

T A  
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

www.tacr.cz  
Výzkum sdílečný pro společnost



## Certifikovaná metodika: Stanovení poměru mezi volnou a vázanou frakcí krátkodobých produktů přeměny radonu

Konečný uživatel výsledků: **Státní úřad pro jadernou bezpečnost**  
Senovážné náměstí 9, 110 00 Praha 1

**Název projektu:** Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

**Číslo projektu:** TITSSUJB702

**Řešitel projektu:** SÚJCHBO, v.v.i., Kamenná 71, 262 31

**Doba řešení:** 1. 7. 2018 – 31. 8. 2020

**Důvěrnost a dostupnost:** veřejně přístupný

**Účinnost metodiky:** listopad 2020

Informace o autorském týmu:

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.,

Ing. Ivo Burian, CSc.,

Ing. Josef Vošahlík,

Ing. Eliška Fialová

T A  
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

www.tacr.cz  
Výzkum sdílečný pro společnost



Informace o autorském týmu:

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.,

Ing. Ivo Burian, CSc.,

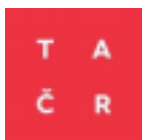
Ing. Josef Vošahlík,

Ing. Eliška Fialová



### Další informace o projektu:

Metodika popisuje postup stanovení faktoru fp na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu (dle § 96 zákona č. 263/2016 Sb.) a na pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (§ 93 odst. 1 písm. b) zákona č. 263/2016 Sb.). Stanovený faktor fp bude užíván ke stanovení efektivní dávky pracovníků z inhalace radonu a krátkodobých produktů jeho přeměny na výše uvedených typech pracovišť dle relevantních doporučení SÚJB.



Program veřejných zakázek v aplikovaném výzkumu a inovacích pro potřeby státní správy BETA2 byl schválen usnesením vlády České republiky č. 278 ze dne 30. 3. 2016 a je zaměřen na podporu aplikovaného výzkumu a inovací pro potřeby orgánů státní správy. Poskytovatelem finančních prostředků je Technologická agentura ČR.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 2/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.ta.cz](http://www.ta.cz)  
Výzkum sdílečný pro společnost



SÚJCHBO, v. v. i. Certifikovaná metodika Označení Metodiky

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i.

# Stanovení poměru mezi volnou a vázanou frakcí krátkodobých produktů přeměny radonu

Kolektiv autorů:

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D., Ing. Ivo Burian, CSc., Ing. Josef Vošahlík, Ing. Eliška Fialová

Oponenti:

Ing. Vladimír Ždímal, Dr. – Ústav Chemických procesů, AV ČR, v.v.i.

Ing. Miloslav Němec – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Účinnost: od 1.7. 2020

Schválil: kulaté razítko

.....  
**Mgr. Petr Otáhal, PhD. Ing. Tomáš Dropa**  
vedoucí Odboru jaderné ochrany, ředitel SÚJCHBO, v. v. i.

SÚJCHBO, v. v. i.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

*Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020*

Strana 3/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových

T A  
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.taacr.cz](http://www.taacr.cz)  
Výzkum sdílečný pro společnost



## Obsah

OBSAH.....

ZKRATEK.....	5	CÍL
METODIKY.....	6	
POPIS METODIKY.....	7	
ODBĚR VZDUŠNINY.....		
7	MĚŘENÍ	AKTIVITY
RNDP.....	8	STANOVENÍ
Fp.....	9	
INOVAČNÍ	ASPEKTY,	NOVOST
POSTUPŮ.....	10	POPIS UPLATNĚNÍ
METODIKY.....	11	SEZNAM POUŽITÉ
LITERATURY	12	SEZNAM
PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ	13	
SEZNAM		
PŘÍLOH.....	14	

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 4/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových

**T A**  
**Č R**

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tact.cz](http://www.tact.cz)  
Výzkum sítěbný pro společnost



**SEZNAM POUŽITÝCH**

**SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ČMI Český metrologický institut

SÚJCHBO, v.v.i. Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i.

SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost

LMR Laboratoř pro měření radonu začleněná v SÚJCHBO

$f_p$  Zastoupení volné frakce vyjádřené jako podíl koncentrace krátkodobých produktů přeměny radonu nevázaných na aerosol (0,3 nm – 5 nm) k celkové koncentraci krátkodobých produktů přeměny radonu (ve formě ekvivalentní objemové aktivity radonu)

EOAR Ekvivalentní objemová aktivita radonu

$^{222}\text{Rn}$  Radon

RnDP Krátkodobé produkty přeměny  $^{222}\text{Rn}$

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

*Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020*

Strana 5/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových

T A  
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)  
Výzkum sdílečný pro společnost



## CÍL METODIKY

Metodika popisuje postup stanovení faktoru  $f_p$  na pracovištích s možným zvýšeným ozářením z radonu (dle § 96 zákona č. 263/2016 Sb.) a na pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (§ 93 odst. 1 písm. b) zákona č. 263/2016 Sb.). Stanovený faktor  $f_p$  bude užíván ke stanovení efektivní dávky pracovníků z inhalace radonu a krátkodobých produktů jeho přeměny na

výše uvedených typech pracovišť dle relevantních doporučení SÚJB.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 6/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových

T A  
Č R

Tento projekt je financován se státní podporou  
Technologické agentury ČR  
v rámci programu BETA2

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)  
Výzkum zářečný pro společnost



## POPIS METODIKY

Stanovení  $f_p$  je založeno na odběru vzdušiny přes vhodně zvolenou difuzní mříž a filtr a na následném stanovení ekvivalentní objemové aktivity krátkodobých produktů přeměny radonu deponovaných na užitě difuzní mříži a filtru. Odběr vzdušiny a následné stanovení ekvivalentní objemové aktivity radonu vychází z akreditované metodiky Laboratoře pro měření radonu SÚJCHBO, v.v.i. LMR – 3: „Měření okamžitých hodnot ekvivalentní objemové aktivity radonu“ (autoři: Mgr. Jan Merta, Ing. Ivo Burian, CSc.).

Metodika je členěna do tří částí:

- odběr vzdušiny,
- měření aktivity RnDP,
- stanovení fp.

## Odběr vzdušiny

Odběr vzdušiny je prováděn pomocí odběrového čerpadla typu ZMP 01, ZMP 11 nebo Quick Take 30<sup>1</sup> pro odběr vzduchu, za podmínky, že čerpadlo je schopné udržovat konstantní objemový průtok 20 l/min po dobu minimálně 30 minut. Odběr je prováděn přes difuzní mříž s hustotou 250 vláken na 1 cm (635 Mesh T316 Stainless.0008<sup>2</sup>) a mikrovláknitý filtr (např. AFPC, Satorius Glasfibre Prefilter 13400—42-----Q<sup>3</sup>). Mříž a filtr, umístěné do odběrových držáků o průměru 3 cm, jsou sešroubovány do série, v níž jako první je umístěna mříž a filtr je umístěn jako druhý. V místě spoje šroubení je použito gumové těsnění bránící protékání vzduchu (viz obrázek 1).



Obrázek 1 Příprava na odběr vzdušiny: a) filtr a difuzní mříž umístěné v odběrovém držáku s aktivním průměrem 3 cm, b) sada filtru a mříže připravená k odběru, c) sada filtru a mříže umístěná na odběrové čerpadlo.

<sup>1</sup> <https://www.skinc.com/catalog/pdf/instructions/40079.pdf>

<sup>2</sup> <https://www.twpinc.com/635-mesh-t316l-stainless-0008-wire-dia-635x635t10008-disc>

<sup>3</sup> <https://www.sartorius.com/shop/ww/en/usd/applications-laboratory-filtration/glass-microfiber-filters-grade-13400/p/13400--42-----Q>

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Strana 7/19



Délka odběru vlastní vzdušiny je stanovena na 20 minut. Odběr je prováděn v dýchací zóně pracovníka, a to v místech s nejdelší dobou pobytu pracovníků na pracovišti.

## Měření aktivity RnDP

U difuzní mříže a filtru umístěných v odběrových držácích je před vlastním odběrem vzdušiny

provedeno stanovení pozadí. Měření je prováděno stejným měřicím zařízením a při stejné měřicí geometrii, které bude následně použito při vlastním měření. Měřicí interval pro stanovení pozadí je 1800 s. Výsledky stanovení obou pozadí vstupují do výpočtu a jsou zaznamenány do protokolu z měření. Další podmínkou je, aby filtr ani mříž nebyly použity k odběru po dobu nejméně 24 hodin.

Pro měření je užit takový typ radiometru (např. MAAF – výrobce Ing. Jiří Plch – SMM, RPA 50 – výrobce VF, a.s.), který umožňuje měření v kanálech pro částice alfa emitované  $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$  v po sobě třech jdoucích měřicích intervalech s délkou měření 180 s. Současně musí radiometr umožňovat měření v intervalu 1800 s. Měřicí algoritmus je zobrazen na následujícím diagramu (obrázek 2). Přestávky mezi odběrem a blokem krátkodobých měření a dlouhodobým měřením jsou pevně stanoveny na 1 minutu s tolerovanou odchylkou  $\pm 5$  s.

Výsledky měření jsou zaznamenány do protokolu z měření.



Obrázek 2 Popis algoritmu měření stanovení fp.

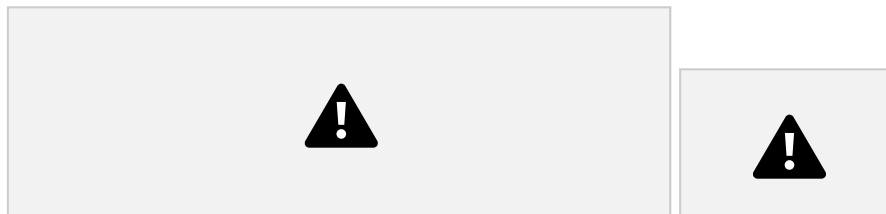
U radiometru je stanovena pomocí etalonu aktivity EM X (Výrobce ČMI OI Praha) s užitým radionuklidem  $^{241}\text{Am}$  účinnost měření pro stejnou měřicí geometrii, která je užívána při vlastním měření. Měřicí účinnost musí být vyšší než 5 %. Výsledky jsou zaznamenány do protokolu z měření.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 8/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



## Stanovení fp

Stanovení fp se provádí výpočtem v programu BUROT.xlsx. K výpočtu jsou použity výsledky stanovení pozadí, účinnosti a výsledky měření získané postupem dle bodů 3.1 a 3.2. Následující tabulka prezentuje vstupní parametry programu BUROT.xlsx. Šedá pole jsou se vyplní výsledky



měření dle 3.2. zaznamenanými do protokolu o měření. Žluté pole vrací výsledek stanovení  $f_p$  s příslušnou nejistotou stanovení. Program BUROT je elektronickou přílohou této metodiky.

### Vstupní parametry stanovení $f_p$ metodou BUROT

Objemová rychlost

l/min

Po-218 Po-214

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Np - mříž 1800 s

Np - filtr 1800 s

N1 - mříž 180 s

N2 - mříž 180 s

N3 - mříž 180 s

N4 - mříž 1800 s

úč. detekce - mříž

N1 - filtr 180 s

N2 - filtr 180 s

N3 - filtr 180 s

N4 - filtr 1800 s

úč. detekce - filtr

Výsledek stanovení  $f_p$

$f_p$

nejistota (k=1)

Obrázek 3 Náhled programu BUROT

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Strana 9/19



## INOVAČNÍ ASPEKTY, NOVOST POSTUPŮ

V současné době není pro potřeby držitelů povolení k vykonávání služeb významných z hlediska radiační ochrany vykonávající osobních dávek na pracovištích podle § 93 odst. 1 písm. b) a § 96 odst. 1 zákona č. 263/2016 Sb. zpřístupněna metodika, která by umožňovala jednoduché stanovení  $f_p$  při měření na pracovištích.

Předkládaná metodika má za cíl těmto držitelům povolení poskytnout jednotný postup pro měření aktivity RnDP a stanovení parametru  $f_p$ . Tato veličina bude sloužit k přesnějšímu určení dávkové zátěže dané inhalací produktů přeměny radonu.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 10/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



## POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika bude primárně využívána pro stanovení faktoru  $f_p$  na místech s předpokládanou nižší koncentrací a netypickou velikostní distribucí aerosolových částic, v bezprašných prostředích přírodně i uměle vytvořených bez nucené výměny vzduchu, tedy na pracovištích, na nichž faktor nerovnováhy  $F$  se liší od hodnoty 0,4. Jedná se například o jeskyně, zpřístupněná stará důlní díla a další obdobná pracoviště v podzemí, pracoviště bez významného zdroje aerosolu opatřená těsnými plastovými okny a na pracovištích s nucenou ventilací.

Stanovený faktor  $f_p$  se následně využije při stanovení efektivní dávky pracovníků na výše uvedených typech pracovišť dle relevantních doporučení SÚJB.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 11/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon.
- 2) Vyhláška č. 422/2016 Sb., o zajištění radiační ochrany a zajištění radionuklidového zdroje. 3) Doporučení SÚJB DR-RO-5.2 (Rev. 0.0) „Stanovení osobních dávek pracovníků na pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu“.
- 4) Doporučení SÚJB DR-RO-5.2 (Rev. 0.0) „Stanovení osobních dávek pracovníků na pracovištích

s možným zvýšením ozáření z radonu“.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 12/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



## SEZNAM PUBLIKACÍ A VÝSTUPŮ

Otáhal P.: The influence of the Equilibrium factor (F) for the estimation of the annual Effective Dose (E) caused by Radon Decay Products (RnDP) inhalation in the selected workplaces, 9th International Conference on Protection against Radon at Home and at Work, 16 – 20 September 2019, Prague, Czech Republic.

Fialová E., Otáhal P., Vošahlík J., Burian I.: Vliv faktoru F na výpočet efektivní dávky pracovníků z inhalace produktů přeměny radonu na různých typech pracovišť, XLI. Dny radiační

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových

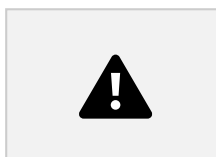
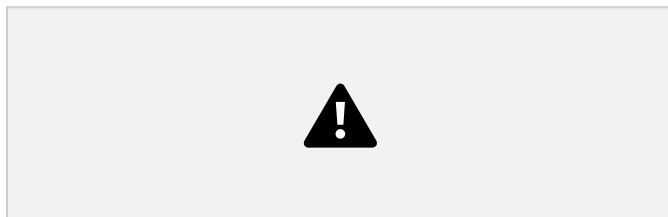


## Seznam příloh

Validace programu BUROT.xlsx

Analýza nejistot stanovení  $f_p$

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



Příloha 1: Validace programu

**BUROT.xlsx**

**Vstupní parametry stanovení fp metodou BUROT**

**Objemová rychlost** l/min

20

**Po-218 Po-214**

**Np - mříž 1 1 1800 s Np - filtr 1 1 1800 s**

**N1 - mříž 80 40 180 s N2 - mříž 40 30 180 s N3**

**- mříž 20 20 180 s N4 - mříž 200 350 1800 s**

**úč. detekce - mříž 0.07**

N1 - filtr 100 300 180 s N2 - filtr 80 200 180 s

N3 - filtr 60 100 180 s N4 - filtr 500 800 1800 s

úč. detekce - filtr nejistota (k=1)

0.07

Výsledek

stanovení  $f_p$  0.37

0.03

$f_p$

V případě pochybností o správném fungování programu zadejte výše uvedená čísla do programu a zkontrolujte výsledky.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 15/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



## Příloha 2: Analýza nejistot stanovení $f_p$

### 2.1 Postup vyhodnocení

Pro stanovení  $f_p$  je nutné znát koncentrace krátkodobých produktů přeměny radonu nevázaných na aerosol (tedy o rozměru 0,3 nm – 5 nm) a celkové koncentrace krátkodobých produktů přeměny radonu (ve formě ekvivalentní objemové aktivity radonu). Hodnotu  $f_p$  je tedy možno stanovit na základě vzorce 1.

$$\text{EOAR}_f = \text{EOAR}_a + \text{EOAR}_n \quad [1]$$

kde:

$\text{EOAR}_f$  - ekvivalentní objemová aktivita radonu, kdy produkty přeměny nejsou vázány na aerosolové částice [ $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ],

$\text{EOAR}_a$  - ekvivalentní objemová aktivita radonu, kdy produkty přeměny jsou deponované na aerosolové částice [ $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ].

EOAR vyjadřuje vážený součet objemových aktivit Po-218 (RaA), Pb-214 (RaB) a Bi-214 (RaC). Objemové aktivity těchto radionuklidů je možno stanovit z výsledku šestnácti měření, které se vkládají do programu BUROT. V obrázku č. 3 označeno Nx – mříž a Nx – filtr pro Po-218 a Po-214, kde index x představuje pořadové číslo měření.

Stanovená hodnota  $f_p$  se tedy určuje dle následujícího vztahu 2:

$$\begin{matrix} \diamond\diamond\diamond\diamond & = & (\diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond) \\ (\diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond + \diamond\diamond\diamond\diamond) & [2] \end{matrix}$$

Kde indexy A, BC označují části EOAR příslušející pro A – Po-218 a pro BC – Pb-214 a Bi-214. Index „f“ náleží k nanometrové frakci („free“), „a“ k části produktů přeměny radonu vázané na aerosolové částice („attached“).

Hodnoty EOAR  $E_{x,y}$  jsou zjištěny podle následujících vztahů 3 - 6:

$$E_{A,f} = 0,105 * \xi_f \cdot \Psi \cdot N_{A,f} / (Q \cdot \eta_f) \quad [3]$$

- Nejistota  $\Psi$  je mizivá,  $\xi_f$  je korekce (daná neregistrací alfa emitovaných z reverzní strany difuzní mříže – BF)

$$E_{BC,f} = \xi_f \cdot N_{BC,f} / (Q \cdot \Xi \cdot \eta_f) \quad [4]$$

$$E_{A,a} = 0,105 * \xi_a \cdot \Psi \cdot N_{A,a} / (Q \cdot \eta_a) \quad [5]$$

$$E_{BC,a} = \xi_a \cdot N_{BC,a} / (Q \cdot \Xi \cdot \eta_a) \quad [6]$$

radonu  
Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů

Strana 16/19



Kde:

Q je objemová rychlost [l/min],

$\eta$  jsou účinnosti detekce,

$\Psi, \Xi$  jsou odvozené faktory z rozpadových rovnic [ $s^{-2}$ ].

V korekcích  $\xi$  jsou zahrnuty nedokonalosti záchytu nebo filtrace.  $N_{x,y}$  jsou odezvy (původně zjištěné počty impulzů) korigované na přesah (tail), sumované atp.

## 2.2 Obecné vztahy k nejistotám

Je zřejmé, že nejistota průtokové rychlosti Q nehraje roli (při dodržení průměrné objemové rychlosti 20 l/min, při výrazné změně o více než 2 l/min dochází k ovlivnění účinnosti záchytu, filtrace). Ve svých důsledcích nehraje roli objem vzorku a tedy ani nejistota doby odběru (nedodržení doby odběru o více než 5 s může výrazně ovlivnit přepočtení faktory  $\Psi, \Xi$ ).



Nezanedbatelnou složkou nejistoty je variace odezev – počtu impulsů. Zde je přístup pro nalezení citlivostních koeficientů následující:

$$\partial f_p / \partial N_{A,1,DM} = \partial f_p / \partial E_{A,f} \cdot \partial E_{A,f} / \partial N_{A,f} = \Omega_f \cdot 0,105 \cdot \xi_f \cdot \Psi / (Q \cdot \eta_f) \quad [7]$$

$$\partial f_p / \partial N_{AC,2,DM} = \partial f_p / \partial E_{BC,f} \cdot \partial E_{BC,f} / \partial N_{BC,f} = \Omega_f \cdot \xi_f / (Q \cdot \Xi \cdot \eta_f) \quad [8]$$

$$\partial f_p / \partial N_{A,1,BUF} = \partial f_p / \partial E_{A,a} \cdot \partial E_{A,a} / \partial N_{A,a} = 0,105 \cdot \Omega_a \cdot \xi_a \cdot \Psi / (Q \cdot \eta_a) \quad [9]$$

$$\partial f_p / \partial N_{AC,2,BUF} = \partial f_p / \partial E_{BC,a} \cdot \partial E_{BC,a} / \partial N_{BC,a} = \Omega_a \cdot \xi_a / (Q \cdot \Xi \cdot \eta_a) \quad [10]$$

Hodnoty  $\Omega$  jsou derivace lehce zjistitelné podle [2].

## 2.3 Konkrétní příklady

Pro případ  $f_p = 0,068$  a celkové EOAR  $324 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  byla tato část nejistoty (daná statistickým charakterem záření, resp. hodnot „počet impulsů“) určena jako 0,0038. Jedná se tedy o relativní nejistotu 5,6% (k=1). To platí pro uvedenou EOAR a  $f_p$ . Podstatný je příspěvek nevázaného RaA. Při zvyšování EOAR a  $f_p$  se nejistota snižuje.

Další použité údaje byly průměrem reálných (účinnost detekce 0,07 atp.). Pokud se ve všech osmi případech (původní počet snížen sumací) odezva absurdně sníží o statistickou diferenci (odmocnina počtu impulsů), pak se  $f_p$  odhaduje na 0,065 (namísto 0,068). Velmi konzervativní odhad nejistoty dané statistickým charakterem záření je 4,5%. Jedná se opět o případ EOAR  $324 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Skutečný **tail** (přesah z kanálu odpovídající Po-214 do kanálu odpovídajícího Po-218) 0,1 a 0,3 je odhadnut na 0,13 a 0,44.  $f_p$  0,068 se v důsledku toho odhaduje na 0,067. Nepřesně určený tail s sebou nese nejistotu asi 1,5%.

radonu  
Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů Strana 17/19



Časový posun: Když se první měření (ze čtyř) **posune** o 3 s, pak je odchylka 1; 1,8; 1,1; 1%. Pro čtyři vstupní hodnoty počtu impulsů. Když se delší měření posune o 6 s, pak je odchylka 2,4; 3,3; 2; 2%. Počítáno pro  $f_p$  kolem 0,014. Pro extrémní  $f_p$  je odchylka pro RaA 0%, pro další RnDP 1%. Jedná se o případ posunu v jedné větvi (buď mříž nebo filtr). V případě, kdy je posun u obou (což je pravděpodobnější), tak k odchylce vůbec nedojde.

Různící se poměr objemových aktivit RaB a RaC vede k různému poměru odezvy a EOAR. **Převodní faktor  $\Xi$**  je ale zatížen malým rozptylem. Pro extrémní poměr objemových aktivit RaB a RaC 1:0 a 1:1 je převod  $28,4 \pm 0,1 \text{ Bq} \cdot \text{l} / (\text{m}^3 \cdot \text{min})$ . Nejistota má tedy charakter 0,35 %. Jedná se o nejistotu určení jedné části, pro část danou RaA je nejistota ( $\Psi$ ) zcela zanedbatelná, je daná nejistotou znalosti přeměnové konstanty RaA.

## 2.4 Shrnutí

Globální shrnutí pro diskutovaný případ ( $324 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $f_p$  0,068) prezentuje následující tabulka:

Veličina	Příspěvek k nejistotě
tail; k=1	1,5%

Časový posun měření; k=1	2,2%
Vliv nejistoty odezev; k=1	5,6%
$\xi_f^*$ k=1	3,0%
$f_p = 0,068$	13,8% k=2

\*Podstatná je nejistota  $\xi_f$ , která je hlavně dána nejistotou registrace částic alfa emitovaných z odvrácené části mříže. Nejistota  $\xi_a$  atp. je výrazně menší.

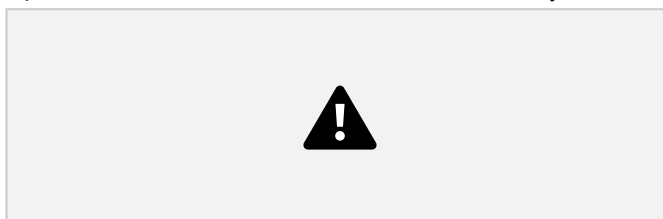
Distribuce hustoty pravděpodobnosti je pro případy uvedené v tabulce normální. V tabulce je uvedena rozšířená nejistota - součin standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k=2 (což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%) v souladu s dokumentem EA 04/02.

částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020

Strana 18/19

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových



[poslední strana]

TITSSUJB702 - Vliv koncentrace a velikostní distribuce aerosolových částic na poměr vázané a nevázané složky přeměnových produktů radonu

*Poslední revize dokumentu: 1. 6. 2020*

Strana 19/19