

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

**METODIKA ODHADU AKTIVITY RADIONUKLIDŮ
V OBJEMNÝCH VZORCÍCH V TERÉNNÍCH
PODMÍNKÁCH**

Postup 7

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

OBSAH:

1.	Přístroje, pomůcky a materiálové zajištění	3
2.	Postup měření	3
2.1.	Geometrie vzorku a geometrie měření.....	3
2.2.	Postup při třídění vzorků ve velkoskladech – stěna přepravek nebo jim podobných nádob.....	4
2.3.	Postup při třídění vzorků na základě měření DP – samostatné přepravky, válcové nádoby.....	8
3.	Mez použitelnosti metody, kritické hodnoty	9
4.	Záznamy a protokoly	10
5.	Související dokumenty.....	10
6.	Přílohy	10
6.1.	Příloha 1 - Tabulky	11
6.2.	Příloha 2 - Obrázky	16
6.3.	Příloha 3 - Tabulky pro výpočet.....	21

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

1. Přístroje, pomůcky a materiálové zajištění

- detektor dávkového příkonu
- přístroj pro určování zeměpisných souřadnic (GPS)
- OOPP (Tyvek/Tychem, návleky, rukavice, rouška)
- osobní elektronický dozimetr
- náhradní baterie
- stojan na přístroje
- kontrolní zdroj ^{137}Cs
- kalkulačka (notebook s programem Excel)
- tabulky s hodnotami konstant (uvedeny v této metodice)
- délkové měřidlo (metr)
- odběrové nádoby na vzorky (2 litrové masťovky, 1 litrové lahve).
- PE sáčky
- psací potřeby
- pevná podložka (s klipsem)

2. Postup měření

Doba měření jednoho vzorku je **30 s** (měření musí být krátké, aby byl postup efektivní).

Spektrometrické vlastnosti GR jsou využity ke stanovení radionuklidového složení kontaminantu, pokud není známo z jiných měření.

2.1. Geometrie vzorku a geometrie měření

a) Geometrie vzorku: stěna složená z přepravek

Stěna složená z „klasických zeleninových přepravek“ popsanych v b), která vznikne jejich složením na sebe a těsně vedle sebe.

Geometrie měření:

- a1) čelo GR ve vzdálenosti **1m** před geometrickým středem čelní stěny z přepravek
- a2) čelo GR v kontaktu se středem stěny z přepravek

b) Geometrie vzorku: jedna plná přepravka

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Klasická plná „zeleninová“ přepravka s objemem vzorku 28 dm^3 a celkové hmotnosti vzorku 14 kg; střední hustota volně ložených potravin v přepravce se předpokládá $0,5 \text{ g/cm}^3$.

Geometrie měření:

b1) přepravka zepředu: čelo GR je umístěno v kontaktu s delší boční stěnou přepravky, podélná osa detektoru umístěna proti středu vzorku (tj. GR neleží na podložce, ale je zvednut 4 cm nad podložku) – viz Obr. 6 Přílohy 2.

b2) přepravka shora: GR je umístěn spodní stranou 2 cm nad středem vzorku v přepravce; geometrický střed krystalu (u GR odpovídá středu displeje) je umístěn nad středem přepravky) – viz Obr. 7 Přílohy 2.

c) Geometrie vzorku: válcová nádoba o různém poloměru a výšce

Válcová geometrie o různém poloměru a výšce pro možnost odhadů DP od vzorků nestandardních geometrií aproximovatelných válcem.

Geometrie měření:

c1) čelo GR je umístěno 2 cm nad podstavou válce směrem k válci – viz Obr. 8 Přílohy 2,

c2) spodní strana GR v kontaktu s podstavou válce (střed okénka displeje GR v ose válce – odpovídá středu krystalu) – viz Obr. 9 Přílohy 2.

d) Geometrie vzorku: válcová nádoba dvoulitrová

Dvoulitrová válcová nádoba (masťovka) s objemem vzorku 2 litry o hustotě $0,5$ až $0,7 \text{ g/cm}^3$ nebo s objemem 1 litr o hustotě 1 g/cm^3 .

Geometrie měření:

válcová nádoba i GR jsou umístěny na podložce, čelní stěna GR je v kontaktu s pláštěm nádoby, viz Obr. 10 Přílohy 2. Metodika měření vzorků o objemu 1-2 litry je popsána v [3].

Metodiku je možno použít i pro jiné geometrie vzorku než zde uvedené, je však nutno uvážit vliv odlišné geometrie na hodnoty konverzních koeficientů (např. stanovením DP vzorku o známé aktivitě).

2.2. Postup při třídění vzorků ve velkoskladech – stěna přepravek nebo jim podobných nádob

Vzhledem k možné složitosti situace není předepisován žádný formát zápisu. Průběžně se zapisují naměřené hodnoty včetně dalších doplňujících relevantních údajů do deníku MS.

Vhodné je pracovat ve dvojicích, jedna osoba měří, druhá zapisuje údaje.

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

- a) Zkontrolujte funkčnost přístroje a proveďte stabilizaci kontrolním zdrojem (součást sady). Styčnou plochu přístroje zabalte do PE folie k zabránění kontaminace (případně ji často měňte).
- b) Naberte spektrum v blízkosti komodity ke kvalitativnímu ověření radionuklidového složení kontaminantu, pokud není známo z předcházejících stanovení. Vzhledem k omezeným spektrometrickým možnostem GR se nemusí kvalitativní analýza podařit. Ke kvalitativní analýze použijte software přístroje GR. Ve většině případů bude složení kontaminantu (zastoupení aktivit radionuklidů) známo z jiných měření, např. aerosolových filtrů pomocí polovodičové spektrometrie gama.
- c) 5x opakujte měření DP pozadí, každé po dobu **30 s**, v místě dostatečně vzdáleném od měřených komodit, kde lze ale předpokládat podobné pozadí, jako v místě komodit. Spočítejte dle (1) průměr DP od pozadí

$$DP(\text{Pozadí}) = \frac{\sum DP_j}{n} \quad (1)$$

kde

- $DP(\text{Pozadí})$ je střední hodnota dávkového příkonu od pozadí [nGy/h]
 - DP_j je hodnota jednotlivého dávkového příkonu od pozadí [nGy/h]
 - n je počet měření.
- d) Měření DP způsobeného „bloky“ komodit. Zhodnoťte rozložení komodit a postupně změřte a zaznamenejte DP od všech samostatných „bloků“ komodit (odděleně stojící stěny přepravek, odděleně stojící jiné soubory komodit – např. sudy) metodou měření stěny přepravek ve vzdálenosti **1 m** od stěny a v kontaktu se středem stěny. Pokud je stěna rozsáhlá, měření proveďte ve více místech nebo pomalou chůzí s integrační dobou GR nastavenou na 1 s (tj. rychlá odezva přístroje na změny) projděte ve vzdálenosti 1m podél uskladněných komodit a zaznamenejte minimální a maximální DP a místo zjištění (např. označením přepravky). Pokud budou přepravky přiléhat delší stranou k sobě místo předpokládanou kratší stranou, lze odhady použít také. Tato měření slouží k vytipování míst s nejvyšším a nejnižším DP. Pokud by to bylo vyžadováno, k hrubému odhadu aktivity z naměřených DP lze použít hodnoty konverzních koeficientů pro ^{137}Cs a ^{131}I z Tabulky 1 Přílohy 1 stanovené s čelem GR v 1 metru od stěny přepravek s osou přístroje mířící na střed střední přepravky a vztahu (2).

$$A = \frac{DP(\text{vzorek}) - DP(\text{pozadí})}{K} [\text{kBq/kg}] \quad (2)$$

kde

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

- A je aktivita odpovídající dávkovému příkonu způsobeného vzorkem (po odečtení pozadí)
- DP (vzorek) je celkový dávkový příkon včetně pozadí
- DP (pozadí) je průměrný dávkový příkon od pozadí
- K je konverzní koeficient z tabulky 1 nebo 2 přílohy 1

Při počtu přepravek nižším než $7 \times 7 = 49$ bude konverzní koeficient přibližně o 2% nižší na každou „chybějící“ přepravku. Při počtu přepravek vyšším než $9 \times 9 = 81$ bude konverzní koeficient přibližně o 1% vyšší na každou „přebývající“ přepravku. V případě jiných přepravních nádob se k odhadům použijí Tabulky 3 až 6 Přílohy 1 a Obr. 2 až 5 Přílohy 2.

- e) Vyhledání konkrétního objektu (např. přepravky) s nejvyšší a nejnižší aktivitou. Postupným skenováním proměřte jednotlivé objekty v „blocích“ s nejvyšším a nejnižším zjištěným DP. Měření provádějte v minimální vzdálenosti od jednotlivých objektů (např. GR přiložen u středu postranice každé přepravky). Naměřené hodnoty DP zapisujte do tabulky. Je-li to možné, proměřte objekty (přepravky) i z druhé strany pro případ nehomogenity v rozložení kontaminantu. Podobně postupujte, jsou-li komodity uskladněny v jiných přepravních nádobách. Je pravděpodobné, že v „bloku“ s nejvyšším DP bude i objekt s nejvyšším DP a v „bloku“ s nejnižším DP bude objekt s „nejnižším DP.
- f) Odhad rozmezí aktivit. V případě přepravek pomocí Tabulky 2 Přílohy 1 a vztahu (2) pro jeden dominantní nuklid nebo vztahu (3) pro více nuklidů odhadněte meze aktivit z nejvyššího a nejnižšího zjištěného DP (s odečtenou hodnotou DP (Pozadí)).

Aktivita j -tého nuklidu se odhadne pomocí vztahu

$$A_j = \frac{Z_j \cdot DP}{\sum K_i \cdot Z_i} [kBq/kg] \quad (3)$$

kde

- A_j je aktivita j -tého nuklidu v případě kontaminace směsí nuklidů
- Z_j resp. Z_i je zastoupení aktivity j -tého resp. i -tého nuklidu v předpokládané směsi dané vztahem (4)
- K_i je převodní koeficient z tabulky 2 přílohy 1
- DP je dávkový příkon od vzorku po odečtu pozadí, tj. $DP(Vzorek) - DP(Pozadí)$.

Zastoupení Z_j aktivity A_j v celkové aktivitě A (celková aktivita A je dána součtem aktivit jednotlivých nuklidů, které přispívají k celkovému DP) je dáno vztahem

$$Z_j = \frac{A_j}{\sum A_i}$$

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

(4)

kde

- A_i je aktivita i -tého nuklidu v případě kontaminace směsí nuklidů

Výpočet bude nadhodnocen vlivem okolních přepravek – viz Obr. 1 Přílohy 2. Ke korekci vlivu okolních přepravek můžete využít vztahů (5) a (6)

$$A_S = \frac{DP(\text{vzorek}) - DP(\text{pozadí})}{K \cdot R} [kBq / kg] \quad (5)$$

$$R = \frac{DP_{rel}}{100} \quad (6)$$

kde

- A_S je odhad aktivity v [Bq/kg] komodity v přepravce (před kterou je měření prováděno) korigovaný na příspěvek okolních přepravek
- $DP(\text{vzorek})$ je celkový dávkový příkon včetně pozadí
- $DP(\text{pozadí})$ je dávkový příkon od pozadí
- K je konverzní koeficient z Tabulky 2 Přílohy 1 sloupec „Převrtačka – zepředu“
- R je korekce na relativní příspěvek okolních přepravek; $R > 1$
- DP_{rel} je součet relativních hodnot uvedených na Obr. 1 Přílohy 2. S dostatečnou přesností stačí sečíst podbarvená pole a příspěvky od ostatních přepravek zanedbat.

Vztah lze užít i pro přepravky sestavené do stěny delší stranou k sobě. Odhad aktivity A_S bude v tom případě nadhodnocen.

Položíme-li $R=1$ (tj. bez vlivu okolních přepravek), bude aktivita A_S rovněž nadhodnocena.

- g) Zpřesnění rozmezí aktivit. Je-li to možné, vyberte přepravku s nejnižším a nejvyšším DP a pro upřesnění intervalu aktivit přepravky proměřte na místě s nižším pozadřovým DP způsobem uvedeným v části 4.4. Pro zvýšení věrohodnosti může být vybráno přepravek více.
- h) Dle zadaného úkolu proměřte další vytipované přepravky a výsledky porovnejte s kritickou hodnotou způsobem uvedeným v části 4.4.
- i) Z vybraných přepravek odeberte vzorky do 2 litrových odběrových nádob k ověření a upřesnění odhadů na místě nebo v laboratoři (kontaminovány mohou být i povrchy přepravek).

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

2.3. Postup při třídění vzorků na základě měření DP – samostatné přepravky, válcové nádoby

- Vyberte vhodné místo k měření jednotlivých vzorků (přepravek), kde lze předpokládat nejnižší pozadí. V parametrech GR zvolte 30 s interval vzorkování DP.
- 5x opakujte měření DP pozadí, každé po dobu 30 s. Spočítejte průměr DP(Pozadí) dle vztahu (1). Minimální detekovatelný dávkový příkon MDDP odhadněte podle přibližného vztahu (7)

$$MDDP = 0,4 \cdot DP(\text{Pozadí}) \quad (7)$$

kde

- $DP(\text{Pozadí})$ je průměrná hodnota DP od pozadí

MDDP stanovený podle vztahu (7) dává vyšší hodnotu než náročnějším způsobem odhadnutá MDDP podle [2].

- Stanovte nejnižší spolehlivou hodnotu hranice třídění (kritické hodnoty aktivit).
Nejnižší hodnota DP_{Krit} by měla být větší než 2 až 3 násobek MDDP; při volbě nejnižší hodnoty

$$DP_{\text{Krit}} = 2,5 \times MDDP \quad (8)$$

bude

$$DP_{\text{Krit}} = DP(\text{Pozadí}) \quad (8a)$$

- Pro zjednodušení rozhodování přičtete k DP_{Krit} průměrnou hodnotu pozadí $DP(\text{Pozadí})$ a tuto hodnotu srovnávejte s hodnotou DP vzorku včetně pozadí. Takto bude nejnižší hodnota DP_{Krit}

$$DP_{\text{Krit}} = 2 \times DP(\text{Pozadí}) \quad (8b)$$

Pečlivě запиšte, které hodnoty jsou zaznamenávány.

- Můžete volit další DP_{Krit} libovolně vyšší, než je nejnižší DP_{Krit} stanovená dle (8b). Vyjděte přitom z odhadu očekávaných aktivit dle části 4.3 bod f) a účelu třídění a zvolte kritickou hodnotu aktivity.

Kritickou hodnotu aktivity pomocí vztahu (9) převedte na kritický dávkový příkon DP_{Krit} .

$$DP_{\text{Krit}} = A \cdot \sum K_i \cdot Z_i \quad (9)$$

kde

- A je hranice třídění pro aktivitu, resp. kritickou hodnotu aktivity, která je dána součtem dílčích aktivit A_i pro nuklidy se zastoupením Z_i
- Z_i je zastoupení z hlediska DP dominantních nuklidů
- K_i je konverzní koeficient z Tabulky 2 Přílohy 1

Při jednom dominantním nuklidu se vztah (9) zjednoduší na (9a)

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

$$DP_{Krit} = A \cdot K \quad (9a)$$

Opět pro zjednodušení přičtete k DP_{Krit} dle (9) nebo (9a) hodnotu DP (Pozadí) a porovnávejte ji s naměřenou hodnotou DP od vzorku včetně pozadí.

- f) Porovnejte DP s DP_{Krit} . Při $DP > DP_{Krit}$ označte vzorek jako „nadkritický“ (tj. hmotnostní aktivita vzorku pravděpodobně přesahuje kritickou hodnotu aktivity).
- g) Je-li to vyžadováno, pomocí tabulky 2 a s použitím vztahů (2) resp. (3) odhadněte aktivity měřených vzorků.
- h) Aktivitu, DP a porovnání DP s třídící hodnotou DP_{Krit} zaznamenejte spolu s dalšími adekvátními údaji.

3. Mez použitelnosti metody, kritické hodnoty

Mez citlivosti (MDDP a z něj vyplývající MDA – Tabulka 7 Přílohy 1) je za ideálních podmínek při 30 s měření v závislosti na druhu radionuklidu v řádu stovek Bq až jednotek kBq.

Vzhledem k požadavku $DP_{Krit} > 2$ až 3 násobek MDDP, bude zřejmě kritická hodnota DP_{Krit} vyšší, než je DP odpovídající nejvyšším přípustným úrovním kontaminace potravin s výjimkou méně významných potravin (nařízení EU [5,6,7]).

Pokud při volbě DP_{Krit} bude současně platit, že $DP_{Krit} > 3$ násobek DP, který by způsobila hodnota aktivity rovna nejvyšší přípustné úrovni kontaminace potravin, pak lze poměrně spolehlivě rozhodnout při naměření $DP > DP_{Krit}$ o zákazu distribuce komodity reprezentované daným vzorkem. Vzorky s $DP < DP_{Krit}$ bude nutno měřit pomocí přesnějších metod, aby bylo možno spolehlivě rozhodnout o zákazu nebo povolení distribuce.

Pro jiné typy přístrojů měřících DP (jiné než GR) je metoda třídění vzorků a odhadu aktivity také použitelná. Rozdíly mezi DP měřenými různými přístroji (způsobené energetickou závislostí, veličinou, ve které je přístroj kalibrován, polohou efektivního středu citlivého objemu z hlediska geometrického uspořádání vzorek-detektor) mohou být do cca 30-50%. Vhodné je, pokud to situace dovolí, stanovit vlastní konverzní koeficient K mezi dávkovým příkonem a aktivitou spektrometrickým změřením některého vzorku. Porovnání konverzních koeficientů pro geometrii 2 litrové nádoby s ^{137}Cs pro několik typů detektorů je uvedeno v tabulce 8 Přílohy 1.

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

4. Záznamy a protokoly

- Sešit pro evidenci měřených vzorků a výsledků (možno zaznamenávat v elektronické formě)
- Spektrum – v elektronické formě na archivačním médiu
- Výsledky stanovení v písemné popřípadě elektronické formě

5. Související dokumenty

- [1] Postup MS1: Měření příkonu prostorového dávkového ekvivalentu
- [2] Postup MS3 – Odběr vzorků životního prostředí mobilními skupinami
- [3] VDS 060 - Metodika třídění vzorků a rychlého odhadu aktivity v objemných vzorcích pomocí měření dávkového příkonu v laboratorních podmínkách
- [4] Technická dokumentace k přístrojům

6. Přílohy

Příloha 1 – Tabulky

Příloha 2 – Obrázky

Příloha 3 - Tabulky pro přepočet

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

6.1. Příloha 1 - Tabulky

Tabulka 1 Konverzní koeficienty - Dávkový příkon od aktivity 1 kBq/kg pro stěnu z přepravek o velikosti 7x7 a 9x9 přepravek stanovený ve vzdálenosti 1 m čela GR od stěny s osou GR proti středu stěny

Hustota vzorku [g / cm ³]	Konverzní koeficient [nGy/h) / (kBq/kg]	
	¹³⁷ Cs	¹³¹ I
	7 x 7 přepravek v jedné vrstvě (420x140x40cm)	
1	38.5	27.1
0.5	30.5	25.8
	9 x 9 přepravek v jedné vrstvě (540x180x40cm)	
1	51.6	36.2
0.5	42.3	35.7

Poznámky

- GR ve vzdálenosti 1 m před středem střední přepravy
- Konverzní koeficienty jsou platné pro objem vzorku v přepravce 28 dm³

Tabulka 2 Konverzní koeficienty - Dávkový příkon od aktivity 1 kBq/kg

Vzorky kapalné a masa uvažujte o hustotě 1 g/cm³, vzorky volně ložených komodit v přepravekách (ovoce, zelenina) uvažujte o hustotě 0,5 g/cm³

Konverzní koeficient K [(nGy/h) / (kBq/kg)]					
Hustota	T _{1/2} [d]	Válcová nádoba		Přepravka	
		1 g/cm ³	0,5 g/cm ³	0,5 g/cm ³	0,5 g/cm ³
Nuklid		1 litr	2 litry	Zepředu	Shora
⁹⁵ Nb	35	10	10	29	31
⁹⁵ Zr	64	10	10	28	30
¹⁰³ Ru	39	7,2	7,5	21	23
¹³¹ I	8	5,7	5,8	18	18
¹³² I	0,10	30	30	84	91
¹³² Te	3,2	4,3	6,8	20	22
¹³⁴ Cs	753	21	21	59	64
¹³⁷ Cs	10980	8,0	8,1	23	25
¹⁴⁰ La	1,7	28	28	78	85
¹⁴⁰ Ba	12,8	2,2	2,8	7,8	8,6

Poznámky

- Válcová nádoba: válec i GR umístěny na podložce, čelní stěna GR v kontaktu s pláštěm válce (podélná osa citlivého objemu vodorovná s podložkou je ve výšce 5,2 cm nad podložkou) - viz obr. 10 přílohy 2
- Přepravka zepředu: čelo GR umístěno v kontaktu s delší boční stěnou přepravy proti středu vzorku - viz obr. 6 přílohy 2
- Přepravka shora: GR umístěno spodní stranou 2 cm nad středem vzorku v přepravce - viz obr. 7 přílohy 2
- DP nuklidů počítán samostatně pro každý nuklid, tj jsou odděleny DP mateřského a dceřiného nuklidu Ba-La, Te-I, Zr-Nb
- Ke stanovení konverzního koeficientu mezi dávkou a aktivitou se zahrnutím příspěvku od rozptýleného záření byl využit program MicroShield, Grove Engineering (USA).

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Tabulka 3 ^{137}Cs : Konverzní koeficienty K pro bod 5 cm nad podstavou v ose válce pro ^{137}Cs o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě (1 kBq/kg pro hustotu 1 g/cm³)

r [cm]	K [(nGy/h) / (kBq/kg)]				
	h=1cm	h=5cm	h=10cm	h=20cm	h=100cm
1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4
5	1.4	4.7	6.4	7.5	8.1
10	3.6	12.6	17.9	22.1	24.4
20	6.3	24.9	37.9	49.8	57.4
40	9.6	38.0	61.1	84.1	101.5
50	10.9	42.7	66.9	93.1	114.0
60	11.7	45.2	71.3	99.4	122.4
70	12.4	47.4	74.8	103.9	128.1
80	13.0	49.2	77.5	107.2	132.0
90	13.5	50.7	79.6	109.4	134.7
100	13.9	52.1	81.2	111.1	136.7
120	14.6	54.1	83.3	113.5	139.3
140	15.2	55.5	84.7	115.0	140.9
160	15.7	56.5	85.7	116.0	142.0
200	16.4	57.6	86.8	117.2	143.1
300	17.6	58.8	88.2	118.4	144.4

Poznámky

Čelo GR 2 cm od podstavy válce nebo „spodek“ GR v „kontaktu“ s podstavou válce
r – poloměr válce, h – výška válce

Tabulka 4 ^{131}I : Konverzní koeficienty K pro bod 5 cm nad podstavou v ose válce pro ^{131}I o aktivitě 1 kBq/l deponovaný ve vodě (1 kBq/kg pro hustotu 1 g/cm³)

r [cm]	K [(nGy/h) / (kBq/kg)]				
	h=1cm	h=5cm	h=10cm	h=20cm	h=100cm
1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
5	1.0	3.3	4.5	5.4	5.8
10	2.4	8.8	12.7	15.8	17.4
20	4.3	17.6	27.4	36.1	41.0
30	5.6	23.0	37.0	50.8	59.1
40	6.6	27.3	44.3	60.8	71.5
50	7.5	30.6	48.4	67.1	79.5
60	8.1	32.5	51.6	71.3	84.8
70	8.6	34.0	54.0	74.3	88.2
80	9.0	35.3	55.8	76.4	90.5
90	9.4	36.5	57.2	77.8	92.1
100	9.7	37.4	58.2	78.9	93.3
120	10.3	38.8	59.6	80.5	94.9
140	10.7	39.7	60.6	81.4	95.9
160	11.0	40.3	61.2	82.0	96.5
200	11.6	41.0	61.9	82.7	97.2
300	12.4	41.9	62.7	83.6	98.0

Poznámky

Čelo GR 2 cm od podstavy válce nebo „spodek“ GR v „kontaktu“ s podstavou válce
r – poloměr válce, h – výška válce

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Tabulka 5 ⁶⁰Co: Konverzní koeficienty K pro bod 5 cm nad podstavou v ose válce pro ⁶⁰Co o aktivitě 1 kBq/l deponovaný ve vodě (1 kBq/kg pro hustotu 1 g/cm³)

r [cm]	K [(nGy/h) / (kBq/kg)]				
	h=1cm	h=5cm	h=10cm	h=20cm	h=100cm
1	0.3	0.9	1.2	1.4	1.5
5	5.7	18.5	25.0	29.5	32.2
10	14.1	49.2	69.7	86.3	96.7
20	24.8	97.1	147.9	195.1	229.9
30	32.0	125.9	199.3	275.8	337.8
40	37.7	148.5	239.4	333.7	418.3
50	42.7	167.0	262.8	372.3	476.5
60	46.1	177.2	281.3	400.0	517.9
70	48.7	185.7	296.3	421.3	547.4
80	50.9	193.0	308.3	437.4	568.4
90	52.9	199.3	318.1	447.8	583.6
100	54.6	204.9	325.3	456.1	594.8
120	57.4	213.8	334.9	468.1	609.5
140	59.7	220.2	341.7	476.0	618.3
160	61.6	224.9	346.6	481.3	623.9
200	64.5	230.5	352.5	487.3	630.1
300	69.1	236.2	358.5	493.4	636.1

Poznámky

Čelo GR 2 cm od podstavky válce nebo „spodek“ GR v „kontaktní“ s podstavou válce;
r – poloměr válce, h – výška válce

Tabulka 6 ²⁴¹Am: Konverzní koeficienty K pro bod 5 cm nad podstavou v ose válce pro ²⁴¹Am o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě (1 kBq/kg pro hustotu 1 g/cm³)

r [cm]	K [(nGy/h) / (kBq/kg)]				
	h=1cm	h=5cm	h=10cm	h=20cm	h=100cm
1	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
5	0.07	0.30	0.43	0.49	0.50
10	0.19	0.83	1.23	1.46	1.50
20	0.35	1.72	2.62	3.17	3.29
30	0.47	2.23	3.43	4.18	4.34
40	0.57	2.59	3.90	4.71	4.89
50	0.66	2.83	4.16	5.01	5.19
60	0.72	2.97	4.34	5.19	5.38
70	0.77	3.08	4.46	5.31	5.50
80	0.81	3.17	4.54	5.40	5.59
90	0.84	3.23	4.61	5.46	5.65
100	0.87	3.27	4.65	5.51	5.69
120	0.91	3.33	4.71	5.57	5.76
140	0.95	3.37	4.75	5.60	5.80
160	0.97	3.40	4.78	5.63	5.83
200	1.01	3.43	4.81	5.67	5.86
300	1.06	3.49	4.86	5.72	5.90

Poznámky

Čelo GR 2 cm od podstavky válce nebo „spodek“ GR v „kontaktní“ s podstavou válce; r – poloměr válce, h – výška válce

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Tabulka 7 MDDP a MDA pro hladinu spolehlivosti 99 % stanovené pro délku měření 30 s pro měření bez stínění stanovené v podmínkách SÚRO Praha

	DP _{Pozadí} = 91 nGy/h			
	MDDP = 36,5 nGy/h			
	MDA [kBq/kg]			
	Válcová nádoba		Přeppravka	
Hustota [g/cm ³]	1	0,5	0,5	0,5
Nuklid	1 litr	2 litry	zepředu	sešhora
⁹⁵ Nb	3.5	3.5	1.3	1.2
⁹⁵ Zr	3.6	3.7	1.3	1.2
¹⁰³ Ru	5.1	4.8	1.7	1.6
¹³¹ I	6.4	6.3	2.1	2.0
¹³² I	1.2	1.2	0.4	0.4
¹³² Te	8.4	5.4	1.8	1.7
¹³⁴ Cs	1.7	1.7	0.6	0.6
¹³⁷ Cs	4.6	4.5	1.6	1.5
¹⁴⁰ La	1.3	1.3	0.5	0.4
¹⁴⁰ Ba	16.5	12.9	4.7	4.3

Poznámky:

- MDDP - minimální detekovatelný dávkový příkon, tj. takový, který je spolehlivě odlišitelný od pozadí (hladina spolehlivosti 99%)
- Válcová nádoba: válec i GR umístěny na podložce, čelní stěna GR v kontaktu s pláštěm válce (podélná osa citlivého objemu vodorovná s podložkou je ve výšce 5,2 cm nad podložkou) - viz obr. 10 přílohy 2
- Přeppravka zepředu: čelo GR umístěno v kontaktu s delší boční stěnou přeppravky proti středu vzorku - viz obr. 6 přílohy 2
- Přeppravka shora: GR umístěno spodní stranou 2 cm nad středem vzorku v přeppravce - viz obr. 7 přílohy 2
- DP nuklidů počítán samostatně pro každý nuklid, tj. jsou odděleny DP mateřského a dceřiného nuklidu Ba-La, Te-I, Zr-Nb

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Tabulka 8 Porovnání konverzních koeficientů pro geometrii 2 litrové nádoby s ^{137}Cs pro několik typů detektorů – Experimentální hodnoty

	Detektor i nádoba na podložce	Detektor na víku nádoby	Detektor i nádoba na podložce	Detektor na víku nádoby
Přístroj	DP	DP	Poměr DP	Poměr DP
	[nGy/h / kBq/kg]	[nGy/h / kBq/kg]		
GR130	14.2	14.1	1.00	1.00
GR130 - č.2	15.4	15.1	1.08	1.07
GR135	17.4	15.6	1.22	1.11
RP 2000 - „naležato“	5.9 (nevhodné)	17.2	0.41	1.21
DC 3E - „nastojato“	15.0	Nízký DP	1.05	Nízký DP
DC 3E - „naležato“	8.2 (nevhodné)	19.0	0.57	1.35

Poznámky

- Poměr DP je poměrem DP daného přístroje a DP GR130
- RP 2000 - „nastojato“: detektor vzhledem k umístění rukojetě tuto polohu neumožňuje
- V geometrii „Detektor i nádoba na podložce“ je detektor umístěn v kontaktu s nádobou
- Polohy RP 2000 a DC-3E „naležato“ vedle nádoby jsou vzhledem k nízké odezvě nevhodné (viz Obr. 12 a 13 Přílohy 2).
- Poloha detektoru při měření pomocí GR na víku nádoby je uvedena na obr. 11 přílohy 2. Pro porovnání jsou v této tabulce uvedeny experimentální hodnoty odezvy i pro tuto geometrii; v praxi je však výhodnější geometrie měření, kdy detektor i nádoba jsou umístěny na podložce, protože nevyžaduje manipulaci s detektorem ale pouze s nádobou.

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

6.2. Příloha 2 - Obrázky

Obr. 1 Relativní rozdělení DP od ^{137}Cs ve 3 „stěnách“ přepravek umístěných těsně za sebou
 Každá stěna je o velikosti 7x7 přepravek
 (DP je stanoven v relativních jednotkách; GR umístěn v kontaktu s delší boční stěnou přepravky s osou GR proti středu střední přepravky první stěny)

1. stěna – celkový DP = 503 (podbarvená pole DP = 439)

0.5	1.7	7.5	17.6	7.5	1.7	0.5
0.4	1.9	10.1	31.4	10.1	1.9	0.4
0.5	2.1	12.8	61.1	12.8	2.1	0.5
0.6	2.1	13.6	100	13.6	2.1	0.6
0.5	2.1	12.8	61.1	12.8	2.1	0.5
0.4	1.9	10.1	31.4	10.1	1.9	0.4
0.5	1.7	7.5	17.6	7.5	1.7	0.5

2. stěna – celkový DP = 126 (podbarvená pole DP = 31)

0	0.7	3	6	3	0.7	0
0.2	0.7	3.8	8.2	3.8	0.7	0.2
0.1	0.8	4.3	10.3	4.3	0.8	0.1
0.2	0.9	4.9	10.4	4.9	0.9	0.2
0.1	0.8	4.3	10.3	4.3	0.8	0.1
0.2	0.7	3.8	8.2	3.8	0.7	0.2
0	0.7	3	6	3	0.7	0

3. stěna – celkový DP = 35

0.1	0.2	1	1.6	1	0.2	0.1
0	0.2	1.2	2	1.2	0.2	0
0	0.3	1.3	2.2	1.3	0.3	0
0.1	0.3	1.3	2.4	1.3	0.3	0.1
0	0.3	1.3	2.2	1.3	0.3	0
0	0.2	1.2	2	1.2	0.2	0
0.1	0.2	1	1.6	1	0.2	0.1

Poznámky

Žlutě je vyznačen DP > 10% vzhledem k DP od středové přepravky v 1. stěně

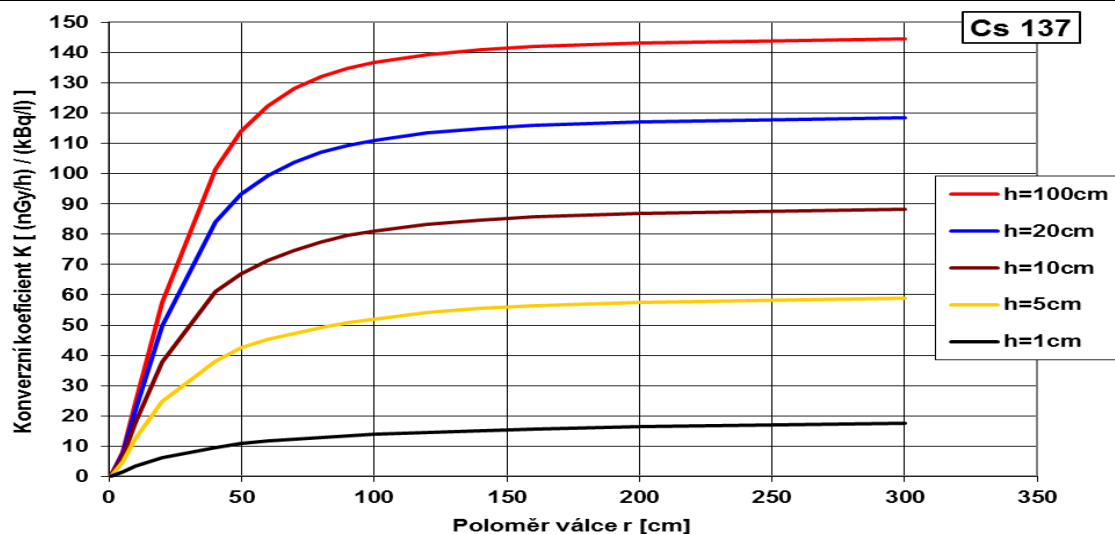
Modře je vyznačen střed „stěny“ přepravek

Hodnota DP od střední přepravky 1. stěny označena jako 100

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

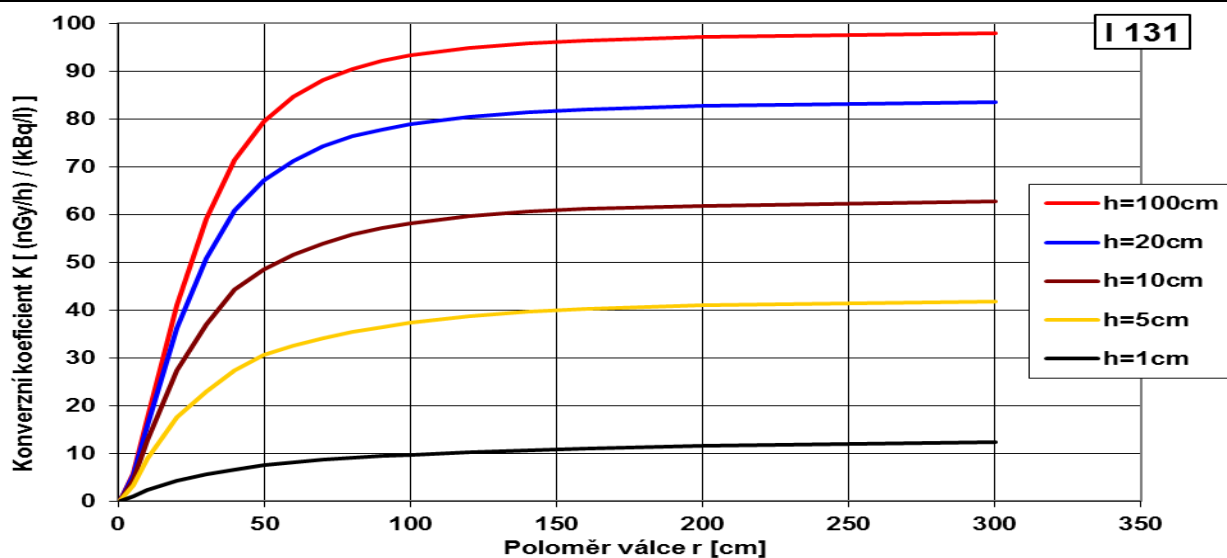
Obr.2 Konverzní koeficienty (mezi dávkovým příkonem a specifickou aktivitou) v bodě 5 cm nad podstavou válce v ose válce pro ^{137}Cs o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě vyplňující válec o poloměru r a výšce h



Poznámky

- Vzdálenosti bodu 5 cm nad podstavou válce je dosaženo při vzdálenosti čela GR 2cm od podstavy válce (obr. 8) nebo při kontaktu spodní podstavy GR s podstavou válce (obr. 9)
- Křivky byly proloženy daty z tabulky 3

Obr.3 Konverzní koeficienty (mezi dávkovým příkonem a specifickou aktivitou) v bodě 5 cm nad podstavou válce v ose válce pro ^{131}I o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě vyplňující válec o poloměru r a výšce h



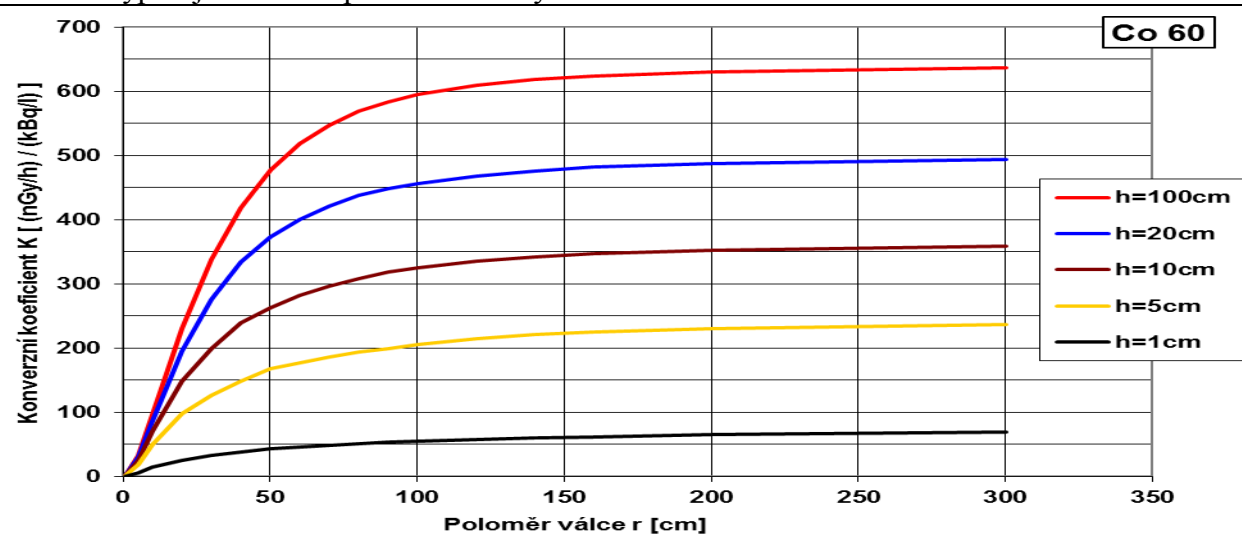
Poznámky

- Vzdálenosti bodu 5 cm nad podstavou válce je dosaženo při vzdálenosti čela GR 2cm od podstavy válce (obr. 8) nebo při kontaktu spodní podstavy GR s podstavou válce (obr. 9)
- Křivky byly proloženy daty z tabulky 4

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

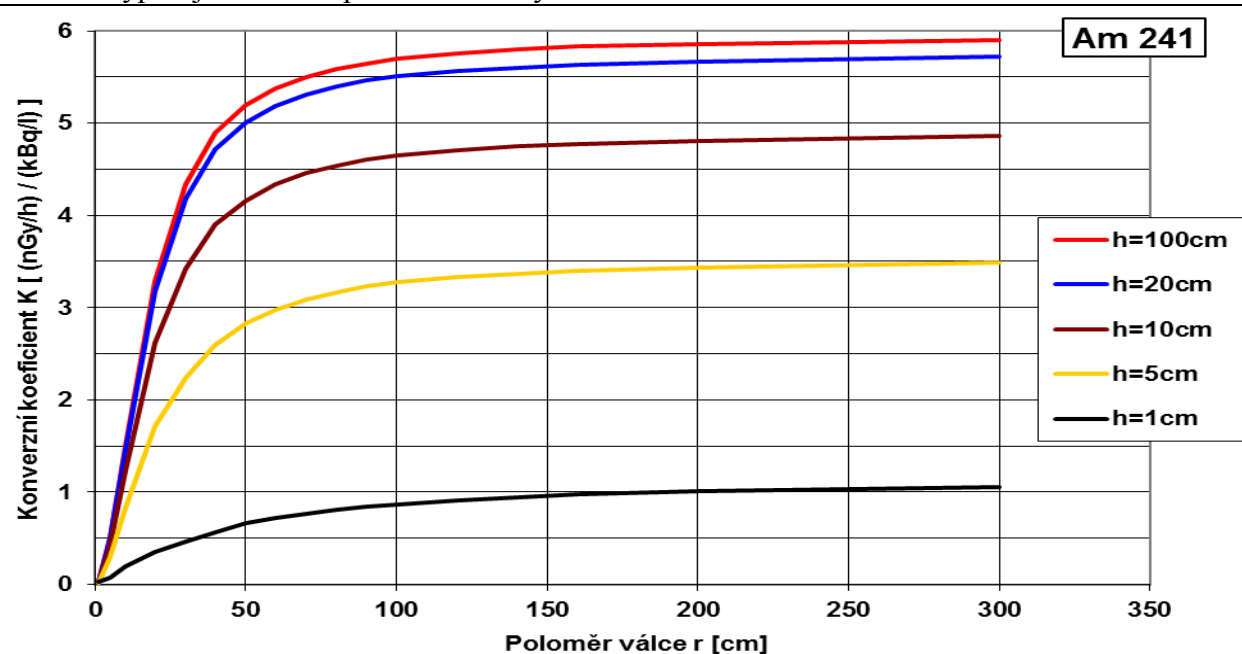
Obr. 4 Konverzní koeficienty (mezi dávkovým příkonem a specifickou aktivitou) v bodě 5 cm nad podstavou válce v ose válce pro ^{60}Co o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě vyplňující válec o poloměru r a výšce h



Poznámky

- Vzdálenosti bodu 5 cm nad podstavou válce je dosaženo při vzdálenosti čela GR 2cm od podstavu válce (obr. 8) nebo při kontaktu spodní podstavu GR s podstavou válce (obr. 9)
- Křivky byly proloženy daty z tabulky 5

Obr. 5 Konverzní koeficienty (mezi dávkovým příkonem a specifickou aktivitou) v bodě 5 cm nad podstavou válce v ose válce pro ^{241}Am o aktivitě 1 kBq/l deponované ve vodě vyplňující válec o poloměru r a výšce h



Poznámky

- Vzdálenosti bodu 5 cm nad podstavou válce je dosaženo při vzdálenosti čela GR 2cm od podstavu válce (obr. 8) nebo při kontaktu spodní podstavu GR s podstavou válce (obr. 9)
- Křivky byly proloženy daty z tabulky 6

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Obr. 6 Geometrie měření přepravky zepředu



Poznámka: čelo GR je umístěno v kontaktu s delší boční stěnou přepravky, podélná osa detektoru umístěna proti středu vzorku (tj. GR neleží na podložce, ale je zvednut 4 cm nad podložku).

Poznámka: lahve simulují vzorek v přepravce. Detektor je položen na víčcích nádob. Nádobky byly plněny tak, že byla při testech zachována vzdálenost 2cm spodní plochy GR od povrchu vzorku

Obr. 7 Geometrie měření přepravky shora



Poznámka: GR je umístěn spodní stranou 2 cm nad středem vzorku v přepravce; geometrický střed krystalu (u GR odpovídá středu displeje) je umístěn nad středem přepravky.

Obr. 8 Geometrie měření válce s čelem detektoru směrem k válci



Poznámka: čelo GR je umístěno 2 cm nad podstavou válce






Obr. 9 Geometrie měření válce s podstavou detektoru směrem k válci



Poznámka: GR je umístěn spodní stranou v kontaktu s podstavou válce (střed okénka displeje GR v ose válce – odpovídá středu krystalu)

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Obr. 10 Geometrie měření válcové nádoby	Obr. 11 Poloha detektoru při měření pomocí GR na víku nádoby
	
Poznámka: GR i nádoba jsou umístěny na podložce, čelní stěna GR je v kontaktu s pláštěm nádoby	
Obr. 12 Měření vzorku pomocí měřiče dávkového příkonu DC3E	
	
DC3E „naležato“	DC3E „nastojato“
Obr. 13 Měření vzorku pomocí měřiče dávkového příkonu RP 2000 „naležato“	
	

1.1.

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

6.3. Příloha 3 - Tabulky pro výpočet

Ukázka ze souboru EXCEL (Uživatel může v souboru změnit podžlucené buňky)

Konverzní koeficienty - Dávkový příkon od aktivity 1 kBq/kg

	$T_{1/2}$ [d]	Konverzní koeficient K [(nGy/h) / (kBq/kg)]			
		Válcová nádoba		Přepravka	
Hustota [g/cm ³]		1	0.5	0.5	0.5
Nuklid		1 litr	2 litr	Zepředu	Shora
95 Nb	34.98	10	10	29	31
95 Zr	64.02	10	10	28	30
103 Ru	39.26	7.2	7.5	21	23
131 I	8.02	5.7	5.8	18	18
132 I	0.10	30	30	84	91
132 Te	3.20	4.3	6.8	20	22
134 Cs	0.12	21	21	59	64
137 Cs	10983	8.0	8.1	23	25
140 La	1.68	28	28	78	85
140 Ba	12.75	2.2	2.8	7.8	8.6

La 140 je dceřiný produkt Ba 140; v tabulce jsou hodnoceny samostatně
I 132 je dceřiný produkt Te 132; v tabulce jsou hodnoceny samostatně

Pozadí

Délka měření 30 s

Přístroj GR 130

Počet měření 10

	Bez stínění
	nGy/h
Průměr	91.3

Pozadí

Hodnoty získané v SÚRO Praha (10 měření)

	Bez stínění
	nGy/h
Průměr	91.3
Směrodatná odchylka	2.95

Směrodatná odchylka = výběrová směrodatná odchylka

POSTUP PRO MOBILNÍ SKUPINY

POSTUP 7

Tabulka MDA pro různé radionuklidy a geometrie stanovená na hladině významnosti 99% pro délku měření 30 s

Tabulka se přepočítává na základě vyplnění hodnot v podžlucené oblasti

Bez stínění				
DP - pozadí	91.3	nGy/h		
MDDP	36.5	nGy/h		
MDA [kBq/kg]				
	Válcová nádoba		Přepravka	
Hustota	1	0.5	0.5	0.5
Nuklid	1 litr	2 litr	Zepředu	Shora
95 Nb	3.5	3.5	1.3	1.2
95 Zr	3.6	3.7	1.3	1.2
103 Ru	5.1	4.8	1.7	1.6
131 I	6.4	6.3	2.1	2.0
132 I	1.2	1.2	0.4	0.4
132 Te	8.4	5.4	1.8	1.7
134 Cs	1.7	1.7	0.6	0.6
137 Cs	4.6	4.5	1.6	1.5
140 La	1.3	1.3	0.5	0.4
140 Ba	16.5	12.9	4.7	4.3

MDDP - minimální detekovatelný dávkový příkon stanovený pro hladinu spolehlivosti > 95%

MDA - minimální detekovatelná aktivita stanovená na základě MDDP pro každý nuklid samostatně

Použité vztahy

$$DP(\text{Pozadí}) = \frac{\sum DP_j}{n}$$

$$MDDP = 0,4 \cdot DP(\text{Pozadí})$$

DP(Pozadí)

je střední hodnota dávkového příkonu od pozadí

DP_j

je hodnota jednotlivého dávkového příkonu od pozadí

n

je počet měření.

MDDP

minimální detekovatelný dávkový příkon