

## Detekční trubice typu A ke geigeru ALPHA iX Kat. číslo 109.0601



### Obsah:

1. Měření velikosti dávky detekční trubicí typu A.....	2
2. Statistická chyba měření.....	2
3. Mez průkaznosti (NWG).....	3
4. Měření kontaminace .....	4
5. Zkušební zářič KC1.....	4
6. Rozlišení druhů záření .....	5
7. Ještě trochu teorie .....	5

### PŘÍLOHA

strana 1 Tabulka měření

strana 2 Práce s tabulkou měření



## 1. Měření velikosti dávky detekční trubicí typu A

Detekční trubice typu A je vlastně určena pro měření kontaminace povrchu nějakého objektu, je však možné ji použít i pro měření dávky – úrovně záření. Při použití detekční trubice typu A pro dozimetrické měření musí být na trubici ponecháno víčko, které zakrývá okénko snímače a odstiňuje alfa a beta záření. V režimu dozimetrie je měřeno pouze gama záření (elektromagnetické vlny s vysokou energií), přičemž emise částic (alfa a beta záření), které se často vyskytují souběžně s gama zářením, je nutno potlačit, protože by zkreslovaly výsledek. Dávkový ekvivalent je udáván v jednotkách rem a nově sievert (Sv), přičemž platí

$$100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv} \text{ respektive } 1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$$

U detekční trubice A odpovídá

$$\underline{20 \text{ impulzů za minutu (lpm) } 150 \text{ mrem/r (miliremů za rok)}}$$

To znamená

$$\underline{120 \text{ mrem/r} : 20 = 6 \text{ mrem/r}} \text{ – to jinak znamená,}$$

$$\text{že } \underline{1 \text{ lpm}} \text{ u této detekční trubice odpovídá } \underline{6 \text{ mrem/r}}$$

Spočítané impulzy za minutu je tedy nutné vynásobit koeficientem 7,5, čímž získáme dávkový ekvivalent v miliremech za rok. Při přepočtu na hodinu je nutné vydělit dávku za rok 8 500 hodinami. V dozimetrických výpočtech je totiž počítáno s 8 500 hodinami za rok, a nikoli s 8 640 hodinami, které by odpovídaly 360 dnům, nebo 8 760 hodinami, které by odpovídaly 364 dnům.

**Příklad:** Při měření po dobu 10 minut bylo napočítáno 800 impulzů. V přepočtu na jednu minutu to odpovídá 80 impulzům.

$$80 \text{ lpm} \times \text{součinitel } 6 = 480 \text{ mrem/r resp. } 4,8 \text{ mSv/r}$$

$$480 \text{ mrem/r} : 8\,500 = 0,057 \text{ mrem/h respektive } 0,00057 \text{ mSv/h}$$

Protože hodnota 120 mrem/r odpovídá obvyklému pozadí (SRN), je v tomto případě zatížení zářením 4x vyšší než je normální hodnota. Pokud by byla dávka záření více než 40x vyšší, je z bezpečnostních důvodů doporučeno používat ochranný oděv.

## 2. Statistická chyba měření

120 mrem/r respektive 1,2 mSv/r je obvyklé přirozené pozadí (sluneční záření, vyzařování ze zemského povrchu) v SRN, tato hodnota se však může mezi jednotlivými regiony lišit. Přirozené pozadí v určitém regionu nebo místě měření je možné zjistit prostřednictvím jeho měření po dobu dvou hodin, přitom je ale nutné dbát na to, aby v blízkosti nebyl žádný zdroj umělého záření. Zjištěný počet impulzů je nutné přepočíst na impulzy za minutu (vydělit číslo 120). Tato hodnota (lpm) je pak tzv. nulová intenzita (dávka). Při vlastním měření je pak znakem výskytu umělého zdroje záření naměřená hodnota, která přesahuje takto stanovenou nulovou intenzitu.

Všechna měření jsou zatížena statistickou chybou. To je dáno skutečností, že radioaktivní záření není konstantní v čase ani prostoru, ale vyskytuje se v určitých intervalech.

Chyba měření je počítána z odmocniny počtu impulzů:

$$\text{chyba měření v \%} = \frac{100}{\sqrt{N}}$$

(N = počet impulzů)

Z toho plyne, že s rostoucím počtem impulzů chyba měření klesá. Jinými slovy, čím je měření delší, tím je i přesnější. Pokud je například u řady měření se 100 impulzy chyba měření 10 %, u 1 000 impulzů to je jen 3,2 % a u 10 000 impulzů pouze 1 %.

Při kontrole potravin je doporučen čas měření minimálně 10 minut. Při měření po dobu 10 minut a nulové intenzitě 20 lpm je hodnota tolerance 25 lpm (20 + 5), tzn. pouze počet impulzů za minutu, který je vyšší než 25, ukazuje spolehlivě na dodatečné zatížení záření. Pokud by se podmínky měření blížily statistické chybě měření, je nutné opakovat měření s delším časem nebo použít citlivější detekční trubici (typu G).



### 3. Mez průkaznosti (NWG)

Mez průkaznosti (NWG) měřicího přístroje se vypočte podle následujícího vztahu:

$$\text{NWG} = 3 \times \sqrt{\text{nulová\_dávka}}$$

U detekční trubice A (nulová dávka = 20) činí mez průkaznosti při měření v délce jedné minuty 13,5 impulzu, hodnota tolerance by v tomto případě byla 33,5 impulzu:

$$3 \times \sqrt{20} = 3 \times 4,473 = 13,42 \text{ impulzu (NWG)}$$

$$20 + 13,5 = \mathbf{33,5 \text{ lpm}}$$
 hodnota tolerance po jedné minutě

Při měření v délce 10 minut mez průkaznosti klesne:

$$20 \text{ impulzů nulová dávka} \times 10 \text{ minut} = 200 \text{ impulzů}$$

$$3 \times \sqrt{200} = 3 \times 14,14 = 42,4 : 10 \text{ minut} = \mathbf{4,24 \text{ lpm (NWG)}}$$

$$200 + 42,4 = 242,4 \text{ impulzů resp. } 20 + 4,24 = \mathbf{24,24 \text{ lpm}}$$
 hodnota tolerance u trubice A po 10 minutách

Jak je patrné z příkladů, s délkou měření roste jeho přesnost. Pokud by měření po dobu 10 minut nepřineslo uspokojivý výsledek, je nutné měření prodloužit. Při výpočtu hodnoty tolerance bylo provedeno zaokrouhlení. Vypočtenou mez průkaznosti pro detekční trubici typu A (nulová dávka 20 lpm) je nutné zohlednit v tabulce měření. Například pro Cs-137 jsou výsledky následující:

$$\mathbf{35,6 \text{ lpm}} \quad \text{odpovídá} \quad = \mathbf{100 \text{ Bq Cs-137}}$$

$$\mathbf{13,4 \text{ lpm}} \quad \text{NWG odpovídá}$$

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \text{ lpm} = 2,81 \times 13,4 \text{ lpm} = \mathbf{37,65 \text{ Bq Cs-137}}$$

Při měření po dobu 10 minut činí mez průkaznosti 4,24 lpm. Při aplikaci na tabulku měření (Cs-137) to odpovídá

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \text{ lpm} = 2,81 \text{ a tedy } 2,81 \times 4,24 \text{ lpm} = \mathbf{11,92 \text{ Bq Cs-137}}$$

To znamená, že pomocí detekční trubice A je možné prokázat Cs-137 při délce měření 1 minuta od hodnoty 38 Bq a při délce měření 10 minut již od hodnoty cca 12 Bq.

#### **4. Měření kontaminace**

Při měření kontaminace musí být detekční trubice schopny detekovat beta záření, případně i alfa záření. Měření kontaminace je vždy prováděno se sejmutým víkem trubice, tzn. s odkrytým okénkem snímače. To platí i pro ponorné sondy B a FSZ. V opačném případě by nebyla zaručena potřebná citlivost. Kontaminace je měřena v jednotkách becquerel (aktivita záření), nikoli tedy v jednotkách rem nebo sievert (energie záření).

Kontrolovaný vzorek by měl být rozemletý a vysušený, u detekční trubice typu A postačuje cca 10 gramů suché hmoty, protože koncové okénko detekční trubice je relativně malé. Vysušení je možné provést v troubě nebo mikrovlnné troubě. Před vysušením je nutno vzorek zvážit, protože zjištěnou hodnotu je nutno uvádět v relaci k normální hmotnosti vzorku.

Odkrytý konec trubice je nutné umístit co nejbližší ke vzorku, přitom je však nutné dodržet bezpečnostní odstup minimálně 5 mm, jehož účelem je zabránit kontaminaci okénka (membrány) snímače kontaktem s kontrolovaným materiálem. Pro provádění přesných měření je nutno použít stativ, aby bylo po celých 10 minut zajištěno dodržení konstantní vzdálenosti.

Jak již bylo uvedeno, je hodnota tolerance při 10 minutovém měření 25 lpm. To znamená, že pokud je při desetiminutovém měření zobrazeno maximálně 250 impulzů, leží tato hodnota ještě v přípustné toleranci. Pokud je během 10 minut napočítáno více jak 250 impulzů, je možné vycházet z toho, že důvodem překročení hodnoty tolerance je kontaminace ve výši minimálně 600 Bq/kg. Mez průkaznosti se u detekční trubice A při vzdálenosti 0,5 cm a době měření 10 minut pohybuje kolem cca 3 Bq. Pokud je vzorek s hmotností 10 g přepočten na kg (3 Bq x 100), získáme hodnotu 300 Bq/kg. Takto nepřesný výsledek ukazuje, že detekční trubici A je možné použít pro kontrolu potravin pouze ve výjimečných případech. Přesnějších výsledků měření je možné dosáhnout prodloužením jeho délky nebo použitím citlivější detekční trubice, například typu G – viz tabulku měření v příloze.

Zjištěná naměřená hodnota se vztahuje k normální hmotnosti vzorku, pokud byl vzorek uměle vysušen. Pokud se jedná o suchý vzorek, jako je například káva, čaj, drogy všeho druhu, mléko v prášku, minerály, písek, stavební materiály, šrot, atd., je nutné přepočíst zjištěnou hodnotu na 1 kg, protože srovnávací hodnoty jsou většinou uváděny v kg. Přepočtem může dojít ke snížení přesnosti výsledku, ale kontaminaci přesahující hodnotu 600 Bq/kg je možné identifikovat v každém případě.

#### **5. Zkušební zářič KC1**

Doba funkčnosti Geiger-Müllerových detekčních trubic je podle zkušeností cca 10 – 20 let. Při použití v místech s intenzivnějším zářením životnost klesá, protože se rychleji spotřebovává zhášecí plyn v trubici.

Pokud je detekční trubice používána již několik let, je vhodné ověřit její funkčnost. Pro tyto účely dodáváme zkušební zářič, jehož povrchem je emitováno záření 12 Bq +/- 1.

Jedná se o slisovaný KCl (5 g) s přirozenou radioaktivitou (K-40) ve výši 85 Bq, přičemž přes povrch vystupuje pouze 12 Bq, protože beta složka je prakticky eliminována vlastní absorpcí. Při rozpadu draslíku 40 je uvolněno až 89,33 % beta záření s maximální energií 1 312 keV a 10,67 % gama záření s energií 1 461 keV.

Kontrolní měření je prováděno při odkrytém víku, jak na zářiči, tak i na detekční trubici. Koncové okénko detekční trubice je nutno držet, případně instalovat (stativ) přímo nad povrchem zářiče.

Detekční trubici A je možné přiložit přímo lemem okénka na zářič, protože vlastní okénko je kousek zapuštěné do trubice. U detekční trubice G je nutné dodržet vzdálenost cca 3 mm. Pokud je detekční trubice **typu A** funkční, musí být po 10 minutách měření zobrazen čistý počet impulzů (po odečtení nulové dávky) **205 +/- 24**.

Kontrolní hodnoty u	<b>detekční trubice typu G</b>	<b>1054 +/- 41 impulzů</b>
	<b>detekční trubice typu B</b>	<b>434 +/- 26 impulzů</b>
	<b>detekční trubice typu FSZ</b>	<b>792 +/- 35 impulzů</b>

S pravděpodobností 65 % by měly všechny naměřené počty impulzů ležet ve výše uvedeném pásmu kolem kontrolní hodnoty. Předpokladem je dostatečně přesné stanovení nulové intenzity/dávky, kterou je pak nutné odečíst od celkového počtu impulzů, aby byla získána očištěná hodnota. Podle zkušeností roste nulová dávka detekční trubice s jejím stářím.

## 6. Rozlišení druhů záření

Rozlišení alfa, beta a gama záření je u alfa záření relativně snadné. V případě alfa záření se jedná o jádro atomu helia s kladným nábojem +2e, které má i ve vzduchu velice malý dosah – maximálně 10 cm, zpravidla však méně než 5 cm. Alfa složku záření je možné stanovit prostřednictvím dvou měření s využitím detekčních trubic s koncovým okénkem (typ A nebo G); přičemž jedno měření je nutné provést s odkrytým okénkem (bez víčka), druhé měření pak rovněž se sejmutým víčkem, v tomto případě je ale nutné zakrýt okénko slabou průhlednou fólií. Touto tenkou fólií dojde k odstínění alfa záření, takže rozdíl mezi výsledky obou měření pak udává podíl alfa záření. Pokud se v záření vyskytuje alfa složka, musí být výsledek prvního měření (bez víčka a fólie) vyšší než výsledek druhého měření. Při obou měřeních je nutné dodržet vzdálenost 5 mm od vzorku. Oddělení beta záření od gama složky již není tak jednoduché, protože při plném odstínění beta záření v horních energetických pásmech dojde k rovněž k absorpci části gama záření. Beta záření, zhruba do 1,5 MeV, je možné odstínit tabulkou z plexiskla nebo plastu s tloušťkou 4 mm nebo z hliníku s tloušťkou 2 mm. Zpravidla postačuje pro odstínění beta záření při 3. měření silnější pravítko nebo nasazení víčka detekční trubice. Rozdíl mezi výsledkem 3. a 2. měření pak odpovídá beta složce záření.

## 7. Ještě trochu teorie

Zdroje radioaktivního záření jsou v jaderné fyzice označovány jako radionuklidy. Energie záření je měřena v megaelektronvoltech (MeV) nebo kiloelektronvoltech (keV):

mega = 1 000 000 = 10 na 6  
kilo = 1 000 = 10 na 3

Záření je v místě výskytu měřeno v jednotkách sievert (Sv) nebo rem, přičemž platí:

100 rem = 1 Sv	nebo	1 rem = 0,01 Sv
0,1 rem = 1 mSv	nebo	0,1 mrem = 1 $\mu$ Sv

Normální přirozené pozadí (SRN) zpravidla odpovídá hodnotě

**120 mrem/r = 1,2 mSv/r = 0,015 mrem/h = 0,15  $\mu$ Sv/h**

V zásadě platí, že s citlivostí Geiger-Müllerovy detekční trubice roste efektivnost počítání (počet zachycených impulzů) při měření. To však platí vždy pouze pro určitý radionuklid (zdroj záření), respektive jím vyzařovanou energii. Z energie záření je možné odvodit jeho penetrační sílu, respektive dosah. To, zda je možné záření zachytit detekční trubicí, a tedy je i měřit, závisí na energii záření nuklidu a propustnosti/citlivosti detekční trubice (koncového okénka).

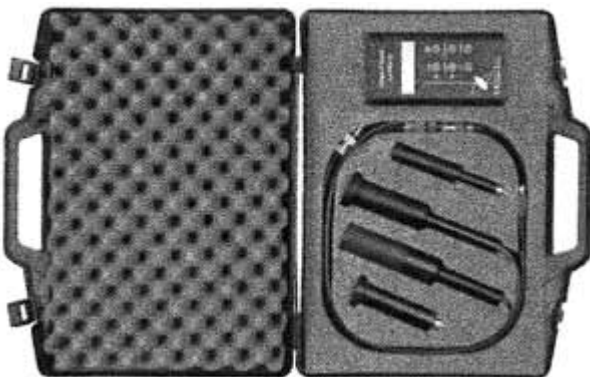
Energie záření nuklidu nemá nic společného s jeho aktivitou (rozpad za sekundu), která je měřena v becquerelech (Bq). To platí i pro mez průkaznosti (NWG), která se vztahuje k minimální aktivitě (Bq) zdroje záření, potřebné pro jeho změření. Energie záření (keV) a aktivita (Bq) jsou dva různé faktory, které společně s druhem záření (alfa, beta a gama) způsobují ozáření (zatížení zářením).

Dozimetry (pro měření dávky energie) jsou koncipovány pro měření gama záření. Zobrazují údaje v jednotkách sievert (Sv) nebo rem. Výrazně citlivější musí být přístroje pro měření kontaminace, které musí být schopné měřit i beta, případně rovněž alfa záření. V technických datech detekčních trubic je uvedena i energie záření, která je potřebná pro to, aby byla trubice schopna toto záření detekovat (ukazatel kvality). Detekční trubice typu A a G jsou schopné měřit například

alfa záření od energie	1,90 MeV
beta záření od energie	0,09 MeV
gama záření od energie	0,01 MeV

Ponorné sondy B a FSZ nejsou schopné měřit alfa záření, beta záření měří od energie 0,2 MeV a gama záření od energie 0,02 MeV.

Tuto nevýhodu vyrovnávají tyto sondy svou geometrií a konstrukcí – při ponoření do vzorku je plocha sondy přijímající záření větší než při měření povrchu. Při měření povrchu přijímá detekční trubice záření pouze z jedné strany a i malá vzdálenost od vzorku má za následek určité ztráty rozptylem.



### Tabulka měření

Pro tuto tabulku byly použity cejchované zářiče 6 různých nuklidů, k jejichž úniku může dojít v případě havárie jaderné elektrárny, a sice cejchované zářiče s 100 Bq a 1 000 Bq. Při měření po dobu 10 minut byl zjištěn počet impulzů za minutu, přitom byla odečtena nulová dávka detekční trubice. Jedná se tedy o čistý počet impulzů (bez pozadí). Pro toto měření byla použita vzdálenost 30 mm. Při menší vzdálenosti by byl zjištěn vyšší počet impulzů, při větší vzdálenosti by byla efektivita zachytávání přiměřeně nižší. Empirické pravidlo: záření klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje.

NUKLID	DETEKČNÍ TRUBICE S OKÉNKEM		PONORNÁ DETEKČNÍ TRUBICE	
	lpm			
<b>100 Bq</b>	<b>typ A</b>	<b>typ G</b>	<b>typ B</b>	<b>typ FSZ</b>
J-131	26,2	63	13,5	27,5
Cs-137	35,6	143	27,3	52,3
Sr-90	36,0	155	29,1	59,0
Sr-90+Y-90	84,6	363	100,3	203,4
uran	15,9	64	28,9	57,0
thorium	19,3	74	31,2	62,1
<b>1 000 Bq</b>	lpm			
J-131	262	626	135	275
Cs-137	356	1431	273	523
Sr-90	360	1550	291	590
Sr-90+Y-90	846	3630	1003	2034
uran	159	638	289	570
thorium	193	744	312	621

### **Vysvětlivky k použití tabulky měření**

Jak je patrné, chovají se impulzy zachycené detekčními trubicemi proporcionálně k hodnotám v becquerelech, jinými slovy: vyšší počet impulzů znamená vyšší hodnotu v becquerelech. Díky tomu je možné využití i pro další měření.

Pokud je například potřebné zkontrolovat určitý předmět z hlediska kontaminace cesiem  $^{137}\text{Cs}$ , je nutné provést měření po dobu 10 minut ve vzdálenosti 30 mm od vzorku. Výsledek přepočtený na jednu minutu je pak možné porovnat s tabulkou.

**Příklad:** Při měření vzorku s cesiem 137 po dobu 10 minut pomocí detekční trubice A bylo zjištěno 500 impulzů.  
Po přepočtu na jednu minutu ( $500 : 10 = 50$  lpm) a po odečtení nulové dávky (20 lpm) je čistý počet impulzů 30 lpm.  
V tabulce měření je v části 100 Bq uvedena pro detekční trubici A a Cs-137 hodnota 35,6 lpm. 30 lpm tedy odpovídá:

$$100 \text{ Bq} : 35,6 \times 30 = \mathbf{84,3 \text{ Bq}}$$

Pokud by vzorek vážil například 5 g, je nutné přepočíst tuto hodnotu na 1 kg:

$$84,3 \text{ Bq} \times 200 = \mathbf{16 \ 860 \text{ Bq/kg}}$$

Ze zkušeností je známé, že předpoklady měření v praxi často neodpovídají předpokladům, ze kterých vychází tabulka měření. Při měření povrchu detekčními trubicemi A nebo G je často používána menší vzdálenost od vzorku, zpravidla 3 – 5 mm, aby bylo možné měřit i alfa záření. Při vzdálenosti 5 mm je počet impulzů 5x vyšší než hodnota v tabulce. To znamená, že při výpočtu je nutné vynásobit příslušnou hodnotu podle tabulky číslem 5. 100 Bq by tak odpovídala hodnota 178 lpm ( $35,6 \times 5$ ). Při přepočtu na výše uvedených 30 lpm by to bylo ( $100 : 178 \times 30$ ) pouze **16,9 Bq** Cs-137.

Ponorné detekční trubice typu B a FSZ nejsou zpravidla používány pouze pro měření povrchů, protože při ponoření jsou mnohem efektivnější. Aby byly výsledky srovnatelné, je nutno vynásobit hodnotu v tabulce tentokrát dokonce číslem 10. To znamená, že 100 Bq Cs-137 by u detekční trubice B odpovídalo 273 lpm ( $27,3 \times 10$ ).

\*\*\*Je nutno vycházet ze skutečnosti, že stávající kontaminace v Evropě je v důsledku černobylské havárie prakticky omezena na nuklid cesium 137.