nevázaná aktivita!**
- Co to ale v praxi znamená?
 - musím skoro u všech měření provádět otěrové zkoušky

Otěrové zkoušky

- všude, kde je překročena hodnota $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ (resp. $0,4\text{ Bq}/\text{cm}^2$) provést otěrovou zkoušku
- otěrová zkouška **není nikde v legislativě definovaná**

Otěrové zkoušky

- tamponkem s alkoholem otřeme podezřelé místo kontaminace
- změříme na **ověřeném** přístroji pro měření plošné kontaminace
- překročeno?
 - poté změříme na **ověřeném spektrometru** a převedeme na aktivitu ($\text{Bq} \approx \text{Bq}/\text{cm}^2$)
 - nutná kalibrace

Co potom?

- potvrzení kontaminace = provedení **účinné dekontaminace**
- účinná dekontaminace opět není nikde specifikovaná
- jak provést dekontaminaci *Manual on Decontamination of Surfaces (IAEA, 1979)*
- provedu takové očištění místa, aby aktivita na tamponku byla do daného limitu
- tzn. během dekontaminace opět ověřuji na spektrometrickém zařízení, jaká je na tamponku aktivita

Praxe

- v praxi by na to musel být vyčleněn pracovník zajišťující monitorování pracoviště před zahájením a po zahájení provozu
- úklid nesmí vstupovat do KP pokud není hodnota menší než 4 Bq/cm²
- veškerý personál pro úklid rad. pracovník kat A

veškerý úklid = dekontaminace

Úklid

(9) Úklid nebo údržbu v kontrolovaném pásmu může samostatně provádět

- a) radiační pracovník kategorie B nebo jiná fyzická osoba na pracovišti s generátorem záření, s uzavřeným radionuklidovým zdrojem nebo se zařízením s uzavřeným radionuklidovým zdrojem, pokud je zajištěno, že v době jejich přítomnosti nemůže být zařízení uvedeno do provozu, nebo
- b) radiační pracovník kategorie B na pracovišti II. nebo III. kategorie s otevřeným radionuklidovým zdrojem, pokud se na pracovním místě s tímto zdrojem v době jeho přítomnosti nenakládá a měřením je potvrzeno, že povrchová kontaminace na pracovním místě je menší než hodnoty plošné aktivity stanovené v příloze č. 18 k této vyhlášce.

Zahraníčí

Německo

- Radiation Protection Ordinance - Document from the Handbook on Nuclear Safety and Radiation Protection (7/2016)

(2) For the prevention of the further dispersal of radioactive substances or their absorption into the body, measures shall be taken immediately if

1. on contact areas, on workplaces or on the clothing in controlled areas, it is determined that non-firmly bonded surface contamination exceeds 100 times the values specified in Appendix III, Table 1, Column 4, or
2. on contact areas, on workplaces or on the clothing in controlled areas, it is determined that non-firmly bonded surface contamination exceeds 10 times the values specified in Appendix III, Table 1, Column 4, or
3. outside a radiation protection area on the site, the surface contamination of soil areas, buildings and mobile objects, in particular clothing, exceeds the values specified in Appendix III, Table 1, Column 4.

Uvolňovací hodnoty:

^{99m}Tc	10Bq/cm ²
^{131}I	10Bq/cm ²
^{223}Ra	1Bq/cm ²
^{18}F	1Bq/cm ²

Francie

- Guide de radioprotection (9/2007)
- pouze pro **transport!**

Contamination des colis

La contamination non fixée sur les surfaces externes de tous colis doit être maintenue à un niveau aussi bas que possible et, dans les conditions normales de transport, ne doit jamais dépasser les valeurs suivantes :

- émetteurs bêta/gamma ou alpha de faible toxicité : 4 Bq/cm²
- tous les autres émetteurs alpha : 0,4 Bq/cm²

Ces limites sont les limites moyennes applicables pour toute aire de 300 cm² de toute partie de surface.

Remarque : L'ADR définit la contamination comme étant la « présence, sur une surface, de matières radioactives en quantité dépassant 0,4 Bq/cm² pour les émetteurs bêta/gamma et alpha de faible toxicité, ou 0,04 Bq/cm² pour tous les autres émetteurs alpha ».

Au vu des seuils précédents, on note qu'une certaine contamination des colis est acceptée. Pour les colis exceptés, il est conseillé d'avoir un seuil de contamination inférieur à celui défini par l'ADR.

La contamination fixée étant, par nature, difficilement quantifiable, il faudra raisonner en terme de débit de dose.

IAEA

- Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2002)
- pouze pro **transport!**

214.2. Contamination below levels of 0.4 Bq/cm^2 for beta and gamma emitters and for low toxicity alpha emitters, or 0.04 Bq/cm^2 for all other alpha emitters (see also para. 508), can give rise only to insignificant exposure through any of these pathways.

214.3. Any surface with levels of contamination lower than 0.4 Bq/cm^2 for beta and gamma emitters and low toxicity alpha emitters or 0.04 Bq/cm^2 for all other alpha emitters is considered a non-contaminated surface in applying the Regulations. For instance, a non-radioactive solid object with levels of surface contamination lower than the above levels is out of the scope of the Regulations, and no requirement is applicable to its transport.

IAEA

- Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Levels, No. 67 (2012)
- pouze pro **transport a dlouhodobé radionuklidy!**

2.2.4. Values for bulk and surface contamination

Values for exemption and clearance of material may be expressed as activity concentration values or as surface specific activity values.

The values for surface contamination are generally expressed in Bq/cm². Methods for deriving surface contamination values are usually based on appropriate models and scenarios. Examples can be found in Ref. [10] and the supporting Radiation Protection Series 101 [11], in the German Radiation Protection Ordinance [12] or in the ANSI Standard [13]. Such surface specific values need to be distinguished from those provided in the IAEA Transport Regulations [7] for the surfaces of packages and for the surfaces of objects (surface contaminated objects (SCO)) for transport purposes only.

Rakousko

- Radioaktivität und Strahlung (7/2002)

Tab. 5.h: Österreichische Kontaminationsgrenzwerte für Schutzmaßnahmen

Betrachtete Fläche	Grenzwerte für die Toxizitätsklasse 1	Grenzwerte für die Toxizitätsklasse 2-4
Flächen mit weniger als 100cm ² sowie Laboratoriumsgegenstände, wie Glaswaren und Werkzeuge	Alphastrahler 3,7 Bq/cm ² Betastrahler 37 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 37 Bq/cm ²
Flächen ab 100cm ²	Alphastrahler 0,37 Bq/cm ² Betastrahler 3,7 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 3,7 Bq/cm ²
Kleidung, Unterwäsche und Unterziehhandschuhe	Alphastrahler 0,37 Bq/cm ² Betastrahler 3,7 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 3,7 Bq/cm ²
Oberkleidung, Schutzkleidung und Schuhe	Alphastrahler 3,7 Bq/cm ² Betastrahler 18 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 18 Bq/cm ²
Hautpartien, Hände	Alphastrahler 111 Bq/cm ² Betastrahler 1110 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 1110 Bq/cm ²
Haut anderer Körperpartien (Mittelwert über 30 cm ²)	Alphastrahler 0,37 Bq/cm ² Betastrahler 3,7 Bq/cm ²	Alpha- u. Betastrahler 3,7 Bq/cm ²

Austrálie

- Radiation protection in nuclear medicine, No. 14.2; (8/2008)

Monitoring of Ambient Radiation and Surface Contamination

AMBIENT DOSE RATE SURVEYS

At the end of each working day: all radiopharmaceutical elution, preparation, assay and administration areas (except patient treatment rooms which should be surveyed at the end of the therapy instead of on the day of administration).

Weekly: all radionuclide use, storage and waste storage areas.

Monthly: all laboratory areas where only small quantities (≤ 10 MBq) of gamma-emitting radioactive materials are used.

Ambient dose rate trigger levels: if the levels listed below are exceeded the source of the increased dose rate should be identified and removed. If the dose rate cannot be reduced the RSO, or the Responsible Person, should be notified immediately.

Unrestricted area: $0.5 \mu\text{Sv/h}$

Restricted area: $10 \mu\text{Sv/h}$

Delacroix

- Radionuclide and radiation protection data handbook (2002)

Derived surface contamination limits

The derived surface contamination limit (DSCL) is a non-regulatory quantity enabling exposure risks due to removable and/or fixed surface contamination to be quantified. Exposure to the DSCL leads to a dose which does not exceed the maximum annual occupational exposure limit (corresponding to 2000 working hours). A model is used to determine the DSCL values corresponding to the different radionuclides dealt with⁽¹⁷⁾. This model takes different modes of exposure and transfer parameters into consideration. These data are given for completeness and the values do not supersede limits imposed by regulations, which are invariably much lower.

Removable contamination

^{99m}Tc	200 Bq/cm ²
^{131}I	20 Bq/cm ²
^{223}Ra	N/A Bq/cm ²
^{18}F	20 Bq/cm ²

Fixed contamination

^{99m}Tc	200 Bq/cm ²
^{131}I	80 Bq/cm ²
^{223}Ra	N/A Bq/cm ²
^{18}F	30 Bq/cm ²

- Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces, No. 120 (1970)

TABLE I. DERIVED WORKING LIMITS FOR SURFACE CONTAMINATION [18]^a

Type of area	1 Principal alpha emitters ^b ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	2 Low-toxicity alpha emitters ^c ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	3 Beta emitters ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	4 Low-energy beta emitters ^d < 0.2 MeV max. ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)
Inactive and low activity areas	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}
Active areas	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}
Personal clothing	10^{-5}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}
Clothing not normally worn in inactive areas	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}
Skin	10^{-5}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}

^a Averaging is permitted over inanimate areas of up to 300 cm² or, for floors, walls and ceiling, 100 cm². Averaging is permitted over 100 cm² for skin or, for the hands, over the whole area of the hand, nominally 300 cm².

^b All alpha emitters other than those listed under c.

^c Uranium isotopes (except separated isotopes of mass numbers 230, 232 or 233); natural, enriched and depleted uranium; natural thorium; thorium-232; thorium-228 and thorium-230 when diluted to a specific activity of the same order as that of natural uranium and natural thorium; short-lived nuclides, such as astatine-211, radium-224 and daughters of the isotopes of radon.

^d The relaxation for low-energy beta emitters does not apply to beta-emitting plutonium isotopes.

Kontrolované pásmo

^{99m} Tc	N/A Bq/cm ²
¹³¹ I	37 Bq/cm ²
²²³ Ra	3,7 Bq/cm ²
¹⁸ F	37 Bq/cm ²

Závěr

- limity v praxi dosažitelné (kromě: WC, umyvadla, aplikační místnost, lůžkové oddělení, α radionuklidy)
- ovšem nejsou měřitelné v KP
- uvolňovací úrovně mimo měřitelný rozsah, nesplnitelné
- odpovídající limity pouze pro transport

Děkuji za pozornost







Reference

- [Radiation Protection Ordinance DE](#)
- [Guide de radioprotection FR](#)
- [Radioaktivität und Strahlung AT](#)
- [Radiation Protection in Nuclear Medicine AUS](#)
- [Radionuclide and radiation protection data handbook](#)
- [Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Levels](#)
- [Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces](#)