	<p>Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. Bartoškova 28, Praha 4 Odbor přírodních zdrojů, oddělení pro radon a NORM</p>
---	---

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách

(pro potřeby SÚJB)

Vypracoval:

Funkce	Jméno	Datum	Podpis
Vedoucí odboru	Mgr. Aleš Froňka, Ph.D.		
Vedoucí oddělení radonové a thoronové laboratoře	Ing. Karel Jílek		

Oponenti:

Jméno	Organizace
RNDr.Lenka Thinová, Ph.D.	KDAIZ, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze
Bc.Jan Matkovič	SÚJB, RC Ústí nad Labem

Vypracováno v rámci výzkumného projektu:

TAČR program BETA č. TB04SUJB002 Vytvoření nových strategických podkladů pro regulaci ozáření z přírodních zdrojů v bytovém fondu na území ČR

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 2 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Změnový list

Číslo změny	Vypracoval	Důvod změny		Schválil	Účinnost Od
	Jméno, podpis	Nové listy:	Zrušené listy:	Jméno, podpis	
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					

Přehled revizí

Číslo revize	Důvod revize	Účinnost Revize od

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 3 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

OBSAH

1. NÁZVOSLOVÍ A ZKRATKY	4
2. ÚČEL METODIKY	4
3. SPECIFIKACE METODICKÉHO POSTUPU	4
4. BEZPEČNOST PRÁCE	4
5. PRACOVNÍCI, PROSTORY A PROSTŘEDÍ.....	5
6. POUŽITÁ MĚŘICÍ TECHNIKA.....	5
7. MANIPULACE SE ZKUŠEBNÍMI VZORKY.....	6
8. PRACOVNÍ POSTUP.....	6
9. VALIDACE A VERIFIKACE	13
10. ODHAD NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	15
11. ŘÍZENÍ KVALITY	16
12. PROTOKOL O ZKOUŠCE.....	17
13. ZÁZNAMY	17
14. SEZNAM SOUVISEJÍCÍ DOKUMENTACE	19
15. SEZNAM PŘÍLOH.....	19

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 4 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

1. Názvosloví a zkratky

V tomto dokumentu jsou použity termíny, definice a zkratky podle ČSN EN ISO 80000-10 (011300) [1], Radiační ochrana, Doporučení SÚJB, Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, v platném znění [2], Program zabezpečování jakosti (příručka kvality) SÚRO [5].

2. Účel metodiky

Metodika popisuje pracovní postup indikativního stanovení časového průměru objemové aktivity thoronu (Rn-220) ve vnitřním prostředí budov pro účely hodnocení ozáření pobývajících osob. Metodika M17 vychází z pracovních postupů stanovení průměrné objemové aktivity radonu ve vnitřním prostředí budov s využitím systému elektretové dozimetrie RM-1, které jsou součástí akreditovaných postupů oddělení pro radon a NORM SÚRO, v.v.i.

Předmětem metodiky je podrobný popis indikativního stanovení časového průměru objemové aktivity thoronu ve vybraných místnostech budovy. Výběr měřicích míst a nastavení expozičních podmínek se provádí v rámci hodnocení ozáření osob pobývajících ve vnitřním prostředí budov.

3. Specifikace metodického postupu

Pro účely stanovení časového průměru objemové aktivity thoronu ve smíšeném poli radioizotopů Rn-222 a Rn-220 v rámci metodického postupu M17 se používá integrální systém pro elektretovou dozimetrii RM-1 se speciálně upravenými elektretovými ionizačními komorami RM200(A) R/T a duálními komorami RM80D R/T. Pro účely stanovení průměrné objemové aktivity thoronu je využita diskriminační metoda založená na stanovení rozdílového signálu (poklesu náboje na povrchu elektretů) pro expoziční komory s výrazně odlišnou citlivostí pro radon (Rn-222) a thoron (Rn-220).

Poznámka:

Upravené komory typu R/T mají na rozdíl od standardních elektretových ionizačních komor (EIK) pro měření radonu výrazně větší difúzní plochu pro přestup vzorku aktivního vzduchu do citlivého objemu komory. Díky této úpravě mají elektretové ionizační komory typu R/T výrazně vyšší citlivost na thoron oproti standardním radonovým EIK při zachování stejné citlivosti obou typů komor pro radon.

Princip metody je založen na měření poklesu náboje vázaného na povrchu elektroforu (elektretu), způsobeného sběrem záporných iontů v citlivém objemu expoziční komory. Záporné ionty vznikají při ionizaci vzduchu způsobené alfa částicemi, které jsou emitovány při radioaktivní přeměně Rn-222 a Rn-220 a jejich krátkodobých produktů přeměny v citlivém objemu detektoru. Radon a thoron difundují do citlivého objemu expoziční komory přes filtr a produkty jejich přeměny následně vznikají v důsledku jejich postupné radioaktivní přeměny.

Velikost poklesu náboje vázaného na povrchu elektretu je korigována na působení přirozeného pozadí záření gama v místě instalace detektorů.

Měřenou veličinou je pokles náboje elektretu za celkovou dobu expozice ionizační komory. Stanovovanou veličinou je časový průměr objemové aktivity radonu ^{222}Rn a ^{220}Rn ve vnitřním ovzduší jednotlivých místností budovy stanovený za celkovou dobu expozice ionizačních komor.

4. Bezpečnost práce

Zásady bezpečné práce, ochrany zdraví při práci a ochrany životního prostředí jsou stanoveny v dokumentu Provozní řád oddělení [6].

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 5 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

5. Pracovníci, prostory a prostředí

5.1. Pracovníci

Všichni pracovníci, kteří jsou uvedeni v Provozním řádu oddělení [6] v seznamu pracovníků oddělení (kap. 4.4) s oprávněním k provádění měření podle metodiky M 13 (*Stanovení časového průměru objemové aktivity (koncentrace) radonu ve vnitřním ovzduší stavby*) mohou provádět měření podle metodiky M17 v plném rozsahu.

5.2. Prostory a prostředí

Integrální měření objemové aktivity radonu podle metodiky M 17 se provádí ve vnitřním prostředí budov, zahrnujících stávající zkolaudované stavby, stavby před započítáním užívání, pracoviště s charakteristickým provozním režimem.

6. Použitá měřicí technika

6.1. Přístroje a zařízení

Pro účely stanovení časového průměru objemové aktivity radonu ve vnitřním prostředí budov je používán Systém pro integrální měření objemové aktivity radonu typ RM-1 (značka schválení typu: TCM 442/04 – 4089). Jedná se o integrální detekční zařízení pracující v difúzním režimu vzorkování atmosférického vzduchu v interiéru budovy.

Tabulka I. Dílčí komponenty systému pro integrální měření objemové aktivity radonu typ RM-1

Komponenty	Typové označení	Výrobní číslo
Vyhodnocovací zařízení (reader)	EVR-5 (model 97); EVR-7 (model 09)	9802, Opatřený štítkem s datem ověření
Expoziční komory	RM200(A); RM200(A) R/T RM80D; RM80 R/T	S výrobními čísly
Elektrety	RME-1	S výrobními čísly
Etalon napětí		2106-5

Zařízení pro kontrolu nastavení správného časového údaje

- náramkové hodinky měřiče
- mobilní telefon měřiče

Kontrola nastavení času na uvedených zařízeních je provedena před každým výjezdem pracovníků oddělení synchronizací s časovým údajem zobrazeným na displeji stolního počítače, který je připojen do vnitřní sítě SÚRO, v.v.i. Automatická synchronizace času je zabezpečena přes server hodiny.suro.local v pravidelném intervalu 1x týden.

Měřicí systém TESTO 454 [8]

Měřicí zařízení pro kontinuální záznam teploty a relativní vlhkosti vzduchu v době realizace kontinuálního měření objemové aktivity radonu v interiéru objektu.

- centrální řídicí jednotka CU(tužkové baterie)
- sonda pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu
- propojovací kabel mezi řídicí jednotkou a měřicí sondou
- síťové adaptéry

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 6 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

6.2. Metrologické zabezpečení

Metrologické ověřování stanovených měřidel a kalibrace pracovních měřidel jsou zajišťovány externě na pracovištích Českého metrologického institutu nebo v akreditovaných kalibračních laboratořích (AMS Kamenná, Testo, s.r.o.).

7. Manipulace se zkušebními vzorky

7.1. Odběr a manipulace se vzorky

Pro účel metodiky M17 považujeme za zkušební vzorky vnitřní atmosféru jednotlivých místností budovy, obsahující časově proměnnou objemovou aktivitu radonu (^{222}Rn a ^{220}Rn), který filtrem difunduje do citlivého objemu expozičních komor RM200(A) R/T a RM80D R/T. Takový vzorek jednoznačně souvisí s měřicím místem, nelze jej transportovat a uchovávat. Měření vzorku probíhá po celou dobu expozice elektretů vložených do expozičních ionizačních komor.

8. Pracovní postup

8.1. Plánování a příprava realizace měření

- 8.1.1. V laboratoři terénních prací se připraví měřicí technika a vybavení potřebné k realizaci měření (viz. 3.).
- 8.1.2. Provede se kontrola přítomnosti všech provozních komponent systému RM-1:
 - vyhodnocovací zařízení (reader) – EVR-5 (model 97); EVR-7 (model 09)
 - expoziční komory z elektrovedivého plastu (typ RM200(A); RM200(A) R/T; RM80D R/T)
 - odpovídající počet elektretů (typ RME-1);
 - kleště pro snímání kovové příruby expozičních komor
- 8.1.3. Provede se kontrola funkčnosti měřicí techniky (stav baterií vyhodnocovacího zařízení a radiometrů DC-3-E nebo RT-30G, stav filtrů expozičních komor, kontrola napětí elektretů, postup vypnutí a zapnutí měřicího zařízení). Kontrola funkčnosti vyhodnocovacího zařízení EVR-5 (model 97) nebo EVR-7 (model 09) se provádí pomocí napěťového normálu vloženého do měřicí pozice elektretu. Pro potřeby měření se připraví elektrety s minimálním napětím 150 V. Nejméně polovina vybraných elektretů musí mít napětí vyšší než 400 V.
- 8.1.4. Měřicí technika a příslušenství se umístí do transportních obalů určených pro bezpečnou přepravu ve vozidle.

8.2. Výběr měřicího místa

- 8.2.1. Provede se kontrola identifikace zájmového objektu (přesná adresa objektu, v případě novostavby se uvede číslo parcely a katastrální území stavebního pozemku).
- 8.2.2. Provede se vizuální prohlídka objektu za účelem výběru měřicích míst vhodných pro instalaci integrálních detektorů (pozornost je soustředěna na místnosti a prostory v přímém kontaktu s podložím stavby). Za měřicí místo se považuje stavebně ucelená část objektu (homogenní tlaková zóna) umožňující instalaci měřicí techniky. Výběr měřicích míst musí splňovat požadavky metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách [2].
- 8.2.3. V souladu s metodikou měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách se vyplní jednotlivé položky Pracovního listu (Příloha 1) a Záznamu o měření (Příloha 2).
- 8.2.4. Provede se uzavření všech výplňových otvorů obvodového pláště budovy (místnosti).

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 7 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

8.3. Kontrola experimentálních podmínek měření

- 8.3.1. Na vybraném měřicím místě (místo pro kontrolu expozičních podmínek) se instaluje měřicí zařízení (TESTO 454) určené pro kontinuální monitorování klimatických veličin, charakterizujících vnitřní prostředí budovy (teplota, relativní vlhkost vzduchu).
- 8.3.2. Instalace autonomní stanice TESTO [8]
- autonomní stanice TESTO se připojí k centrální řídicí jednotce TESTO 454 a příslušné napájecí adaptéry k elektrické síti
 - teplotní a vlhkostní sonda se připojí k autonomní stanici
 - nastaví se aktuální datum a čas na centrální jednotce (CU)
 - nastaví se měřicí program (měřicí místo, požadovaný interval záznamu, zahájení a ukončení měřicího cyklu); zaznamená se do pracovního listu
 - spustí se tlačítko pro periodické ukládání dat na centrální jednotce TESTO 454
- 8.3.3. Výsledky monitorování vnitřního prostředí budovy se automaticky ukládají do vnitřní paměti řídicí jednotky a slouží jako podklad pro kontrolu splnění experimentálních podmínek realizace měření.

8.4. Instalace expozičních komor

- 8.4.1. Podle dokumentace o schválení typu, tvoří stanovené měřidlo ve smyslu zákona č.137/2002Sb. dvojice kompletů elektretu RME-1 a expoziční komory typu RM200(A) s vyhodnocovacím zařízením typu EVR-5 nebo EVR-7. V případě expozičních komor RM200(A) R/T a RM80D R/T se nejedná o stanovené měřidlo. Požadavek na instalaci dvojice ionizačních komor na měřicí místo je zachován.
- 8.4.2. Stanovení počátečního napětí elektretu
V souladu s návodem k použití systému pro integrální dozimetrii RM-1 [7] se provede stanovení počátečního napětí U_p elektretů před jejich vložením do expozičních komor. Výsledky stanovení počátečního napětí elektretů použitých pro měření, včetně jejich výrobních čísel, se zaznamenají do pracovní dokumentace (Záznam o měření). Odečítání počátečního napětí elektretů se provádí zpravidla na jednom místě v interiéru budovy.
- 8.4.3. Detektory se instalují na měřicí místo v souladu s požadavky metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách [2] a v souladu s návodem k použití systému pro integrální dozimetrii RM-1 [7].
Expoziční komory se umístí na stabilní pevnou plochu (podlahová konstrukce v měřené místnosti; volné odkládací plochy apod.)
- 8.4.4. **Elektretové expoziční komory se instalují tak, aby vzdálenost centrální osy válcových komor od obvodové stěny budovy byla 20 cm.**
- 8.4.5. V místnostech, jejichž podlahové konstrukce jsou v kontaktu s podložím, jsou do expozičních komor přednostně vloženy elektrety s napětím vyšším než 400 V, v ostatních případech se doporučuje kombinace jednoho elektretu s napětím vyšším než 400 V a druhého s napětím nad 150 V.
- 8.4.6. Do pracovní dokumentace (Záznam o měření, deník měřiče) se zapisuje jednoznačně identifikované měřicí místo (shodně s označením místnosti v plánu, nebo dispozičním náčrtu), datum a čas instalace dvojice expozičních komor na měřicím místě, identifikační číslo elektretů (výrobní číslo), počáteční napětí elektretů (V).

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 8 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Zásady instalace detektorů

V každé místnosti (měřicím místě) jsou umístěny dvě expoziční komory s elektretem. Komory se umísťují:

- v těsné blízkosti (vedle sebe) při dodržení požadavku na vzdálenost podle bodu 4.4,
- tak aby nebyly vystaveny dlouhodobému působení slunečního svitu (zejména v letním období),
- na místa kde nejsou vystaveny sálavému teplu (topná tělesa), vibracím (lednice), a elektromagnetickým polím (televizor, monitor nebo mikrovlnná trouba)

8.5. Stanovení dávkového příkonu záření gama ve vzduchu v místě instalace elektretových detektorů

- 8.5.1. V místě expozice elektretových detektorů se pomocí ověřeného měřidla dávkového příkonu záření gama (např. radiometru DC-3-E nebo RT-30G) provede přímé stanovení dávkových příkonů záření gama ve vzduchu, potřebné pro korekci poklesu náboje elektretových detektorů exponovaných v poli záření gama. V místě instalace předpokládáme homogenní a konstantní pole záření gama po celou dobu expozice detektorů.
- 8.5.2. Měření dávkového příkonu záření gama se provádí přímo v místě instalace dvojice expozičních komor. Jeho hodnoty se v jednotkách $\mu\text{Gy/h}$ zaznamenávají do pracovní dokumentace (Záznam o měření, deník měřiče).

8.6. Doba expozice elektretových detektorů

- 8.6.1. Doba expozice detektorů musí splňovat požadavky metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách [2].
- 8.6.2. Minimální doba expozice elektretových dozimetrů je 168 hodin (7 dní).
- 8.6.3. Vzhledem k době expozice a fyzikálním vlastnostem detekčního zařízení je přesnost stanovení doby expozice požadována na úrovni jedné hodiny. V takovém případě je vliv nejistoty stanovení doby expozice na celkovou nejistotu stanovení integrálu objemové aktivity radonu a thoronu zanedbatelný.

8.7. Postup při ukončení měření

- 8.7.1. Provede se sběr detektorů z jednotlivých měřicích míst v interiéru budovy. Při sběru detektorů se provádí kontrola údajů o identifikaci měřicích míst a odpovídajících výrobních čísel elektretů zaznamenaných v pracovní dokumentaci.
- 8.7.2. Stanovení konečného napětí elektretu
V souladu s návodem k použití systému pro integrální dozimetrii RM-1 [7] se provede stanovení konečného napětí U_K elektretů po jejich opatrném vyjmutí z expozičních komor. Výsledky stanovení konečného napětí jednotlivých elektretů se zaznamenávají do pracovní dokumentace (Záznam o měření, deník měřiče).
Odečítání konečného napětí elektretů se provádí zpravidla na jednom místě v interiéru budovy.
- 8.7.3. Do pracovní dokumentace (Záznam o měření, deník měřiče) se zapisuje datum a čas ukončení expozice dvojice expozičních komor na měřicím místě a konečné napětí jednotlivých elektretů (V).

8.8. Postup stanovení průměrné objemové aktivity radonu a thoronu

- 8.8.1. Provede se výpočet pomocných hodnot A pro dvojici elektretových ionizačních komor podle níže uvedeného postupu. Výpočet je automatizován v excelovském souboru

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 9 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

včetně provedení kontrolního výpočtu s definovanými hodnotami vstupních veličin.

Pro kombinaci elektret RME-1, expoziční komora RM-200(A) a vyhodnocovací zařízení EVR-5 (model 97) a EVR-7 (model 2009):

Hodnota konečného napětí elektretu U_K závisí na počáteční hodnotě napětí (U_P), době expozice (t_E), objemové aktivitě radonu (C_V) a velikosti dávkového příkonu záření gama (D_G). Konečné napětí elektretu můžeme matematicky vyjádřit jako funkci uvedených veličin $U_K = U_K(U_P, C_V, D_G, t_E)$. Tato funkční závislost byla proměřena a byl nalezen analytický tvar, který tuto závislost aproximuje (rovnice [1] pro EVR-7 a rovnice [2] pro EVR-5). Výsledná průměrná hodnota objemové aktivity radonu C_V je vypočtena z hodnot výsledků stanovení pomocné veličiny A pro dvojici expozičních komor. V případě expozice elektretu RME-1 s ionizační komorou RM200(A) resp. RM200(A) R/T postupujeme podle vztahu [2] resp. [4] pro výpočet OAR a pro výpočet OAT podle vztahu [3]. V případě expozice elektretu RME-1 s ionizační komorou RM80D resp. RM80D R/T postupujeme pro výpočet OAT podle vztahu [5] a pro výpočet OAR podle vztahu [6].

$$A(OAR) = \frac{U_P - U_K}{t_E \cdot K_R} \cdot \left(1 + \frac{180}{U_P + U_K}\right) - K_G \cdot D_G \cdot \left(1 + \frac{180}{U_P + U_K}\right)^{-1} \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [1]$$

$$A(OAR) = \frac{U_P - U_K}{t_E \cdot K_R} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{-0.324} - K_G \cdot D_G \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [2]$$

kde

U_P a U_K jsou počáteční a konečné napětí elektretu (V),

t_E je doba expozice elektretu (h),

D_G je dávkový příkon záření γ v místě expozice detektor ($\mu\text{Gy/h}$),

K_{R1} je citlivost pro radon (^{222}Rn) expoziční komora RM200(A) resp. RM80D,

K_{R2} je citlivost pro radon (^{222}Rn) expoziční komora RM200(A) R/T resp. RM80D R/T,

K_{T1} je citlivost pro thoron (^{220}Rn) expoziční komora RM200(A) resp. RM80D,

K_{T2} je citlivost pro thoron (^{220}Rn) expoziční komora RM200(A) R/T resp. RM80D R/T,

$K_G = (390 \pm 35) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h}$ je citlivost pro dávkový příkon záření gama ve vzduchu pro expoziční komory RM200(A) a RM200(A) R/T a $(528 \pm 48) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h}$ pro expoziční komory RM80D a RM80D R/T

Pro RM200(A) a RM200(A) R/T

$$A(OAT) = \frac{\Delta U_2 - \Delta U_1}{\left(K_{T2} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{0.326} - K_{T1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{0.32}\right) \cdot t_E} \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [3]$$

$$A(OAR) = \left(\frac{\Delta U_1}{K_{R1} \cdot t_E}\right) \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{-0.324} - \left(\frac{C_V(OAT)}{\frac{K_{R1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{0.324}}{K_{T1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2}\right)^{0.32}}}\right) - K_G \cdot D_G \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [4]$$

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 10 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Pro RM80D a RM80D R/T

$$A(\text{OAT}) = \frac{\Delta U_2 - \Delta U_1}{\left(K_{T2} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2} \right)^{0.3338} - K_{T1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2} \right)^{0.325} \right) \cdot t_E} \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [5]$$

$$A(\text{OAR}) = \left(\frac{\Delta U_1}{K_{R1} \cdot t_E} \right) \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2} \right)^{-0.353} - \left(\frac{C_V(\text{OAT})}{\frac{K_{R1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2} \right)^{0.353}}{K_{T1} \cdot \left(\frac{U_P + U_K}{2} \right)^{0.325}}} \right) - K_G \cdot D_G \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [6]$$

kde

$\Delta U_2 = U_P - U_K$ pro expoziční komoru RM200(A) R/T respektive RM80D R/T

$\Delta U_1 = U_P - U_K$ pro expoziční komoru RM200(A) respektive RM80D

Hodnota průměrné objemové aktivity radonu C_V představuje vážený průměr výsledků stanovených dvěma expozičními komorami vypočtený podle následujícího výrazu:

$$C_V = A_1 \cdot F\left(\frac{A_2}{A_1}\right), \quad [7]$$

kde A_1 respektive A_2 jsou pomocné hodnoty podle jednotlivých expozičních komor.

Váhová funkce $F\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ má tvar $F(a) = \frac{1}{1+f(a)} + a \cdot \frac{f(a)}{1+f(a)}$, kde argument a se vypočte jako podíl vyšší a nižší objemové aktivity radonu od jednotlivých expozičních komor. Výsledky od obou expozičních komor se uspořádají (označí) podle velikosti ($A_1 \leq A_2$) a argument a je podíl $a = \frac{A_2}{A_1}$. Funkce $f(a)$ je potom dána výrazem

$$f(a) = \exp\left[-126 \cdot \left(\frac{1-a}{1+a}\right)^2\right]. \quad [8]$$

Tento výpočet referenční objemové aktivity radonu měřené dvojicí expozičních komor je naprogramován v módu 3 vyhodnocovacího zařízení EVR-5 (Model 97). Výrobce dodává jednoduchý program pro tyto výpočty pro standardní PC.

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 11 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Hodnoty funkce f (a) [2]

$a = \frac{A_2}{A_1}$	F(a)	$a = \frac{A_2}{A_1}$	F(a)	$a = \frac{A_2}{A_1}$	F(a)
1,01	1,005	1,13	1,050	1,25	1,044
1,02	1,010	1,14	1,052	1,26	1,041
1,03	1,015	1,15	1,053	1,27	1,039
1,04	1,019	1,16	1,053	1,28	1,036
1,05	1,024	1,17	1,054	1,29	1,034
1,06	1,028	1,18	1,054	1,30	1,031
1,07	1,032	1,19	1,053	1,32	1,027
1,08	1,036	1,20	1,052	1,34	1,022
1,09	1,040	1,21	1,051	1,36	1,018
1,10	1,043	1,22	1,049	1,38	1,015
1,11	1,046	1,23	1,048	1,40	1,012
1,12	1,048	1,24	1,046	1,42	1,009

Citlivosti použitých detektorů

Odezva měřidla

Pokles napětí elektretu za celou dobu expozice EIK

Stanovovaná veličina

Průměrná objemová aktivita radonu (^{222}Rn a ^{220}Rn) za dobu expozice ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

Dynamický měřicí rozsah

Objemová aktivita radonu: $60 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ až $3192 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (interval měření 168 hodin)

Citlivost detektoru vztažená k OAR (expoziční komora RM-200(A))

$K_{R1} = (1,67 \pm 0,10) \cdot 10^{-4} \text{ V}^{0,676} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (EVR-5 model 97)

$K_{R1} = (2,53 \pm 0,19) \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (EVR-5 model 03 a vyšší a EVR-7 model 09)

Citlivost detektoru vztažená k OAT (expoziční komora RM-200(A))

$K_{T1} = (1,86 \pm 0,23) \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)

Citlivost detektoru vztažená k OAR (expoziční komora RM-200(A) R/T)

$K_{R2} = (1,67 \pm 0,10) \cdot 10^{-4} \text{ V}^{0,694} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (EVR-5 model 97)

$K_{R2} = (2,53 \pm 0,19) \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (EVR-5 model 03 a vyšší a EVR-7 model 09)

Citlivost detektoru vztažená k OAT (expoziční komora RM-200(A) R/T)

$K_{T2} = (5,22 \pm 0,97) \cdot 10^{-5} \text{ V}^{0,674} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)

Citlivost detektoru vztažená k OAR (expoziční komora RM80D)

$K_{R1} = (3,35 \pm 0,32) \cdot 10^{-5} \text{ V}^{0,647} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)

Citlivost detektoru vztažená k OAT (expoziční komora RM80D)

$K_{T1} = (8,29 \pm 2,48) \cdot 10^{-7} \text{ V}^{0,675} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 12 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Citlivost detektoru vztažená k OAR (expoziční komora RM80D R/T)

$$K_{R2} = (3,43 \pm 0,27) \cdot 10^{-5} \text{ V}^{0,658} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)}$$

Citlivost detektoru vztažená k OAT (expoziční komora RM80D R/T)

$$K_{T2} = (2,31 \pm 0,27) \cdot 10^{-5} \text{ V}^{0,662} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)}$$

Citlivost detektoru vztažená k dávkovému příkonu záření gama ve vzduchu (expoziční komora RM200(A) a RM200(A) R/T)

$$K_G = (390 \pm 35) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h} \text{ (EVR-5 model 97)}$$

$$K_G = (378 \pm 43) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h} \text{ (EVR-5 model 03 a vyšší a EVR-7 model 09)}$$

Citlivost detektoru vztažená k dávkovému příkonu záření gama ve vzduchu (expoziční komora RM80D a RM80D R/T)

$$K_G = (528 \pm 48) \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \mu\text{Gy}^{-1} \cdot \text{h} \text{ (EVR-5 model 97 a vyšší a EVR-7 model 09)}$$

Nejmenší detekovatelná objemová aktivita radonu (C_{ND})

$$60 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Několik důsledků vyplývajících z výrazu [1] :

1. Z výrazu [1] vyplývá, že pomocná hodnota A závisí na počátečním napětí elektretu U_P i konečném napětí U_K a nikoliv na prosté diferenci počátečního a konečného napětí ($U_P - U_K$).
2. Pro případ dlouhodobé expozice detektorů nebo při realizaci měření v prostředí s vysokou objemovou aktivitou radonu, případně s vysokým dávkovým příkonem záření gama, dochází k velkému poklesu napětí elektretu, případně jeho úplnému vybití. V takovém případě je možné hodnotu pomocné veličiny A interpretovat pouze jako dolní odhad skutečné průměrné objemové aktivity radonu, to znamená, že výsledkem měření bude výrok, že průměrná objemová aktivita radonu na měřícím místě je vyšší, než vypočtená hodnota. Obsluha proto musí zvažovat dobu expozice v souvislosti s počátečním napětím exponovaných elektretů. Seriózním parametrem, který určuje rozsah měřených průměrných objemových aktivit radonu proto je časový integrál objemové aktivity radonu (I_E).

$$I_E = \int_{t=0}^t C_V(t) \cdot dt \quad (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}) \quad [7]$$

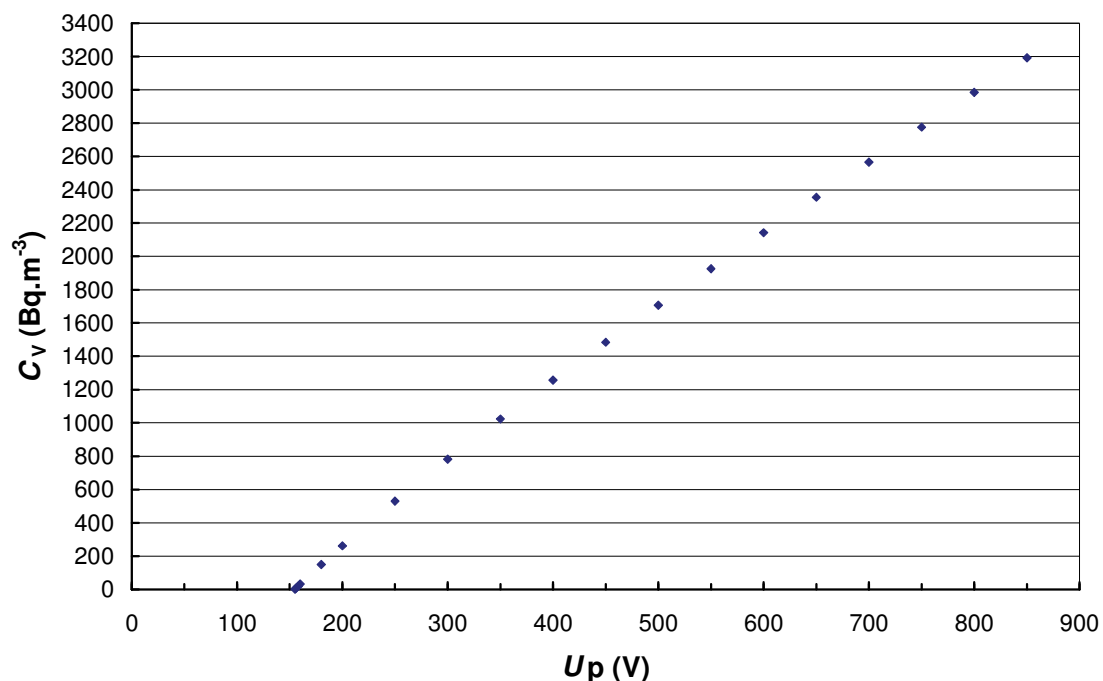
- kde $C_V(t)$ je objemová aktivita radonu v čase t v průběhu expozice.
- Časový integrál expozice pro plně nabitý elektret ($U_P=850 \text{ V}$; $U_K=150 \text{ V}$; $D_G=0,12 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$); elektret RME-1 s expoziční komorou RM-200(A) a vyhodnocovací zařízení EVR-5 je $I_E = 5,4 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Odtud lze například odhadnout nejvyšší průměrnou objemovou aktivitu, kterou je možné stanovit při použití plně nabitého elektretu a pro dobu expozice 7 dní (168 hodin),

$$\bar{C}_V = \frac{I_E}{t_E} = 3192 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \quad [8]$$

Obrázek 1. Nejvyšší stanovitelná průměrná hodnota objemové aktivity radonu v závislosti na počátečním napětí elektretu RME-1 (systém RM-1, vyhodnocovací zařízení EVR-5, ionizační

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 13 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

komora RM200(A), konečné napětí $U_K=150$ V, doba expozice 168 hodin, dávkový příkon záření gama ve vzduchu $0,12 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)



8.9. Pracovní záznamy

- 8.9.1. Prvotní pracovní záznamy jsou pořizovány na místě měření do příslušných formulářů (Pracovní list; Záznam o měření) nebo do pracovního deníku měřiče.
- 8.9.2. Pracovní listy, Záznamy o měření a pracovní dokumentace pro daný zájmový objekt jsou archivovány u vedoucího odboru. Pracovní deníky u jednotlivých měřičů.
- 8.9.3. Prvotní záznamy pro daný zájmový objekt jsou převedeny do elektronického formátu ve formě excelovského souboru a jsou společně s datovými soubory z jednotlivých měřících zařízení uloženy do adresáře na síťovém disku **S:\!!!mereni_Rn** se společnými přístupovými právy všech měřičů oddělení pro radon a NORM.
- 8.9.4. Zdrojová data z kontinuálních monitorů radonu a měřicí stanice TESTO jsou archivována v příslušných datových souborech v adresáři PC vedoucího odboru **C:\Akreditace\Protokoly zkouška\20xx**

9. Validace a verifikace

9.1 Identita a selektivita

Identita a selektivita metody je zajištěna metrologickou návazností stanovených měřidel a použitím korekce definovaného poklesu náboje elektretu exponovaného v poli záření gama. Pro zajištění spolehlivosti a identity měření byl zaveden následující systém kontroly ovlivňujících faktorů zkušební postupu:

- instalace integrálních detektorů ve stabilních experimentálních podmínkách v souladu s metodikou měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách [2]

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 14 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

- monitorování mikroklimatických parametrů na vybraném měřicím místě (místo pro kontrolu expozičních podmínek) – záznam teploty, relativní vlhkosti vzduchu v době realizace měření

Poznámka

Elektretové ionizační komory nelze použít v prostředí s časově proměnným polem záření gama ve vzduchu bez zajištění kontinuálního záznamu dávkového příkonu záření gama v místě instalace expozičních komor.

9.2 Správnost metody

Správnost metody je zajištěna vnitřní a vnější kontrolou v rámci řízení kvality (viz. 11) a dodržováním pracovních postupů uvedených v Doporučení SÚJB [2]. V rámci schvalování typu (značka typu: TCM 442/04 – 4089) byly v Autorizovaném metrologickém středisku SÚJCHBO Kamenná provedeny zkoušky metrologických vlastností systému RM-1 v souladu s požadavky normy IEC 61577. Součástí procesu schvalování bylo zkoušení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měření, teplotní závislosti systému, vlivu pole záření gama na pokles napětí elektretu a samovolného poklesu napětí elektretu. Na základě typového schvalování byla stanovena vnitřní chyba měřidla na úrovni 8% pro stanovení průměrné hodnoty objemové aktivity radonu.

Komparačním prostředkem pro přenos veličiny OAT na integrální detektory thoronu je kontinuální monitor RAD 7 (DurrIDGE Company), který je metrologicky navázán kalibrací z primární atmosféry thoronu v PTB Braunschweig.

9.3 Přesnost metody

Na základě výsledků ověřovacích měření detekčního systému RM-1 provedených v AMS Kamenná v období od roku 1994 až 1998 a 2003 výrobcem měřicího systému (Dr. Froňka Nukleární technika) nebo přímo pracovníky AMS, je možné uvést následující zjištění:

- na výsledek měření průměrné hodnoty OAR za 24 hodin nemá vliv použité vyhodnocovací zařízení typ EVR-5 nebo EVR-7 (jakýkoliv model), expoziční komora RM-200(A) nebo elektret RME-1 (analýza byla provedena celkem pro 9 souborů o celkovém počtu 140 ověřovacích měření)
- konvenčně pravé hodnoty OAR (tj. hodnoty udávané AMS) se pohybovaly v rozmezí 1500 až 7000 Bq.m⁻³
- minimální počet měření v souboru byl 10 hodnot
- každá naměřená hodnota ze souboru byla normalizována střední hodnotou souboru (aritmetickým průměrem)

Výsledky analýz výše uvedených souborů měření jsou uvedeny v Příloze č. 4.

9.4 Opakovatelnost

Spolehlivost (test-retest reliabilita) zkušební postupu byla ověřena opakovanými testy v rámci Schvalování Typu měřidla v AMS Kamenná a při experimentech v radonové a thoronové laboratoři SÚRO, v.v.i v rámci projektu TAČR BETA č. TB04SUJB002 (Vytvoření nových strategických podkladů pro regulaci ozáření z přírodních zdrojů v bytovém fondu na území ČR).

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 15 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

10. Odhad nejistoty měření

Postup výpočtu nejistot měření jednotlivých vstupních veličin včetně rozboru klíčových ovlivňujících faktorů a analýza kombinované nejistoty výsledku stanovení objemové aktivity radonu vychází z dokumentu Measurement Uncertainty – Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratories (IAEA-TECDOC-1585) [4], z dokumentu ISO/FDIS 11929-7 (Determination of characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and applications) [9] a z uživatelských manuálů výrobců jednotlivých měřicích zařízení.

Nejmenší významná objemová aktivita C_{NV} se stanovuje na hladině významnosti 95% ($\alpha=0,05$) podle postupů uvedených v ISO/FDIS 119 29 [9] a v související technické normě ISO/WD 767. Nejmenší detekovatelná objemová aktivita C_{ND} se stanovuje na hladině významnosti 95% ($\alpha=\beta=0,05$) podle postupů uvedených v ISO/FDIS 119 29 [9] a v související technické normě ISO/WD 767.

Na výsledné nejistotě stanovení objemové aktivity radonu se podílí několik dílčích zdrojů nejistot:

nejistota stanovení objemové aktivity radonu a thoronu

odhad celkové rozšířené nejistoty měření objemové aktivity radonu (95% konfidenční interval, koeficient rozšíření $k=2$)

$$U = k \cdot \sqrt{(u_n)^2 + (u_r)^2} = 2\sqrt{(u_n)^2 + (u_r)^2}$$

u_n – nejistota měření poklesu napětí elektretu pro definovanou dobu expozice detektoru (nejistota typu A)

u_r - dílčí nejistoty vstupních parametrů, které nejsou předmětem přímého stanovení (nejistoty typu B)

Poznámka

Vzhledem k tomu, že objemová aktivita thoronu není metrologizovaná veličina, vychází se při posouzení správnosti měření z porovnání s referenčním měřidlem thoronu (RAD 7), který je komparován s referenčním měřidlem v PTB Braunschweig. Rozbor dílčích nejistot a stanovení celkové kombinované nejistoty je uvedeno pro veličinu objemová aktivita radonu a lze tak vzhledem k metodě detekce (poklesu náboje na povrchu elektretu) odhadovat, že celková nejistota stanovení objemové aktivity thoronu bude vyšší (přibližně dvojnásobná) než nejistota stanovení OAR.

Celková nejistota stanovení objemové aktivity radonu zahrnuje dílčí nejistoty kalibračního koeficientu referenčního měřidla a vlastního stanoveného měřidla, nejistotu vlivu teploty, tlaku vzduchu a relativní vlhkosti vzorkované atmosféry na detekční účinnost zařízení a nejistotu přímého měření zájmové veličiny.

Příklad analýzy celkové nejistoty stanovení objemové aktivity radonu pomocí systému integrální elektretové dozimetrie RM-1 je uveden v příloze 3.

Celková nejistota stanovení se v protokolu o měření neuvádí a může být zadavateli měření poskytnuta na vyžádání. Výsledky měření objemové aktivity radonu se vyjadřují v becquerelech vztažených na metr krychlový vzduchu ($Bq \cdot m^{-3}$). V případě, že je objemová aktivita C_V nižší než nejmenší detekovatelná aktivita C_{ND} , uvede se jako výsledek „menší než C_{ND} “ nebo „ $<C_{ND}$ “ Formát vyjádření výsledku měření objemové aktivity radonu:

$$C_V = xx \text{ Bq} \cdot m^{-3}$$

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 16 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Ovlivňující faktory měření objemové aktivity radonu:

- Vliv teploty a atmosférického tlaku vzduchu – pro teplotní a tlakový rozsah 5°C až 55°C respektive 920 to 1 020 hPa je relativní standardní nejistota měření menší než 0,1%. Za jiných teplotních nebo tlakových podmínek je nezbytné zavedení opravného faktoru k_{TP} zohledňujícího změnu hustoty vzduchu vzhledem k referenčním podmínkám laboratoře ($T=20^{\circ}\text{C}$, $p=101,325\text{ kPa}$).
- Vliv relativní vlhkosti vzduchu – pro rozsah relativní vlhkosti 20% až 70% za běžných provozních teplot je změna odezvy detektoru menší než 0,1%.

11. Řízení kvality

11.1 Zajištění kvality

V rámci tvorby a ověřování metodického postupu byl proveden rozbor zdrojů, které by mohly nepříznivě ovlivnit kvalitu výsledků měření, a byla přijata preventivní opatření na jejich eliminaci nebo alespoň na omezení jejich vlivu na přijatelnou míru.

11.2 Vnější kontrola

Metrologická kontrola měřicího zařízení: Metrologická kontrola je zajištěna pravidelným ověřováním měřidel v laboratoři Autorizovaného metrologického střediska AMS Kamenná (kalibrační značka K113). Kontroluje se odchylka výsledků stanovení od referenční hodnoty a splnění kritérií stanovených pro ověření měřidla.

11.3 Vnitřní kontrola

Opakovaná zkouška (laboratorní podmínky): Provádí se nejméně 2x za rok a dále dle potřeby v radonové komoře SÚRO, v.v.i. jako kontrola dlouhodobé stability používaných integrálních měřidel RM-1. Opakovanými experimenty za definovaných klimatických podmínek z hlediska teploty a relativní vlhkosti vzduchu jsou sledovány odchylky jednotlivých měřidel (vždy dvojice elektretů s komorami) od konvenčně pravé hodnoty dané referenčním kontinuálním monitorem AlphaGUARD v. č.EF-1522. Typicky se exponuje soubor o min. počtu 10 elektretových komor.

Monitor AlphaGUARD má jak mezinárodní kalibraci z primární atmosféry PTB Braunschweig, kde je německá referenční radonová komora, tak prochází pravidelným dvouletým ověřováním a kalibrací v AMS - Kamenná (K -113). Monitor je také komparován s etalonážními prostředky SÚRO pro objemovou aktivitu radonu ve vzduchu, které jsou založeny na scintilačních komorách typu NY.

Vlastní etalonážní zařízení pro veličinu objemová aktivita radonu ve vzduchu pak tvoří zmíněné scintilační komory typu NY a certifikovaný průtokový zdroj radonu typu RF-X (Certifikát č. 9031-OL- 025/13), který poskytuje definovaný tok objemové aktivity radonu přes scintilační komory s využitím stabilního čerpadla a kalibrovaného průtokoměru (měřidla celkového množství vzduchu prošlého scintilační komorou).

Vlastní kontrola měřidel je prováděna vždy s využitím referenčního monitoru RAD 7, který je navázán na standard SÚRO, v.v.i., který se skládá z průtokového zdroje thoronu na bázi Th-228 o známé produkci thoronu P . Produkce zdroje P byla stanovena v laboratoři gama spektrometrie. Definovaná objemová aktivita thoronu na výstupu zdroje v proudu nosného plynu je pak vypočtena jako:

$$C_V(OAT) = \frac{P \cdot k(V, f, \lambda_{\text{Rn-220}})}{f}$$

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 17 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

kde

k je korekční faktor na objemovou rychlost průtoku nosného plynu přes zdroj

f je objemová rychlost průtoku nosného plynu přes zdroj (m^3/min)

V je vnitřní objem zdroje (m^3)

$\lambda_{\text{Rn-220}}$ je přeměnová konstanta pro thoron v (min^{-1})

P je produkce thoronu v (Bq/min)

Referenční monitor RAD 7, vybavený aktivním odběrovým adaptérem a schopností rozlišit příspěvky od radonu a thoronu na základě spektrometrického rozlišení radioizotopů Po-126 a Po-218 je navázán vnitřní kalibrací na thoronový standard SÚRO s celkovou nejistotou lepší než 8% ($k=1$).

V rámci vnitřní kontroly se dále tabelárně a graficky zaznamenávají:

- průměrné relativní odchylky měřené objemové aktivity radonu v radonové komoře SÚRO v.v.i. pomocí referenčního monitoru AlphaGUARD S/N-EF 1522 v relevantním čase, s hodnotami objemové aktivity stanovené pomocí referenčních scintilačních komor NY (2x ročně).
- výsledky z pravidelných dvouletých ověření referenčních scintilačních komor NY i referenčního monitoru AlphaGUARD, ze kterých jsou AMS Kamenná vydávány kalibrační listy.

11.4 Konfirmace identity

Konfirmace identity pro stanovení objemové aktivity radonu a thoronu v citlivém objemu detektoru je zajištěna použitím korekce definovaného poklesu náboje elektretu exponovaného v poli záření gama a experimentálními postupy expozice standardních EIK a upravených EIK ve směsném poli radonu a thoronu společně s kontinuálním monitorem RAD 7, který umožňuje nezávislé spektrometrické stanovení objemové aktivity radonu a thoronu.

12. Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce je vystavován pro každé měření objemové aktivity radonu. Obsah protokolu je stanoven ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů, vzor je součástí Provozního řádu oddělení.

13. Záznamy

Ke stanovení objemové aktivity radonu (Rn-222 a Rn-220) a k souvisejícím činnostem jsou vedeny záznamy v písemné formě nebo v elektronickém formátu v tomto rozsahu:

Záznam	Odpovědnost	Uložení - složka	Uložení – místnost
záznam o průběhu zkoušky s výsledky měření a výpočtu	kdo provádí zkoušku	2011 SÚRO v.v.i Protokoly OzOp	Místnost č. 107
protokol o zkoušce	kdo vystavuje protokol	2011 SÚRO v.v.i Protokoly OzOp	Místnost č. 107
záznam o odeslání	kdo odesílá protokol	Knihy odeslané	Místnost č. 106

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 18 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Záznam	Odpovědnost	Uložení - složka	Uložení – místnost
protokolu		pošty	
certifikáty všech používaných RA zdrojů a RM	vedoucí oddělení radonové a thoronové laboratoře	Certifikační etalony	Místnost č. 9
doklady o metrologickém ověření a kalibraci měřidel	vedoucí oddělení radonové a thoronové laboratoře	Ověřovací a kalibrační listy	Místnost č. 9
záznamy o účasti v MPZ	vedoucí odboru/ vedoucí oddělení radonové a thoronové laboratoře	Vnější kontrola	Místnost č.107/ č. 9
záznamy o vnitřní kontrole použitých měřidel	kdo provádí zkoušky	Vnitřní kontrola	Místnost č.107/ č. 9
záznamy o měřicím zařízení, jeho údržbě a kontrole	vedoucí oddělení	Přístrojové karty	Dle umístění měřidla

Vedení evidence zakázek

Každá zakázka je zapsána do souboru **S:/činnost_OPZ** s přístupovými právy pro všechny pracovníky oddělení pro radon a NORM. Podle pořadí zápisu je zakázce přiděleno jednoznačné identifikační číslo podle klíče:

242-005-20xx/RP

242 - identifikace oddělení pro radon a NORM

005 – pořadové číslo protokolu v daném roce

20xx - vrocení

RP – písmenný kód pro typ zakázky

- Z Zakázka blíže specifikovaná v posudku
- ZD Zakázka Diagnostika
- ZRIP Zakázka Radonový Index Pozemku
- ZN Zakázka pracoviště NORM
- P Podpora SÚJB blíže specifikovaná v posudku
- PD Podpora SÚJB Diagnostika
- PU Podpora SÚJB kontrola Účinnosti OO
- PK Podpora SÚJB Kontrola činnosti firem
- PN Podpora SÚJB pracoviště NORM
- V Potřeba Vlastního pracoviště
- Š Školy, školky pro vlastní potřebu
- RP Radonový program - pomoc občanovi

Soubor je zároveň uložen v počítači vedoucího odboru.

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 19 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Pro každou zakázku jsou zavedeny desky, do kterých se ukládají všechny dokumenty a pracovní materiály. Datum zavedení desek se považuje za okamžik zahájení prací na zakázce. Po uzavření zakázky se k zakázce vystavuje dokument, který vedle názvu dokumentu nese označení Protokol č. 242-005-20xx/RP.

Pokud je součástí protokolu akreditovaná zkouška, nese protokol o akreditované zkoušce číslo protokolu o akreditované zkoušce i číslo zakázky.

14. Seznam související dokumentace

- [1] ČSN EN ISO 80000-10 (011300) Veličiny a jednotky - Část 10: Atomová a jaderná fyzika, říjen 2013
- [2] Doporučení SÚJB, Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, v platném znění
- [3] Doporučení SÚJB, Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením, červen 2012
- [4] Measurement Uncertainty – Practical Guide for Secondary Standards Dosimetry Laboratoriem, IAEA-TECDOC-1585, květen 2008
- [5] PZJ SÚRO-07-xx, SÚRO, Praha, v platném znění
- [6] Povození řád Odboru přírodních zdrojů, PŘ OPZ 06-04, SÚRO Praha, 2016
- [7] Dr. Froňka Nukleární technika: Návod k použití Systému pro integrální dozimetrii RM-1 (model 03), Technický popis, srpen 2010
- [8] Testo 350-454 Instruction Manual
- [9] ISO/FDIS 11929-7 (Determination of characteristic limits (decision threshold, detection limit and limit of the confidence interval for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and applications)
- [10] JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method (2008) Sevres, France: BIPM Joint Committee for Guides in Metrology
- [11] M. Solaguren-Beascoa Fernández, J. M. Alegre Calderón, P. M. Bravo Díez, Implementation in MATLAB of the adaptive Monte Carlo method for the evaluation of measurement uncertainties, Accred Qual Assur (2009) 14:95–106, DOI 10.1007/s00769-008-0475-6

15. Seznam příloh

1. Pracovní list – popis objektu
2. Záznam o měření objemové aktivity radonu v objektu
3. Výpočet pomocné hodnoty A pro jednu expoziční komoru
4. Analýza nejistot stanovení objemové aktivity radonu pomocí systému integrální elektretové dozimetrie RM-1
5. Analýza výsledků ověřovacích měření systému RM-1

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 20 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Příloha 1

Pracovní list – popis objektu

číslo záznamu: /

Objekt - (rodinný dům, bytový dům, škola ...)	
Adresa	
Katastrální území	č.parcely
Stavebník (kontaktní osoba, která organizuje (zadává) šetření – jméno, kontakt (tel./ e-mail)	

Charakteristiky a popis stavby		
Novostavba / užívaná stavby (<i>datum započetí užívání</i>)		Rok vzniku stavby
Počet podlaží	Nadzemních	Podzemních
Umístění stavby v terénu		
Dispoziční náčrt všech podlaží s obytnými nebo pobytovými místnostmi je povinnou součástí dokumentace		
Podsklepení úplné/částečné (<i>rozsah podsklepení je popsán, případně je zřejmý z dispozičních náčrtů</i>)		
Komunikace kontaktních podlaží s vyššími podlažími (<i>otevřené/uzavřené schodiště, vchod do podzemního podlaží pouze/také zvenku, výtahová šachta ...</i>)		
Použitý stavební materiál		
Dodávaná voda (<i>veřejný vodovod/vlastní zdroj</i>)		

Skutečnosti důležité z hlediska radiační ochrany (protiradonová opatření)
<i>Popis vzduchotechnického zařízení a režimu jeho provozu (v případě že je instalováno)</i>
<i>Popis režimu systému ochrany stavby proti pronikání radonu z podlaží (pasivní – protiradonové izolace, aktivní prvky v případě že jsou instalovány); odchylky od standardního režimu.</i>

Měření		
Výsledky předcházejících měření (<i>zahrnuje i stanovení radonového indexu pozemku</i>)		
Typ měření		
Stavba	obývaná / neobývaná	
Expoziční podmínky	uživatelské / kontrolované / referenční	
Expoziční doba	Začátek měření (<i>datum/čas</i>)	
	Konec měření (<i>datum/čas</i>)	
Typ detekčního zařízení (<i>elektrety, kontinuální monitory, stopové</i>)	Sériové číslo přístroje	Číslo ověřovacího listu

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 21 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

detektory)		
------------	--	--

Úplný výčet jednotlivých měřících míst a výsledky měření objemové aktivity radonu jsou uvedeny v **Záznamu o měření**.

Podmínky měření	
Klimatické podmínky (<i>teplota, relativní vlhkost vzduchu, výrazné kolísání atmosférického tlaku vzduchu, extrémní klimatické jevy, nárazy větru, srážky apod.</i>)	Uživatelské zvyklosti (<i>počet osob užívajících stavbu, časové charakteristiky způsobu užívání</i>)
Klimatické podmínky uvnitř objektu (<i>teplota, relativní vlhkost vzduchu</i>)	Opatření učiněná k regulaci ventilace a uživatelského režimu <i>Popis, způsob zajištění, kontrola, osoba kooperující při zajištění těchto podmínek. Nález při kontrolách dodržení ventilačních podmínek při ukončení expozice.</i>

Identifikace měřiče	
Jméno	Podpis

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 22 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Příloha 2

Záznam o měření objemové aktivity radonu v objektu

číslo záznamu: /

Datum:

Objekt:

Začátek měření:

Konec měření:

Doba expozice:

místnost	podlaží	Číslo elektretu	U_P [V]	U_K [V]	D [$\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$]	OAR [$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$]	Typ EIK

Elektretový reader:

v. č.

Kontrola etalonem napětí:

Typ ionizační komory:

Kontrola času provedena:

Měření provedl (a):

Podpis:

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 23 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Příloha 3

Analýza nejistot stanovení objemové aktivity radonu pomocí systému integrální elektretové dozimetrie

Veličina	Zdroj nejistoty, hodnota veličiny	Typ nejistoty	Standardní nejistota (u_i)	Faktor rozšíření (k)	Rozšířená nejistota (U_i)	Nejistota (komponenta)
Kalibrační koeficient referenčního měřidla	Kalibrační certifikát	Typ B	3,9%	1	3,9%	3,9%
Kalibrační koeficient stanoveného měřidla (OAR)	kt1=1,023	Typ B	12,5%	1	12,5%	12,5%
Kalibrační koeficient stanoveného měřidla (záření gama)		Typ B	8,9%	1	8,9%	8,9%
Linearita	Technický list přístroje	Typ B	1,73%	1,73	3%	3%
Opakovatelnost (různé experimentální podmínky)	Vnitřní kontrola	Typ B	3,5%	1,73	6%	6%
Měření se stanoveným měřidlem	C_V (kBq.m ⁻³)	Typ A	2,9%	1		2,9%
Samovolný pokles náboje elektretu	Technický list přístroje	Typ B				
Celková nejistota stanovení		kombinovaná	17,4%	2	34,8%	

Při výpočtu nejistoty měření průměrné objemové aktivity radonu a pro účely stanovení nejmenší detekovatelné objemové aktivity radonu stanovené pomocí systému elektretové dozimetrie RM1 postupujeme podle dokumentu ISO/FDIS 11929 a ISOIWD 767, kde výslednou hodnotu objemové aktivity radonu můžeme vyjádřit vztahem [9]

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 24 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

$$C_V = \left(\frac{U_P - U_K}{C \cdot dt} \right) - BG \quad [9]$$

ke

$$BG = K_G \cdot D_G$$

K_G (Bq/m³/μGy/h) je číselná hodnota koeficientu korekce poklesu napětí elektretu v externím poli záření gama uvedená výrobcem v návodu k použití Systému pro integrální dozimetrii RM-1; relativní chyba $u(K_G)/K_G = 0,08$

D_G (μGy/h) hodnota dávkového příkonu záření gama ve vzduchu; relativní chyba měření 10%, tj. $u(D_G)/D_G = 0,1$

$C = K_R \left(1 + \frac{180}{U_P + U_K} \right)$ matematická funkce vyjadřující pokles napětí elektretu v závislosti na jeho počátečním a konečném napětí, zahrnující

koeficient citlivosti vzhledem k objemové aktivitě; relativní chyba $u(C)/C = 0,06$

Standardní nejistota jednoho měření ve stanovení průměrné objemové aktivity radonu $u(C_V)$, vyjádřená matematickým vztahem [10]:

$$u(C_V)^2 = \left(\frac{1}{C \cdot dt} \right)^2 \cdot (u(U_P)^2 + u(U_K)^2) + \left[\left(\frac{U_P - U_K}{C \cdot dt} \right) \right]^2 \cdot \left(\frac{u(C)}{C} \right)^2 + BG \cdot \left[\left(\frac{u(K_G)}{K_G} \right)^2 + \left(\frac{u(D_G)}{D_G} \right)^2 \right] \quad [10]$$

$$(u(0))^2 = \left[\frac{BG}{(U_P - U_K)} \right]^2 \cdot 2 \cdot u(U_P)^2 + (BG)^2 \left(\frac{u(C)}{C} \right)^2 + (BG)^2 \left[\left(\frac{u(K_G)}{K_G} \right)^2 + \left(\frac{u(D_G)}{D_G} \right)^2 \right] \quad [11]$$

kde hodnota U_K je řešením kvadratické rovnice vycházející ze vztahu [1] pro $C_V = 0$:

$$(U_P - U_K) + \left[\frac{180 \cdot (U_P - U_K)}{U_P + U_K} \right] = BG \cdot K_R \cdot dt \quad [12]$$

kde

$$U_K = \frac{\left(-BG \cdot K_R \cdot dt - 180 \pm \sqrt{D} \right)}{2}$$

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 25 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

$$D = (BG \cdot K_R \cdot dt + 180)^2 + 4(U_p)^2 - 4U_p \cdot BG \cdot K_R \cdot dt + 720 \cdot U_p$$

$$U(U_p) = 1/\sqrt{2}$$

Nejmenší významná objemová aktivita radonu C_{NV}

$$C_{NV} = k_{1-\alpha} \cdot u(0) \text{ na hladině významnosti 95\%, tj. } k_{1-\alpha} = 1,645$$

Nejmenší detekovatelná objemová aktivita radonu C_{ND}

pro stanovení C_{ND} se použije aproximace: $C_{ND} = 2C_{NV}$

Navržený postup deterministický přístup stanovení standardní nejistoty měření systémem elektretové dozimetrie radonu RM-1 byl porovnán s alternativním přístupem MCM (Monte Carlo Method) podle JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method (2008) Se`vres, France: BIPM Joint Committee for Guides in Metrology. MCM využívá pravděpodobnostní metodu provádějící kombinace pravděpodobnostních distribucí pomocí numerických simulací [11].

Výpočet byl proveden pro níže uvedené vstupní údaje získané při experimentu v radonové komoře SÚRO:

$$U_p = 549 \text{ V}$$

$$U_K = 530 \text{ V}$$

$$t_E = 24.6 \text{ h}$$

$$D_G = 0.11 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$$

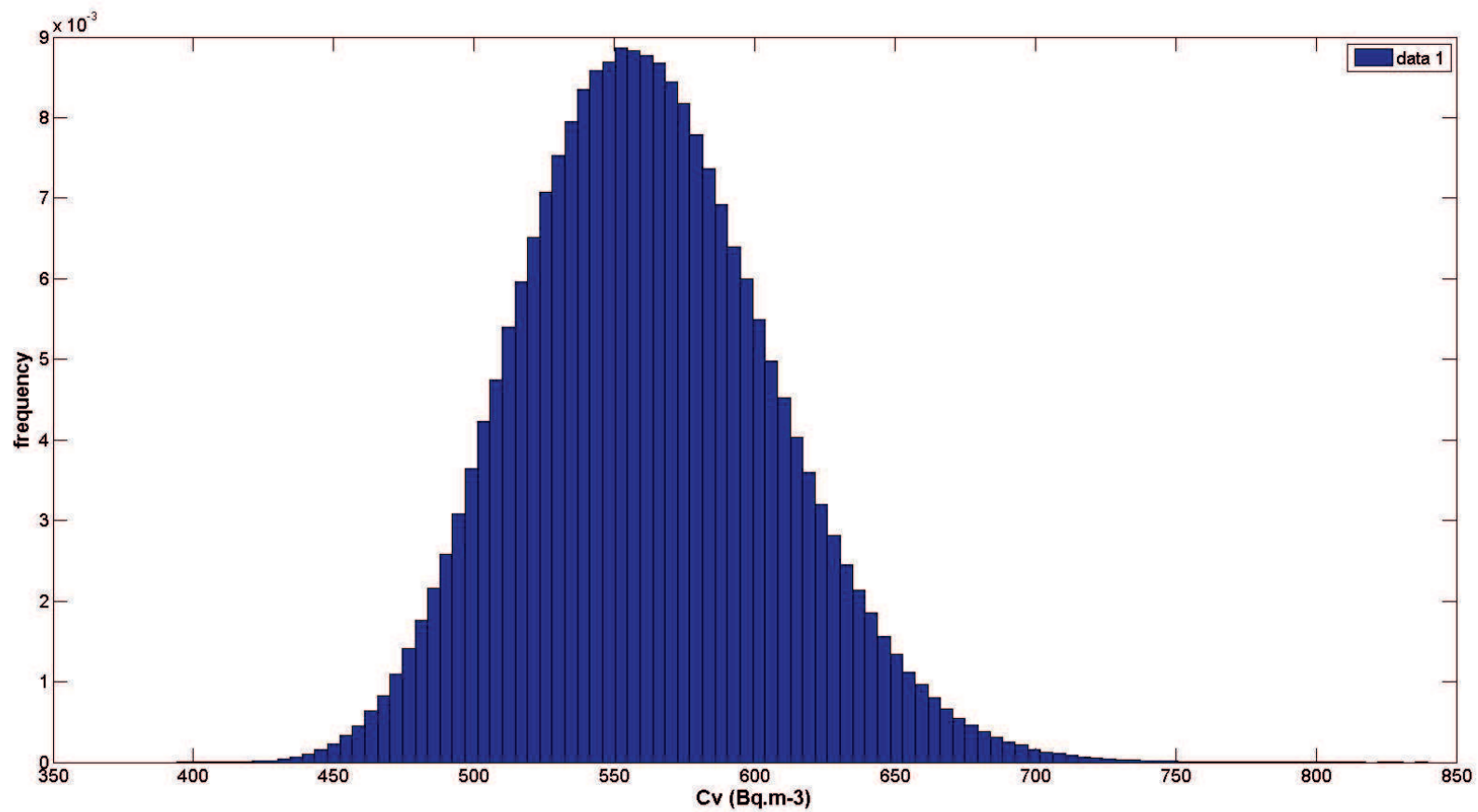
$$\text{Výpočet podle vztahu [1]} C_V = 560 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \quad u(C_V) = 37.7; \quad u_{\text{rel}}(C_V) = 0.067$$

$$\text{MCM simulace } C_V = 562 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \quad u(C_V) = 45.2; \quad u_{\text{rel}}(C_V) = 0.08$$

Na Obrázku 2 je graficky prezentován výstup MCM simulace formou histogramu vypočítaných hodnot pro celkový počet $2 \cdot 10^6$ simulací.

Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 26 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Obrázek 2 Histogram vypočítaných hodnot objemové aktivity radonu pomocí MCM simulací



Dlouhodobé stanovení objemové aktivity thoronu (Rn-220) v budovách	List: 27 z 27
Odbor přírodních zdrojů	Datum vydání: Schválil:

Příloha č. 4

Analýza výsledků ověřovacích měření systému RM-1

Z normalizovaných hodnot všech souborů byl vytvořen jeden soubor, který byl podroben testu normality rozdělení s výsledkem [13]

$$u(k) = 13,896 \cdot (\overline{C}_v(k) - 1,002) \quad [13]$$

$$R(xy) = 0,996$$

$$\text{Variance}(r) = 0,0720$$

Kromě toho byly přidány další dva soubory s průměrnými aktivitami radonu na úrovni 553 a 615 Bq.m⁻³.

Ukázalo se, že výsledný rozptyl těchto tří souborů je mírně závislý na objemové aktivitě radonu a vyhovuje rovnici [14]

$$\text{variance}(r) = 0,002098 + \frac{8,419}{\overline{C}_v} \quad [14]$$

Z toho vyplývá, že celkový rozptyl se skládá ze dvou nezávislých složek. Konstantní složky, která odpovídá normálnímu rozdělení a složky odpovídající Poissonovské distribuci (tj. závislé na úrovni OAR).

Systém RM-1 byl v AMS testován za níže uvedených teplotních a vlhkostních experimentálních podmínek:

Relativní vlhkost vzduchu: 30 až 95 %

Teplota: +5 až +45°C