

DOPORUČENÍ SÚJB

bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření

Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření podle § 95 odst. 1 písm. b) atomového zákona

radiační ochrana

DR-RO-5.3(Rev. 0.0)

HISTORIE REVIZÍ

Revize č.	Účinnost od	Garant	Popis či komentář změny
0.0	1.12.2017	RNDr. Ženatá	Nově zpracované doporučení

Radiační ochrana

Doporučení MĚŘENÍ A HODNOCENÍ OBSAHU PŘÍRODNÍCH RADIONUKLIDŮ V RADIOAKTIVNÍ LÁTCE UVOLŇOVANÉ Z PRACOVIŠTĚ S MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÉHO OZÁŘENÍ Z PŘÍRODNÍHO ZDROJE ZÁŘENÍ PODLE § 95 ODS. 1 PÍSM. b) ATOMOVÉHO ZÁKONA

DR-RO-5.3(Rev. 0.0)

Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, listopad 2017

Č. j.: SÚJB/OS/20299/2017

Účelová publikace bez jazykové úpravy, připomínky směřujte na adresu:

pripominky_doporuceni@sujb.cz

Předmluva

Dne 1.1.2017 nabyl účinnosti zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Uvedené právní předpisy nově upravily požadavky na radiační ochranu obyvatel při uvolňování radioaktivní látky z pracovišť, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů.

Uvedenou právní úpravou jsou stanovena, jako součást pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření, pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (pracoviště NORM), podmínky pro uvolňování radioaktivní látky z těchto pracovišť a podmínky radiační ochrany obyvatel při tomto uvolňování.

Provozovatelé těchto pracovišť jsou kromě jiného povinni zajistit uvolňování radioaktivní látky s obsahem přírodních radionuklidů z těchto pracovišť jen v souladu se stanovenými podmínkami. Na základě výsledků měření obsahu přírodních radionuklidů v uvolňované radioaktivní látce a jejich porovnání se stanovenými uvolňovacími úrovněmi, musí provozovatelé pracovišť zvolit vhodný způsob nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště. Radioaktivní látku lze z pracoviště uvolňovat za dodržení stanovených podmínek bez povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) nebo s povolením SÚJB dle § 9 odst. 2 písm. e) atomového zákona.

Měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření je dle § 9 odst. 2 písm. h) bodu 7 atomového zákona zařazeno mezi činnosti v rámci expozičních situací, tedy mezi služby významné z hlediska radiační ochrany, k jejichž provádění je třeba povolení SÚJB.

Doporučení „Uvolňování radioaktivní látky z pracoviště NORM“ stanoví postupy měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v uvolňované radioaktivní látce a postupy určování efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva způsobené v kalendářním roce uvolněním radioaktivní látky. Doporučení je určeno jak provozovatelům pracovišť NORM, tak držitelům povolení k provádění služeb významných z hlediska radiační ochrany. Bude-li těmito osobami Doporučení používáno a dodržováno, bude Státní úřad pro jadernou bezpečnost při své kontrolní činnosti považovat tuto jejich praxi za naplňující požadavky radiační ochrany.

Podklady pro toto byly získány v rámci řešení projektu „TB02SUJB038, Optimalizace ozáření obyvatel a pracovníků z pracovišť s přírodními zdroji ionizujícího záření v České republice“, podpořeného TAČR formou účelové podpory z veřejných prostředků v rámci Programu veřejných zakázek ve výzkumu, experimentálním vývoji a inovacích pro potřeby státní správy „BETA“ na základě Smlouvy o poskytnutí účelové podpory v letech 2014 – 2016. Při zpracování tohoto Doporučení byly zohledněny zkušenosti pracovníků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a Státního ústavu radiační ochrany v.v.i. z kontrolní a monitorovací činnosti na předmětných pracovištích. Před vydáním tohoto Doporučení byly v průběhu roku 2016 postupy měření a hodnocení v Doporučení uvedené ověřovány v praxi.

Připomínky uživatelů Doporučení k jeho obsahu jsou vítány.

Ing. Karla Petrová
ředitelka sekce radiační ochrany

Obsah

1	Úvod	7
2	Názvosloví a zkratky	7
2.1	Názvosloví.....	7
2.2	Zkratky	9
3	Legislativa	10
3.1	Atomový zákon	10
3.2	Vyhláška.....	11
3.3	Popis postupů a pravidel uvolňování radioaktivní látky z pracoviště	13
3.3.1	Atomový zákon	14
3.3.2	Zákon o odpadech	15
3.3.3	Vodní zákon, nařízení vlády	15
3.3.4	Obecná rozhodovací schémata	17
Část 1	- Uvolňování pevných materiálů	20
4	Úvod k uvolňování pevných materiálů z pracoviště	21
5	Četnost měření a hodnocení	21
6	Odběr vzorku	21
7	Měření a hodnocení	22
7.1	Příprava vzorku k měření	22
7.2	Stanovované radionuklidy	23
7.3	Obecné požadavky na měření	25
7.3.1	Požadavky na mrtvou dobu	25
7.3.2	Požadavky na detekční limit a přesnost měření	25
7.3.3	Požadavky na zpracování spekter a výsledků	26
7.4	Postup měření a stanovení aktivit.....	26
7.4.1	Obecné poznámky	26
7.4.2	Radioaktivní rovnováha mezi dlouhodobými RN	27
7.4.3	Požadavky na ustavení radioaktivní rovnováhy mezi RN pro účely měření	27
7.4.4	Vztahy mezi aktivitami radionuklidů v řadách	29
7.4.5	Měření aktivity	30
7.4.6	Vztahy pro výpočet aktivity v závislosti na konzistenci vzorku	34
7.5	Zpracování, vyjadřování a hodnocení výsledků.....	40
7.6	Protokol	41
8	Postup při překročení uvolňovací úrovně	43
9	Související dokumenty	43

Příloha 1-1: Výpočetní postupy a podklady pro stanovení aktivity RN	45
Příloha 1-2: Příklady uvádění výsledků stanovení aktivit	54
Příloha 1-3: Záznam o odběru vzorku (vzor)	66
Část 2 - Uvolňování odpadní vody	68
10 Úvod k uvolňování odpadní vody	69
11 Četnost měření a hodnocení	70
11.1 Odběr vzorků, odběrová místa	70
11.2 Postup odběru	71
11.3 Úprava vzorků před měřením	71
11.4 Záznam o odběru	71
12 Měření vzorků	72
12.1 Rozsah měření	72
12.1.1 Základní rozbor	73
12.1.2 Doplnující rozbor	73
12.2 Postup měření	75
12.2.1 Metody měření	75
12.2.2 Zpracování výsledků	76
12.2.3 Vyjadřování výsledků	77
12.2.4 Odborné vyjádření k výsledkům	77
12.3 Protokol o zkoušce	78
13 Hodnocení výsledků měření a postup při překročení uvolňovacích úrovní	79
13.1 Uvolňování odpadních vod do vod povrchových	79
13.1.1 Postup pracoviště uvolňujícího odpadní vody do povrchových vod	81
13.2 Uvolňování odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu	81
14 Související dokumenty	81
Příloha 2-1: Záznam o odběru vzorku (vzor)	83
Příloha 2-2: Podklady pro odhad nejistoty měření	85
Část 3 - Postupy pro stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva	87
15 Úvod k postupům pro stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva	88
16 Obecný postup ke stanovení efektivní dávky	89
16.1 Analýza zdroje	90
16.2 Analýza transportu radionuklidů v prostředí	90
16.3 Popis expozičních cest	91
16.3.1 Poznámky k významu expozičních cest [Doporučení BfS]	91
16.4 Jednotlivec z obyvatelstva	92

17	Postupy pro výpočet efektivní dávky	92
17.1	Zahrnutí nejistot do výpočtu efektivní dávky	93
17.2	Výpočet efektivní dávky od zevního ozáření gama (ve vnějším prostředí a uvnitř budov)	93
17.2.1	Podrobnosti ke stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu	94
17.3	Vnitřní ozáření v důsledku inhalace radonu a produktů jeho přeměny a radioaktivního aerosolu v budovách a volném prostranství.....	95
17.3.1	Výpočet efektivní dávky od radonu a produktů jeho přeměny	95
17.3.2	Uvolňování radonu	95
17.3.3	Výpočet efektivní dávky v důsledku inhalace aerosolů (kromě radonu a jeho DP)	97
17.4	Ozáření v důsledku ingesce lokálních zdrojů vody, potravin, případně přímé ingesce půdy.....	98
17.4.1	Ingesce lokálních zdrojů vody a potravin	98
17.4.2	Přestup RN do potravin	99
17.5	Ozáření v důsledku vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizace pro veřejnou potřebu	100
18	Související dokumenty	100
	Část 4 – Odvozená kritéria a podmínky, jejichž dodržení zaručí nepřekročení efektivní dávky jedince z obyvatelstva 0,3 mSv/rok resp. 1 mSv/rok	101
19	Odvozená kritéria a podmínky uvolnění pro uvolnění RaL z pracoviště	102
20	Popisy expozičních scénářů	106
20.1	Ukládání na skládku - pracovník skládky (Sk.1)	106
20.1.1	Zevní ozáření	106
20.1.2	Vnitřní kontaminace	106
20.1.3	Inhalace radonu a produktů jeho přeměny	107
20.1.4	Kontaminace kůže	107
20.1.5	Celková efektivní dávka za scénář	107
20.1.6	Modelový příklad skládky	107
20.2	Rekultivační plocha, terénní úprava - osoba žije v domě nedaleko plochy v provozu (R.2)	108
20.2.1	Zevní ozáření	108
20.2.2	Vnitřní kontaminace	108
20.2.3	Kontaminace kůže	109
20.2.4	Celková efektivní dávka za scénář	109
20.2.5	Modelový příklad osoby žijící v domě u plochy	109
20.3	Stavba silnice - pracovník na stavbě (S.1)	110

20.3.1	Zevní ozáření	110
20.3.2	Vnitřní kontaminace	111
20.3.3	Inhalace radonu a produktů jeho přeměny	111
20.3.4	Kontaminace kůže	111
20.3.5	Celková efektivní dávka za scénář	111
20.3.6	Modelový příklad pracovník na stavbě	111
20.4	Spalování ve spalovně (Sp 1-2).....	112
20.5	Spalování v cementárně (C 1-3).....	112
20.6	Převoz z místa A do místa B - řidič vozidla (T.1).....	113
20.6.1	Zevní ozáření	113
20.6.2	Vnitřní ozáření	113
20.6.3	Inhalace radonu a produktů jeho přeměny	113
20.6.4	Modelový příklad převoz z místa A do místa B	114
20.7	Použití kalů pro zemědělské účely - zemědělec rozvážející kal po poli (Z.1) ...	114
20.7.1	Zevní ozáření	114
20.7.2	Vnitřní kontaminace	115
20.7.3	Inhalace radonu a produktů jeho přeměny	115
20.7.4	Modelový příklad kaly na pole	115
Příloha 3 Podklady pro výpočet efektivní dávky		117
Příloha 4 Kontakt na inspektory SÚJB		123
Příloha 5 Informace o výskytu přírodních radionuklidů na vybraných pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu		124

1 Úvod

Doporučení stanoví postupy k provádění měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu (pracoviště NORM), a zásady postupu při překročení uvolňovacích úrovní. Podle tohoto doporučení se postupuje také v případě, že uvolňovaná radioaktivní látka s porušenou rovnováhou dlouhodobých přírodních radionuklidů je použita k výrobě stavebního materiálu.

Doporučení se skládá z těchto částí:

1. Legislativa
2. Uvolňování pevných materiálů
3. Uvolňování odpadní vody
4. Postupy pro stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva
5. Odvozená kritéria a podmínky, jejichž dodržení zaručí nepřekročení efektivní dávky jedince z obyvatelstva 0,3 resp. 1 mSv/rok

Doporučení je určeno pro:

1. držitele povolení podle § 9 odst. 2 písm. h) bodu 7 zákona č. 263/2016 Sb., atomový zákon, k vykonávání služeb významných z hlediska radiační ochrany, a to měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje podle § 93 odst. 1 písm. b) atomového zákona a
2. provozovatele pracovišť podle § 93 odst. 1 písm. b) atomového zákona (pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodních radionuklidů, pracoviště NORM).

2 Názvosloví a zkratky

2.1 Názvosloví

Celková objemová aktivita alfa – ukazatel obsahu přírodních radionuklidů emitujících záření alfa ve vodě; je definován postupem stanovení podle [ČSN 75 7611, ČSN 75 7610]

Celková objemová aktivita beta – ukazatel obsahu přírodních radionuklidů emitujících záření beta ve vodě; je definován postupem stanovení podle [ČSN 75 7611]

Doplňující rozbor – stanovení objemové aktivity přírodních radionuklidů přítomných v odpadních vodách

Jednotlivec z obyvatelstva – fyzická osoba vystavená ozáření obyvatel (§ 2 odst. 2 písm. i) atomového zákona)

Kanalizace – kanalizace pro veřejnou potřebu

Laboratoř – osoba, která je držitelem povolení SÚJB k provádění měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření podle § 9 odst. písm. h) bodu 7 atomového zákona

Nejmenší detekovatelná (hmotnostní) aktivita (NDA) – hmotnostní aktivita, která s pravděpodobností větší než $(1-\beta)$ při daném měřicím uspořádání ještě způsobí větší počet impulsů, než odpovídá nejmenší významné (hmotnostní) aktivitě; v tomto textu vždy platí $\beta = \alpha$ (α , β – pravděpodobnosti chyby prvního resp. druhého druhu)

Nejmenší významná (hmotnostní) aktivita (NVA) – hmotnostní aktivita odpovídající nejmenšímu počtu impulsů, který ještě lze při daném měřicím uspořádání pokládat s pravděpodobností větší než $(1-\alpha)$ za hodnotu přesahující pozadí

Nejmenší detekovatelná objemová aktivita (C_{ND}) – objemová aktivita, která s pravděpodobností větší než $(1-\beta)$ při daném měřicím uspořádání ještě způsobí počet impulsů větší, než odpovídá nejmenší významné objemové aktivitě; v tomto textu vždy platí $\beta = \alpha$

Nejmenší významná objemová aktivita (C_{NV}) – objemová aktivita odpovídající nejmenšímu počtu impulsů, který lze při daném uspořádání pokládat s pravděpodobností větší než $(1-\alpha)$ za hodnotu přesahující pozadí

Odpadní voda/vody – radioaktivní látka ve vodném roztoku nebo suspenzi uvolňovaná z pracoviště do povrchových vod nebo kanalizace pro veřejnou potřebu

Optimalizace radiační ochrany – iterativní proces k dosažení a udržení takové úrovně radiační ochrany, aby ozáření fyzické osoby a životního prostředí bylo tak nízké, jakého lze rozumně dosáhnout při uvážení všech hospodářských a společenských hledisek

Pracoviště – pracoviště s činností se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu podle § 93 odst. 1 písm. b) atomového zákona a § 87 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

Producent – ten, kdo uvolňuje pevné odpady nebo vypouští odpadní vodu z pracoviště do povrchových vod nebo kanalizace pro veřejnou potřebu

Radiační ochrana – systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzické osoby a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření

Radioaktivní látka – jakákoliv látka, která obsahuje radionuklid nebo je jím kontaminovaná v míře, která z hlediska možného ozáření vyžaduje regulaci podle atomového zákona

Radioaktivní odpad – věc, která je radioaktivní látkou nebo předmětem nebo zařízením ji obsahujícím nebo jí kontaminovaným, pro kterou se nepředpokládá další využití, a která nespĺňuje podmínky stanovené atomovým zákonem pro uvolňování radioaktivní látky z pracoviště

Reprezentativní osoba – jednotlivce z obyvatelstva zastupující modelovou skupinu fyzických osob, které jsou z daného zdroje a danou cestou nejvíce ozařovány

Úřad – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Vodní zákon – zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů („vodní zákon“), ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška – vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

Vypouštění odpadní vody do povrchových vod nebo kanalizace pro veřejnou potřebu – uvolňování radioaktivní látky z pracoviště do povrchových vod nebo kanalizace pro veřejnou potřebu

Zákon, atomový zákon – zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů

Zákon o odpadech – zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů

Základní rozbor – stanovení celkové objemové aktivity alfa, celkové objemové aktivity beta a ^{40}K v odpadních vodě

2.2 Zkratky

AMAD	aktivitní medián aerodynamického průměru
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz (Spolkový úřad pro ochranu před zářením, Německo)
COAA	celková objemová aktivita alfa
COAB	celková objemová aktivita beta
ČNI	Český normalizační institut
ČSN	Česká technická norma
DP	Dávkový příkon
E	efektivní dávka reprezentativní osoby za kalendářní rok
ID	indikativní dávka
NORM	„naturally occurring radioactive materials“ přirozeně se vyskytující radioaktivní materiály nebo materiály, v nichž díky lidské činnosti došlo ke zvýšení koncentrace přírodních radionuklidů
NaV	nařízení vlády
NDA	nejmenší detekovatelná aktivita
NVA	nejmenší významná aktivita
OOPP	osobní ochranné pracovní pomůcky
PRaL	pevná radioaktivní látka
RN	přírodní radionuklid
RaL	radioaktivní látka
RaO	radioaktivní odpad
RO	radiační ochrana
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TAČR	Technologická agentura České republiky
TNV	Technická norma vodohospodářská
UÚ	uvolňovací úroveň
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
ŽP	životní prostředí

3 Legislativa

V této části jsou uvedeny právní předpisy týkající se uvolňování radioaktivní látky z pracoviště.

3.1 Atomový zákon

§ 9 odst. 2 písm. h) bod 7

Povolení Úřadu je nutné k vykonávání služeb významných z hlediska radiační ochrany, a to měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření podle § 93 odst. 1 písm. b) zákona.

§ 9 odst. 2 písm. e)

Povolení SÚJB je nutné k uvolňování radioaktivní látky z pracoviště, pokud zákon nestanoví jinak.

§ 93 odst. 1 písm. b)

Pracovištěm s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření je pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu.

§ 95 Podmínky uvolňování radioaktivní látky z některých pracovišť s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření

(1) Každý, kdo uvolňuje radioaktivní látku z pracoviště stanoveného v § 93 odst. 1 písm. b), je povinen

- a) předcházet neodůvodněnému nahromadění radioaktivní látky uvolňované z pracoviště,
- b) zajistit měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště, a to včetně případů, kdy je uvolňovaná radioaktivní látka určena pro opakované použití nebo recyklaci,
- c) výsledky měření podle písmene b) evidovat a oznamovat Úřadu,
- d) zpracovat vnitřní předpis pro nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště a postupovat podle něj a
- e) v případě použití radioaktivní látky uvolňované z pracoviště k výrobě stavebního materiálu informovat výrobce stavebního materiálu o druhu a aktivitě uvolňované radioaktivní látky.

(2) Radioaktivní látku lze uvolňovat z pracoviště stanoveného v § 93 odst. 1 písm. b) bez povolení Úřadu, nejsou-li překročeny uvolňovací úrovně stanovené prováděcím právním předpisem.

(3) Radioaktivní látku lze uvolňovat z pracoviště stanoveného v § 93 odst. 1 písm. b) bez povolení Úřadu též v případě, že efektivní dávka každého jednotlivce z obyvatelstva způsobená v kalendářním roce uvolněním radioaktivní látky je menší než 0,3 mSv.

(4) Každý, kdo uvolňuje radioaktivní látku z pracoviště podle odstavce 3, je povinen oznámit Úřadu nejméně 60 dní předem

- a) druh uvolňované radioaktivní látky,
- b) aktivitu radionuklidů v uvolňované radioaktivní látce,
- c) místo, čas a způsob uvolňování radioaktivní látky a

d) zhodnocení ozáření jednotlivce z obyvatelstva prokazující splnění podmínky uvolňování podle odstavce 3.

(5) Radioaktivní látku lze uvolňovat z pracoviště stanoveného v § 93 odst. 1 písm. b) bez povolení Úřadu též v případě použití uvolňované radioaktivní látky k výrobě stavebního materiálu. Při tomto způsobu uvolňování radioaktivní látky z pracoviště nelze postupovat podle odstavce 3. Každý, kdo uvolňuje radioaktivní látku z pracoviště za účelem použití uvolňované radioaktivní látky k výrobě stavebního materiálu, je povinen oznámit Úřadu nejméně 60 dní předem

- a) druh uvolňované radioaktivní látky,
- b) aktivitu radionuklidů v uvolňované radioaktivní látce,
- c) dobu a rozsah uvolňování radioaktivní látky a
- d) identifikační údaje výrobce stavebního materiálu.

(6) Prováděcí právní předpis stanoví

- a) rozsah, způsob a četnost provádění měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště,
- b) způsob a dobu vedení evidence výsledků měření obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště a četnost jejich oznamování Úřadu,
- c) obsah vnitřního předpisu pro nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště,
- d) hodnoty uvolňovacích úrovní pro pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření a podmínky, za nichž se považují za překročené.

3.2 Vyhláška

Požadavky atomového zákona specifikuje jeho prováděcí předpis - vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Ke shora uvedeným ustanovením zákona se vztahují následující ustanovení vyhlášky.

§ 87 Pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

Pracovištěm s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu je pracoviště, na němž se provádí

- a) těžba, transport produktovody nebo zpracování ropy a plynu,
- b) těžba uhlí,
- c) těžba rud,
- d) zpracování niobové nebo tantalové rudy,
- e) zpracování suroviny obsahující vzácnou zeminu,
- f) primární výroba železa,
- g) tavení cínu, olova nebo mědi,
- h) výroba cementu, včetně údržby slínkových pecí,
- i) výroba fosfátových hnojiv, výroba kyseliny fosforečné nebo termická výroba fosforu,
- j) výroba pigmentu na bázi oxidu titaničitého,
- k) zpracování zirkonu nebo zirkonia,
- l) výroba, zpracování nebo užití materiálů s obsahem thoria a uranu,
- m) spalování uhlí v zařízení s tepelným výkonem nad 5 MW, včetně údržby kotlů,
- n) získávání geotermální energie,

- o) provoz zařízení na úpravu vlastností podzemní vody nebo nakládání s vodárenskými kaly z úpravy vody z podzemního zdroje,
- p) nakládání s materiálem, u kterého bylo prokázáno, že obsah přírodního radionuklidu v něm přesahuje uvolňovací úroveň nebo zvyšuje příkon prostorového dávkového ekvivalentu o více než 0,5 $\mu\text{Sv/h}$,
- q) hornická činnost,
- r) činnost prováděná hornickým způsobem v podzemí, nebo
- s) činnost související s nakládáním s těžebním odpadem.

§ 91 Uvolňování radioaktivní látky z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření

- (1) Měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce uvolňované z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření musí být prováděno v případě pracoviště s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu zejména u
 - a) usazenin,
 - b) kalů,
 - c) použitých filtrů,
 - d) odpadů a odpadní vody uvolňované mimo pracoviště a
 - e) materiálů z tohoto pracoviště určených k opakovanému použití nebo recyklaci.
- (2) Měření a hodnocení podle odstavce 1 musí být prováděno poprvé při zahájení provozu tohoto pracoviště a poté při změně, která by mohla ovlivnit obsah radionuklidů v radioaktivní látce, nejméně jednou za rok.
- (3) Vnitřní předpis pro nakládání s radioaktivní látkou uvolňovanou z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření musí obsahovat
 - a) výčet radioaktivních látek vyskytujících se na pracovišti včetně údajů o obsahu radionuklidů v nich,
 - b) popis nakládání s radioaktivní látkou na pracovišti včetně způsobu její likvidace nebo uvolnění z pracoviště,
 - c) pokyny pro bezpečné nakládání s radioaktivní látkou na pracovišti a
 - d) postupy evidence množství radioaktivní látky.
- (4) Protokoly s výsledky měření a hodnocení podle odstavce 1 musí být Úřadu předávány do 1 měsíce od získání přímo nebo prostřednictvím držitele povolení podle § 9 odst. 2 písm. h) bod 7 zákona.
- (5) Protokoly s výsledky měření a hodnocení obsahu radionuklidů v radioaktivní látce podle odstavce 1 musí být uchovávány po dobu nejméně 5 let od ukončení provozu pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření.

§ 105 Uvolňovací úrovně pro pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření

- (1) Uvolňovací úrovně pro uvolňování pevných materiálů, včetně jejich ukládání na skládky odpadu, opakovaného použití, recyklace a spalování, z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření jsou
 - a) hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů z řady ^{238}U 1 kBq/kg ,

- b) hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů z řady ^{232}Th 1 kBq/kg ,
c) hmotnostní aktivita ^{40}K 10 kBq/kg .
- (2) Uvolňovací úrovně podle odstavce 1 se nepovažují za překročené, pokud průměrná hmotnostní aktivita žádného radionuklidu není větší než hodnota uvolňovací úrovně.
- (3) Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových jsou
- a) průměrná celková objemová aktivita alfa ve všech látkách 0,5 Bq/l,
b) průměrná celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K ve všech látkách 1 Bq/l.
- (4) Uvolňovací úrovně podle odstavce 3 se nepovažují za překročené, pokud průměrná objemová aktivita alfa nebo průměrná objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K není větší než hodnota uvolňovací úrovně.
- (5) Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu jsou
- a) průměrná celková objemová aktivita alfa ve všech látkách 50 Bq/l,
b) průměrná celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K ve všech látkách 100 Bq/l.
- (6) Uvolňovací úrovně podle odstavce 5 se nepovažují za překročené, pokud průměrná objemová aktivita alfa nebo průměrná objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K není větší než hodnota uvolňovací úrovně.
- (7) Průměrné hodnoty podle odstavce 1, 3 a 5 se vztahují na množství uvolňovaných materiálů, v nichž lze hmotnostní nebo objemovou aktivitu považovat za homogenní.

3.3 Popis postupů a pravidel uvolňování radioaktivní látky z pracoviště

Provozovatel pracoviště je povinen řídit se požadavky atomového zákona a vyhlášky uvedenými v bodech 3.1 a 3.2, včetně dodržení principů RO. Vzniká-li na pracovišti RaL (např. pevný odpad, odpadní voda, materiál, který je předáván jiné osobě k používání či dalšímu využití), která je z pracoviště uvolňována (tzn. opouští/je vymísťována z areálu pracoviště), vztahují se na toto uvolňování požadavky na uvolňování RaL z pracoviště popsané ve shora uvedených kapitolách.

Pokud je uvolňovaná RaL výrobkem/spotřebním výrobkem podle zákona č. 22/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů [Zákon 22, 1997], nevztahují se na ni uvolňovací úrovně; obsah radionuklidů ve výrobku je s ohledem na přírodní radioaktivitu regulován pouze v případě, že se jedná o stavební materiál, a to podle § 101 atomového zákona.

Pozn. Tato situace nastává např. tehdy, když producent popílku ze spalování uhlí certifikuje popílek jako (stavební) výrobek (např. popílek do betonu). Tento výrobek je stavebním materiálem podle § 101 atomového zákona a je dodáván na trh (předáván jiné osobě tj. výrobci betonu), která jej použije jako surovinu při výrobě stavebního materiálu. V tomto případě se nepoužívají UÚ, ale postup měření a hodnocení obsahu RN ve stavebním materiálu podle § 102 vyhlášky. Detaily tohoto postupu jsou uvedeny v Doporučení SÚJB „Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu“ [Doporučení SÚJB, 2017].

V případě, že se pro RaL nepředpokládá další využití, stává se tato látka

- odpadem a je povinností vlastníka nakládat s ní, kromě atomového zákona, rovněž podle zákona o odpadech [Zákon 185, 2001] nebo

- odpadní vodou, s níž je provozovatel pracoviště povinen nakládat, kromě atomového zákona, rovněž např. podle vodního a případně horního zákona,

Pokud by uvolnění RaL, která je odpadem nebo odpadní vodou, způsobilo překročení obecného limitu pro obyvatele stanoveného v § 3 vyhlášky, nemůže Úřad vydat k uvolnění takové RaL z pracoviště povolení podle § 9 odst. 2 písm. e) zákona; tato RaL se z definice uvedené v § 3 odst. 2 písm. a) atomového zákona stává radioaktivním odpadem a může být z pracoviště uvolněna pouze za předpokladu, že bude uložena do úložiště radioaktivního odpadu.

3.3.1 Atomový zákon

Odstupňovaný přístup k uvolňování RaL z pracovišť s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu je popsán níže.

Cílem uvedených ustanovení atomového zákona je regulovat přírodní ozáření obyvatel z uvolňované RaL. RaL lze z pracoviště uvolňovat

- bez povolení SÚJB
 - podle § 95 odst.2 zákona, nejsou-li překročeny UÚ stanovené v § 105 vyhlášky,
 - podle § 95 odst. 5 zákona při použití uvolňované RaL k výrobě stavebního materiálu, a to i v případě překročení UÚ; ten, kdo uvolňuje RaL z pracoviště za účelem použití uvolňované RaL k výrobě stavebního materiálu, je však povinen toto oznámit SÚJB nejméně 60 dní předem a splnit další požadavky § 95 odst. 5 zákona a rovněž informovat odběratele, tj. výrobce stavebního materiálu, o druhu a aktivitě uvolňované RaL (§ 95 odst. 1 písm. e) zákona); na obsah přírodních radionuklidů v takto uvolňované RaL (tj. ve stavebním materiálu) se vztahují požadavky § 101 zákona,
 - podle § 95 odst. 3 zákona po oznámení SÚJB při aktivitách překračujících UÚ v případě, že efektivní dávka reprezentativní osoby způsobená v kalendářním roce uvolněním RaL je menší než 0,3 mSv/rok, nebo
- na základě povolení SÚJB podle § 9 odst. 2 písm. e) zákona, pokud efektivní dávka reprezentativní osoby způsobená v kalendářním roce uvolněním RaL je menší než 1 mSv/rok.

Postupy výpočtu efektivní dávky reprezentativní osoby způsobené v kalendářním roce uvolněním RaL jsou uvedeny v [Části 3](#). Tyto postupy se použijí v případě uvolňování podle § 95 odst. 3 nebo podle § 9 odst. 2 písm. e) zákona; výsledky výpočtů se porovnávají s hodnotami 0,3 mSv/rok, resp. 1 mSv/rok. V případě, že je postupem podle tohoto Doporučení měřena RaL určená k výrobě stavebního materiálu, výsledek výpočtu se porovnává s hodnotou 1 mSv/rok stanovenou v § 102 odst. 2 vyhlášky (hodnota 1 mSv se vztahuje k hotovému výrobku, nikoliv k jednotlivým surovinám).

Za účelem snížení administrativní zátěže při uvolňování RaL z pracoviště na základě oznámení nebo povolení byla na základě postupů uvedených v [Části 3](#) pro nejčastěji používané způsoby uvolňování RaL z pracoviště odvozena kritéria a podmínky, při jejichž dodržení není třeba pro každý jednotlivý případ uvolnění provádět samostatný výpočet efektivní dávky podle [Části 3](#). Dodržení těchto kritérií a podmínek zajistí nepřekročení efektivní dávky 0,3 mSv/rok, resp. 1 mSv/rok. V případě, že jsou tato kritéria a podmínky dodrženy, dokládá se jejich dodržení SÚJB v rámci oznámení nebo v rámci žádosti o vydání povolení k uvolňování. Přehled těchto kritérií a podmínek vč. expozičních scénářů, podle nichž byly odvozeny, je uveden v [Části 4](#).

Informace o vybraných RaL jsou uvedeny v [Příloze 5](#).

3.3.2 Zákon o odpadech

Zákon o odpadech požaduje po původci odpadů v § 9a dodržovat v rámci odpadového hospodářství následující hierarchie způsobů nakládání s odpady

- a) předcházení vzniku odpadů,
- b) příprava k opětovnému použití,
- c) recyklace odpadů,
- d) jiné využití odpadů, například energetické využití,
- e) odstranění odpadů.

Uvedená hierarchie musí být dodržena i v případě, že v odpadu je obsažena RaL a nejedná se o RaO.

V praxi to znamená, že je třeba nejprve měřením stanovit obsah RN v RaL vznikajících na pracovišti. Na RaL s obsahem radionuklidů nižším, než jsou stanovené UÚ, se nevztahují žádné požadavky atomového zákona; s těmito materiály se proto nakládá pouze podle zákona o odpadech.

V opačném případě, při překročení UÚ, je možno uvolnit tuto RaL z pracoviště pouze v rozsahu a za podmínek stanovených atomovým zákonem, tj. v závislosti na velikosti ozáření jedinců z obyvatelstva, a to buď na základě oznámení (efektivní dávka jedince z obyvatelstva spojená s uvolněním nepřekročí 0,3 mSv/rok), nebo na základě povolení (efektivní dávka jedince z obyvatelstva spojená s uvolněním nepřekročí 1 mSv/rok).

Současně se na tyto materiály, pokud se jedná o odpady, vztahují požadavky zákona o odpadech, tj. odpady se zařadí podle Katalogu odpadů [\[vyhláška č. 93/2016 Sb.\]](#) a podle kategorie (nebezpečný, ostatní). Uvedené zařazení je klíčové pro způsob dalšího nakládání s konkrétním odpadem podle zákona o odpadech (např. pro výběr typu skládky v případě, že se odpad může po oznámení či povolení SÚJB uložit na skládku).

Pokud by uvolnění RaL, která je odpadem, způsobilo překročení obecného limitu pro obyvatele, nemůže Úřad vydat k uvolnění takové RaL z pracoviště povolení podle § 9 odst. 2 písm. e) atomového zákona; tato RaL se z definice stává radioaktivním odpadem a může být z pracoviště uvolněna pouze za předpokladu, že bude uložena do úložiště radioaktivního odpadu. Tento proces podléhá výhradně atomovému zákonu, konkrétně ustanovení § 106 a násl. V ČR jsou radioaktivní odpady s RN ukládány do úložiště Bratrství u Jáchymova.

Zvláštním případem je využití odpadu s RaL při výrobě stavebního materiálu. Zde se regulace ozáření realizuje až při dodávání z RaL vyrobeného stavebního materiálu na trh, a to podle § 95 atomového zákona; na tento stavební materiál se vztahují požadavky § 101 atomového zákona vč. referenční úrovně 1 mSv/rok.

3.3.3 Vodní zákon, nařízení vlády

3.3.3.1 Vypouštění odpadních vod do vod povrchových

Vypouštěním odpadních vod do vod povrchových se zabývá nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech [\[NaV, 2015\]](#). V tabulce 1a přílohy č. 3 NaV jsou uvedeny ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod a vod používaných pro vodárenské účely, koupání osob a lososové a kaprové vody vztahující se k místu odběru vody pro pitné účely,

místu provozování koupání, respektive k úseku vodního toku stanoveného jako lososová nebo kaprová voda (dále uvedeno jako místa odběru vody pro úpravu na vodu pitnou).

V tabulce 1c též přílohy jsou uvedeny normy environmentální kvality pro uran a ^{226}Ra pro útvary povrchových vod a dále též hodnoty přípustného znečištění povrchových vod užívaných pro vodárenské účely, vztahující se k místu odběru vody pro úpravu na vodu pitnou. Pro uran jsou uvedené koncentrace dány jeho chemickou toxicitou, nikoliv radiologickým účinkem.

Za ukazatel vyjadřující dobrý stav povrchové vody se dle přílohy č. 2 NaV považuje stav, při němž nedochází k porušování požadavků na ochranu zdraví před ionizujícím zářením (tj. požadavků stanovených atomovým zákonem).

V praxi to znamená, že je třeba nejprve měřením stanovit obsah RN v RaL (odpadní vodě) uvolňované z pracoviště do povrchové vody. Na RaL s obsahem radionuklidů nižším, než jsou stanovené UÚ, se nevztahují žádné požadavky atomového zákona; tato odpadní voda může být vypouštěna bez omezení.

V opačném případě, při překročení UÚ stanovených pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových, je možno uvolnit tuto RaL z pracoviště pouze v rozsahu a za podmínek stanovených atomovým zákonem, tj. v závislosti na velikosti ozáření jedinců z obyvatelstva, a to buď na základě oznámení (efektivní dávka jedince z obyvatelstva spojená s uvolněním nepřekročí 0,3 mSv/rok), nebo na základě povolení (efektivní dávka jedince z obyvatelstva spojená s uvolněním nepřekročí 1 mSv/rok). Současně je třeba dodržet požadavky na vypouštění odpadních vod do vod povrchových stanovené uvedeným nařízením vlády. Tedy, že v povrchové vodě mají být dodrženy

- normy environmentální kvality, tj. celoroční průměr v povrchové vodě nesmí překročit 0,3 Bq/l ^{226}Ra a 24 $\mu\text{g/l}$ uranu, a dále v případě, že se voda používá nebo bude používat jako zdroj pitné vody, celoroční průměr 6 $\mu\text{g/l}$ uranu,
- v místech odběru vody pro pitné účely nesmí přípustné znečištění překročit hodnoty uvedené v tabulce [Tab. 1](#).

Tab. 1: Přípustné znečištění povrchových vod přírodními radionuklidy [NaV, 2015]

	Povrchové vody ⁽¹⁾		Místo odběru pro úpravu na vodu pitnou ⁽²⁾	
	Přípustné znečištění-roční průměr	Přípustné znečištění-maximum	Přípustné znečištění-roční průměr	Norma environmentální kvality
COAA (Bq/l)	0,2	0,3		
COAB- ^{40}K (Bq/l)	0,5	0,5		
^{226}Ra (Bq/l)		0,5		0,3
U ($\mu\text{g/l}$)			6	24

⁽¹⁾Vztahuje se ke znečištění povrchových vod a vod pro vodárenské účely, koupání osob a lososové a kaprové vody, vztahují se k místu odběru vody pro úpravu na vodu pitnou, místu provozování koupání, respektive k úseku vodního toku stanoveného jako lososová nebo kaprová voda.

⁽²⁾ Normy environmentální kvality pro specifické znečišťující látky pro útvary povrchových vod a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod užívaných pro vodárenské účely, vztahující se k místu odběru vody pro úpravu na vodu pitnou.

V případě úpravy povrchové vody na pitnou vodu pro veřejnou potřebu je žádoucí zohlednit na výstupu z úpravní vody i požadavky stanovené pro obsah RN v pitné vodě pro veřejnou potřebu atomovým zákonem.

3.3.3.2 Vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu

Vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu řeší Kanalizační řád, jehož účelem je stanovení podmínek, za kterých se producentům odpadních vod povoluje tyto vody vypouštět. Plné znění kanalizačních řádů je buď umístěno na webových stránkách provozovatele kanalizace, nebo je uloženo u vlastníka kanalizace.

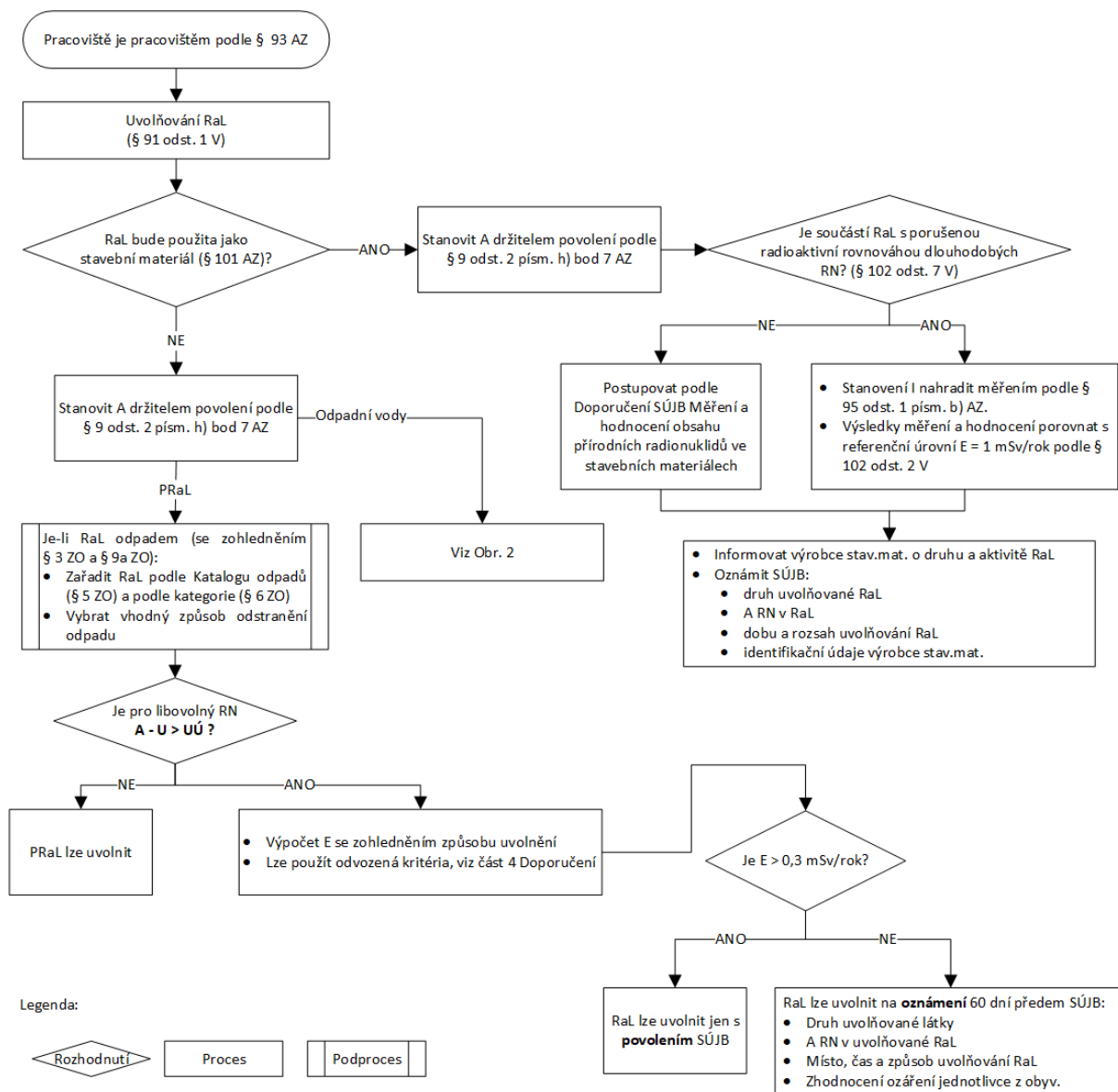
V praxi to znamená, že je třeba nejprve měřením stanovit obsah RN v RaL (odpadní vodě) uvolňované z pracoviště do kanalizace pro veřejnou potřebu. Na RaL s obsahem radionuklidů nižším, než jsou stanovené UÚ, se nevztahují žádné požadavky atomového zákona; tato odpadní voda může být vypouštěna bez omezení.

V opačném případě, při překročení UÚ stanovených pro vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu, se výpočtem stanoví, zda vypouštění vede ke zvýšení obsahu PR v odpadní vodě v kanalizaci na vstupu do čistírny odpadních vod nad UÚ pro vypouštění do vod povrchových. Pokud by došlo k překročení těchto UÚ, stala by se z tohoto důvodu čistírna odpadních vod pracovištěm podle § 87 písm. p) vyhlášky.

3.3.4 Obecná rozhodovací schémata

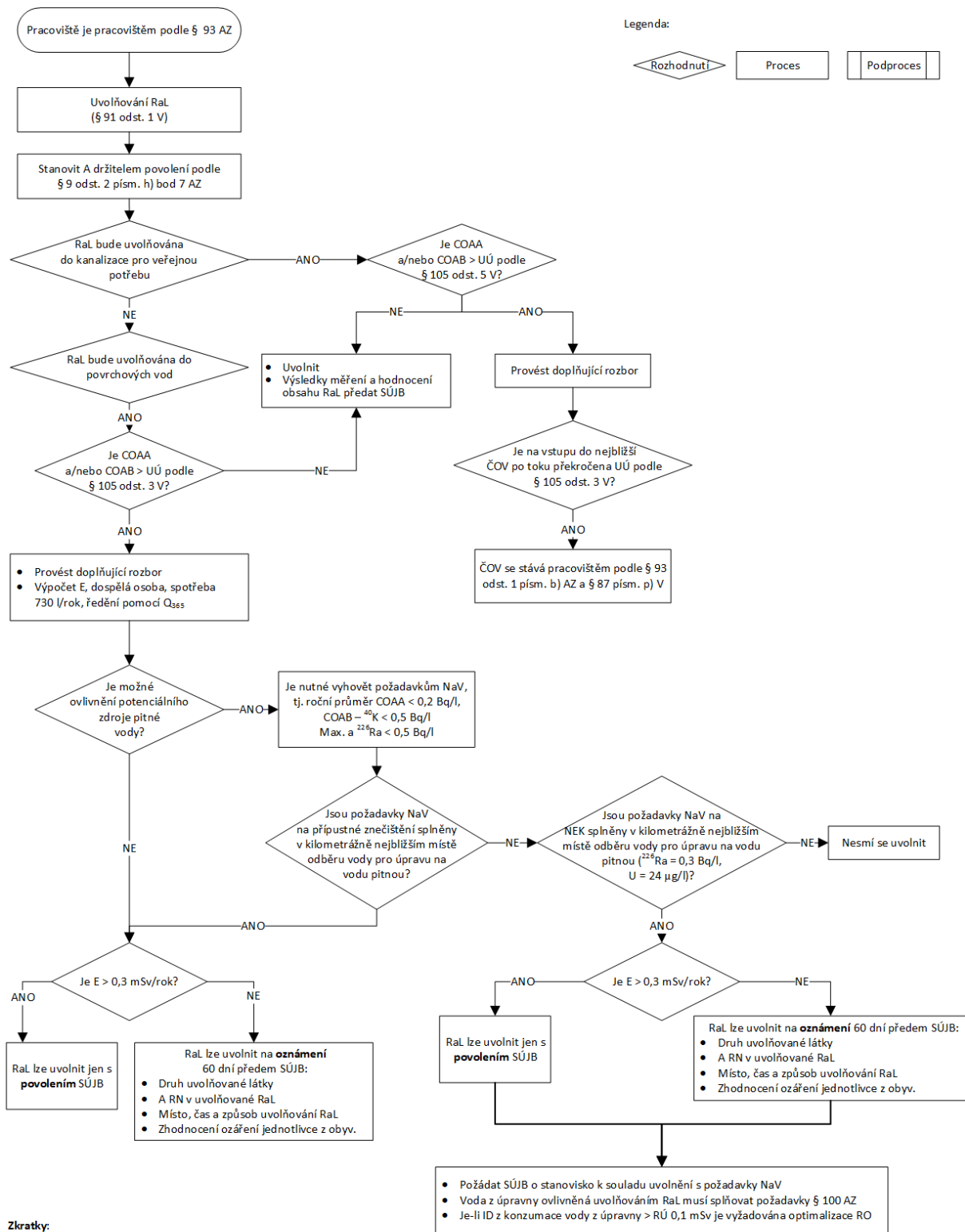
Při rozhodování o způsobu nakládání s pevnými radioaktivními odpady (PRaL) uvolňovanými z NORM pracovišť se postupuje podle schématu na [Obr. 1](#).

Při rozhodování o způsobu nakládání s odpadní vodou/vodami uvolňovanými z NORM pracovišť se postupuje podle schématu uvedeném na [Obr. 2](#).

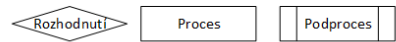


Zkratky:
 AZ - zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů
 ZO - zákon č. 185/2001 Sb., zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů
 V - vyhláška č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje
 A - aktivita daného RN I - index hmotnostní aktivity, viz § 102 odst. 3 V U - rozšířená kombinovaná nejistota stanovení

Obr. 1: Obecné rozhodovací schéma pro uvolňování PRaL



Legenda:



Zkratky:

AZ - zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů

V - vyhláška č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiaci ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje

NaV - nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech

A - aktivita daného RN

U - rozšířená kombinovaná nejistota stanovení

RÚ - referenční úroveň

ID - indikativní dávka, viz § 2 písm. v) V

NEK - norma environmentální kvality, stanovena pro celoroční průměrnou hodnotu, viz NaV

Vysvětlivky:

Vypouštěná odpadní voda = uvolňovaná voda s RaL

Místo vypouštění = místo, kde vytéká vypouštěná odpadní voda z areálu povinné osoby

Q365 = průměrný roční průtok nejbliže nad místem uvolňování

Potenciální zdroj pitné vody = pro účely Doporučení se používá termín potenciální zdroj pitné vody pro úsek lososových nebo kaprových vod, vodárenské nádrže nebo jiné zdroje povrchových vod, které jsou využívány nebo se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody, nebo úsek povrchových vod využívaných ke koupání (viz NaV)

Obr. 2: Obecné rozhodovací schéma pro uvolňování odpadní vody

Část 1 - Uvolňování pevných materiálů

4 Úvod k uvolňování pevných materiálů z pracoviště

V textu dále jsou stanoveny postupy k provádění systematického měření a hodnocení obsahu RN v PRaL obsažené v pevných materiálech (dále též PRaL) a zásady postupu při překročení uvolňovacích úrovní.

Za měření a hodnocení obsahu RN v PRaL uvolňovaných z pracoviště se považuje stanovení hmotnostních aktivit dlouhodobých RN (RN s poločasem přeměny delším než 100 dnů) uranové i thoriové řady a ^{40}K .

UÚ pro uvolňování PRaL, včetně jejich ukládání na skládky odpadu, opakovaného použití, recyklace a spalování, z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření, jsou stanoveny v § 105 odst. 1 a 2 vyhlášky.

UÚ se nepovažují za překročené, pokud průměrná hmotnostní aktivita žádného RN uranové a thoriové řady ani ^{40}K není větší než hodnota UÚ. Průměrné hodnoty se vztahují na množství uvolňovaných materiálů, v nichž lze hmotnostní nebo objemovou aktivitu považovat za homogenní.

UÚ pro uvolňování PRaL uvedené v § 112 odst. 1 písm. a) až c) vyhlášky jsou 1 kBq/kg pro RN uranové a thoriové řady a 10 kBq/kg pro ^{40}K a vztahují se na pevný materiál v tom stavu, v jakém je uvolňován. UÚ není definována pro aktiniovou řadu. Důvodem je to, že aktivita RN této řady je za reálných situací vždy podstatně nižší než aktivita RN uranové řady.

5 Četnost měření a hodnocení

Měření a hodnocení obsahu RN v PRaL uvolňované z pracoviště musí být provedeno poprvé při zahájení provozu pracoviště a poté při každé změně, která by mohla ovlivnit obsah RN v PRaL, nejméně však jednou za rok (§ 98 odst. 2 vyhlášky).

Za zajištění měření a za dodržení požadavku, že obsah RN v uvolňované PRaL splňuje požadavky zákona a vyhlášky, odpovídá provozovatel pracoviště.

V případě uvolňování PRaL se jedná zpravidla o diskontinuální uvolňování. Měří se vzorky odebrané před tím, než PRaL opustí pracoviště. V případě kontinuálního uvolňování se vzorky odebírají v průběhu uvolňování. S ohledem na postup stanovení aktivity RN a na požadavek dosažení dostatečně nízké nejistoty stanovení je nutno počítat s dobou na provedení analýzy až 5-6 týdnů od předání vzorku laboratoři.

Za změnu, která by mohla ovlivnit obsah RN v PRaL, je nutno považovat změnu

- vstupních surovin,
- místa původu surovin,
- technologie vedoucí ke vzniku uvolňované PRaL.

6 Odběr vzorku

Doporučení se nezabývá správným postupem odběru vzorků; za odběr vzorků a jeho reprezentativnost zodpovídá zadavatel zkoušky. Vzorek musí být reprezentativní pro celý objem uvolňované PRaL; vhodné je provést odběr z více míst uvolňované PRaL a vytvořit směsný vzorek, případně provést více samostatných odběrů.

Vzorky uvolňované PRaL pro měření a hodnocení obsahu RN se odebírají ve stavu, v jakém je PRaL uvolňována. Pokud je odebrán vzorek v jiné formě, je nutno toto poznamenat

v odběrovém listu. Odběr vzorků provádí zpravidla pověřený pracovník pracoviště. Velikost odebraného vzorku pro měření se řídí požadavky laboratoře.

O každém odběru vzorku se provede záznam ([Příloha 1-3](#)) s uvedením minimálně těchto údajů

- identifikace pracoviště (název, adresa)
- identifikace provozovatele pracoviště
- identifikace PRaL (název, bližší specifikace)
- určené použití PRaL
- datum shromažďování PRaL (od – do)
- celkové množství uvolňované PRaL reprezentované odebraným vzorkem
- místo a datum odběru vzorku
- způsob odběru vzorku (počet odběrových míst k vytvoření směsného vzorku k zajištění reprezentativnosti odběru)
- jméno, firma a podpis odebírající osoby
- jméno, firma a podpis další osoby přítomné u odběru (obvykle zástupce pracoviště)
- použitý způsob úpravy vzorku (při odběru)
- datum předání vzorku do laboratoře
- potvrzení převzetí vzorku laboratoří

Záznam o odběru se předává spolu se vzorkem laboratoři, jeho kopie zůstává na pracovišti jako součást evidence o měření a hodnocení obsahu RN v uvolňované RaL.

7 Měření a hodnocení

Měření a hodnocení obsahu RN v PRaL mohou provádět jenom laboratoře, které mají pro tuto činnost povolení Úřadu. Jejich seznam je uveden na internetových stránkách www.sujb.cz.

Stanovení RN se provádí metodou spektrometrie záření gama s vysokým rozlišením; k měření je nutno použít polovodičové HPGe detektory, kterými lze měřit v energetickém rozsahu 46 – 2620 keV. Při měření je možno vycházet z norem ČSN [[ČSN ISO 10703, 2008](#); [ČSN 75 7600, 2013](#)] a z návodů výrobce k používání měřicích zařízení a vyhodnocovacích programů.

Metody používané pro měření musí být v odpovídajícím rozsahu validovány [[ČSN EN ISO/IEC 17025](#)], [[Kvalimetrie 9, 1999](#)] včetně ověření správnosti měření formou mezilaboratorního porovnání (např. porovnávací měření organizovaná SÚJB). Měřicí zařízení používaná pro uvedený účel jsou stanovenými měřidly ve smyslu zákona [[Zákon 505, 1990](#)] a podléhají pravidelnému metrologickému ověřování [[Vyhláška 345, 2002](#)].

7.1 Příprava vzorku k měření

Požadovaný objem vzorku určí laboratoř tak, aby při měření bylo zajištěno dosažení požadovaných nejmenších detekovatelných aktivit; většinou postačí vzorek o objemu 1 litr.

V laboratoři se vzorek homogenizuje, průměr „zrn“ by měl být menší než 5 mm.

V případě, že ke stanovení ^{226}Ra nebude užito dceřiných produktů ^{222}Rn , připraví se vzorek standardním způsobem zavedeným v laboratoři.

V případě, že ke stanovení ^{226}Ra bude po ustavení rovnováhy užito dceřiných produktů ^{222}Rn (^{214}Pb a ^{214}Bi), měřicí nádoba se naplní až po okraj a obsah se napěchuje, aby nedocházelo ke vzniku vzduchových mezer, v nichž by se mohl hromadit radon a jeho dceřiné produkty, čímž by mohlo dojít k podhodnocení aktivity ^{226}Ra . Nádoba se hermeticky uzavře a zaznamená se datum hermetizace.

V případě vyššího obsahu vody nebo jiné kapaliny (např. olej) ve vzorku je vhodné vzorek rozdělit na kapalnou a pevnou část sedimentací a slitím, filtrací, případně centrifugací; v případě vody je možno vodu odpařit. K měření se připraví obě složky (v případě odpaření vody jen pevná složka). Důvodem tohoto postupu je, že při měření vzorku bez separace by mohlo dojít k oddělení kapaliny od pevných částí vzorku během měření, a tím k chybnému stanovení aktivity z důvodu nehomogenity obsahu v měřicí nádobě. Měřicí nádoba s kapalinou se neplní po okraj a nehermetizuje se.

Doporučení jednotný postup přípravy vzorku s obsahem kapaliny nestanovuje, postup volí měřicí laboratoř tak, aby dosáhla správného výsledku.

Mohou nastat tyto situace:

- a. Vzorek se skládá z pevných částecek a nejeví obsah vody. Vzorek se měří po homogenizaci bez další úpravy. Vhodné je stanovit obsah vody vysušením malé části vzorku při teplotě $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ do konstantní hmotnosti.
- b. Vzorek obsahuje kapalinu, ale nedělí se na 2 frakce. Vzorek je možno měřit buď bez další úpravy, nebo po vysušení (v případě vody). V případě měření vzorku (který obsahuje vodu) bez další úpravy je vhodné stanovit obsah vody vysušením malé části vzorku při teplotě $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ do konstantní hmotnosti.
- c. Vzorek obsahuje větší množství kapaliny a dělí se na 2 frakce (obvykle se kapalina separuje na povrchu). V tomto případě se postupuje následovně
 - kapalina se ze vzorku odseparuje a měří se odděleně pevná část vzorku (se zbytky kapaliny) a kapalná část vzorku. Pokud je kapalinou voda, lze pevnou část vzorku se zbytky kapaliny vysušit a měřit vysušenou část vzorku a vodní část převést na odparek a měřit odparek nebo
 - pokud je kapalinou voda, voda se ze vzorku odpaří a měří se jen vzorek v suchém stavu.

Při všech úpravách je nutno všechny frakce před úpravou i po úpravě vážit, aby vždy bylo možno stanovit aktivitu v původním vzorku, neboť UÚ se týkají PRaL v té formě, v jaké je uvolňována.

7.2 Stanovované radionuklidy

Cílem měření je stanovení aktivity RN pro účely uvolňování PRaL z pracoviště. Vzhledem k tomu, že se jedná o trvalé uvolnění PRaL, má význam stanovovat pouze dlouhodobé RN s poločasem přeměny delším než 100 dnů. Krátkodobé RN (s poločasem přeměny kratším než 100 dnů) budou v rozumně krátké době (po cca třech poločasech přeměny) v přibližné rovnováze s mateřskými dlouhodobými RN.

Jediným RN, kdy rovnováha mezi krátkodobými dceřinými RN a dlouhodobým mateřským RN nemusí nastat, je ^{222}Rn (s poločasem přeměny 3,8 dne), který může z PRaL průběžně emanovat, což způsobí, že aktivity ^{222}Rn a jeho dceřiných produktů v PRaL mohou být nižší než aktivita předchozího dlouhodobého ^{226}Ra .

Poločas přeměny ^{220}Rn (thoron) z thoriové řady je pouze 56 s a ^{220}Rn nestačí před přeměnou za normálních okolností z PRaL podstatně emanovat, takže on i jeho dceřiné produkty bývají v rovnováze s mateřským ^{224}Ra a ^{228}Th .

Pro účely uvolňování PRaL z pracovišť se stanovují RN s poločasem přeměny delším než 100 dnů dvou přírodních přeměnových řad a ^{40}K . Jedná se celkem o deset RN: z uranové řady ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , z thoriové řady ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th a ^{40}K , jejichž aktivity jsou porovnávány s UÚ. Kromě uvedených RN je vhodné stanovit i aktivitu ^{235}U z aktiniové řady, pomocí které lze odhadnout aktivitu ^{238}U a ^{226}Ra .

Z vyjmenovaných 10 RN jsou pomocí spektrometrie gama přímo stanovitelné (pomocí jejich vlastních fotonů nebo fotonů jejich dceřiných produktů) ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ra , ^{228}Th a ^{40}K . Radionuklidy ^{234}U , ^{230}Th , ^{210}Po a ^{232}Th přímo stanovitelné nejsou, jejich aktivita se odhaduje dopočtem na základě v přírodě se vyskytujících poměrů jejich aktivit a aktivit přímo stanovitelných RN.

RN všech tří přírodních přeměnových řad a ^{40}K s vyznačením typu a poločasu přeměny jsou uvedeny v Tab. 2. Schéma přeměny přírodních řad obsahuje poměrně složitá větvení přeměn, která však ve většině případů mají malá zastoupení. V Tab. 2 jsou vyznačena jen ta větvení, která mají zastoupení větší než 1 %. Podrobnosti jsou uvedeny v Příloze 1-1 v tabulce P1-c. Ve výsledcích stanovení (v protokolech) se uvádějí jen aktivity dlouhodobých RN.

Tab. 2: Seznam radionuklidů 3 přírodních přeměnových řad a ^{40}K s uvedeným typem a poločasem přeměny

Uranová řada			Thoriová řada		
Nuklid	Poločas	Přeměna	Nuklid	Poločas	Přeměna
U 238	4,468 x 10⁹ r	α	Th 232	1,402 x 10¹⁰ r	α
Th 234	24,1 d	β	Ra 228	5,75 r	β
Pa 234m	1,159 m	β	Ac 228	6,15 h	β
U 234	245 500 r	α	Th 228	1,913 r	α
Th 230	75 380 r	α	Ra 224	3,631 d	α
Ra 226	1 600 r	α	Rn 220	55,8 s	α
Rn 222	3,823 d	α	Po 216	0,148 s	α
Po 218	3,071 m	α	Pb 212	10,64 h	β
Pb 214	26,916 m	β	Bi 212	60,54 m	α (35,93 %), β
Bi 214	19,8 m	β	Po 212	3,00 x 10 ⁻⁷ s	α
Po 214	1,623 x 10 ⁻⁴ s	α	Tl 208	3,058 m	β
Pb 210	22,23 r	β	Pb 208	stabilní	
Bi 210	5,011 d	β			
Po 210	138,376 d	α			
Pb 206	stabilní				

Aktiniová řada				Draslík			
Nuklid	Poločas		Přeměna	Nuklid	Poločas		Přeměna
U 235	7,04 x 10 ⁸	r	α	K 40	1,25 x 10⁹	r	β (89,25 %), EC
Th 231	25,522	h	β	Ca 40	stabilní		z K 40 β přeměnou
Pa 231	32 670	r	α	Ar 40	stabilní		z K 40 záchytem (EC)
Ac 227	21,772	r	α, β (98,62 %)				
Th 227	18,718	d	α				
Fr 223	22,00	m	β				
Ra 223	11,43	d	α				
Rn 219	3,98	s	α				
Po 215	1,781 x 10 ⁻³	s	α				
Pb 211	36,1	m	β				
Bi 211	2,15	m	α				
Tl 207	4,774	m	β				
Pb 207	stabilní						

Poznámky

- Větvení přeměn se zastoupením menším než 1 % nejsou uvedena
- Větvení přeměn se zastoupením větším než 1 % je znázorněno u mateřského nuklidu (u kterého větvení nastává) uvedením zastoupení u jedné z přeměn; zastoupení druhé z přeměn je dáno doplňkem do 100 %. Pod mateřským nuklidem jsou uvedeny oba dceřiné nuklidy, na které se mateřský nuklid přeměňuje
- Zvýrazněny jsou RN s poločasem přeměny delším než 100 dnů, které jsou porovnávány s UÚ
- Hodnoty převzaty z databáze „Lara“ [Lara, 2016]

7.3 Obecné požadavky na měření

7.3.1 Požadavky na mrtvou dobu

Při měření by mrtvá doba spektrometru měla být nižší než 10 %, neboť jinak příliš vzrůstá zastoupení nepravých koincidencí, čímž dochází k podhodnocení aktivity. V případě vyšší mrtvé doby je nutno vzorek měřit ve větší vzdálenosti nebo měřit menší alikvotní část vzorku. V případě měření malé alikvotní části vzorku je třeba dbát na to, aby vybraná část vzorku byla reprezentativní pro celý vzorek.

7.3.2 Požadavky na detekční limit a přesnost měření

Detekčním limitem je nejmenší detekovatelná aktivita (NDA); požadavky na hodnoty NDA jsou pro jednotlivé přímo stanovované (nedopočítávané) RN uvedeny v Tab. 3. Kombinovaná standardní nejistota výsledku měření při aktivitě větší než čtyřnásobek NDA musí být menší než 15 %.

V tomto doporučení je používána vedle kombinované standardní nejistoty také rozšířená kombinovaná standardní nejistota, která se získá vynásobením kombinované standardní nejistoty koeficientem rozšíření $k = 2$.

Ve výjimečných případech, kdy aktivita některého RN je příliš vysoká (podstatně vyšší než UÚ), se může stát, že není možno uvedených hodnot NDA dosáhnout. V takovém případě volí laboratoř podmínky měření tak, aby NDA byly tak nízké, jak je rozumně dosažitelné (kombinace množství měřené PRaL, geometrie měření a délky měření).

Tab. 3: Požadavky na nejmenší detekovatelnou aktivitu (NDA) přímo stanovitelných RN a jejich nejistoty měření pro účely uvolňování

Radionuklid	NDA (Bq / kg)	Nejistota měření
U 238	50	15 %
Ra 228	30	15 %
Th 228	30	15 %
Ra 226	30	15 %
Pb 210	30	15 %
K 40	100	15 %

Poznámky

- Různosti NDA jsou zohledněny možnosti spektrometrické metody
- NDA - nejmenší detekovatelná hmotnostní aktivita stanovená na hladině spolehlivosti 95 % (hladina významnosti $\alpha = \beta = 0,05$).
- Nejistota měření – maximální relativní kombinovaná standardní nejistota (v %) při hodnotě hmotnostní aktivity rovné nebo vyšší než je čtyřnásobek v tabulce uvedené hodnoty NDA.
- Pro dlouhodobé RN ^{234}U , ^{230}Th , ^{210}Po a ^{232}Th , jejichž aktivity jsou odhadovány dopočtem z aktivit přímo stanovovaných dlouhodobých RN, nejsou předepisovány hodnoty NDA ani nejistoty stanovení; tyto hodnoty jsou dány způsobem jejich dopočtu.

Přibližné hodnoty NDA pro měření vzorku v Marinelliho nádobě o objemu 600 ml (plněno po okraj) na HPGe detektoru o relativní účinnosti 45 % (bezokénkový) umístěný v oloveném stínění o síle 10 cm jsou uvedeny v [Příloze 1-1](#).

7.3.3 Požadavky na zpracování spekter a výsledků

Při analýze spekter musí být vzaty v úvahu

- interference fotonů různých RN
- rozdílnost hustoty a prvkového složení analyzovaného vzorku a kalibračního vzorku (etalonu), tj. samoabsorpce ve vzorku
- pravé koincidence
- nepravé koincidence – omezeny velikostí mrtvé doby (viz část 7.3.1)

Podrobnosti jsou uvedeny v části 7.4.5.1 „Korekce“

7.4 Postup měření a stanovení aktivit

Postup měření volí laboratoř podle situace.

Měření vzorku v krátké době po jeho přípravě se volí v případech, kdy není potřeba stanovit aktivitu ^{226}Ra pomocí dceřiných produktů ^{222}Rn nebo kdy nebylo možno naplnit měřicí nádobu po okraj.

Měření vzorku 3 až 4 týdny po hermetizaci se volí v případech, kdy je potřeba stanovit aktivitu ^{226}Ra pomocí dceřiných produktů ^{222}Rn .

7.4.1 Obecné poznámky

Aktivita ^{238}U v přírodní izotopické směsi čistého uranu je 12,35 MBq/kg (aktivita ^{234}U je stejná jako aktivita ^{238}U) a aktivita ^{235}U je 0,569 MBq/kg. Poměr aktivity $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ v přírodní izotopické směsi je 0,0460, opačný poměr $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ je 21,7.

Aktivita čistého ^{232}Th je 4,072 MBq/kg.

Zastoupení ^{40}K v přírodní směsi draslíku je 0,0117 %, což představuje aktivitu 31,0 kBq/kg přírodní směsi draslíku.

Běžné aktivity radionuklidů uranové a thoriové řady v horninách bývají desítky Bq/kg a ^{40}K stovky Bq/kg.

7.4.2 Radioaktivní rovnováha mezi dlouhodobými RN

Dlouhodobé RN přírodních přeměnových řad v zemské kůře bývají často až na ^{210}Pb v přibližné radioaktivní rovnováze, pokud v daném místě neprobíhají intenzivní dynamické procesy (např. proudění vody). U PRA_L uvolňovaných z pracovišť tuto rovnováhu nelze předpokládat.

Rovnováha mezi ^{238}U a ^{234}U bývá často porušena v materiálech, které vznikly jako sedimenty nebo usazeniny (např. na filtrech) při průtoku vody. Poměr aktivit $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ je v takových materiálech většinou větší než 1, ale menší než 2, jsou ale i případy, kdy je uvedený poměr okolo 10. Nerovnováha je způsobena tím, že při alfa přeměně ^{238}U je část vzniklých jader dceřiného RN ^{234}Th odražena do vodního prostředí, čímž navýší aktivitu ^{234}U ve vodě a v jí unášeném materiálu oproti aktivitě ^{238}U , a tím i v sedimentu či usazenině. Výjimečně může být poměr $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ menší než 1 zřejmě díky změně hydrologických poměrů, kdy se např. začíná z mateřské horniny uran více loužit než thorium a v mateřské hornině přitom je více ^{238}U než ^{234}U (protože ^{234}U byl v dřívějším období „odplaven“).

Téměř ve všech situacích, kromě případu ochuzeného nebo obohaceného uranu, lze očekávat přírodní izotopické zastoupení ^{238}U a ^{235}U (které je možno považovat také za „rovnovážný stav“). Pravděpodobnost měření vzorku s obohaceným uranem je velmi malá, ale vzorky s ochuzeným uranem by se mohly vyskytovat; například v případě PRA_L obsahujícího „uranové“ sklo, do něhož se ochuzený uran přidává, nebo v případě staré zátěže (skládka, materiál kontaminovaný střelami z ochuzeného uranu).

Poznámka: Ochuzený uran je ochuzen o izotopy ^{234}U a ^{235}U .

7.4.3 Požadavky na ustavení radioaktivní rovnováhy mezi RN pro účely měření

Pro stanovení některých dlouhodobých RN jsou využívány krátkodobé dceřiné RN za předpokladu, že jsou v přibližné radioaktivní rovnováze s mateřskými RN. Jedná se o

- stanovení ^{238}U pomocí ^{234}Th a $^{234\text{m}}\text{Pa}$
- stanovení ^{228}Th pomocí ^{212}Pb , ^{212}Bi a ^{208}Tl
- stanovení ^{226}Ra pomocí ^{214}Pb a ^{214}Bi .

Mezi ^{238}U a ^{234}Th ($T_{1/2}=24$ d) lze v době měření předpokládat přibližnou radioaktivní rovnováhu, pokud časový interval od středu doby shromažďování PRA_L na pracovišti do začátku měření je delší než 80 dnů (více než 3 poločasy přeměny ^{234}Th), PRA_L byla shromažďována po celé období víceméně rovnoměrně a byla přibližně stejného původu a složení. Časový vývoj aktivity dceřiného ^{234}Th vzhledem k mateřskému ^{238}U je uveden na Obr. 3.

Poznámka: dobou shromažďování se rozumí časový interval mezi počátkem shromažďování PRA_L (většinou od doby posledního uvolnění PRA_L z pracoviště) a odběrem vzorku pro účely porovnání s ÚÚ.

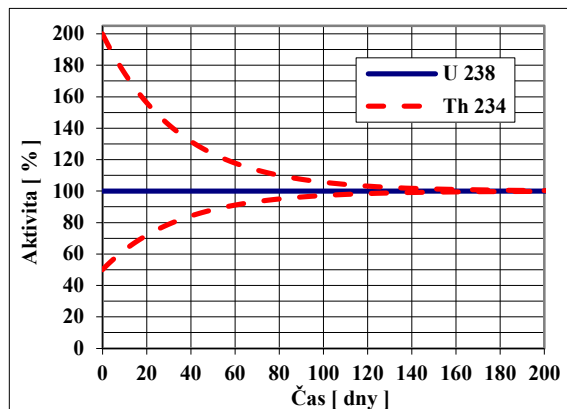
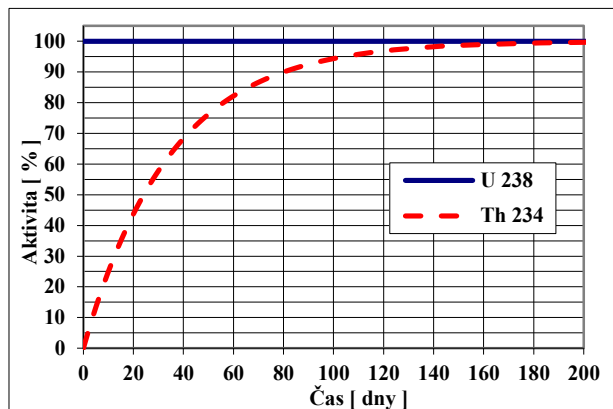
Pokud nelze uvedené podmínky splnit, je nutno buď

- měření odložit tak, aby doba mezi středem doby shromažďování PRA_L pro uvolnění a začátkem měření byla aspoň 80 dnů,

nebo

- stanovit aktivitu ^{238}U jen pomocí aktivity ^{235}U (za předpokladu, že se nejedná o ochuzený nebo obohacený uran) a stanovení ^{234}Th resp. $^{234\text{m}}\text{Pa}$ považovat za pomocné a informativní k získání zkušeností pro další stanovení téže PRA_L.

$$\text{Aktivita } ^{238}\text{U} = \text{Aktivita } ^{235}\text{U} / 0,046.$$

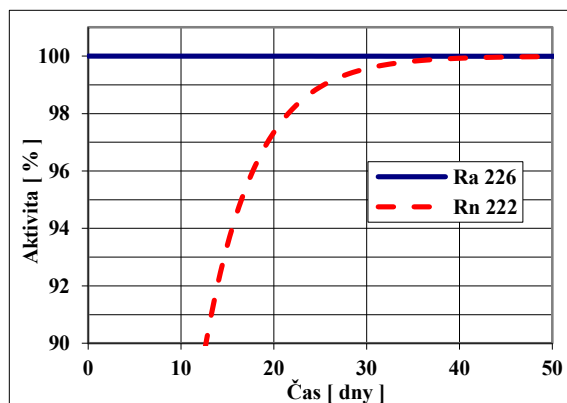
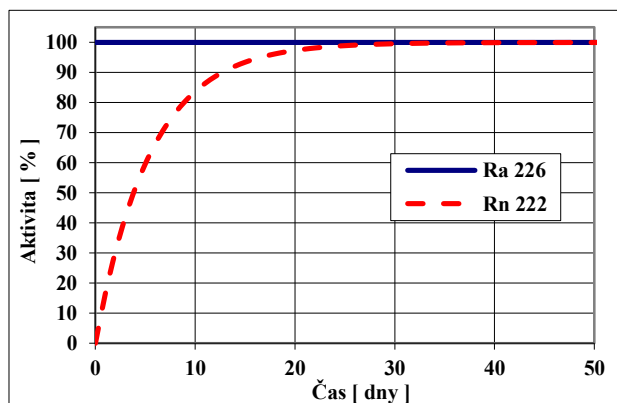


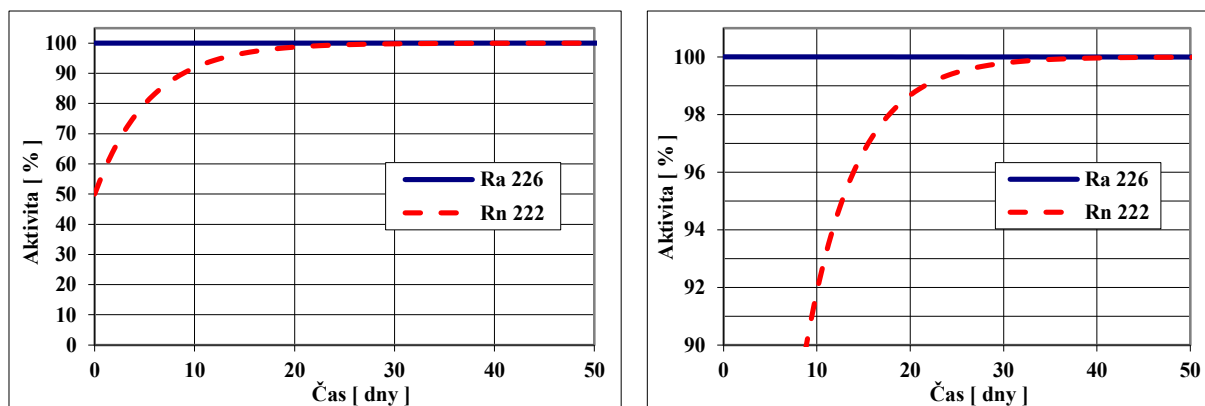
Poznámka: „Počátkem“ je myšlen okamžik, kdy konkrétní částice materiálu obsahující ^{238}U se stává součástí PRA_L určené k uvolnění.

Obr. 3: Aktivita dceřiného ^{234}Th a mateřského ^{238}U v závislosti na čase za předpokladu, že na „počátku“ byla aktivita ^{234}Th nulová (obrázek vlevo) a 50 % resp. 200 % aktivity ^{238}U (obrázek vpravo).

Mezi ^{228}Th thoriové řady a všemi jeho dceřinými produkty se vždy při hodnocení PRA_L předpokládá přibližná rovnováha vzhledem k době shromažďování PRA_L, době mezi odběrem vzorku a jeho měřením (nejdelší poločas přeměny má dceřiný produkt ^{224}Ra 3,7 d) a vzhledem k tomu, že plynný ^{220}Rn s poločasem 55,6 s nestačí z PRA_L v podstatné míře emanovat.

Mezi ^{226}Ra a ^{214}Pb a ^{214}Bi lze předpokládat přibližnou radioaktivní rovnováhu, pokud od doby hermetizace vzorku v laboratoři do začátku měření uplynulo více než 20 dnů. Průběh nárůstu ^{222}Rn (a jeho dceřiných produktů) do rovnováhy s aktivitou ^{226}Ra je uveden na Obr. 4. V reálných případech je emanace ^{222}Rn menší než 50 %, takže se aktivita dceřiných produktů ^{222}Rn bude od aktivity ^{226}Ra po 20 dnech lišit o méně než 1,5 %.





Obr. 4: Průběh nárůstu ^{222}Rn (a jeho dceřiných produktů) do aktivity ^{226}Ra za předpokladu, že v okamžiku hermetizace vzorku byla jeho aktivita nulová (horní 2 obrázky) a 50 % aktivity ^{226}Ra (dolní 2 obrázky). Na obr. vpravo je detailní část obr. vlevo.

7.4.4 Vztahy mezi aktivitami radionuklidů v řadách

Mezi aktivitami radionuklidů platí následující vztahy, které lze využít jednak ke stanovení aktivit RN na jedné straně vztahu ze znalosti aktivity na druhé straně vztahu (týká se 2. a 5. vztahu), a jednak k ověření správnosti stanovení (pokud jsou RN na obou stranách vztahu stanoveny nezávisle na sobě; 1. až 5. vztah).

- aktivita ^{234}Th = aktivita $^{234\text{m}}\text{Pa}$
- aktivita $^{226}\text{Ra} \geq$ aktivita ^{214}Pb a ^{214}Bi
- aktivita $^{214}\text{Pb} =$ aktivita ^{214}Bi
- aktivita $^{212}\text{Pb} =$ aktivita $^{212}\text{Bi} =$ aktivita $^{208}\text{Tl} / 0,361$
- aktivita $^{238}\text{U} =$ aktivita $^{235}\text{U} / 0,0460$ (neplatí pro ochuzený nebo obohacený uran).

Při nezávislém stanovení RN na levé i pravé straně vztahu lze aktivitu RN na levé straně vztahu považovat za shodnou s aktivitou na pravé straně vztahu v rámci nejistoty stanovení, pokud je rozdíl aktivit v absolutní hodnotě menší než k -násobek odmocniny ze součtu druhých mocnin kombinovaných nejistot jednotlivých aktivit, tj. pokud platí

$$|A_1 - A_2| \leq k \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad 1$$

kde

- | | |
|-------|---|
| A_i | aktivita RN |
| u_i | kombinovaná standardní nejistota příslušná k aktivitě A_i |
| k | kvantil normálního rozdělení |

Při volbě hodnoty kvantilu normálního rozdělení $k=2$, představuje vztah (1) přibližně 95% pravděpodobnost, že při správném stanovení aktivit A_1 a A_2 s nejistotami u_1 a u_2 budou tyto aktivity vztah splňovat. Vztah (1) lze zapsat jako

$$|A_1 - A_2| \leq 2 \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad 1a$$

Proměnné u_1 a u_2 lze nahradit rozšířenými nejistotami stanovení U_1 a U_2 , takže vztah (1) má pak tvar

$$|A_1 - A_2| \leq \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \quad 1b$$

V případě, že jedna z aktivit, které mají být shodné, leží pod NDA (např. $A_2 < NDA_2$), není v rozporu, pokud

$$A_1 - U_1 \leq NDA_2 \quad 2$$

Pokud aktivity některý vztah nespĺňují, je nutno nalézt důvod; důvod může být

- v přípravě vzorku (nehomogenita, u dceřiných produktů ^{222}Rn nehermetičnost měřicí nádoby),
- ve stanovení aktivity (v korekcích na hustotu, prvkové složení, pravé koincidence, interference s jiným RN),
- ve stanovení kombinované nejistoty aktivity (nezapočítání všech nejistot nebo jejich podhodnocení),
- v nedodržení časové podmínky pro ustavení rovnováhy mezi dvojicemi RN $^{226}\text{Ra} - ^{222}\text{Rn}$ a $^{238}\text{U} - ^{234}\text{Th}$,
- ve statistické povaze detekce fotonů a kombinované standardní nejistotě s faktorem rozšíření $k=2$, díky kterým až s 5% pravděpodobností nemusí být **vztahy (1) nebo (2)** splněny. Při použití koeficientu rozšíření $k = 3$ ve **vztahu (1)** klesá pravděpodobnost nesplnění vztahu díky statistické povaze děje na 0,3 %, tj. na 3 případy z 1000.

7.4.5 Měření aktivity

V literatuře jsou často udávány rozdílné hodnoty zastoupení energií fotonů. Je doporučeno používat data z volně dostupné databáze „Lara“ [Lara, 2016], kde jsou v současné době soustředěny nejnovější údaje z celého světa, přičemž je prezentována „nejspřávnější“ současná hodnota.

V Příloze 1 v **tabulce P1-c** jsou uvedeny podklady a informace pro stanovení aktivity RN. Hodnoty energií fotonů a jejich zastoupení byly převzaty z databáze „Lara“ [Lara, 2016].

Délka měření pozadí musí být delší nebo v krajním případě stejná jako délka měření vzorku.

Aktivita se vztahuje k době měření vzorku, korekce na přeměnu se neprovádí.

7.4.5.1 Korekce

Při stanovení aktivit RN je nutné vzít v úvahu velikost několika korekcí. Jedná se o korekci na interferenci fotonů jiných RN, na samoabsorpci ve vzorku a na pravé koincidence.

Při všech matematických operacích je nutno pracovat i s nejistotou stanovení, a to jak při neprovedení příslušné korekce (zvětšení nejistoty o odhadnutou velikost korekce), tak při jejím provedení (zvětšení nejistoty o nejistotu provedené korekce).

Všechny korekce musí být aplikovány i na hodnoty NDA.

Korekce na interferenci fotonů

Fotony o energii blízké energii fotonů analyzovaného RN mohou přispívat do oblasti píku analyzovaného RN, takže při daném rozlišení spektrometrické trasy dojde k jejich interferenci. Program pro analýzu spekter v některých případech buď vůbec neidentifikuje v oblasti 2 píky, nebo sice označí oblast jako „obsahující multiplet“, ale plochu složek multipletu chybně stanoví. K ocenění příspěvku interferujícího RN je vhodné stanovit jeho

aktivitu z jiných energií jeho fotonů. Příkladem je dvojice nuklidů ^{226}Ra s energií 186,2 keV a ^{235}U s blízkou energií fotonů 185,72 keV a s dalšími energiemi 143,8 keV a 163,4 keV.

Korekce na samoabsorpci

Korekce na samoabsorpci představuje korekci na rozdílnost hustoty a prvkového složení vzorku a kalibračního etalonu. Korigují se aktivity stanovené pro jednotlivé energie fotonů daného RN ještě před stanovením jejich váženého průměru. U nízkoenergetických fotonů může korekce dosahovat desítky až i několik set % (např. pro 46,5 keV ^{210}Pb).

Při neznámém složení vzorku a při aktivitách blízkých UÚ je vhodné pro odhad velikosti korekce na samoabsorpci u energie 46,5 keV ^{210}Pb použít metodu „prozařování“. Metoda je založena na porovnání odezvy silnějšího bodového zdroje ^{210}Pb o známé aktivitě umístěného postupně nad slabší vrstvou vzorku a stejně silnou vrstvou etalonu krytých z obou stran kolimátorem s malým otvorem.

Pro výpočet korekce na samoabsorpci je možné využít volně dostupný program Efftran [Vidmar, T., 2005]. Zadat je nutné rozměry krystalu detektoru, hustotu, prvkové složení a rozměr vzorku i kalibračního etalonu a jejich umístění na detektoru. Výpočet se provede pro vzorek a i pro etalon; korekce je dána poměrem obou výsledků.

Korekce na pravé koincidence

V případě RN, který emituje fotony o různých energiích, je nutno ocenit velikost pravých koincidenčí vznikajících díky tomu, že při přeměně RN emise fotonů probíhá v krátkém sledu za sebou a spektrometr je časově není schopen rozlišit a předaná energie od všech fotonů se sečte (může jít o různé kombinace Comptonova rozptylu, fotoefektu a případně i tvorby páru).

Pro výpočet korekce na pravé koincidence je opět možné využít volně dostupný program Efftran [Vidmar, T., 2005] – viz výše.

Korekce na radioaktivní přeměnu

Korekce na přeměnu RN se pro účely tohoto doporučení nemusí provádět, neboť je vzhledem k dlouhému poločasu přeměny měřených RN zanedbatelná. Aktivita v době odběru vzorku se pokládá za stejnou jako v době měření vzorku.

7.4.5.2 Kontroly

Spektra přírodních RN i spektra pozadí obsahují často velké množství píků. Aby se předešlo chybám, je potřeba provádět řadu kontrol.

- Kontrolovat správnost energetické kalibrace kontrolou poloh píků, které se vždy vyskytují v pozadí. Odchyłka přiřazené energie k poloze píku ve spektru pomocí energetické kalibrace od deklarované energie musí být menší než 1 keV.
- Kontrolovat správnost odečtu pozad'ových píků ze spektra vzorku.
- Kontrolovat velikost plochy pozad'ových píků vzhledem k celkové ploše hodnoceného píku. Pokud plocha pozad'ového píku je větší než 20 až 30 % celkové plochy píku, mohou přesnost stanovení významně ovlivnit fluktuace pozadí, neboť měření pozadí probíhá v jinou dobu než měření vzorku. Například je-li při měření pozadí pozad'ový pik větší než při měření vzorku (kde je neodlišitelný od píku pocházejícího ze vzorku), dojde k podhodnocení aktivit ve vzorku. Je vhodné dlouhodobě sledovat velikosti pozad'ových píků a porovnávat, zda se hodnoty odečítaného pozadí na jednotlivých energiích příliš neliší od běžně se vyskytujících hodnot; v případě významného rozdílu pracovat raději s dlouhodobým průměrem velikosti pozadí na dané energii, než s hodnotou z posledního měření pozadí. Za běžně se vyskytující hodnotu lze považovat průměrnou hodnotu \pm

dvojnásobek směrodatné odchylky. Poznámka: nelze takto odhalit fluktuaci pozadí během měření vzorku. Její vliv lze omezit buď dlouhým měřením vzorku (minimálně 24 h) nebo opakovaným měřením vzorku a porovnáním výsledků. Rozdíl mezi pozadími v oblasti píků dceřiných produktů radonu měřeném ve dne a v noci může být díky fluktuacím radonu v ovzduší několikanásobný.

- Kontrolovat, zda aktivity stanovené z jednotlivých energií (píků) daného RN všechny náleží hodnocenému RN a jsou vzájemně konzistentní, vysvětlit důvod nekonzistence a odlehlé hodnoty aktivit vyloučit (týká se především odlehlých aktivit s malou nejistotou stanovení, jež by mohly vážený průměr významně ovlivnit).
- Porovnávat aktuální výsledky s výsledky podobných vzorků.

Postupy používané obvykle pro výpočty hmotnostní aktivity, nejistoty stanovení a NDA jsou uvedeny v [Příloze 1-1](#).

V závislosti na požadavcích zadavatele a na naměřených aktivitách lze k hodnocení přistupovat rozdílně. V dalším textu se předpokládá, že byly posouzeny velikosti korekcí aktivity uvedených výše a případně korekce provedeny a započteny z toho plynoucí nejistoty do kombinované nejistoty stanovení.

7.4.5.3 Podrobnosti k postupu stanovení aktivity RN s dlouhým poločasem přeměny

V následujícím textu je u některých stanovení uvedeno více možností. Nejvýhodnější je využít ke stanovení aktivity RN všechny.

^{238}U

- 1) Aktivita ^{238}U se stanoví jako vážený průměr aktivit ^{234}Th a $^{234\text{m}}\text{Pa}$ těch měření, která splňují předpoklad přibližné rovnováhy mezi ^{234}Th a ^{238}U (tj. pokud doba mezi středem shromažďování PRaL pro uvolnění a začátkem měření je delší než cca 80 dnů). Při vyšších aktivitách je vhodnější použít ke stanovení aktivity ^{238}U jen energii 1001 keV ($^{234\text{m}}\text{Pa}$); energie fotonů ^{234}Th jsou nízké a aktivity obtížněji stanovitelné.

Pokud uplynulo mezi středem shromažďování PRaL a začátkem měření méně než 80 dnů, lze odhadnout maximální aktivitu ^{238}U z průběhu nárůstu aktivity ^{234}Th z ^{238}U (viz [levý Obr. 3](#)) následovně: k x-ové souřadnici rovné skutečné době mezi středem shromažďování PRaL a začátkem měření se odečte hodnota podílu P (v %) z levého grafu (číselně roven y-ové souřadnici) a stanoví se faktor $f = 0,01 \times P$. Naměřená aktivita ^{234}Th (nebo aktivita $^{234\text{m}}\text{Pa}$, který je s ^{234}Th v rovnováze) se tímto faktorem f vydělí. V reálné situaci bude aktivita ^{234}Th v době odběru vzorků většinou blízká aktivitě ^{238}U . Stejná operace se provede s nejistotou stanovení.

- 2) V případě přírodního zastoupení ^{238}U a ^{235}U (tj. pokud se nejedná o ochuzený nebo obohacený uran) se aktivita ^{238}U a její kombinovaná standardní nejistota stanoví pomocí aktivity ^{235}U a její nejistoty ze vztahů

$$A_{U\ 238} = \frac{A_{U\ 235}}{0,046} = 21,7 \times A_{U\ 235}$$

$$u_{U\ 238} = \frac{u_{U\ 235}}{0,046} = 21,7 \times u_{U\ 235}$$

Aktivitu ^{235}U je nejvhodnější určit z píku jeho vlastních fotonů o energii 144 a 163 keV nebo fotonů o energii 186 keV po odečtu příspěvku ^{226}Ra stanoveného z dceřiných produktů ^{214}Pb a ^{214}Bi po ustanovení rovnováhy mezi dceřinými produkty radonu a ^{226}Ra .

Pokud je aktivita ^{235}U stanovena z píku 186 keV po odečtu příspěvku ^{226}Ra stanoveného z dceřiných produktů ^{214}Pb a ^{214}Bi bez ustanovení rovnováhy mezi dceřinými produkty radonu a ^{226}Ra , jedná se o odhad maximální aktivity ^{238}U .

Pokud se jedná o přírodní směs ^{235}U a ^{238}U , aktivity ^{238}U stanovené podle 1) a 2) musí vyhovovat vztahům (1) a (2).

^{226}Ra

^{226}Ra emituje fotony o energii 186,2 keV a ^{235}U o energii 185,72 keV a při standardním nastavení spektrometru jsou píky nerozlišitelné.

1) Maximum aktivity ^{226}Ra lze odhadnout výpočtem z celého píku 186 keV, minimum aktivity ^{226}Ra je rovné váženému průměru aktivit ^{214}Pb a ^{214}Bi .

Aktivita ^{226}Ra musí být v rámci nejistoty stanovení vždy větší nebo rovna aktivitě ^{214}Pb a ^{214}Bi .

2) Aktivita ^{226}Ra se stanoví jako vážený průměr aktivit ^{214}Pb a ^{214}Bi , pokud od okamžiku hermetizace uplynulo více než 20 dnů a pokud měřicí nádoba byla dobře naplněna bez vzduchových kapes a hermetizace byla správně provedena.

3) Aktivita ^{226}Ra se stanoví z aktivity ^{235}U tak, že se z celého píku 186 keV odečte příspěvek ^{235}U do píku 186 keV a rozdíl se přiřadí aktivitě ^{226}Ra (podmínkou je správné stanovení aktivity ^{235}U z jeho dalších energií fotonů (143 a 163 keV).

V případě přírodní směsi uranu a za předpokladu rovnováhy aktivity RN v uranové řadě až po ^{226}Ra se při výpočtu aktivity ^{226}Ra z plochy píku 186 keV započítá 57,5 % a při výpočtu aktivity ^{235}U 42,5 % plochy píku. Do výpočtů stačí hodnotu zastoupení zaokrouhlit na 58 % a 42 %.

^{210}Pb

Aktivita se stanoví z píku energie fotonů 46,5 keV. Nutno dbát na stanovení správné korekce na samoabsorpci ve vzorku.

Při neznámém složení vzorku a při aktivitách blízkých UÚ je vhodné pro odhad velikosti korekce na samoabsorpci použít metodu „prozařování“ (viz část 7.4.5.1 Korekce).

^{228}Ra

Aktivita se stanoví pomocí aktivity ^{228}Ac (rovnost aktivit).

^{228}Th

Aktivita se stanoví jako vážený průměr aktivit ^{212}Pb , ^{212}Bi a korigované hodnoty aktivity ^{208}Tl na cesty přeměny. Korigovaná hodnota aktivity ^{208}Tl a její nejistota se stanoví ze vztahu

$$A_{\text{Kor Tl}} = \frac{A_{\text{Tl 208}}}{0,361} \quad u_{\text{Kor Tl}} = \frac{\sigma_{\text{Tl 208}}}{0,361}$$

^{235}U

^{235}U není sice ve výčtu RN, na které by se vztahovala UÚ, ale stanovení jeho aktivity může sloužit ke stanovení aktivity jiných RN s dlouhým poločasem přeměny či k potvrzení jejich aktivity.

- 1) Maximum aktivity ^{235}U lze odhadnout výpočtem z celého píku 186 keV. Pokud je aktivita ^{235}U stanovena z píku 186 keV po odečtu příspěvku ^{226}Ra stanoveného z dceřiných produktů ^{214}Pb a ^{214}Bi bez ustanovení rovnováhy mezi těmito dceřinými produkty radonu a ^{226}Ra , jedná se o realističtější odhad maximální aktivity ^{235}U .
- 2) Aktivita ^{235}U se stanoví z aktivity energie vlastních fotonů 163 keV (vlastní energii fotonů 143 keV vzhledem k interferenci s fotony ^{230}Th je vhodnější nepoužívat).
- 3) Aktivita ^{235}U se stanoví z aktivity ^{226}Ra tak, že se z celého píku 186 keV odečte příspěvek ^{226}Ra do píku 186 keV a rozdíl se přiřadí aktivitě ^{235}U ; podmínkou je správné stanovení aktivity ^{226}Ra z jeho dceřiných produktů ^{214}Pb a ^{214}Bi po ustanovení rovnováhy.
- 4) Aktivita ^{235}U a její nejistota se stanoví z aktivity ^{238}U podle vztahu

$$A_{U\ 235} = 0,046 \times A_{U\ 238} \qquad u_{U\ 235} = 0,046 \times u_{U\ 238}$$

Aktivita stanovené podle bodů 2), 3) a 4) musí vyhovovat vztahům (1) a (2).

V případě přírodní směsi uranu a za předpokladu rovnováhy aktivity RN v uranové řadě až po ^{226}Ra se při výpočtu aktivity ^{235}U započítá 42,5 % plochy píku a při výpočtu aktivity ^{226}Ra 57,5 % plochy píku z píku 186 keV. Do výpočtů stačí hodnotu zastoupení zaokrouhlit na 42 % a 58 %.

^{40}K

Aktivita se stanoví z píku na energii 1460,8 keV.

Aktivita ostatních dlouhodobých RN se již nestanovuje, ale konzervativně se odhadne ze vztahů uvedených v Tab. 4. Pokud aktivita některého RN na pravé straně rovnice leží pod NDA, stanoví se stejným předpisem i NDA RN na levé straně rovnice.

Tab. 4: Odhad aktivity dlouhodobých RN nestanovovaných pomocí spektrometrie gama

Vztah	Poznámka
$A_{U\ 234} = 2 \times A_{U\ 238}$	
$A_{Th\ 230} = 2 \times A_{U\ 238}$	
$A_{Po\ 210} = A_{Pb\ 210}$	Odhad není konzervativní; ve většině případů však budou ^{210}Pb a ^{210}Po v rovnováze nebo ji v krátké době dosáhnou. Pro konzervativní odhad je možno použít vztah $A_{Po\ 210} = 2 \times A_{Pb\ 210}$
$A_{Th\ 232} = A_{Ra\ 228} + A_{Th\ 228}$	

Poznámka

Násobící faktor 2 představuje ve většině případů konzervativní odhad aktivity dopočítávaných RN.

7.4.6 Vztahy pro výpočet aktivity v závislosti na konzistenci vzorku

V níže uvedených bodech a) až e) se nejistota stanovení přepočítává podle vztahu pro šíření chyb, který má následující tvar

$$u_F = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2}$$

V závorce vystupují parciální derivace funkce F podle jednotlivých proměnných, u_{x_i} jsou nejistoty jednotlivých proměnných x_i .

Ve vztazích níže je uvedena kombinovaná standardní nejistota, nikoliv rozšířená. Do vztahů je však možno dosadit přímo rozšířené nejistoty a počítat s nimi; výsledná nejistota bude již rozšířenou nejistotou (v tabulkách v protokolech se uvádějí rozšířené nejistoty).

Nejistota stanovení hmotnosti je vzhledem k ostatním nejistotám zanedbatelná a ve vztazích se nezapočítává. Aktivita a nejistota se uvádějí v Bq/kg, hmotnost v kg.

Hodnoty NDA se přepočítávají pomocí stejných vztahů jako aktivity. Pokud se ve vztazích níže výsledná aktivita počítá pomocí dvou aktivit a obě dvě leží pod NDA, výsledek výpočtu se označí jako NDA. Pokud pouze 1 z nich leží pod NDA, dosadí se do vztahu místo ní hodnota NDA a za nejistotu se do výpočtu dosadí 50 % hodnoty NDA. Výsledek se uvede jako reálná aktivita (jedná se o konzervativní odhad aktivity).

V závislosti na konzistenci vzorku popsané v bodech a) až c) v části 7.1. a přístupu laboratoře ke stanovení aktivity lze rozlišit 5 situací popsaných níže v bodech a) až e).

a) Vzorek je měřen ve stavu, v jakém byl dodán.

Aktivita se uvede v Bq/kg dodaného „nativního“ vzorku (A_N).

A_N - aktivita vztažená na kg nativního vzorku (tj. vzorku ve stavu, v jakém byl dodán)

b) Vzorek je měřen ve stavu, v jakém byl dodán, a je stanoven obsah vody nebo je vzorek měřen po vysušení.

Aktivita se uvede v Bq/kg dodaného vzorku (A_N) a v Bq/kg vysušené pevné fáze (A_P).

Uvede se podíl vody ve vzorku (P_K) nebo podíl pevné fáze (P_P) ve vzorku.

b1) Vzorek měřen ve stavu, v jakém byl dodán, stanoven obsah vody

$$A_P = \frac{m_{Ali(VZ)}}{m_{Ali(P)}} A_N = \frac{A_N}{P_P}$$

$$u_{A_P} = \frac{m_{Ali(VZ)}}{m_{Ali(P)}} u_{A_N} = \frac{u_{A_N}}{P_P}$$

$$P_P = \frac{m_{Ali(P)}}{m_{Ali(VZ)}}$$

$$P_K = 1 - P_P$$

b2) Vzorek měřen po vysušení, stanoven obsah vody

$$A_N = \frac{m_P}{m_{VZ}} A_P = P_P \times A_P$$

$$u_{A_N} = \frac{m_P}{m_{VZ}} u_{A_P} = P_P \times u_{A_P}$$

$$P_P = \frac{m_P}{m_{VZ}}$$

$$P_K = 1 - P_P$$

A_P	aktivita vztažená na kg pevné fáze vysušeného vzorku (odpovídá celkové aktivitě, která bude ve vzorku po odpaření veškeré vody z dodaného vzorku dělené hmotností pevné fáze)
A_N	aktivita vztažená na kg nativního vzorku (tj. vzorku ve stavu, v jakém byl dodán)
u_{AN}	nejistota stanovení aktivity A_N
u_{AP}	nejistota stanovení aktivity A_P
m_P	hmotnost pevné fáze
m_{VZ}	hmotnost vzorku
$m_{Ali(P)}$	hmotnost alikvotní části vzorku pevné fáze po vysušení
$m_{Ali(VZ)}$	hmotnost alikvotní části vzorku ve formě, v jaké byl dodán
P_P	podíl pevné fáze
P_K	podíl kapalné fáze

- c) **Vzorek se samovolně dělí na 2 fáze, každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se měří i se zbytkovou kapalinou. Nestanovuje se podíl zbytkové kapaliny v oddělené pevné části.**

Například se může jednat o směs oleje s pevnou fází.

Aktivita se uvede v Bq/kg dodaného vzorku (A_N) a v Bq/kg každé fáze (A_{P+ZK} , A_K).

Uvede se podíl oddělené kapalné fáze (P_{K-ZK}) ve vzorku s poznámkou, že pevná fáze obsahovala nezjištěný zbytkový podíl kapaliny.

Přepočet aktivity

$$A_N = \frac{m_{P+ZK} \times A_{P+ZK} + m_{K-ZK} \times A_K}{m_{VZ}} = P_{P+ZK} \times A_{P+ZK} + P_{K-ZK} \times A_K$$

$$u_{AN} = \sqrt{\left(\frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_{P+ZK}})^2 + \left(\frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_K})^2}$$

$$= \sqrt{P_{P+ZK}^2 \times u_{A_{P+ZK}}^2 + P_{K-ZK}^2 \times u_{A_K}^2}$$

$$P_{K-ZK} = \frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{P+ZK} = \frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{P+ZK} = 1 - P_{K-ZK}$$

A_{P+ZK} aktivita vztažená na kg pevné fáze se zbytkovou kapalinou

A_K	aktivita vztažená na kg oddělené kapalně fáze
A_N	aktivita vztažená na kg nativního vzorku (tj. vzorku ve stavu, v jakém byl dodán)
u_{AP+ZK}	nejistota stanovení aktivity A_{P+ZK}
u_{AK}	nejistota stanovení aktivity A_K
u_{AN}	nejistota stanovení aktivity A_N
m_{VZ}	hmotnost vzorku
m_{P+ZK}	hmotnost pevné fáze se zbytkovou kapalinou
m_{K-ZK}	hmotnost oddělené kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny v pevné fázi)
P_{P+ZK}	podíl pevné fáze se zbytkovou kapalinou
P_{K-ZK}	podíl oddělené kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny v pevné fázi)

d) Vzorek se samovolně dělí na 2 fáze (kapalnou fází je voda), každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se měří i se zbytkovou vodou. Stanoví se podíl zbytkové vody v oddělené pevné části. Vodní fázi je výhodné měřit ve formě odparku.

Aktivita se uvede v Bq/kg dodaného vzorku (A_N), v Bq/kg vysušené pevné fáze (A_P) a v Bq/kg ve vodní fázi (A_K).

Uvede se celkový podíl pevné fáze (P_P) a celkový podíl vodní fáze (P_K) ve vzorku. Podíly oddělené pevné fáze se zbytkovou vodou (P_{P+ZK}), oddělené vodní fáze (P_{K-ZK}) a podíl zbytkové vodní fáze vzhledem k pevné části vzorku se zbytkovou vodou ($P_{P/(P+ZK)}$) se nemusí uvádět.

Poznámka: vztahy pro A_N a u_{AN} jsou stejné jako v bodě c).

$$A_N = \frac{m_{P+ZK} \times A_{P+ZK} + m_{K-ZK} \times A_K}{m_{VZ}} = P_{P+ZK} \times A_{P+ZK} + P_{K-ZK} \times A_K$$

$$u_{AN} = \sqrt{\left(\frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_{P+ZK}})^2 + \left(\frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_K})^2}$$

$$= \sqrt{P_{P+ZK}^2 \times u_{A_{P+ZK}}^2 + P_{K-ZK}^2 \times u_{A_K}^2}$$

$$A_P = \frac{m_{VZ}}{m_P} A_N = \frac{A_N}{P_P} = \frac{m_{VZ} \times m_{Ali(P+ZK)}}{m_{Ali(P)} \times m_{P+ZK}} A_N$$

$$u_{A_P} = \frac{m_{VZ}}{m_P} u_{A_N} = \frac{u_{A_N}}{P_P} = \frac{m_{VZ} \times m_{Ali(P+ZK)}}{m_{Ali(P)} \times m_{P+ZK}} u_{A_N}$$

$$P_{P+ZK} = \frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{K-ZK} = \frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{P+ZK} + P_{K-ZK} = 1$$

$$P_{P/(P+ZK)} = \frac{m_{Ali(P)}}{m_{Ali(P+ZK)}}$$

$$P_P = P_{P/(P+ZK)} \times P_{P+ZK} = \frac{m_{Ali(P)}}{m_{Ali(P+ZK)}} \times \frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_K = 1 - P_P$$

$$m_P = P_P \times m_{VZ} = \frac{m_{Ali(P)}}{m_{Ali(P+ZK)}} m_{P+ZK}$$

A_{P+ZK}	aktivita vztažená na kg pevné fáze se zbytkovou kapalinou
A_K	aktivita vztažená na kg oddělené kapalně fáze
A_N	aktivita vztažená na kg nativního vzorku (tj. vzorku ve stavu, v jakém byl dodán)
A_P	aktivita vztažená na kg pevné fáze vysušeného vzorku (odpovídá aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření veškeré vody z dodaného vzorku)
u_{AP+ZK}	nejistota stanovení aktivity A_{P+ZK}
u_{AK}	nejistota stanovení aktivity A_K
u_{AN}	nejistota stanovení aktivity A_N
u_{AP}	nejistota stanovení aktivity A_P
m_{VZ}	hmotnost vzorku
m_{P+ZK}	hmotnost pevné fáze se zbytkovou kapalinou
m_{K-ZK}	hmotnost oddělené kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny v pevné fázi)
m_P	hmotnost pevné fáze
$m_{Ali(ZK)}$	hmotnost vody v alikvotní části vzorku pevné fáze se zbytkovou vodou
$m_{Ali(P+ZK)}$	hmotnost alikvotní části vzorku pevné fáze se zbytkovou vodou
P_{P+ZK}	podíl pevné fáze se zbytkovou kapalinou
P_{K-ZK}	podíl oddělené kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny; $P_{P+ZK} + P_{T-ZK} = 1$)
$P_{P/(P+ZK)}$	podíl zbytkové kapalně fáze vzhledem k pevné části vzorku se zbytkovou kapalinou
P_P	celkový podíl pevné fáze v dodaném vzorku
P_K	celkový podíl kapalně fáze v dodaném vzorku; $P_P + P_K = 1$

- e) **Vzorek se samovolně dělí na 2 fáze (kapalnou fází je voda), každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se před měřením vysuší. Vodní fázi je výhodné měřit ve formě odparku.**

Aktivita se uvede v Bq/kg dodaného vzorku (A_N), v Bq/kg vysušené pevné fáze (A_P) a v Bq/kg ve vodní fázi (A_K).

Uvede se celkový podíl pevné fáze (P_P) a celkový podíl vodní fáze (P_K). Podíly oddělené pevné fáze se zbytkovou vodou (P_{P+ZK}) a oddělené vodní fáze (P_{K-ZK}) se nemusí uvádět.

$$A_N = \frac{m_P \times A_{P-\text{část}} + m_{K-ZK} \times A_K}{m_{VZ}}$$

$$u_{A_N} = \sqrt{\left(\frac{m_P}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_{P-\text{část}}})^2 + \left(\frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}\right)^2 (u_{A_K})^2}$$

$$A_P = \frac{m_{VZ}}{m_P} A_N$$

$$u_{A_P} = \frac{m_{VZ}}{m_P} u_{A_N}$$

$$P_P = \frac{m_P}{m_{VZ}}$$

$$P_K = 1 - P_P$$

$$P_{P+ZK} = \frac{m_{P+ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{K-ZK} = \frac{m_{K-ZK}}{m_{VZ}}$$

$$P_{P+ZK} + P_{K-ZK} = 1$$

A_K	aktivita vztažená na kg oddělené kapalně fáze
$A_{P-\text{část}}$	aktivita vztažená na kg pevné fáze vysušeného vzorku po oddělení kapalně fáze (naměřená aktivita ve vzorku pevně fáze po odpaření zbytkové vody)
A_N	aktivita vztažená na kg nativního vzorku (tj. vzorku ve stavu, v jakém byl dodán)
A_P	aktivita vztažená na kg pevně fáze vysušeného vzorku (odpovídá aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření veškeré vody z dodaného vzorku)
u_{A_K}	nejistota stanovení aktivity A_K
$u_{A_{P+\text{část}}}$	nejistota stanovení aktivity $A_{P+\text{část}}$
u_{A_N}	nejistota stanovení aktivity A_N
u_{A_P}	nejistota stanovení aktivity A_P
m_{VZ}	hmotnost vzorku
m_{P+ZK}	hmotnost pevně fáze se zbytkovou kapalinou
m_{K-ZK}	hmotnost odděleně kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny v pevně fázi)
m_P	hmotnost pevně fáze
P_{P+ZK}	podíl pevně fáze se zbytkovou kapalinou
P_{K-ZK}	podíl odděleně kapalně fáze (tj. bez započtení zbytkové kapaliny; $P_{P+ZK} + P_{K-ZK} = 1$)
P_P	celkový podíl pevně fáze v dodaném vzorku
P_K	celkový podíl kapalně fáze v dodaném vzorku;

$$P_P + P_K = 1$$

Příklady jsou uvedeny v [Příloze 1-2](#).

7.5 Zpracování, vyjadřování a hodnocení výsledků

Je-li hmotnostní aktivita vyšší než NDA, uvede se jako výsledek stanovení hmotnostní aktivita A (Bq/kg) a rozšířená nejistota U (Bq/kg) nebo relativní rozšířená nejistota U_r (%). Rozšířená nejistota se stanoví jako součin kombinované standardní nejistoty a koeficientu rozšíření $k = 2$. V protokolu musí být uvedeno, že se jedná o rozšířenou nejistotu s koeficientem rozšíření $k = 2$.

Je-li hmotnostní aktivita nižší než NDA, uvede se jako výsledek stanovení vyjádření „nižší než NDA“ nebo „< NDA“, přičemž místo akronymu NDA se dosadí příslušná číselná hodnota a jednotka Bq/kg.

Nejistota a NDA se udávají nejvýše na 2 platná místa a aktivita se dle polohy platných míst nejistoty zaokrouhluje (např. $1557,6 \pm 131,5$ se zaokrouhlí na 1560 ± 130 nebo na 1560 ± 140 ; nejistotu je možno vždy zaokrouhlovat směrem nahoru). V průběhu výpočtu je vhodné pracovat s větším počtem platných míst, konečný výsledek se však zaokrouhlí výše uvedeným způsobem.

Výsledky měření obsahu RN v uvolňované PRaL se hodnotí ve vztahu k UÚ hmotnostní aktivity dlouhodobých RN. Hodnocení může být buď vloženo do protokolu o měření, například jako „odborné stanovisko“, nebo může být uvedeno v příloze k protokolu. Pokud se výsledek měření neliší od UÚ o více, než je rozšířená nejistota, zohlední se tato skutečnost v hodnocení použitím formulace „převyšuje/nepřevyšuje s výhradou nejistoty stanovení“. Formulace, které je doporučeno používat při vyjadřování výsledků, jsou uvedeny v [Tab. 5](#). Za překročení UÚ se považuje situace, kdy rozdíl aktivity a rozšířené kombinované nejistoty stanovení je větší než UÚ (řádek 4 „A - U > UÚ“ z [Tab. 5](#)). Vztahy a formulace platí i pro dopočítávané RN.

Vzhledem k předpisu pro dopočítávání aktivit budou UÚ pro ^{234}U , ^{230}Th , resp. ^{232}Th překročeny při aktivitě ^{238}U , resp. ^{228}Ra a ^{228}Th nižší než je 1000 Bq/kg v závislosti na velikosti nejistoty stanovení ^{238}U , ^{228}Ra a ^{228}Th . Například při rozšířené relativní nejistotě od 0 % do 30 % (dle [Tab. 3](#) je nejistota stanovení při vyšších aktivitách maximálně 15% a rozšířená nejistota 30%) nebude ještě UÚ ^{234}U a ^{230}Th překročena, pokud bude aktivita ^{238}U ležet v rozmezí od (500 ± 0) do (715 ± 215) Bq/kg; při vyšší aktivitě a zachování nejistoty k překročení UÚ již dojde. Při aktivitě $^{238}\text{U} > 715$ Bq/kg a nejistotě $U < 30$ % bude aktivita ^{234}U a ^{230}Th dle tohoto postupu překročena vždy. Podobné omezení platí i pro aktivitu ^{232}Th .

V [Příloze 5](#) jsou uvedeny informace o vybraných RaL.

Při požadavku na přesnější stanovení aktivity dopočítávaných RN je nutné použít jiné metody, např. spektrometrie alfa s předcházející poměrně složitou radiochemickou přípravou vzorku.

Tab. 5: Formulace při vyjadřování a hodnocení výsledků

	Výsledek měření (Bq/kg)	Formulace
1	$A + U < U\dot{U}$	Hmotnostní aktivita radionuklidů (<i>RN vyjmenovat</i>) nepřevyšuje uvolňovací úroveň 1 000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb., pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.
2	$A < U\dot{U} < A + U$	Hmotnostní aktivita radionuklidů (<i>RN vyjmenovat</i>) nepřevyšuje s výhradou nejistoty stanovení uvolňovací úroveň 1 000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb., pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.
3	$A > U\dot{U} > A - U$	Hmotnostní aktivita radionuklidů (<i>RN vyjmenovat</i>) převyšuje s výhradou nejistoty stanovení uvolňovací úroveň 1 000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb., pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.
4	$A - U > U\dot{U}$	Hmotnostní aktivita radionuklidů (<i>RN vyjmenovat</i>) převyšuje uvolňovací úroveň 1 000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb., pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.
Pro ^{40}K se uvádí stejná formulace s tím rozdílem, že se uvede uvolňovací úroveň 10 000 Bq/kg.		
Pokud je zřejmé, o jaké RN se jedná, je možno místo vyjmenování RN použít vyjádření slovy „aktivita všech RN“ nebo „aktivita ostatních RN“		

Poznámky

A – aktivita v Bq/kg, U – rozšířená kombinovaná nejistota stanovení v Bq/kg s koeficientem rozšíření $k = 2$

Výsledky stanovení aktivit se uvádí v tabulkách. Podoba tabulek závisí na druhu vzorku (viz část 7.1 body a) až c)) a na úpravě vzorku k měření (viz část 7.4.6). Z tabulek musí být zřejmé, k jaké konzistenci vzorku či k jak upravenému vzorku se tabulka vztahuje. V každém případě musí být uvedena tabulka s výsledky (v Bq/kg) vztahujícími se ke konzistenci dodaného vzorku; je však vhodné uvést i výsledek vztahující se ke konzistenci skutečně měřeného vzorku, způsob přepočtu hodnot mezi tabulkami a další informace, které usnadní posouzení výsledků. K tabulce s hodnotami hmotnostních aktivit vztažených ke konzistenci uvolňované PRaL je vhodné uvést shrnující slovní vyjádření dle Tab. 5.

Součástí protokolu musí být i „závěr s návrhem dalšího postupu“, kterým se obvykle rozumí návrh postupu při překročení $U\dot{U}$ (viz část 8 tohoto doporučení). V případě nepřekročení $U\dot{U}$ stačí k tomuto bodu uvést pouze „Požadován jen v případě překročení uvolňovací úrovně“.

Podklady pro odhad relativní standardní nejistoty jsou uvedeny v Příloze 1-1.

Příklady hodnocení jsou uvedeny v Příloze 1-2.

7.6 Protokol

O měření každého vzorku vyhotoví laboratoř protokol, který splňuje náležitosti uvedené v Příloze č. 19 bod 8.2. vyhlášky, s vyznačením alespoň těchto údajů:

- číslo protokolu
- identifikační údaje laboratoře
- specifikace použité metodiky měření a účel měření
- identifikační údaje objednatele měření

- e) identifikační údaje osoby, která uvolňuje PRaL
- f) identifikační údaje pracoviště, z něhož je uvolňována PRaL
- g) číslo vzorku, pod nímž je vzorek evidován v laboratoři
- h) identifikace PRaL (název, bližší specifikace)
- i) způsob uvolňování PRaL
- j) určené použití PRaL
- k) období shromažďování PRaL (datum od – do)
- l) místo odběru vzorku včetně bližšího určení, datum odběru vzorku
- m) způsob odběru vzorku (například bodový odběr, směsný vzorek)
- n) identifikační údaje osoby, která vzorek odebrala (jméno, firma)
- o) informace o případné úpravě vzorku mimo měřicí laboratoř
- p) použitá metoda měření a měřicí zařízení
- q) u stanovených měřidel čísla jejich ověřovacích listů a doba jejich platnosti
- r) identifikační údaje osoby, která měření provedla
- s) místo a datum provedení měření
- t) výsledky měření
- u) hodnocení výsledků měření
- v) závěr s návrhem dalšího postupu
- w) datum vystavení protokolu
- x) podpis fyzické osoby s příslušným oprávněním zvláštní odborné způsobilosti, která zajišťuje plnění povinnosti při měření, a držitele povolení provádějícího měření, je-li fyzickou osobou, nebo statutárního orgánu držitele povolení provádějícího měření, je-li právnickou osobou.

Při zachování všech požadovaných informací může být protokol společný pro více vzorků.

Pod bodem „u) hodnocení výsledků měření“ se obvykle rozumí slovní vyjádření k tabulkám s výsledky měření a jejich porovnání s UÚ.

Pod bodem „v) závěr s návrhem dalšího postupu“ se obvykle rozumí návrh postupu při překročení UÚ (viz [část 8](#) tohoto doporučení). V případě nepřekročení UÚ stačí k tomuto bodu uvést pouze „Požadován jen v případě překročení uvolňovací úrovně“.

Aby se vyhovělo požadavkům vyhlášky i akreditace, je možno hodnocení uvést jako součást protokolu a nadepsat je „Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko“. Nebo může být hodnocení uvedeno v příloze k protokolu stejně jako bod „v) závěr s návrhem dalšího postupu“.

Údaje podle písm. h) až o) není třeba uvádět, pokud přílohou protokolu je záznam o odběru vzorku.

Protokol o měření včetně příloh se zakládá u producenta uvolňované PRaL jako součást evidence výsledků systematického měření a hodnocení obsahu RN a současně se zasílá na SÚJB (po dohodě může na SÚJB protokol zasílat laboratoř). Stejnopis protokolu včetně příloh

archivuje laboratoř v listinné nebo elektronicky nezměnitelné podobě (například soubory typu pdf nebo naskenované dokumenty).

8 Postup při překročení uvolňovací úrovně

Za překročení UÚ se považuje situace, kdy aktivita (se zahrnutím nejistoty) libovolného hodnoceného RN překračuje uvolňovací úroveň, tj. pro aspoň jeden hodnocený RN platí

$$A_N - U > U\dot{U}$$

kde

A_N aktivita RN
 U rozšířená kombinovaná nejistota stanovení

Za řešení situace při překročení UÚ odpovídá provozovatel pracoviště.

Příklady hodnocení jsou uvedeny v [Příloze 1-2](#).

Při posuzování velikosti překročení UÚ je třeba zohlednit i možnou nehomogenitu obsahu RN v PRaL, hodnoty aktivit vyjádřené v Bq/kg suchého vzorku (pokud obsahoval vzorek vodu) a předchozí výsledky stanovení RN.

Je-li prokazatelně zjištěno překročení UÚ, a není-li uvolňovaná PRaL určena k výrobě stavebních materiálů, provede se výpočet efektivní dávky zohledňující možné expoziční scénáře přicházející v úvahu v souvislosti s uvolňováním PRaL postupem podle [Části 3](#) a s přihlédnutím k ukázkovým expozičním scénářům v souvislosti s uvolňováním PRaL, viz [Příloha 3-2](#).

Předchozí větu v podobném znění lze uvést v příloze k protokolu o měření jakožto „závěr s návrhem dalšího postupu“ požadovaný vyhláškou.

9 Související dokumenty

[ČSN 75 7600, 2013](#). ČSN 75 7600, Jakost vod – Stanovení radionuklidů – Všeobecná ustanovení. ČNI 2003

[ČSN EN ISO/IEC 17025, 2005](#). ČSN EN ISO/IEC 17025, Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří. ČNI 2005

[ČSN IEC 1452, 1998](#). Přístroje jaderné techniky – Měření emisí gama záření radionuklidů – Kalibrace a užití germaniových spektrometrů

[ČSN ISO 10703, 2008](#). ČSN ISO 10703, Jakost vod – Stanovení objemové aktivity radionuklidů spektrometrií záření gama s vysokým rozlišením. ČNI 2008

[Doporučení ICRP 103, 2007](#). ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Ann. ICRP 2007

[Doporučení SÚJB, 2008](#). Postupy při výpočtu ozáření obyvatelstva přírodními radionuklidy uvolňovanými do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech ovlivněných hornickou činností, SÚJB Praha 2008

[Doporučení SÚJB, 2008a](#). Metodický návod pro měření na pracovištích, kde může dojít k významnému ozáření z přírodních zdrojů, a určení efektivní dávky, SÚJB Praha 2008

[Doporučení SÚJB, 2017](#). Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu

Kvalimetrie 9, 1999. Kvalimetrie 9. Vhodnost analytických metod pro daný účel. Laboratorní příručka pro validaci metod a související činnosti. Eurachem – ČR 1999

Kvalimetrie 11, 2001. Stanovení nejistoty analytického měření. Pokyn Eurachem/CITAC. Eurachem – ČR 2001

Lara, 2016. <http://laraweb.free.fr/>, Národní laboratoř Henriho Becquerela, Francie (Laboratoire National Henri Becquerel)

MŽP, 2015. Plán odpadového hospodářství České republiky na období 2015 – 2024. 2015)

Směrnice Rady 2013, 2014. Směrnice Rady 2013/59/Euratom. 2014, Evropský parlament

Vidmar, T., 2005. Vidmar, T., EFFTRAN - a Monte Carlo efficiency transfer code for gamma-ray spectrometry. Nuclear Instruments and Methods A 550, 603-608, 2005. Možno získat zasláním žádosti na tim.vidmar@sckcen.be (viz <http://www.ffmpeg.com/>)

Vlček, 2000. Vlček, J., Dílčí úkol. Materiály s vyšším obsahem přírodních radionuklidů - analýza a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodárenských kalcích; průběžná zpráva Úkolu č. 4 Projektu institucionálního výzkumu SÚRO: Studium ozáření obyvatelstva ČR z přírodních zdrojů, SÚRO 2000

Vyhláška. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška 345, 2002. Vyhláška č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, ve znění pozdějších předpisů

Zákon 185, 2001. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Zákon. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů

Zákon 505, 1990. Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů

Zákon 22, 1997. Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů

Příloha 1-1: Výpočetní postupy a podklady pro stanovení aktivity RN

Stanovení aktivity, nejistoty stanovení a hodnot NVA a NDA

Nejmenší detekovatelná hmotnostní aktivita NDA se stanoví pro hladinu spolehlivosti 95 % ($\alpha = \beta = 0,05$) například postupem podle ČSN 75 7600 nebo podle této Přílohy.

Měření hmotnostních aktivit RN spektrometrem s detektorem HPGe vychází obvykle z následujícího postupu: ve spektru se vyznačí a analyzují oblasti zájmu, které odpovídají úplné absorpci významnějších energií záření gama stanovovaných RN (nebo krátkodobých produktů jejich přeměny za podmínek radioaktivní rovnováhy ve vzorku). Analýza oblastí zájmu zahrnuje stanovení plochy píku Pl (imp/s), standardní nejistoty u_{Pl} (imp/s), nejmenší významné plochy píku Pl_{NV} (imp/s) a s ní svázané nejmenší detekovatelné plochy píku Pl_{ND} (imp/s).

Poznámka: Plochou píku je zde míněna četnost impulsů v ploše píku.

Pro výpočet se použijí vztahy

$$Pl = \frac{1}{t_v} \cdot \left(N_A - N_B \cdot \frac{k_A}{k_B} - P_p \cdot \frac{t_v}{t_p} \right) \quad Pl-1$$

$$u_{Pl} = \frac{1}{t_v} \cdot \sqrt{N_A + N_B \cdot \left(\frac{k_A}{k_B} \right)^2 + \left(u_p \cdot \frac{t_v}{t_p} \right)^2} \quad Pl-2$$

$$Pl_{NV} = \frac{k}{t_v} \sqrt{N_B \cdot \frac{k_A}{k_B} \cdot \left(1 + \frac{k_A}{k_B} \right) + P_p \cdot \frac{t_v}{t_p} + \left(u_p \cdot \frac{t_v}{t_p} \right)^2} \quad Pl-3$$

$$Pl_{ND} = \frac{k^2}{t_v} + 2 \cdot Pl_{NV} \quad Pl-4$$

Dosazením z (Pl-3) do (Pl-4) a za kvantil $k=1,645$ se získá

$$Pl_{ND} = \frac{2,71}{t_v} + \frac{3,29}{t_v} \sqrt{N_B \cdot \frac{k_A}{k_B} \cdot \left(1 + \frac{k_A}{k_B} \right) + P_p \cdot \frac{t_v}{t_p} + \left(u_p \cdot \frac{t_v}{t_p} \right)^2} \quad Pl-4a$$

kde

Pl plocha píku (v imp/s)

Pl_{NV} nejmenší významná plocha píku (v imp/s)

Pl_{ND} nejmenší detekovatelná plocha píku (v imp/s)

u_{Pl} standardní nejistota plochy píku Pl (v imp/s)

k kvantil jednostranného normálního rozdělení (pro hladinu spolehlivosti 95 % $k = 1,645$, $k^2=2,71$, $2k = 3,29$)

k_A počet kanálů v oblasti zájmu, ze kterých je stanovena plocha píku (tj. počet kanálů „pod píkem“, které celkem obsahují N_A impulsů)

k_B počet kanálů v oblasti zájmu, ze kterých je stanovena základna pod píkem (tj. počet kanálů na obou stranách píku, které celkem obsahují N_B impulsů)

N_A	celkový počet impulsů v k_A kanálech, ze kterých je stanovena plocha píku (tj. impulsy náležející ploše píku a „comptonovskému“ pozadí pod píkem)
N_B	celkový počet impulsů v k_B kanálech, ze kterých je stanovena základna pod píkem (tj. celkový počet impulsů v okolí píku sloužícího pro odečet „comptonovského“ pozadí píku)
P_p	plocha píku ve spektru pozadí (získána z měření pozadí)
u_p	standardní nejistota plochy píku P_p ve spektru pozadí
t_v	délka měření vzorku (v sekundách)
t_p	délka měření pozadí (v sekundách)

Hmotnostní aktivita A (Bq/kg), nejmenší významná aktivita NVA (Bq/kg) a nejmenší detekovatelná aktivita NDA (Bq/kg) se vypočtou s použitím vztahů

$$A = \frac{Pl}{m \cdot \eta_P \cdot \gamma \cdot F_a \cdot F_c} \quad P1-5$$

$$NVA = \frac{Pl_{NV}}{m \cdot \eta_P \cdot \gamma \cdot F_a \cdot F_c} \quad P1-6$$

$$NDA = \frac{Pl_{ND}}{m \cdot \eta_P \cdot \gamma \cdot F_a \cdot F_c}, \text{ resp.} \quad P1-7$$

$$NDA = \frac{k^2}{t_v \cdot m \cdot \eta_P \cdot \gamma \cdot F_a \cdot F_c} + 2 \cdot NVA \quad P1-7a$$

kde

A	aktivita (v Bq/kg)
NVA	nejmenší významná aktivita (v Bq/kg)
NDA	nejmenší detekovatelná aktivita (v Bq/kg)
m	hmotnost měřeného vzorku (v kg)
η_P	fotopíková detekční účinnost (bezrozměrná)
γ	výtěžek fotonů dané energie na 1 přeměnu (bezrozměrný)
F_c	korekce na pravé koincidence (bezrozměrná)
F_a	korekce na samoabsorpci (hustotu a prvkové složení vzorku) (bezrozměrná)

Poznámky:

- v *tabulce P1-c* jsou uvedeny podklady a informace pro stanovení aktivity RN
- délka měření vzorku t_v ve vztazích (P1-5) až (P1-7) je obsažena ve veličině plocha píku, která je vyjádřena v imp/s
- korekci F_a a F_c se v některých vztazích v literatuře násobí; potom je definována jako převrácená hodnota této
- délka měření pozadí musí být delší nebo stejná jako délka měření vzorku; při délce měření vzorku větší, než délka měření pozadí, se významně zvyšuje nejistota stanovení
- aktivita se vztahuje k době měření vzorku, korekce na přeměnu se neprovádí.

NDA pro jinou délku měření vzorku (t_2) lze odhadnout pomocí přibližného vztahu

$$NDA_2 = \sqrt{\left(\frac{t_1}{t_2}\right)} NDA_1 \quad P1-8$$

Nejistota aktivity se vypočte dle vztahu pro šíření chyb, který má následující tvar

$$u_F = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2 u_{x_i}^2} \quad P1-9$$

V závorce vystupují parciální derivace funkce F (aktivity) podle jednotlivých proměnných, u_{x_i} jsou nejistoty jednotlivých proměnných x_i . Při výpočtech se dosazuje za nejistotu kombinovaná standardní nejistota jednotlivých proměnných. Aplikací na vztah (P1-5) pro stanovení aktivity se získá vztah pro nejistotu stanovení aktivity u_A

$$u_A = A \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{Pl}}{Pl}\right)^2 + \left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_\eta}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{u_\gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{u_{Fa}}{F_a}\right)^2 + \left(\frac{u_{Fc}}{F_c}\right)^2 + \left(\frac{u_R}{R}\right)^2} \quad P1-10$$

kde

- u_A kombinovaná standardní nejistota stanovení aktivity (v Bq/kg) u_{Pl} standardní nejistota plochy píku Pl (v imp/s)
- u_m nejistota stanovení hmotnosti (v kg)
- u_η nejistota stanovení účinnosti (bezrozměrná)
- u_γ nejistota stanovení výtěžku fotonů dané energie na 1 přeměnu (bezrozměrná)
- u_{Fa} nejistota stanovení korekce na samoabsorpci, tj. hustotu a prvkové složení vzorku (bezrozměrná)
- u_{Fc} nejistota stanovení korekce na pravé koincidence (bezrozměrná)
- u_R další nejistoty stanovení, např. přípravy vzorků včetně umístění vzorku na detektor a homogenity vzorku při setřesení menších částic ke dnu nádoby apod. (bezrozměrná)

Poznámky:

- *Nejistotu stanovení korekce na samoabsorpci (resp. na pravé koincidence) je nutno zadat následovně: je-li např. korekce $F_a = 0,9$, tj. korekce je velikosti 10%, a nejistota této 10ti procentní korekce je 20 % (ve významu kombinované standardní nejistoty korekce), znamená to, že se korekce pohybuje v intervalu od $(0,9 - 0,2 \times 0,1)$ do $(0,9 + 0,2 \times 0,1)$, tj. v intervalu od 0,88 do 0,92. Nejistota korekce u_{Fa} je tedy 0,02 a podíl $u_{Fa}/F_a = 0,02/0,9 = 0,022$, tj. relativní nejistota vzhledem k celku je přibližně 2,2 %. Podobně je nutno postupovat v případě korekce F_c .*
- *Pokud korekce F_a a F_c nejsou provedeny (ve vztahu (P1-5) až (P1-7) se položí $F_c = F_a = 1$), dosadí se místo jejich nejistot odhad velikosti této korekce. Byla-li by např. korekce F_a odhadnutá z předchozích zkušeností v rozmezí 0,95 - 1,05, tj. 5%, dosadí se za podíl $u_{Fa}/F_a = 0,05$. Může se jednat např. o situaci, kdy vzorek má hustotu blízkou kalibrační hustotě a prvkové složení vzorku není přesně známo. Situace se liší od příkladu výše v tom, že v tomto případě není známo, zda korekce je větší nebo menší než 1.*
- *Může nastat i situace, kdy je možné provést korekci na hustotu, ale prvkové složení není známé. Pak se uplatní přístup popsany v obou výše uvedených příkladech současně – korekce na hustotu jako v 1. příkladu a korekce na prvkové složení jako v 2. příkladu a zavedou se 2 korekce (F_a , $F_{a'}$), přičemž výsledná korekce je jejich součinem $F_a = F_a \cdot F_{a'}$. Ve vztahu (P1-10) se místo členu $(u_{Fa}/F_a)^2$ dosadí součet $(u_{Fa}/F_a)^2 + (u_{Fa'}/F_{a'})^2$. Například při korekci na hustotu s $F_{a'} = 0,9$ a s $u_{Fa'} = 0,02$ a korekcí na neznalost*

prvkového složení 5% a tedy s $F_a = 1$ a s $u_{Fa} = 0,05$ vychází $F_a = 0,9 \times 1 = 0,9$ a $(u_{Fa}/F_a)^2 = (0,02/0,9)^2 + 0,05^2 = 0,00299$, tj. $u_{Fa}/F_a = 0,055$.

Vztah (P1-10) lze přepsat pomocí relativních nejistot

$$u_{rA} = \sqrt{u_{rPl}^2 + u_{rm}^2 + u_{r\eta}^2 + u_{r\gamma}^2 + u_{rFa}^2 + u_{rFc}^2 + u_{rR}^2} \quad P1-10a$$

kde

u_{ri} relativní kombinované standardní nejistoty jednotlivých proměnných i (v %)

u_{rA} relativní kombinovaná standardní nejistota aktivity (v %)

Pokud se stanovuje aktivita daného RN z více píků, stanovuje se jako vážený průměr aktivit vypočtených z jednotlivých píků s provedenými korekcemi (F_a a F_c), kde vahou je druhá mocnina převrácené hodnoty kombinované standardní nejistoty.

$$A = \frac{\sum w_i \cdot A_i}{\sum w_i} \quad P1-11$$

$$w_i = \frac{1}{u_i^2} \quad P1-12$$

$$u_A = \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}} \quad P1-13$$

$$u_{rA} = \frac{u_A}{A} \cdot 100 \quad P1-13a$$

kde

w_i váha aktivity A_i (jednotka je $(\text{Bq/kg})^{-2}$; ve vztahu pro aktivitu se vykrátí)

A_i aktivita stanovená z píku příslušného i -té energii dle (P1-5)

u_i kombinovaná standardní nejistota příslušná k aktivitě A_i stanovená dle (P1-10) (v Bq/kg)

Vztahy (P1-11) a (P1-13) se použijí i v případě, že se stanovuje výsledná aktivita ze 2 RN (např. v případě stanovení aktivity ^{226}Ra z aktivity ^{214}Pb a ^{214}Bi).

Rozšířená nejistota U (v Bq/kg) a relativní rozšířená nejistota U_r (%) se vypočtou s použitím vztahů (koeficient rozšíření $k = 2$)

$$U = 2 \cdot u \quad P1-14$$

$$U_r = 2 \cdot u_r \quad P1-14a$$

Poznámka: ČSN ISO 10703 (2008) uvádí složitější vztah pro stanovení meze detekce (NDA), než je uveden v [ČSN 75 7600, 2013]. Dle [ČSN ISO 10703, 2008] vychází mez detekce vyšší. Vztah (P1-7) je v [ČSN ISO 10703, 2008] dělen faktorem $(1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(w))$, kde $u_{rel}(w)$ je relativní nejistota výrazu w daného jako

$$w = \frac{1}{t_v \cdot m \cdot \eta_P \cdot \gamma \cdot F_a \cdot F_c}$$

Za předpokladu, že ve jmenovateli uvedených 6 proměnných má postupně nejistoty 0, 2, 5, 2, 5 a 5 %, vychází uvedený faktor 0,98 a tedy podíl takto spočtené NDA a NDA spočtené dle [ČSN 75 7600, 2013] 1,02 (nejistoty se zadávají jako bezrozměrné, tj. např. místo 2% je nutno zadat 0,02). Rozdíl je tedy nepatrný. V případě, že např. nejistota korekce F_a je ale 30% místo 5%, bude poměr NDA již 1,35 a v případě, že bude 50%, bude poměr NDA již 3,25.

Pro účely tohoto doporučení stačí využívat způsob výpočtu uvedený v [ČSN 75 7600, 2013]. V [ČSN IEC 1452, 1998] je uvedeno mnoho užitečných informací týkajících se polovodičové spektrometrie gama.

Podklady pro odhad nejistoty stanovení a příklad hodnot NDA

Kombinovaná standardní nejistota a rozšířená nejistota se stanoví s použitím vztahů uvedených v části výše na základě identifikace a kvantifikace jednotlivých zdrojů nejistot spojených s provedením měřicí metody. V [tabulce P1-a](#) jsou uvedeny zdroje nejistot, které se obvykle uplatní při měření obsahu RN v PRaL, způsoby jejich stanovení a obvyklé hodnoty relativní standardní nejistoty u_{ri} vyjádřené v %. Je třeba zdůraznit, že uvedený výčet nemusí být úplný a v tabulkách uvedené obvyklé hodnoty nemusí odpovídat skutečným hodnotám v praxi té které laboratoře. Při odhadu nejistot by laboratoř měla vycházet vždy z rozboru provedeného pro konkrétní metodu stanovení a pro konkrétní způsob jejího provedení.

Tabulka P1-a: Podklady pro odhad relativní standardní nejistoty

Zdroj nejistoty	Způsob stanovení	Obvyklá relativní nejistota u_{ri} (%)
Aktivita kalibračních vzorků	z certifikátu	1 až 2
Kalibrace spektrometru (nejistota účinnosti)	z výsledků analýzy kalibračních spekter a prokladu dat účinnostní funkcí (v ní již bývá nejistota kalibračních vzorků zahrnuta)	2 až 5
Příprava vzorků pro měření	opakovanou zkouškou	2 až 5
Stanovení hmotnosti vzorku	z kalibračního listu vah	0,2 až 1
Měření vzorku a pozadí	ze vztahu (P1-2)	2 až 30
Výtěžek fotonů	z odborné literatury	0,5 až 2
Korekce na pravé koincidence	z nejistoty vstupních dat užitých při výpočtu korekce	0,1 až 2
Korekce na samoabsorpci	z nejistoty vstupních dat užitých při výpočtu korekce	0,1 až 5
Neprovedení korekce na pravé koincidence	expertní odhad	0 až 30
Neprovedení korekce na samoabsorpci	expertní odhad	0 až $n \times 10^2$ *)

Poznámky

*) Neprovedení korekce na samoabsorpci může u nízkých energií znamenat podhodnocení nebo nadhodnocení aktivity i stovky %. Expertní odhad se provádí na základě zkušeností z předchozích analýz; měl by být „realisticky konzervativní“

Přibližné hodnoty NDA pro měření vzorku v Marinelliho nádobě jsou uvedeny v [tabulce P1-b](#).

Tabulka P1-b: Přibližné hodnoty NDA pro měření vzorku v Marinelliho nádobě

Objem nádoby	600 ml
Hustota materiálu	1 g/ cm ³
Relativní účinnost detektoru	45 % (bezokénkový)
Délka měření	24 h
Pb stínění o síle	10 cm

Hodnoty byly získány ze spektra běžného stavebního materiálu

Dlouhodobý RN	Pomocí RN	NDA (Bq/kg)
Uranová řada		
U 238	Th 234	3
	Pa 234m	10
Ra 226	Ra 226 - 186 keV celý pík	3
	Pb 214	0,4
	Bi 214	0,4
Pb 210	Pb 210	30
Thoriová řada		
Ra 228	Ac 228	0,5
Th 228	Pb 212	0,3
	Bi 212	2
	Tl 208 (s korekcí na větvení)	0,4
Aktiniová řada		
U 235	U 235 - 186 keV celý pík	0,3
	U 235 - ostatní energie	1,0
Draslík		
K 40	K 40	1

Tabulka P1-c: Podklady a informace ke stanovení aktivity RN

Nuklid	Poločas		Poznámka	Energie (keV) fotonů a jejich zastoupení (v %)
Uranová řada				
U 238	4,468 x 10 ⁹	r	Stanovitelnost: z ²³⁴Th a ^{234m}Pa; výpočtem z aktivity ²³⁵U; přímo stanovitelný je obtížně.	49,55 (0,069) 113,50 (0,017)
Th 234	24,1	d	Ke stanovení ²³⁸U. Nízké energie s malým zastoupením, nutné přesné korekce na hustotu a prvkové složení materiálu.	63,30 (3,750) 92,38 (2,180) 92,80 (2,150)
Pa 234m	1,159	m	Ke stanovení ²³⁸U. Energie 1001 keV vhodná při vyšších aktivitách.	766,36 (0,323) 1001,03 (0,847)
U 234	245 500	r	Stanovitelnost: odhadem z aktivity ²³⁸U, přímo stanovitelný je obtížně. Interference s 53 keV: 53,21 (1,060%) ²¹⁴ Pb	53,20 (0,125) 120,90 (0,038)
Th 230	75 380	r	Stanovitelnost: odhadem z aktivity ²³⁸U, přímo stanovitelný je obtížně. Interference s 144 keV: 143,77 (10,940) ²³⁵ U.	67,67 (0,380) 143,87 (0,049) 253,73 (0,011)
Ra 226	1 600	r	Stanovitelnost: z vlastních fotonů; z ²¹⁴Pb a ²¹⁴Bi; výpočtem ze známé aktivity ²³⁵U. Stanovitelný z energie vlastních fotonů po odečtu příspěvku ²³⁵ U nebo pomocí dceřiných produktů ²¹⁴ Pb a ²¹⁴ Bi po ustanovení rovnováhy s ²²⁶ Ra (nutno měřit v plně dobře hermetizované měřicí nádobě). Interference s 186 keV: 185,72 (57,000) ²³⁵ U.	186,21 (3,555)
Rn 222	3,823	d	Plyn, emanuje. Bez gama.	
Po 218	3,071	m	Bez gama.	
Pb 214	26,916	m	Ke stanovení ²²⁶Ra.	295,21 (18,414) 351,93 (35,600)
Bi 214	19,8	m	Ke stanovení ²²⁶Ra.	609,31 (45,490) 1120,29 (14,910) 1764,49 (15,310)
Po 214	1,623 x 10 ⁻⁴	s	Bez gama.	
Pb 210	22,23	r	Stanovitelnost: z vlastních fotonů. Nízká energie s malým zastoupením, nutné přesné korekce na hustotu a prvkové složení materiálu. Interference s 46,5 keV: 46,35 (0,190) ²³¹ Pa	46,54 (4,252)
Bi 210	5,011	d	Bez gama.	
Po 210	138,376	d	Stanovitelnost: odhadem z aktivity ²¹⁰Pb. Bez gama.	
Thoriová řada				
Th 232	1,402 x 10 ¹⁰	r	Stanovitelnost: odhadem z aktivity ²²⁸Ra, přímo stanovitelný je obtížně.	63,81 (0,259) 140,88 (0,021)

Nuklid	Poločas		Poznámka	Energie (keV) fotonů a jejich zastoupení (v %)
			Interference s 63,59 (0,045) ²³¹ Pa a 63,86 (0,024) ²³¹ Th Interference s 140,76 (0,200) ²³⁵ U, 140,99 (0,045) ²²⁸ Ac	
Ra 228	5,75	r	Bez gama. Pomocí ²²⁸Ac.	
Ac 228	6,15	h	Ke stanovení ²²⁸Ra. Interference s 338 keV: 338,28 (2,85) ²²³ Ra	338,32 (11,400) 911,20 (26,200) 968,96 (15,900)
Th 228	1,913	r	Stanovitelnost: pomocí ²¹²Pb, ²¹²Bi a ²⁰⁸Tl, Předpokládá se, že ²²⁰ Rn nestačí z materiálu podstatně emanovat. Nízká energie vlastních fotonů s malým zastoupením – nevyužívá se.	84,37 (1,190)
Ra 224	3,631	d	Nestanovuje se. Interference s 240,88 (0,074) ²³⁵ U	240,99 (4,120)
Rn 220	55,8	s	Nestanovuje se. Plyn, obvykle nestačí emanovat z materiálu.	549,76 (0,115)
Po 216	0,148	s	Bez gama.	
Pb 212	10,64	h	Ke stanovení ²²⁸Th.	238,63 (43,600)
Bi 212	60,54	m	Ke stanovení ²²⁸Th. Interference s 785 keV: 785,96 (1,064) ²¹⁴ Pb	727,33 (6,650) 785,37 (1,110)
Po 212	3,00 x 10 ⁻⁷	s	Bez gama.	
Tl 208	3,058	m	Ke stanovení ²²⁸Th. 36,1% ²¹² Bi se přeměňuje na ²⁰⁸ Tl, tj. ke stanovení správné aktivity mateřského nuklidu ²²⁸ Th je nutno aktivitu ²⁰⁸ Tl dělit faktorem 0,361. Interference s 583,39 (0,120) ²²⁸ Ac.	583,19 (85,000) 860,53 (12,400) 2614,51 (99,755)
Aktiniová řada				
U 235	7,04 x 10 ⁸	r	Stanovitelnost: z vlastních fotonů; výpočtem ze známé aktivity ²²⁶Ra; výpočtem ze známé aktivity ²³⁸U. Stanovitelný přímo z vlastních fotonů 143 a 163 keV nebo z energie 186 keV po odečtu příspěvku ²²⁶ Ra nebo výpočtem ze známé aktivity ²³⁸ U násobením faktorem 0,046 (za předpokladu přírodního zastoupení uranu ve vzorku). Interference s 143 keV: 143,87 (0,049) ²³⁰ Th, 144,27 (3,36) ²²³ Ra Interference s 163 keV: 163,10 (0,156) ²³¹ Th Interference s 186 keV: 186,21 (3,555) ²²⁶ Ra	143,77 (10,940) 163,36 (5,080) 185,72 (57,000)
Th 231	25,522	h	Nestanovuje se. Nízká energie s malým zastoupením. Interference s 84,37 (1,19) ²²⁸ Th	84,21 (6,700)
Pa 231	32 670	r	Stanovitelnost: odhadem z aktivity ²³⁵U a ²²⁷Ac.	283,69 (1,650)

Nuklid	Poločas		Poznámka	Energie (keV) fotonů a jejich zastoupení (v %)
			Přímo stanovit prakticky nelze. Interference s 300 keV: 299,98 (2,16) ²²⁷ Th a 300,09 (3,18) ²¹² Pb Interference s 330 keV: 329,85 (2,90) ²²⁷ Th	300,06 (2,300) 302,67 (2,300) 330,04 (1,360)
Ac 227	21,772	r	Stanovitelnost: pomocí ²²⁷Th Bez gama. Pomocí ²²⁷ Th.	
Th 227	18,772	d	Ke stanovení ²²⁷Ac. Interference s 256 keV: 255,90 (0,106) ²³¹ Pa Interference s 330keV: 330,04 (1,36) ²³¹ Pa	49,82 (0,420) 50,13 (8,200) 235,96 (12,600) 256,23 (6,800) 329,85 (2,900)
Fr 223	22,0	m	Nestanovuje se. Vzniká přeměnou alfa z ²²⁷ Ac se zastoupením pouze 1,38%.	50,10 (33,000) 79,65 (9,00) 234,70 (2,700)
Ra 223	11,43	d	Nestanovuje se. Interference s 84 keV: 84,21 (6,70) ²³¹ Th Interference s 269 keV: 270,25 (3,55) ²²⁸ Ac Interference s 324 keV: 323,83 (0,029) ²¹⁴ Pb Interference s 338 keV: 338,32 (11,40) ²²⁸ Ac	81,07 (14,860) 83,78 (24,500) 94,85 (8,500) 269,46 (14,230) 323,87 (4,060) 338,28 (2,850)
Rn 219	3,98	s	Nestanovuje se. Plyn, díky krátkému poločasu přeměny je nízká emance.	271,23 (11,070) 401,81 (6,750)
Po 215	1,781 x 10 ⁻³	s	Bez gama.	
Pb 211	36,1	m	Nestanovuje se. Interference s 832 keV: 832,39 (0,035) ²¹⁴ Bi	404,83 (3,830) 831,98 (3,500) 427,15 (1,810)
Bi 211	2,15	m	Nestanovuje se.	351,03 (13,000)
Tl 207	4,774	m	Bez gama.	
Draslík				
K 40	1,25 x 10 ⁹	r	Stanovitelnost: z vlastních fotonů Interference s 1460 keV: 1459,2 (0,87) ²²⁸ Ac	1460,82 (10,55)

Poznámky

- Poločas – vlastní poločas přeměny RN (r – roky, d – dny, h – hodiny, m – minuty, s – sekundy)
- Bez gama – ve významu absence gama záření nebo jen s velmi malým zastoupením.
- Interference s – uvedeny jsou ty RN, jejichž emitované fotony mají energie blízké hodnocené energii a mohly by ovlivnit stanovovanou aktivitu; v závorce je zastoupení v %.
- Energie fotonů a jejich zastoupení byly převzaty z databáze „Lara“ [Lara, 2016].

Příloha 1-2: Příklady uvádění výsledků stanovení aktivit

V této příloze jsou uvedeny tabulky výsledků pro různé varianty stanovení popsané v části 7.5. Nejistoty v tabulkách byly počítány pomocí vztahu pro šíření chyb (P1-9).

Příklad 1 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 a) „Vzorek se měří ve stavu, v jakém byl dodán“*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru: bez úpravy

Úprava vzorku před měřením: bez úpravy

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq / kg	Bq / kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	850	150	Ne	
U 234	1 700	300	Ano	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	1 700	300	Ano	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	900	200	Ne - S	
Pb 210	1 100	200	Ano - S	
Po 210	1 100		Ano - S	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	< 70		Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	< 20		Ne	
Th 228	< 50		Ne	
Draslík				
K 40	2 500	400	Ne	

Poznámky ke všem tabulkám

- Nejistota - rozšířená kombinovaná standardní nejistota (koeficient rozšíření $k = 2$)
- UÚ - uvolňovací úroveň – možnosti:
 - Ano = převyšuje UÚ
 - Ne = nepřevyšuje UÚ
 - Ano - S = převyšuje s výhradou nejistoty stanovení UÚ
 - Ne - S = nepřevyšuje s výhradou nejistoty stanovení UÚ
- *) U položek „stanoveno odhadem“ byly aktivity odhadnuty následovně
 $A_{U\ 234} = A_{Th\ 230} = 2 \times A_{U\ 238}$, $A_{Po\ 210} = A_{Pb\ 210}$, $A_{Th\ 232} = A_{Ra\ 228} + A_{Th\ 228}$
- Aktivity ostatních radionuklidů byly stanoveny měřením a výpočtem
- Hodnota za znakem "<" reprezentuje nejmenší detekovatelnou aktivitu (NDA) pro hladinu spolehlivosti 95 %; skutečná aktivita byla nižší než uvedená NDA.

Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko

Dle § 105 vyhlášky č. 422/2016 Sb se uvolňovací úrovně nepovažují za překročené, pokud průměrná hmotnostní aktivita žádného radionuklidu není větší než hodnota uvolňovací úrovně.

Hmotnostní aktivita radionuklidů ^{234}U a ^{230}Th převyšuje uvolňovací úroveň 1000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.

Hmotnostní aktivita radionuklidů ^{210}Pb a ^{210}Po převyšuje s výhradou nejistoty stanovení uvolňovací úroveň 1000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.

Hmotnostní aktivita ^{226}Ra nepřevyšuje s výhradou nejistoty stanovení uvolňovací úroveň 1000 Bq/kg, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro uvolňování pevných materiálů z pracoviště.

Hmotnostní aktivity ostatních radionuklidů uvedených v tabulce uvolňovací úroveň nepřevyšují.

Poznámka: Hodnocení se vztahuje jen k hmotnostním aktivitám v dodaném vzorku.

Závěr s návrhem dalšího postupu

Za řešení situace při překročení uvolňovací úrovně odpovídá provozovatel pracoviště.

Při posuzování velikosti překročení uvolňovací úrovně je třeba zohlednit i možnou nehomogenitu obsahu přírodního radionuklidu v pevné radioaktivní látce, hodnoty aktivit vyjádřené v Bq/kg suchého vzorku (pokud obsahoval vzorek vodu) a předchozí výsledky stanovení přírodních radionuklidů .

Je-li prokazatelně zjištěno překročení uvolňovací úrovně a není-li uvolňovaná PRaL určena k výrobě stavebních materiálů, je nutno provést výpočet efektivní dávky zohledňující možné expoziční scénáře přicházející v úvahu v souvislosti s uvolňováním pevné radioaktivní látky postupem podle Části 3 Doporučení „Uvolňování radioaktivní látky z pracovišť NORM“ a s přihlédnutím k ukázkovým expozičním scénářům v souvislosti s uvolňováním PRaL, viz Příloha 3-2 téhož Doporučení.

Příklad 2 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 b1) „Vzorek se měří ve stavu, v jakém byl dodán a stanoví se obsah vody“*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru: bez úpravy

Úprava vzorku před měřením: bez úpravy

Hmotnostní podíl pevné fáze ve vzorku: 80 %

Hmotnostní podíl vody: 20 %

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku (vztažena na kg dodaného vzorku)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	150	50	Ne	
U 234	300	100	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	300	100	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	100	40	Ne	
Pb 210	200	50	Ne	
Po 210	200	100	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	< 70		Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	< 20		Ne	
Th 228	< 50		Ne	
Draslík				
K 40	< 50		Ne	

Poznámky k tabulkám – viz [Příklad 1](#).

Pomocná tabulka pro přepočet – tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (vztažena na kg vysušeného vzorku)

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	188	63
Ra 226	125	50
Pb 210	250	63
Thoriová ř.		
Ra 228	<	25
Th 228	<	63
Draslík		
K 40	<	63

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (vztažena na kg vysušeného vzorku)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	190	70	Ne	
U 234	380	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	380	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	130	50	Ne	
Pb 210	250	70	Ne	
Po 210	250	70	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	<	90	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	<	30	Ne	
Th 228	<	70	Ne	
Draslík				
K 40	<	70	Ne	

Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko

Hmotnostní aktivity radionuklidů uvedené v tabulce uvolňovací úroveň nepřevyšují.

Poznámka: Hodnocení se vztahuje jen k hmotnostním aktivitám v dodaném vzorku.

Závěr s návrhem dalšího postupu

Požadován jen v případě překročení uvolňovací úrovně.

Příklad 3 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 b2) „Vzorek se měří po vysušení“*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru - viz odběrový list

Úprava vzorku před měřením: vzorek vysušen

Hmotnostní podíl pevné fáze ve vzorku (nevysušené): 80 %

Hmotnostní podíl vody: 20 %

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (vztažena na kg vysušeného vzorku)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	150	50	Ne	
U 234	300	100	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	300	100	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	100	40	Ne	
Pb 210	200	50	Ne	
Po 210	200	50	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	< 70		Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	< 20		Ne	
Th 228	< 50		Ne	
Draslík				
K 40	< 50		Ne	

Poznámky k tabulkám – viz [Příklad 1](#).

Pomocná tabulka pro přepočítání - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku (vztažena na kg dodaného vzorku)

		Aktivita	Nejistota
		Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.			
U 238		120	40
Ra 226		80	32
Pb 210		160	40
Thoriová ř.			
Ra 228	<	16	
Th 228	<	40	
Draslík			
K 40	<	40	

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku (vztažena na kg dodaného vzorku)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	120	40	Ne	
U 234	240	80	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	240	80	Ne	Stanoveno odhadem z U 238

Ra 226		80	32	Ne	
Pb 210		160	40	Ne	
Po 210		160	40	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.					
Th 232	<	56		Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	<	16		Ne	
Th 228	<	40		Ne	
Draslík					
K 40	<	40		Ne	

„Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko“ a „Závěr s návrhem dalšího postupu“ – viz Příklad 2.

Příklad 4 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 c) „Vzorek se dělí na 2 fáze, každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se měří i se zbytkovou kapalinou. Nestanovuje se podíl zbytkové kapaliny v oddělené pevné části. Například se může jednat o směs oleje s pevnou fází“*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru - viz odběrový list

Úprava vzorku před měřením: oddělení fází (pevná fáze se zbytkovou kapalinou a kapalnou fází) sedimentací

Hmotnostní podíl pevné fáze ve vzorku se zbytkovou kapalinou vzhledem k celkové hmotnosti vzorku (nevysušeno): 80 %

Hmotnostní podíl kapalnou fází (bez započtení kapaliny z pevné fáze se zbytkovou kapalinou) vzhledem k celkové hmotnosti vzorku: 20 %

Hmotnostní aktivita v pevné fázi ve vzorku se zbytkovou kapalinou

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	400	80	Ne	
U 234	800	160	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	800	160	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	600	120	Ne	
Pb 210	300	60	Ne	
Po 210	300	60	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	500	100	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	200	40	Ne	
Th 228	300	60	Ne	
Draslík				
K 40	2 000	200	Ne	

Poznámky k tabulkám – viz Příklad 1.

Hmotnostní aktivita v kapalnou fázi

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
--	----------	-----------	------------	-------------

	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	60	30	Ne	
U 234	120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	60	30	Ne	
Pb 210	50	20	Ne	
Po 210	50	20	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	< 50	25	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	< 20	10	Ne	
Th 228	< 30	15	Ne	
Draslík				
K 40	200	40	Ne	

Poznámka: pro možnost přepočtu aktivity v jednotlivých fázích na aktivitu v dodaném vzorku bylo nutno doplnit nejistotu stanovení u RN, jejichž aktivity ležely pod NDA; nejistoty byly odhadnuty jako 50% NDA a dále bylo s NDA pracováno jako s čísly.

Pomocná tabulka pro přepočet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	332	64
Ra 226	492	96
Pb 210	250	48
Thoriová ř.		
Ra 228	164	32
Th 228	246	48
Draslík		
K 40	1 640	160

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	330	70	Ne	
U 234	660	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	660	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	490	100	Ne	
Pb 210	250	50	Ne	
Po 210	250	50	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	410	90	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	160	40	Ne	

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Th 228	250	50	Ne	
Draslík				
K 40	1 640	160	Ne	

„Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko“ a „Závěr s návrhem dalšího postupu“ – viz Příklad 2.

Příklad 5 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 d) „Vzorek se dělí na 2 fáze (kapalnou fází je voda), každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se měří i se zbytkovou vodou“. Stanoví se podíl zbytkové vody v oddělené pevné části.*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru – bez úpravy

Úprava vzorku před měřením: oddělení fází (pevná fáze se zbytkovou vodou a vodní fáze) sedimentací

Celkový podíl pevné fáze (po oddělení zbytkové vody): 71 %

Celkový podíl vodní fáze (včetně zbytkové vody): 29 %

Hmotnostní podíl pevné fáze se zbytkovou vodou vzhledem k celkové hmotnosti vzorku (neuvádí se v protokolu): 80 %

Hmotnostní podíl vodní fáze (bez započtení vody z pevné fáze se zbytkovou vodou) vzhledem k celkové hmotnosti vzorku (neuvádí se v protokolu): 20 %

Podíl zbytkové kapalné fáze vzhledem k pevné fázi se zbytkovou kapalinou (neuvádí se v protokolu): 11%

Pomocná tabulka pro přepočet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi se zbytkovou vodou

	Aktivita	Nejistota
	Bq / kg	Bq / kg
Uranová ř.		
U 238	400	80
Ra 226	600	120
Pb 210	300	60
Thoriová ř.		
Ra 228	200	40
Th 228	300	60
Draslík		
K 40	2 000	200

Poznámky k tabulkám – viz Příklad 1.

Hmotnostní aktivita ve vodné fázi

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
--	----------	-----------	------------	-------------

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	60	30	Ne	
U 234	120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	60	30	Ne	
Pb 210	50	20	Ne	
Po 210	50		Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	< 50	25	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	< 20	10	Ne	
Th 228	< 30	15	Ne	
Draslík				
K 40	200	40	Ne	

Pomocná tabulka pro přepočet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	332	64
Ra 226	492	96
Pb 210	250	48
Thoriová ř.		
Ra 228	164	32
Th 228	246	48
Draslík		
K 40	1 640	160

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	330	70	Ne	
U 234	660	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	660	140	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	490	100	Ne	
Pb 210	250	50	Ne	
Po 210	250	50	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	410	90	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	160	40	Ne	

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Th 228	250	50	Ne	
Draslík				
K 40	1 640	160	Ne	

Pomocná tabulka pro přepočet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (odpovídá celkové aktivitě z obou fází vztažené na hmotnost vysušeného vzorku, tj. aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření vody)

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	466	90
Ra 226	691	135
Pb 210	351	68
Thoriová ř.		
Ra 228	230	45
Th 228	346	68
Draslík		
K 40	2 303	225

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (odpovídá celkové aktivitě z obou fází vztažené na hmotnost vysušeného vzorku, tj. aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření vody)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq / kg	Bq / kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	470	90	Ne	
U 234	930	180	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	930	180	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	690	140	Ne	
Pb 210	350	70	Ne	
Po 210	350	70	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	580	120	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	230	50	Ne	
Th 228	350	70	Ne	
Draslík				
K 40	2 300	230	Ne	

„Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko“ a „Závěr s návrhem dalšího postupu“ – viz Příklad 2.

Příklad 6 *Příklad uvádění výsledků v protokolu – vztahuje se k části 7.5 e) „Vzorek se dělí na 2 fáze (kapalnou fází je voda), každá fáze se měří zvlášť, pevná část vzorku se před měřením vysuší.“*

Popis vzorku: xxx

Úprava vzorku při odběru - viz odběrový list

Úprava vzorku před měřením: oddělení fází (pevná fáze se zbytkovou vodou a vodní fáze) sedimentací, pevná fáze před měřením vysušena

Celkový podíl pevné fáze 71 %

Celkový podíl vodní fáze 29 %

Hmotnostní podíl pevné fáze ve vzorku se zbytkovou vodou (neuvádí se v protokolu): 80 %

Hmotnostní podíl oddělené vodní fáze (neuvádí se v protokolu): 20 %

Pomocná tabulka pro přepočítání - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi po vysušení (skutečně měřená aktivita)

		Aktivita	Nejistota
		Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.			
U 238		400	80
Ra 226		600	120
Pb 210		300	60
Thoriová ř.			
Ra 228		200	40
Th 228		300	60
Draslík			
K 40		2 000	200

Poznámky k tabulkám – viz [Příklad 1](#).

Hmotnostní aktivita v kapalně fázi

		Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
		Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.					
U 238		60	30	Ne	
U 234		120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230		120	60	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226		60	30	Ne	
Pb 210		50	20	Ne	
Po 210		50	20	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.					
Th 232	<	50	25	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	<	20	10	Ne	
Th 228	<	30	15	Ne	
Draslík					
K 40		200	40	Ne	

Pomocná tabulka pro přepoččet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	297	57
Ra 226	439	86
Pb 210	224	43
Thoriová ř.		
Ra 228	146	29
Th 228	220	43
Draslík		
K 40	1 464	143

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v dodaném vzorku

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	300	60	Ne	
U 234	600	120	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	600	120	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	440	90	Ne	
Pb 210	220	50	Ne	
Po 210	220	50	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	370	80	Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	150	30	Ne	
Th 228	220	50	Ne	
Draslík				
K 40	1 460	150	Ne	

Pomocná tabulka pro přepoččet - tabulka nebude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (odpovídá celkové aktivitě z obou fází vztažené na hmotnost vysušeného vzorku, tj. aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření vody)

	Aktivita	Nejistota
	Bq/kg	Bq/kg
Uranová ř.		
U 238	417	80
Ra 226	617	120
Pb 210	314	60
Thoriová ř.		
Ra 228	206	40
Th 228	308	60
Draslík		
K 40	2 056	200

Zaokrouhlení - tabulka bude uvedena v protokolu

Hmotnostní aktivita v pevné fázi (odpovídá celkové aktivitě z obou fází vztažené na hmotnost vysušeného vzorku, tj. aktivitě, která by byla ve vzorku po odpaření vody)

	Aktivita	Nejistota	Překročení	Poznámka *)
	Bq/kg	Bq/kg	UÚ	
Uranová ř.				
U 238	420	80	Ne	
U 234	840	160	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Th 230	840	160	Ne	Stanoveno odhadem z U 238
Ra 226	620	120	Ne	
Pb 210	310	60	Ne	
Po 210	310	60	Ne	Stanoveno odhadem z Pb 210
Thoriová ř.				
Th 232	520		Ne	Stanoveno odhadem z Ra 228 a Th 228
Ra 228	210		Ne	
Th 228	310		Ne	
Draslík				
K 40	2 060	200	Ne	

„Hodnocení výsledků měření - odborné stanovisko“ a „Závěr s návrhem dalšího postupu“ – viz Příklad 2.

Příloha 1-3: Záznam o odběru vzorku (vzor)

Záznam o odběru vzorku uvolňované PRaL pro potřeby systematického měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů

Identifikace pracoviště (název, adresa)	
Identifikace provozovatele pracoviště	
Přesný popis místa odběru vzorku (adresa, bližší popis místa, GPS, ...)	
Identifikace uvolňované PRaL (druh materiálu, bližší specifikace)	
Roční objem PRaL	
Způsob uvolňování - určené použití PRaL	
Období shromažďování PRaL (datum od – do)	
Datum odběru vzorku	
Způsob odběru vzorku	<input type="checkbox"/> jednorázový (bodový) odběr <input type="checkbox"/> směsný vzorek z více míst <input type="checkbox"/> směsný vzorek za delší období (případně kontinuální odběr)
Použitý způsob úpravy vzorku	<input type="checkbox"/> vzorek neupravován <input type="checkbox"/> drcení <input type="checkbox"/> sušení <input type="checkbox"/> homogenizace <input type="checkbox"/> jiný – uveďte
Kdo vzorek odebral (jméno, firma)	
Další osoba přítomná u odběru (jméno firma)	
Účel a požadovaný rozsah měření	<input type="checkbox"/> úplný rozbor pro účely systematického měření a hodnocení <input type="checkbox"/> jen vybrané radionuklidy – uveďte: <input type="checkbox"/> jiný – uveďte:

Identifikace laboratoře	
Datum předání nebo odeslání vzorku do laboratoře	
Další údaje vztahující se k odběru a měření vzorku	
Jméno a podpis odevzdávající (odesílající) osoby	
Jméno a podpis osoby přijímající vzorek	

Formulář záznamu o odběru vzorku ve formátu MS Word je k dispozici ke stažení na stránkách www.sujb.cz v sekci Dokumenty a publikace/Publikace SÚJB.

Část 2 - Uvolňování odpadní vody

10 Úvod k uvolňování odpadní vody

V textu dále jsou stanoveny postupy k provádění měření a hodnocení obsahu RN v RaL, kterou je odpadní voda/odpadní vody, uvolňovaná/uvolňované do vod povrchových nebo do kanalizace pro veřejnou potřebu a zásady postupu při překročení uvolňovacích úrovní (UÚ).

Za měření a hodnocení obsahu RN v odpadní vodě uvolňované z pracoviště se považuje provedení základního a doplňujícího rozboru, tedy měření objemových aktivit prováděné v rozsahu podle tabulky Tab. 8.

UÚ pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových a odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu z pracoviště s možností zvýšeného ozáření z přírodního zdroje záření jsou stanoveny v § 105 odst. 3 a 5 vyhlášky a uvedeny v Tab. 6. Uvolňovací úrovně se vztahují na objemové aktivity ve veškerých látkách obsažených ve vypouštěných odpadních vodách. Průměrné hodnoty COAA a COAB se vztahují na množství uvolňované odpadní vody, v němž lze objemovou aktivitu považovat za homogenní.

UÚ nezohledňují chemickou toxicitu uranu, která je předmětem regulace vodoprávními orgány a orgány veřejného zdraví [NaV, 2015].

Tab. 6: Uvolňovací úrovně přírodních radionuklidů v odpadních vodách určených k vypouštění

Ukazatel obsahu radionuklidů	Do povrchových vod	Do kanalizace pro veřejnou potřebu	Jednotky
Průměrná celková objemová aktivita alfa	0,5	50	Bq/l
Průměrná celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K	1,0	100	Bq/l

Při překročení některé z UÚ se za účelem stanovení efektivní dávky jedince z obyvatelstva provádí doplňující rozbor postupem podle Tab. 7. Doplňující rozbor se provádí v případech, kdy ve vzorku vypouštěné odpadní vody převýšila celková objemová aktivita alfa příslušnou UÚ (0,5 Bq/l, resp. 50 Bq/l) nebo celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K převýšila příslušnou UÚ (1 Bq/l, resp. 100 Bq/l).

Charakteristika jednotlivých RN měřených v rámci doplňujícího rozboru je uvedena v tabulce Tab. 7.

Tab. 7: Radionuklidy měřené v rámci doplňujícího rozboru odpadních vod z pracovišť

Radionuklid	Poločas (dny)	Příspěvek ⁽¹⁾ k celkové akt alfa ($\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$)	Příspěvek ⁽²⁾ k celkové akt beta ($\text{s}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$)	Konverzní faktor ⁽⁴⁾ h_{ing} (Sv/Bq)
^{210}Pb	$8,15 \cdot 10^3$	0	1,0	$6,9 \cdot 10^{-7}$
^{210}Po	$1,38 \cdot 10^2$	1,0	0	$1,2 \cdot 10^{-6}$
^{226}Ra	$5,84 \cdot 10^5$	1,5	0,35	$2,8 \cdot 10^{-7}$
^{228}Ra	$2,10 \cdot 10^3$	0	1,0	$6,9 \cdot 10^{-7}$

Radionuklid	Poločas (dny)	Příspěvek ⁽¹⁾ k celkové akt alfa (s ⁻¹ · Bq ⁻¹)	Příspěvek ⁽²⁾ k celkové akt beta (s ⁻¹ · Bq ⁻¹)	Konverzní faktor ⁽⁴⁾ h _{ing} (Sv/Bq)
²²⁸ Th	6,98 · 10 ²	5,0	0	7,2 · 10 ⁻⁸
²³⁰ Th	2,75 · 10 ⁷	1,0	0	2,1 · 10 ⁻⁷
²³² Th	5,12 · 10 ¹²	1,0	0	2,3 · 10 ⁻⁷
²³⁴ U	8,97 · 10 ⁷	1,0	0	4,9 · 10 ⁻⁸
²³⁸ U	1,63 · 10 ¹²	1,0	2. k _{U,β}	4,5 · 10 ⁻⁸
přírodní uran	1,2 · 10 ⁻⁶	25	25. k _{U,β}	1,2 · 10 ⁻⁶ Sv/mg

Poznámky:

- Údaje o emisi záření alfa a beta (příspěvky k celkovým objemovým aktivitám) některých radionuklidů předpokládají radioaktivní rovnováhu s krátkodobými produkty přeměny: jedná se o radionuklidy ²²²Rn, ²²³Ra a ²²⁴Ra a ²³⁴Th.
- V údajích o emisi záření beta některých radionuklidů je zohledněna snížená účinnost detekce při měření celkové aktivity beta okénkovým proporcionálním detektorem: Předpokládá se, že záření beta radionuklidů ²¹⁰Pb a ²²⁸Ra není za těchto podmínek s ohledem na jeho velmi nízkou energii detekováno.
- Pro stanovení hodnoty parametru k_{U,β} který popisuje závislost příspěvku radionuklidu ²³⁸U nebo uranu k celkové objemové aktivitě beta na době *t* (dny) mezi odběrem vzorku a měřením celkové aktivity beta, se doporučuje použít vztah: $k_{U,\beta} = 1 - \exp(-0,0288 \cdot t)$.
- h_{ing} je konverzní faktor pro příjem požití dospělým jednotlivcem z obyvatelstva v Sv.Bq⁻¹

11 Četnost měření a hodnocení

Měření a hodnocení obsahu RN v odpadních vodách uvolňovaných z pracoviště do vod povrchových a do kanalizace pro veřejnou potřebu musí být provedeno poprvé při zahájení provozu pracoviště a poté při každé změně, která by mohla ovlivnit obsah RN v odpadních vodách, nejméně však jednou za rok (§ 98 odst. 2 vyhlášky).

Za zajištění měření a za dodržení požadavku, že obsah RN v uvolňovaných odpadních vodách splňuje požadavky zákona a vyhlášky, odpovídá provozovatel pracoviště.

Za změnu, která by mohla ovlivnit obsah RN v PRaL, je nutno považovat změnu

- vstupních surovin,
- místa původu surovin,
- technologie vedoucí ke vzniku odpadní vody,
- úprava technologie nebo změna účinnosti čistírny odpadní vody provozované provozovatelem pracoviště a používané k čištění odpadní vody před jejím uvolněním.

11.1 Odběr vzorků, odběrová místa

Odběr vzorků a jeho reprezentativnost je na zodpovědnosti zadavatele zkoušky (producenta odpadní vody). Vzorek musí být reprezentativní pro celý objem uvolňované odpadní vody; vhodné je vytvořit směsný vzorek případně provést více samostatných odběrů.

Obecné zásady pro odběr a konzervaci vzorků stanoví [ČSN EN ISO 5667-1](#), [ČSN EN ISO 5667-3](#), [ČSN EN ISO 5667-10](#), [ČSN 75 7600](#) a na ni navazující technické normy. Velikost odebraného vzorku požadavky na skladování a přepravu vzorku se řídí požadavky laboratoře.

Pro potřeby měření a hodnocení se odebírají vzorky odpadní vody vypouštěné z pracoviště – například na výstupu z pracovištěm provozované čistírny odpadních vod do vody povrchové nebo na vstupu do kanalizace pro veřejnou potřebu. Při kontinuálním vypouštění se za dostačující považuje odebrání jednoho reprezentativního vzorku vody z každého místa vypouštění. V případě diskontinuálního uvolňování se odebírá jeden reprezentativní vzorek odpadní vody v dostatečném předstihu před vypuštěním.

V případě nejasností se doporučuje konzultovat s inspektory SÚJB (viz [Příloha 4](#)).

11.2 Postup odběru

Pro získání reprezentativního vzorku se postupuje podle [ČSN EN ISO 5667-10](#), u vod vypouštěných kontinuálně se odebírá nejlépe 24-hodinový slévaný vzorek. U vod vypouštěných jednorázově se odebere vzorek prostý (bodový).

Vzorky vody se odebírají do plastových nádob vhodného objemu. Odběrová nádoba se před odběrem vymyje horkou vodou, vypláchne kyselinou chlorovodíkovou zředěnou (1+5) a destilovanou nebo demineralizovanou vodou.

11.3 Úprava vzorků před měřením

Vzorky vody se co nejdříve po odběru konzervují postupem podle [ČSN EN ISO 5667-3](#) (okyselení, ochlazení) nebo podle pokynů měřící laboratoře. Uchovávají se v temnu a chladu. K měření se předají co nejpozději do 4 dnů od odběru, pokud měřící laboratoř nestanoví jinak.

11.4 Záznam o odběru

O každém odběru vzorku pro měření obsahu přírodních radionuklidů v odpadní vodě se provede záznam ([Příloha 2-1](#)) s vyznačením následujících údajů potřebných pro zpracování úplného protokolu o měření:

- identifikace provozovatele pracoviště
- identifikace pracoviště (název, adresa)
- přesný popis místa odběru – adresa, bližší popis místa, identifikace místa vypouštění
- původ a druh vody
- předpokládaný objem vypouštěné odpadní vody v daném kalendářním roce
- způsob uvolňování – kontinuální, diskontinuální
- způsob odběru vzorku – vzorek bodový nebo slévaný
- datum a čas odběru vzorku, u slévaných vzorků příslušné období
- identifikace kanalizace pro veřejnou potřebu, do níž se voda vypouští (název, obec, okres) nebo identifikace toku (nádrže), pokud se voda vypouští do povrchové vody (název, obec, okres) vč. označení místa vypouštění
- použitý způsob úpravy vzorku, pokud byla provedena
- identifikace osoby odebírající vzorek (jméno, firma a podpis)
- identifikace (jméno, firma a podpis) další osoby přítomné u odběru (obvykle zástupce pracoviště)

- případné specifické požadavky na rozbor
- identifikace laboratoře
- datum předání nebo odeslání vzorku do laboratoře

Záznam o odběru se předává spolu se vzorkem laboratoři, jeho kopie zůstává u zadavatele rozboru jako součást evidence o měření a hodnocení obsahu radionuklidů v odpadních vodách.

12 Měření vzorků

Měření a hodnocení obsahu RN v odpadních vodách mohou provádět pouze laboratoře, které mají pro tuto činnost povolení SÚJB. Pokud laboratoř není v souladu s rozsahem svého povolení oprávněna provést úplný rozbor dle tabulky Tab. 8 (má pouze povolení pro provádění základního rozboru), upozorní v případě překročení UÚ objednavatele měření na to, že jí provedené měření není úplné a že je třeba, aby si producent odpadní vody dokončení měření a hodnocení obsahu RN v odpadních vodách zajistil u jiné laboratoře, případně provedení úplného rozboru zajistí laboratoř sama subdodavatelsky.

12.1 Rozsah měření

Rozsah měření je uveden v tabulce Tab. 8.

Tab. 8: Rozsah systematického měření obsahu přírodních radionuklidů ve vodě uvolňované z pracoviště

Rozbor	Ukazatel obsahu radionuklidů	Provádí se
Základní	celková objemová aktivita alfa	vždy
	celková objemová aktivita beta	vždy
	obsah draslíku	vždy, kromě případů, když COOB bez odečtení ^{40}K nepřevyšuje UÚ
Doplňující	objemové aktivity izotopů ^{234}U a ^{238}U , případně celkový obsah uranu	pokud celková objemová aktivita alfa převýší uvolňovací úroveň
	objemová aktivita ^{226}Ra	pokud celková objemová aktivita alfa po odečtení příspěvku uranu převýší dvě desetiny uvolňovací úrovně alfa
	objemová aktivita ^{228}Ra	pokud celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{226}Ra a uranu převýší dvě desetiny uvolňovací úrovně beta
	objemová aktivita dalších v tabulce č. 4 uvedených radionuklidů emitujících záření alfa	pokud celková objemová aktivita alfa po odečtení příspěvku ^{226}Ra a uranu převýší dvě desetiny uvolňovací úrovně alfa

Rozbor	Ukazatel obsahu radionuklidů	Provádí se
	objemová aktivita dalších v tabulce č. 4 uvedených radionuklidů emitujících záření beta	pokud celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K , ^{226}Ra a ^{228}Ra převyší dvě desetiny uvolňovací úrovně beta

12.1.1 Základní rozbor

Provádí se u všech vzorků odebraných v rámci měření a hodnocení radionuklidů v odpadních vodách.

Základní rozbor vody zahrnuje stanovení celkové objemové aktivity alfa c_α [Bq/l], stanovení celkové objemové aktivity beta c_β [Bq/l], stanovení hmotnostní koncentrace draslíku ρ_K [mg/l] a odhad příspěvku $c_{\beta,K}$ [Bq/l] radionuklidu ^{40}K k celkové objemové aktivitě beta, pokud výsledek měření celkové objemové aktivity beta převyšuje UÚ. Provede se výpočet podílů F_α a F_β celkových objemových aktivit c_α a c_β a jim příslušných uvolňovacích úrovní $U\dot{U}_\alpha$ a $U\dot{U}_\beta$

$$F_\alpha = \frac{c_\alpha}{U\dot{U}_\alpha} \quad 4$$

$$c_{\beta,K} = p_{\beta,K} \cdot \rho_K = 0,028 \cdot \rho_K \quad 5$$

$$F_\beta = \frac{c_\beta - c_{\beta,K}}{U\dot{U}_\beta}, \text{ příp:} \quad 6$$

$$F_\beta = \frac{c_\beta}{U\dot{U}_\beta} \quad 7$$

Je-li některý z podílů F_α a F_β větší než 1, provede se ještě doplňující rozbor vody alespoň v tomto rozsahu:

12.1.2 Doplňující rozbor

Doplňující rozbor se provádí v případech, kdy ve vzorku vypouštěné odpadní vody převýšila celková objemová aktivita alfa příslušnou UÚ (0,5 Bq/l, resp. 50 Bq/l) nebo celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ^{40}K převýšila příslušnou UÚ (1 Bq/l, resp. 100 Bq/l). Není-li možno provést ve vzorku po stanovení COAA a COAB a ^{40}K i doplňující rozbor, odebere se další vzorek vypouštěné odpadní vody a v něm se znovu stanoví celková objemová aktivita, u níž bylo v rámci základního rozboru zjištěno překročení UÚ. Pokud se překročení UÚ potvrdí, provede se doplňující rozbor podle následujícího postupu:

a) Stanovení objemových aktivit c_{U234} a c_{U238} [Bq/l] radionuklidů ^{234}U a ^{238}U nebo stanovení obsahu uranu c_U [mg/l] a výpočet podílu $F_{\alpha U}$ přírodních izotopů uranu na hodnotě uvolňovací úrovně celkové objemové aktivity alfa

$$F_{\alpha U} = \frac{c_{U234} + c_{U238}}{U\dot{U}_\alpha} \quad \text{nebo} \quad F_{\alpha U} = \frac{25 \cdot c_U}{U\dot{U}_\alpha} \quad 8$$

Stanovení se provádí, je-li ze základního rozboru $F_{\alpha} > 1$.

b) Stanovení objemové aktivity ^{226}Ra $c_{\text{Ra}226}$ [Bq/l] a výpočet podílů $F_{\alpha\text{Ra}226}$ a $F_{\beta\text{Ra}226}$ tohoto radionuklidu na hodnotách uvolňovacích úrovní celkových objemových aktivit

$$F_{\alpha\text{Ra}226} = \frac{1,5 \cdot c_{\text{Ra}226}}{U\dot{U}_{\alpha}} \quad F_{\beta\text{Ra}226} = \frac{0,35 \cdot c_{\text{Ra}226}}{U\dot{U}_{\beta}} \quad 9$$

Stanovení se provádí primárně, je-li $F_{\alpha} - F_{\alpha U} > 0,2$.

c) Stanovení objemové aktivity ^{228}Ra $c_{\text{Ra}228}$ [Bq/l] a výpočet podílu $F_{\beta\text{Ra}228}$ radionuklidu ^{228}Ra na hodnotě uvolňovací úrovně celkové objemové aktivity beta

$$F_{\beta\text{Ra}228} = \frac{c_{\text{Ra}228}}{U\dot{U}_{\beta}} \quad 10$$

Stanovení se provádí, je-li $F_{\beta} - F_{\beta\text{Ra}226} - F_{\beta U} > 0,2$.

d) Stanovení objemové aktivity dalších v tabulce č. 2 uvedených radionuklidů c_i emitujících záření alfa a výpočet jejich podílu $F_{\alpha i}$ na čerpání směrné hodnoty celkové objemové aktivity alfa

$$F_{\alpha\text{Po}210} = \frac{c_{\text{Po}210}}{U\dot{U}_{\alpha}} \quad F_{\alpha\text{Th}228} = \frac{5 \cdot c_{\text{Th}228}}{U\dot{U}_{\alpha}} \quad F_{\alpha\text{Th}230} = \frac{c_{\text{Th}230}}{U\dot{U}_{\alpha}} \quad F_{\alpha\text{Th}232} = \frac{c_{\text{Th}232}}{U\dot{U}_{\alpha}} \quad 11$$

Stanovení se provádí, je-li $F_{\alpha} - F_{\alpha U} - F_{\alpha\text{Ra}226} > 0,2$.

e) Stanovení objemové aktivity dalších v tabulce č. 2 uvedených radionuklidů c_i emitujících záření beta a výpočet jejich podílu $F_{\beta i}$ na čerpání uvolňovací úrovně celkové objemové aktivity beta

$$F_{\beta\text{Pb}210} = \frac{c_{\text{Pb}210}}{U\dot{U}_{\beta}} \quad F_{\beta\text{Th}234} = \frac{1,5 \cdot c_{\text{Th}234}}{U\dot{U}_{\beta}} \quad 12$$

Stanovení se provádí, je-li $F_{\beta} - F_{\beta\text{Ra}226} - F_{\beta\text{Ra}228} > 0,2$.

Příspěvky jednotlivých radionuklidů k celkovým objemovým aktivitám alfa a beta jsou uvedeny v tabulce [Tab. 7](#).

Pořadí stanovení jednotlivých radionuklidů v rámci doplňujícího rozboru uvedených pod písmeny a) až e) je možno změnit, pokud na základě výsledků již dříve provedených rozborů nebo na základě znalosti zdrojů a technologií užívaných na pracovišti je možno identifikovat radionuklidy, které jsou nejvýznamnější z hlediska požadavků na uvolňování. Postup a rozsah rozborů uvedených pod písmenem d) se zvolí tak, aby celková objemová aktivita alfa po odečtení příspěvků všech stanovených radionuklidů emitujících záření alfa nepřesáhla pokud

možno dvě desetiny uvolňovací úrovně $U\dot{U}_\alpha$. Postup a rozsah rozborů uvedených pod písmenem e) se zvolí tak, aby celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvků všech stanovených radionuklidů emitujících záření beta nepřesáhla pokud možno dvě desetiny uvolňovací úrovně $U\dot{U}_\beta$.

Je-li při měření některé z celkových objemových aktivit výsledek měření c menší než nejmenší detekovatelná aktivita c_{ND} , bere se při výpočtu hodnoty podílu F jako výsledek měření $c = c_{ND}$. Je-li při měření objemových aktivit radionuklidů při doplňujícím rozboru podle písmene a) až f) výsledek některého měření c menší než nejmenší detekovatelná aktivita c_{ND} , bere se při výpočtu hodnoty podílu F jako výsledek měření $c = 0$. Vyžadované hodnoty nejmenších detekovatelných aktivit c_{ND} a kombinovaných standardních nejistot jsou uvedeny v tabulce Tab. 9.

12.2 Postup měření

12.2.1 Metody měření

Při stanovení celkové objemové aktivity alfa a celkové objemové aktivity beta ve vodě se postupuje podle normalizovaných metod ČSN 75 7611, ČSN 75 7612, ČSN 75 7610. Pro stanovení celkové objemové aktivity alfa se zvolí taková metoda, která je pro daný typ vody vhodná. Pokud voda obsahuje velké množství rozpuštěných solí, použije se přednostně srážecí metoda ČSN 75 7610. Pokud voda obsahuje velké množství nerozpuštěných látek, vzorek se rozdělí a stanovení se provede zvlášť pro rozpuštěný a nerozpuštěný podíl. Pro stanovení ostatních ukazatelů obsahu přírodních radionuklidů ve vodě se přednostně používají normalizované postupy. Nenormalizované metody nebo modifikované normalizované metody používané pro měření musí být v přiměřeném rozsahu validovány [ČSN EN ISO/IEC 17025] a předloženy Úřadu v rámci povolenávacího procesu. Požadavky na mez detekce a nejistoty měření používaných měřících metod jsou uvedeny v tabulce Tab. 9. Některé další požadavky na používané analytické postupy jsou uvedeny v tabulce Tab. 10.

Tab. 9: Požadavky na mez detekce a nejistotu měření

Měřený ukazatel	Mez detekce [Bq/l]		Kombinovaná standardní nejistota (%)
	do veřejné kanalizace	do povrchových vod	
celková aktivita alfa	1	0,1	15
celková aktivita beta	2	0,1	15
obsah uranu [mg/l]	0,1 ^{x)}	0,002 ^{x)}	10
obsah draslíku [mg/l]	100 ^{x)}	1 ^{x)}	15
objemová aktivita ⁴⁰ K	2	0,02	15
objemová aktivita ²¹⁰ Pb	2	0,07	10
objemová aktivita ²¹⁰ Po	1	0,04	10
objemová aktivita ²²⁶ Ra	2	0,03	10
objemová aktivita ²²⁸ Ra	2	0,05	10
objemová aktivita ²²⁸ Th	2	0,05	10
objemová aktivita ²³⁰ Th	5	0,05	10
objemová aktivita ²³² Th	5	0,05	10

Měřený ukazatel	Mez detekce [Bq/l]		Kombinovaná standardní nejistota (%)
	do veřejné kanalizace	do povrchových vod	
objemová aktivita ^{234}Th	30	0,3	10
objemová aktivita ^{234}U	2	0,02	10
objemová aktivita ^{238}U	2	0,02	10

x) V případě uranu a draslíku jsou meze stanovitelnosti uvedeny v jednotkách mg/l.

Poznámky:

- Mezi detekce (stanovitelnosti) se rozumí nejmenší detekovatelná objemová aktivita c_{ND} nebo nejmenší stanovitelná hmotnostní koncentrace ρ_{ND} stanovené na hladině významnosti 95 % ($\alpha = \beta = 0,05$).
- Nejistotou se rozumí maximální relativní kombinovaná standardní nejistota u_r (%) při hodnotě objemové aktivity nebo hmotnostní koncentrace rovné nebo vyšší než je čtyřnásobek v tabulce uvedené nejmenší detekovatelné hodnoty.

Tab. 10: Některé další požadavky na používané analytické postupy

Měřený ukazatel	Poznámky, požadavky, komentáře
Celková objemová aktivita alfa	Použije se normalizovaná metoda měření vhodná pro daný typ vody. Pokud se očekává zvýšený obsah izotopů radia ve vodě, doporučuje se zpracovat vzorek na preparát pro měření v intervalu 2 až 6 dnů od jeho odběru
Celková objemová aktivita beta	Použije se normalizovaná metoda měření. Pokud se očekává zvýšený obsah izotopů uranu ve vodě, doporučuje se zpracovat vzorek na preparát pro měření v intervalu 2 až 6 dnů od jeho odběru
Objemová aktivita ^{226}Ra	Použitá metoda musí eliminovat interference ostatních izotopů radia

12.2.2 Zpracování výsledků

Nejmenší významná objemová aktivita c_{NV} nebo nejmenší významná hmotnostní koncentrace ρ_{NV} se stanoví na hladině významnosti 95 % ($\alpha = 0,05$) podle vzorců uvedených v ČSN 75 7600 a v souvisejících technických normách ČSN 75 7610, ČSN 75 7611, ČSN 75 7612, ČSN 75 7614, ČSN EN ISO 17294-2, TNV 75 7621, ČSN 75 7622, TNV 75 7623, ČSN 75 7626, ČSN ISO 10703-2.

Nejmenší detekovatelná objemová aktivita c_{ND} a nejmenší stanovitelná hmotnostní koncentrace ρ_{ND} se stanoví na hladině významnosti 95 % ($\alpha = \beta = 0,05$) podle vzorců uvedených v ČSN 75 7600 a v souvisejících technických normách.

Relativní kombinovaná standardní nejistota u_r [%] se vypočte na základě dílčích standardních nejistot u_{ri} [%] spojených s provedením měřicí metody (Příloha 2) s použitím vztahu

$$u_r = \sqrt{\sum_i u_{ri}^2}$$

13

Kombinovaná standardní nejistota u vyjádřená ve stejných jednotkách jako výsledek měření c se vypočte s použitím vztahu

$$u = \frac{u_r \cdot c}{100} \quad 14$$

Relativní rozšířená nejistota U_r [%] a rozšířená nejistota U vyjádřená ve stejných jednotkách jako výsledek měření c se vypočtou s použitím vztahů

$$U_r = 2 \cdot u_r \quad U = 2 \cdot u \quad 15$$

12.2.3 Vyjadřování výsledků

Výsledky měření objemových aktivit se vyjadřují v becquerelech na litr [Bq/l]. Je-li objemová aktivita c nižší než nejmenší detekovatelná objemová aktivita c_{ND} , uvede se jako výsledek stanovení „nižší než c_{ND} “ nebo „ $<c_{ND}$ “, kde se číselně uvede zjištěná hodnota c_{ND} . V ostatních případech se uvede jako výsledek stanovení objemová aktivita c a rozšířená nejistota U [Bq/l] nebo relativní rozšířená nejistota U_r [%].

Výsledky měření hmotnostních koncentrací se vyjadřují v miligramech na litr [mg/l]. Je-li hmotnostní koncentrace ρ nižší než nejmenší stanovitelná hmotnostní koncentrace ρ_{ND} , uvede se jako výsledek stanovení „nižší než ρ_{ND} “ nebo „ $<\rho_{ND}$ “. V ostatních případech se uvede jako výsledek stanovení hmotnostní koncentrace ρ a rozšířená nejistota U [mg/l] nebo relativní rozšířená nejistota U_r [%].

12.2.4 Odborné vyjádření k výsledkům

Výsledky měření obsahu radionuklidů v odpadních vodách se hodnotí ve vztahu k uvolňovacím úrovním. Odborné vyjádření může být buď vloženo do protokolu o měření, například jako „odborné stanovisko“, nebo může být uvedeno v příloze k protokolu. Pokud se výsledek měření neliší od UÚ o více, než je rozšířená nejistota, je vhodné tuto skutečnost v hodnocení zohlednit (například formulací „převyšuje/nepřevyšuje s výhradou nejistoty stanovení“). Příklady hodnocení jsou pro jednotlivé ukazatele uvedeny dále.

12.2.4.1 Celková objemová aktivita alfa

Výsledky měření celkové objemové aktivity alfa se při vypouštění odpadních vod do vod povrchových hodnotí porovnáním s UÚ 0,50 Bq/l. Hodnocení se uvádí vždy.

Příklad 1:

výsledek měření (Bq/l)	rozšířená nejistota (Bq/l)	příklady hodnocení
0,40	$\pm 0,02$	Celková objemová aktivita alfa nepřevyšuje uvolňovací úroveň 0,5 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č 422/2016 Sb.pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
0,48	$\pm 0,03$	Celková objemová aktivita alfa nepřevyšuje s výhradou nejistoty měření uvolňovací úroveň 0,5 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. . pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
0,52	$\pm 0,04$	Celková objemová aktivita alfa převyšuje s výhradou nejistoty měření uvolňovací úroveň 0,5 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro

vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

0,60 ±0,08 Celková objemová aktivita alfa převyšuje uvolňovací úroveň 0,5 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

12.2.4.2 Celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku ⁴⁰K

Výsledky měření celkové objemové aktivity beta po odečtení příspěvku radionuklidu ⁴⁰K se při vypouštění odpadních vod do vod povrchových hodnotí porovnáním se směrnou hodnotou 1,0 Bq/l.

Příklad 2:

výsledek měření (Bq/l)	rozšířená nejistota (Bq/l)	příklady hodnocení
0,90	±0,06	Celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku radionuklidu ⁴⁰ K nepřevyšuje uvolňovací úroveň 1,0 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
0,96	±0,08	Celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku radionuklidu ⁴⁰ K nepřevyšuje s výhradou nejistoty uvolňovací úroveň 1,0 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
1,30	±0,22	Celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku radionuklidu ⁴⁰ K převyšuje uvolňovací úroveň 1,0 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb., pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
1,15	±0,22	Celková objemová aktivita beta po odečtení příspěvku radionuklidu ⁴⁰ K převyšuje s výhradou nejistoty uvolňovací úroveň 1,0 Bq/l, kterou stanoví vyhláška č. 422/2016 Sb. pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Obdobně se postupuje při hodnocení výsledků při vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu.

12.3 Protokol o zkoušce

O měření každého vzorku vyhotoví měřící laboratoř protokol, který splňuje náležitosti vzorového protokolu o měření uvedeného v příloze č. 19 vyhlášky, s vyznačením alespoň těchto údajů:

- číslo protokolu,
- identifikační údaje laboratoře,
- identifikační údaje objednatele měření,
- specifikace použité metodiky měření a účel měření,
- identifikační údaje osoby, která uvolňuje odpadní vodu,
- identifikační údaje pracoviště, z něhož je odpadní voda uvolňována
- číslo vzorku, pod nímž je vzorek evidován v laboratoři,
- způsob uvolňování vzorkované odpadní vody,

- i) identifikace vzorkované odpadní vody,
- j) způsob odběru vzorku,
- k) datum a místo odběru vzorku,
- l) identifikační údaje fyzické osoby, která vzorek odebrala,
- m) informace o úpravě vzorku k měření mimo měřící laboratoř,
- n) použitá metoda měření a měřící zařízení
- o) u stanovených měřidel čísla jejich ověřovacích listů a doba jejich platnosti,
- p) identifikační údaje fyzické osoby, která měření provedla,
- q) místo a datum provedení měření,
- r) výsledky měření,
- s) hodnocení výsledků měření,
- t) závěr s návrhem dalšího postupu,
- u) datum vystavení protokolu a
- v) podpis fyzické osoby s příslušným oprávněním zvláštní odborné způsobilosti, která zajišťuje plnění povinnosti při měření, a držitele povolení provádějícího měření, je-li fyzickou osobou, nebo statutárního orgánu držitele povolení provádějícího měření, je-li právnickou osobou.

Při zachování všech požadovaných informací může být protokol společný pro více vzorků.

Hodnocení výsledků může být uvedeno v příloze k protokolu jako odborné stanovisko. Údaje podle písm. h) až m) není třeba uvádět, pokud je záznam o odběru vzorku přílohou protokolu.

Pod bodem „t) závěr s uvedením dalšího postupu“ se obvykle rozumí návrh postupu při překročení UÚ (viz část 8 tohoto doporučení). V případě nepřekročení UÚ stačí k tomuto bodu uvést pouze „Požadován jen v případě překročení uvolňovací úrovně“.

Protokol o měření včetně příloh se zakládá u původce uvolňovaných RaL jako součást evidence výsledků měření a hodnocení obsahu RN. Stejnopis protokolu včetně příloh archivuje měřící laboratoř v listinné nebo elektronicky neměnné podobě (například soubory typu pdf nebo naskenované dokumenty).

13 Hodnocení výsledků měření a postup při překročení uvolňovacích úrovní

13.1 Uvolňování odpadních vod do vod povrchových

Jestliže nejméně jedna z celkových objemových aktivit c_α a c_β převyšuje hodnotu uvolňovací úrovně, provede se doplňkový rozbor podle bodů a) až f) kapitoly 12.1.2 tak, aby po odečtení příspěvků všech stanovených radionuklidů nepřesáhla příslušná celková objemová aktivita dvě desetiny hodnoty uvolňovací úrovně. Výsledky objemových aktivit stanovených radionuklidů se použijí k výpočtu objemových aktivit těchto radionuklidů ve vodě v toku, do něhož je odpadní voda vypouštěna.

V případě kontinuálního vypouštění se objemová aktivita C_i radionuklidu i ve vodě v toku vypočítá podle vztahu

$$C_i = \frac{C_0 \cdot q_0 + C_i^P \cdot Q_0}{Q_0 + q_0}$$

kde

C_i	objemová aktivita radionuklidu i ve vodě v toku [Bq.l^{-1}]
C_i^P	je přírodní (pozařová) objemová aktivita radionuklidu i v toku nad místem vypouštění [Bq.l^{-1}]
C_0	je objemová aktivita radionuklidu ve vypouštěné odpadní vodě [Bq.l^{-1}]
q_0	je roční průměrný odtok odpadní vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Q_0	je roční průměrný průtok toku nad místem vypouštění [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], uváděný také jako Q_{365}

Nekonzervativnější odhad získáme uvažováním vypouštění do suchého koryta. V tom případě platí $C_i = C_0$.

Není-li v provozu instalováno měření množství vypouštěných odpadních vod, stanoví se množství vypouštěných odpadních vod podle údajů vodoměru odebrané vody. Není-li vodoměr instalován, použijí se směrná čísla roční potřeby vody.

V případě diskontinuálního vypouštění se objemová aktivita C_i radionuklidu i vypočítá podle vztahu

$$C_i = n \cdot \frac{C_0 \cdot V_0/t + C_i^P \cdot Q_0}{Q_0 + V_0/t}$$

kde

C_i	objemová aktivita radionuklidu i ve vodě v toku [Bq.l^{-1}]
C_i^P	je přírodní (pozařová) objemová aktivita radionuklidu v toku nad místem vypouštění [Bq.l^{-1}]
n	je počet vypouštění za rok
C_0	je objemová aktivita radionuklidu ve výpusti [Bq.l^{-1}]
V_0	je objem jednotlivé výpusti [m^3]
t	je doba vypouštění jednotlivé výpusti [s]
Q_0	je roční průměrný průtok toku nad místem vypouštění [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Při výpočtu podle vztahů (16) a (17) lze jako hodnoty C_i^P použít koncentrace uvedené v tabulce Tab. 26, nejsou-li k dispozici hodnoty změřené.

Pokud nejsou hodnoty C_0 , q_0 a Q_0 konstantní v čase (nejčastější případ), stanoví se jako konzervativní odhad objemových aktivit v toku z hodnoty průtoku vody v toku s roční pravděpodobností nepřekročení 95% a maximální roční hodnoty rychlosti uvolňování radionuklidů $(C_0 \cdot q_0)_{max}$.

Není-li v provozu instalováno měření množství vypouštěných odpadních vod, stanoví se množství vypouštěných odpadních vod podle údajů vodoměru odebrané vody. Není-li vodoměr instalován, použijí se směrná čísla roční potřeby vody.

13.1.1 Postup pracoviště uvolňujícího odpadní vody do povrchových vod

Jestliže průměrné hodnoty celkových objemových aktivit c_α a c_β nejsou s výhradou nejistoty vyšší než hodnoty uvolňovacích úrovní, lze odpadní vody vypouštět bez omezení.

Je-li prokazatelně zjištěno překročení UÚ, provede se výpočet efektivní dávky zohledňující možné expoziční scénáře přicházející v úvahu v souvislosti s uvolňováním RaL postupem podle Části 3.

RaL převyšující UÚ, ale nepřevyšující 0,3 mSv lze uvolňovat jen po oznámení Úřadu.

RaL převyšující UÚ a současně převyšující 0,3 mSv lze uvolňovat jen na povolení úřadu se souhlasem Úřadu (60 dnů před uvolněním).

Za řešení situace při překročení UÚ odpovídá provozovatel pracoviště.

13.2 Uvolňování odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu

Uvolňovací úrovně pro vypouštění odpadních vod do kanalizace pro veřejnou potřebu jsou stokrát vyšší než do povrchových vod. Jejich hodnoty vychází z toho, že radionuklidy budou zadrženy a naředěny v čistírně odpadních vod (ČOV).

Jestliže průměrné hodnoty celkových objemových aktivit c_α a c_β nejsou s výhradou nejistoty vyšší než hodnoty uvolňovacích úrovní, lze odpadní vody vypouštět bez omezení.

Je-li prokazatelně zjištěno překročení UÚ, provede se výpočet hodnot celkových objemových aktivit c_α a c_β ev odpadní vodě na vstupu do ČOV. Pokud některá z hodnot překročí hodnotu UÚ pro uvolňování odpadních vod do vod povrchových, stavá se ČOV pracovištěm podle § 87 písm. p) vyhlášky. Jestliže jsou ve vodě vypouštěné za ČOV překročeny uvolňovací úrovně COAA a COAB pro uvolňování do povrchových vod, postupuje se způsobem popsaným v kapitole 12.1.

14 Související dokumenty

ČSN EN ISO 5667-1. Jakost vod – Odběr vzorků – Část 1: Návod pro návrh programu odběru vzorků a pro způsoby odběru vzorků. ČNI 2007

ČSN EN ISO 5667-3. Jakost vod – Odběr vzorků – Část 3: Návod pro konzervaci vzorků a manipulaci s nimi. ÚNMZ 2013

ČSN EN ISO 5667-3. Jakost vod – Odběr vzorků – Část 10: Pokyny pro odběr vzorků odpadních vod. ÚNMZ 2007

ČSN 75 7600. Jakost vod – Stanovení radionuklidů – Všeobecná ustanovení. ÚNMZ 2013

ČSN 75 7610. Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity alfa srážecí metodou. ČNI 2008

ČSN 75 7611. Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity alfa. ČNI 2005

ČSN 75 7612. Jakost vod – Stanovení celkové objemové aktivity beta. ČNI 2004

ČSN 75 7614. Jakost vod – Stanovení uranu. ČNI 2005

ČSN EN ISO 17294-2. Jakost vod– Použití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)– Část 2: Stanovení 62 prvků. ČNI 2005

TNV 75 7621. Jakost vod – Stanovení radia 228 srážecí metodou. Hydroprojekt 2006

ČSN 75 7622. Jakost vod – Stanovení radia 226. ČNI 2005

TNV 75 7623. Jakost vod – Stanovení radia 226 bez srážecího postupu. Hydroprojekt 1999

ČSN 75 7623. Jakost vod – Stanovení radia 226 emanometricky bez koncentrování. ÚNMZ 2009

ČSN 75 7626. Jakost vod – Stanovení polonia 210. ČNI 2007

ČSN ISO 10703. Jakost vod – Stanovení objemové aktivity radionuklidů spektrometrií záření gama s vysokým rozlišením. ČNI 2008

ČSN EN ISO/IEC 17025. Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří. ČNI 2005

NaV 2015. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech

Doporučení SÚJB, 2008. Postupy při výpočtu ozáření obyvatelstva přírodními radionuklidy uvolňovanými do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech ovlivněných hornickou činností. Doporučení SÚJB, 2008

Doporučení SÚJB, 2012. Měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve vodě dodávané k veřejnému zásobování pitnou vodou. Doporučení SÚJB- Rev. 1, 2012

Zákon 254, 2001. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Příloha 2-1: Záznam o odběru vzorku (vzor)

Záznam o odběru vzorku vody určené k veřejnému zásobování pitnou vodou pro potřeby systematického měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů

Identifikace provozovatele pracoviště	
Identifikace pracoviště (název, adresa)	
Přesný popis místa odběru (adresa, bližší popis místa, identifikace výpusti)	
Původ a druh vody	<input type="checkbox"/> z výroby dodávané vody <input type="checkbox"/> z jiného pracoviště NORM-popis
Objem odpadní vody vypouštěné v kal. roce	
Způsob uvolňování	<input type="checkbox"/> kontinuální – průtok [m^3/s] <input type="checkbox"/> diskontinuální – objem [... m^3], čas vypuštění [hod]
Způsob odběru vzorku	<input type="checkbox"/> bodový <input type="checkbox"/> slévaný
Datum a čas odběru vzorku, doba po kterou byl slévaný vzorek sbírán	
Identifikace kanalizace (název, obec,okres) nebo toku (nádrže) včetně označení místa vypouštění	
Úprava vzorku	<input type="checkbox"/> nebyla provedena <input type="checkbox"/> okyselení ml/l <input type="checkbox"/> jiná úprava – uveďte:
Kdo vzorek odebral	

(jméno, firma, podpis)	
Další osoba přítomná u odběru (jméno, firma, podpis)	
Účel a požadovaný rozsah měření	<input type="checkbox"/> úplný rozbor základní rozbor pro účely systematického měření a hodnocení <input type="checkbox"/> doplňující rozbor <input type="checkbox"/> doplňující rozbor – radionuklidy emitující záření beta <input type="checkbox"/> stanovení objemových aktivit vybraných radionuklidů, uveďte: <input type="checkbox"/> výpočet odhadu roční efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva <input type="checkbox"/> jiný – uveďte:
Identifikace laboratoře	
Datum předání nebo odeslání vzorku do laboratoře	
Další údaje vztahující se k odběru a měření vzorku	
Jméno a podpis odevzdávající (odesílající) osoby	
Jméno a podpis osoby přejímající vzorek	

Příloha 2-2: Podklady pro odhad nejistoty měření

Kombinovaná standardní nejistota a rozšířená nejistota se stanoví s použitím vztahů (13) až (15) uvedených v části 12.2.2 na základě identifikace a kvantifikace jednotlivých zdrojů nejistot spojených s provedením měřicí metody. V tabulce Tab. 11 jsou uvedeny některé zdroje nejistot, které se obvykle uplatní při měření obsahu přírodních radionuklidů ve vodě, možné způsoby jejich stanovení a obvyklé hodnoty relativní standardní nejistoty u_{ri} vyjádřené v %. Je třeba zdůraznit, že uvedený výčet nemusí být úplný a v tabulce uvedené obvyklé hodnoty nemusí odpovídat skutečným hodnotám v praxi té které laboratoře. Při odhadu nejistot by laboratoř měla vycházet vždy z rozboru provedeného pro konkrétní metodu stanovení a pro konkrétní způsob jejího provedení [ČSN EN ISO/IEC 17025].

Tab. 11: Podklady pro odhad relativní standardní nejistoty

zdroj nejistoty	způsob stanovení	obvyklá nejistota u_{ri} (%)
odměření objemu vzorku pro zpracování	z kalibračního listu, z údajů na použité odměrné nádobě	0,5 až 2
zpracování vzorku na preparát pro měření	z rozptylu výsledků opakované analýzy téhož vzorku	3 až 6
měření preparátu ze vzorku a měření pozadí	podle vztahu (15)	2 až 30
aktivita etalonu použitého pro stanovení účinnosti	z certifikátu etalonu	0,5 až 2
příprava kalibračního roztoku ředěním etalonu	z kalibračního listu, z údajů na použitých odměrných nádobách	0,2 až 2
dávkování kalibračního roztoku	z kalibračního listu	0,5 až 2
příprava preparátu pro stanovení účinnosti	z rozptylu výsledků opakované přípravy preparátu	2 až 4
měření preparátu pro stanovení účinnosti	podle vztahu (16)	1 až 2
měření preparátu ze vzorku s přídavkem	podle vztahu (17)	1 až 2

Poznámka

Pro odhad nejistoty se použijí kalibrační listy pipet a vah, případně odměrného nádobí, pokud není třídy A. U nádobí třídy A se použije údaj na nádobě.

Odhad relativní standardní nejistoty u_{ri} (%) spojené s měřením preparátu ze vzorku (vzorku bez přídavku) a s měřením pozadí

$$u_{ri}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_V}{t_V^2} + \frac{N_P}{t_P^2}}}{\frac{N_V}{t_V} - \frac{N_P}{t_P}}$$

18

Odhad relativní standardní nejistoty u_{ri} (%) spojené s měřením preparátu pro stanovení účinnosti a s měřením pozadí

$$u_{ri}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_E}{t_E^2} + \frac{N_P}{t_P^2}}}{\frac{N_E}{t_E} - \frac{N_P}{t_P}} \quad 19$$

Odhad relativní standardní nejistoty u_{ri} (%) spojené s měřením preparátu ze vzorku s přídavkem a s měřením preparátu ze vzorku bez přídavku

$$u_{ri}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{N_{PR}}{t_{PR}^2} + \frac{N_V}{t_V^2}}}{\frac{N_{PR}}{t_{PR}} - \frac{N_V}{t_V}} \quad 20$$

Označení proměnných použité ve vzorcích (18) až (20):

- N_V počet impulsů za celkovou dobu měření preparátu ze vzorku (vzorku bez přídavku)
- N_{PR} počet impulsů za celkovou dobu měření preparátu ze vzorku s přídavkem
- N_E počet impulsů za celkovou dobu měření preparátu pro stanovení účinnosti
- t_V celkovou dobu měření preparátu ze vzorku (vzorku bez přídavku), v sekundách
- t_{PR} celkovou dobu měření preparátu ze vzorku s přídavkem, v sekundách
- t_E celkovou dobu měření preparátu pro stanovení účinnosti, v sekundách

Část 3 - Postupy pro stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva

15 Úvod k postupům pro stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva

Tato část popisuje postupy stanovení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva spojené s uvolňováním RaL z pracoviště, které se použijí v případě uvolňování podle ustanovení § 95 odst. 3 (na oznámení) nebo § 9 odst. 2 písm. e) (na povolení) [zákona](#), a to situacích, kdy při uvolňování nejsou splněna odvozená kritéria a podmínky podle [Části 4](#).

Překročení či nepřekročení dávkových kritérií 0,3 resp. 1 mSv/rok se posuzuje u všech jedinců z obyvatelstva, kteří mohou být při procesu uvolňování dotčeni (např. RaL bude ukládána na skládku, musí se tedy posoudit efektivní dávka u řidiče vozového nákladu na skládku, zaměstnance skládky a osob žijících v nejbližším okolí skládky). Za jednotlivce z obyvatelstva se v těchto případech nepovažují osoby, které jsou pracovníky nakládajícími s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu na pracovišti se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu, pro které se stanovují osobní dávky postupem v souladu s ustanovením § 93 odst. 2 písm. a) [zákona](#) a § 88 [vyhlášky](#).

I v této části se používá odstupňovaný přístup. Nejprve se počítá efektivní dávka podle konzervativní varianty expozičního scénáře(ů). Pokud je výsledkem konzervativní varianty překročení dávkového kritéria, přistoupí se ke zpřesnění vstupních hodnot (např. měřením skutečné doby při nakládání s RaL) a scénáře se aktualizují tak, aby co nejlépe odpovídaly realitě. Vždy se musí dbát na to, aby vstupní hodnoty pro výpočet efektivní dávky byly dostatečně reprezentativní a nedošlo k podhodnocení efektivní dávky.

V dalším textu je proto proveden souhrn relevantních základních postupů pro stanovení efektivní dávky. V případě, že je zřejmé, že některou z expozičních cest nelze oproti zde popsanému expozičnímu scénáři v dané situaci zanedbat, je nezbytné takovou expoziční cestu do výpočtu efektivní dávky zahrnout. V takovém případě lze postupovat podle relevantních dokumentů, např. [\[Doporučení SÚJB, 2008\]](#), [\[EU RP 122\]](#), [\[Doporučení BfS\]](#) a [\[IAEA SFR 44\]](#).

Text čerpá z obecných postupů při hodnocení ozáření obyvatelstva popsaných v Doporučení Postupy při výpočtu ozáření kritické skupiny osob v souvislosti s uvolňováním přírodních radionuklidů do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech s ukončenou hornickou činností, SÚJB 2008, a relevantních mezinárodních doporučení.

Vybrané pojmy

Aerosol – částice šířené proudem vzduchu, mohou být kapalné i pevné.

Koeficient emanace - poměr počtu atomů radonu uvolněných z materiálu k počtu atomů radonu, které v materiálu vznikly radioaktivní přeměnou ²²⁶Ra.

Polétavý prach, prach – pevné částice šířené proudem vzduchu.

Resuspenze (také sekundární prašnost) - proces, kdy dochází ke strhnutí částic dříve deponovaných na povrchové ploše vlivem proudění vzduchu nad touto povrchovou plochou.

16 Obecný postup ke stanovení efektivní dávky

Výpočet efektivní dávky musí zahrnovat:

- zevní ozáření,
- vnitřní ozáření v důsledku inhalace RN deponovaných na aerosolu a radonu,
- vnitřní ozáření v důsledku ingesce RN.

Obecný postup pro výpočet efektivní dávky je následující:

- provedení inventury zdrojů přírodní radioaktivity, možných způsobů jejího uvolňování včetně kvantifikace (analýza zdroje),
- provedení analýzy transportu radioaktivity (tj. analýzy předpokládaných cest šíření RN) a stanovení koncentrace RN ve složkách životního prostředí včetně potravních řetězců,
- provedení inventury možných expozičních cest.

Celková efektivní dávka je pak rovna součtu efektivních dávek z jednotlivých expozičních cest. Pokud je RaL uvolňována různými způsoby, např. část odvozem na skládku a část jako odpadní voda do vodoteče, je nutné provést analýzu expozičních cest pro jednotlivé způsoby uvolňování. Celková efektivní dávka jednotlivce z obyvatelstva způsobená uvolněním RaL se pak rovná součtu efektivních dávek pro jednotlivé způsoby uvolňování a jednotlivé expoziční cesty, které jsou pro ni relevantní.

Vzhledem k tomu, že se posuzuje navýšení dávky v důsledku lidské činnosti oproti původnímu stavu, je při výpočtech nutno znát a odečíst hodnoty původního přírodního pozadí. S touto situací se počítá a ve všech případech se hodnoty pozadí uvažují. Za hodnoty pozadí je třeba použít konkrétní hodnoty zjištěné v posuzované lokalitě. Pouze pokud nejsou známy, lze jako odhadu použít doporučených standardních hodnot pro danou oblast nebo obecně pro Českou republiku (viz [Tab. 26](#)).

Vnitřní ozáření způsobené radionuklidem ^{40}K , tj. jeho inhalací nebo ingescí, nepřichází v úvahu a v tomto doporučení se s ním nepočítá. Množství draslíku je v těle člověka homeostaticky udržováno na stejné úrovni a aktivita K-40 v těle odpovídá zhruba 55 Bq/kg tělesné hmotnosti [[Klener, 2000](#)].

Pro účely tohoto Doporučení se neuvažuje inhalace thoronu z důvodu jeho krátkého poločasu přeměny. V případě, že budou na základě provedených měření a analýz známy informace o tom, že inhalace thoronu a jeho produktů přeměny nemůže být v některém z expozičních scénářů opomenuta, jejich příspěvek se do výpočtu celkové efektivní dávky zahrne.

Poznámka: Pokud jsou známa lokální specifika (např. aerosolové spektrum, převažující spotřeba lokálně vyrobených potravin, specifická expoziční cesta, specifické hodnoty přírodního pozadí atp.), zohlední se v přípravě expozičních scénářů.

Pozn.: Pro podrobné výpočty efektivních dávek z jednotlivých expozičních cest je nutné použít výpočetní modely, např. PC CREAM, RESRAD atd.

Přehled doporučených standardních hodnot, které se používají při výpočtech efektivní dávky je uveden v [Příloze 3](#).

16.1 Analýza zdroje

V rámci popisu zdroje jsou provedeny takové rozborů reprezentativních vzorků uvolňované RaL, na jejichž základě se identifikují a kvantifikují obsahy RN v této látce. Popis měření obsahu RN je obsahem [Části 1](#) a [Části 2](#) tohoto Doporučení.

Popis zdroje zahrnuje popis uvolňované RaL (skupenství, množství, frekvenci uvolňování, v jaké části výrobního procesu vznikl, chemické složení, obsah přírodních radionuklidů, zda je nebo není ustavena radioaktivní rovnováha, jakým způsobem bude uvolňován).

Pokud není možné provést měření, je nutné k odhadu zdroje použít modelové výpočty nebo odhad.

16.2 Analýza transportu radionuklidů v prostředí

V tomto kroku se při uvolňování pevných RaL provede:

- a) teoretická analýza transportu a odhad koncentrací RN v ovzduší včetně odhadu rychlosti spadu (od jednoduchých odhadů ke složitější analýze) postupně na základě:
 - triviálního předpokladu – koncentrace v prostředí je totožná s koncentrací u zdroje (tj. nedochází k ředění), spad je odhadnut z konzervativní rychlosti spadu,
 - reálného odhadu – šíření podle Gaussovského modelu, rychlost spadu je odhadnuta obdobně,
 - rozptylové studie zahrnující konkrétní geografické a meteorologické údaje, tato studie má zásadní význam v případě, kdy jednoduché odhady poskytují příliš konzervativní odhady,
 - součástí analýzy depozice by vedle stanovení velikosti spadu za jednotku času (roční spad) měl být také rozbor dlouhodobé kumulace aktivity v důsledku depozice v půdě.
- b) přímé měření objemových aktivit RN (včetně jejich fyzikálních a chemických vlastností) a toků v ovzduší a přímé měření rychlosti spadu,
- c) porovnání teoreticky vypočtených a přímo měřených hodnot.

V tomto kroku se při uvolňování RaL, které jsou odpadními vodami, provede:

- a) teoretická analýza transportu a odhad koncentrací RN ve vodních tocích a sedimentech (od jednoduchých odhadů ke složitější analýze) v těchto krocích:
 - jednoduché ředění v poměru průtoků vody (bere se v úvahu Q_{365} v místě nad místem vypouštění odpadní vody) ,
 - detailní analýza se zahrnutím podrobných hydrologických údajů.

K analýze procesu sedimentace patří i rozbor dlouhodobé kumulace aktivity v sedimentech, případně možnosti uvolňování ze sedimentů, pohyb sedimentů a vymezení záplavového pásma. Může-li dojít ke kontaminaci podzemních vod (studní, nebo podzemního rezervoáru), je třeba provést hydrogeologický průzkum.

- b) měření objemových aktivit RN (včetně jejich fyzikálních a chemických vlastností) ve vodních tocích a v sedimentech a rychlosti přísunu nosného média,

c) porovnání teoreticky vypočtených a skutečně naměřených hodnot.

16.3 Popis expozičních cest

Při analýze expozičních cest se zohlední především:

- zevní ozáření v důsledku pobytu na území kontaminovaném RN (venku i v obydlích),
- zevní ozáření v důsledku pobytu v blízkosti nahromaděné RaL,
- vnitřní kontaminace v důsledku inhalace plynů (radonu) a aerosolů (prachu),
- vnitřní kontaminace v důsledku ingesce kontaminované vody,
- vnitřní kontaminace v důsledku ingesce kontaminované zeleniny, ovoce a rostlinných produktů,
- vnitřní kontaminace v důsledku ingesce kontaminovaného masa (včetně ryb) a mléka,
- vnitřní kontaminace v důsledku ingesce kontaminované půdy (u dětí).

Další možné expoziční cesty např. zevní ozáření z mraku (při uvolňování do atmosféry) se v případě přírodních radionuklidů považují za méně významné.

16.3.1 Poznámky k významu expozičních cest [Doporučení BfS]

V expozičních scénářích pro stanovení efektivní dávky uvnitř budov v důsledku RaL uvolněné do vnějšího prostředí se uvažuje zevní ozáření, inhalace prachu, inhalace radonu a produktů jeho přeměny, přičemž:

- zevní ozáření se uvažuje, pokud je budova situovaná do vzdálenosti 20 m od místa uvolnění/uložení RaL,
- inhalace prachu, pokud je budova situovaná do vzdálenosti 100 m od místa uvolnění/uložení RaL a
- inhalace radonu a jeho produktů přeměny se uvažuje, pokud je budova umístěna na či v blízkosti uvolněné RaL.

V expozičních scénářích pro stanovení efektivní dávky venku na volném prostranství v důsledku uvolněné RaL se uvažuje zevní ozáření, inhalace prachu, inhalace radonu a produktů jeho přeměny a přímá ingesce půdy, přičemž:

- zevní ozáření se uvažuje, pokud je budova situovaná do vzdálenosti 20 m od místa uvolnění/uložení RaL,
- inhalace prachu, pokud je budova situovaná do vzdálenosti 100 m od místa uvolnění/uložení RaL,
- inhalace radonu a jejich produktů přeměny se uvažuje, pokud je budova umístěna na či v blízkosti uvolněné RaL a
- přímá ingesce půdy na místě uvolňování RaL.

V expozičních scénářích ingesce místně produkovaných potravin v důsledku uvolněné RaL se uvažují expoziční cesty, viz [Obr. 5](#) a **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, přičemž:

- Přestup z půdy do rostlin se uvažuje v případě, pokud jsou rostliny pěstovány na místě, kam byla uvolněna/uložena RaL.
- Cesta aerosolů (prach i sekundární prašnost na povrchu rostlin) se uvažuje, pokud jsou rostliny pěstovány do vzdálenosti 100 m od místa uvolnění/uložení RaL.
- Cesta kontaminantů s vodou se uvažuje, pokud
 - je možná kontaminace spodní vody
 - je omezena retence kontaminované vody (snížená pravděpodobnost sedimentace).
- Expoziční cesty zahrnuté do přestupu z půdy do rostlin a transportu aerosolů vzduchem jsou relevantní, pouze pokud se na území zájmu skutečně pěstují rostliny pro lidskou spotřebu a píce pro dobytek. Podobně to platí pro přestup z vody do rostlin.
- Pro expoziční scénář mateřské mléko, resp. náhrada mateřského mléka, se předpokládá, že jedna z těchto variant u dětí mladších 1 roku převažuje. Předpokládá se, že radionuklidy se do umělého m.m. mohou dostat pouze v pitné vodě, nikoli v prášku samotném.
- Pokud lze očekávat, že může být kontaminovaná jak spodní, tak i povrchová voda, uvažují se ve výpočtech ty z cest, které povedou k vyšším efektivním dávkám.
- Ingesce půdy, která může být kontaminovaná v důsledku uvolnění RaL, se neuvažuje u dětí mladších 1 rok.

16.4 Jednotlivec z obyvatelstva

Expoziční scénáře se zpracovávají pro všechny jednotlivce z obyvatelstva, kteří mohou být ozáření v důsledku uvolňování RaL z pracoviště, tj. včetně pracovníků, kteří se na uvolňování podílejí mimo prostory pracoviště. Za jednotlivce z obyvatelstva se v těchto případech nepovažují osoby, které jsou pracovníky nakládajícími s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu na pracovišti, pro které se stanovují osobní dávky postupem v souladu s ustanovením § 93 odst. 2 písm. a) zákona a § 88 vyhlášky.

Ve skutečnosti není možné odhadnout chování každého jedince. Proto se vytvoří skupiny jednotlivců z obyvatelstva, které z hlediska konkrétního uvolňování RaL z pracoviště reprezentují podobné parametry. Pro tyto charakteristické jednotlivce z obyvatelstva jsou následně vypracovány expoziční scénáře.

17 Postupy pro výpočet efektivní dávky

V této kapitole jsou shrnuta základní pravidla pro výpočet efektivní dávky z jednotlivých expozičních cest. Přehled doporučených hodnot vstupních parametrů nezáviselých na zvoleném expozičním scénáři je zpracován v [Příloze 3](#).

Celková efektivní dávka se spočte jako

$$E = E_{zevní} + E_{inh} + E_{Rn} + E_{ing} \quad 21$$

kde

E	celková efektivní dávka, kterou obdrží jedinec z obyvatelstva na základě stanoveného expozičního scénáře [mSv/rok]
E_{zevni}	efektivní dávka, kterou obdrží jedinec z obyvatelstva od zevního ozáření [mSv/rok], viz kapitola 17.2
E_{inh}	efektivní dávka, kterou obdrží jedinec z obyvatelstva od vnitřního ozáření v důsledku inhalace radioaktivních aerosolů [mSv/rok], viz kapitola 17.3
E_{Rn}	efektivní dávka, kterou obdrží jedinec z obyvatelstva od vnitřního ozáření v důsledku inhalace radonu a produktů jeho přeměny [mSv/rok], viz kapitola 17.3
E_{ing}	efektivní dávka, kterou obdrží jedinec z obyvatelstva od vnitřního ozáření v důsledku ingesce kontaminovaných potravin, vody, prachu atd. [mSv/rok], viz kapitola 17.4

17.1 Zahrnutí nejistot do výpočtu efektivní dávky

Do výpočtu efektivní dávky vstupuje značné množství parametrů, z nichž většina je získána z mezinárodních doporučení. Tyto parametry, resp. jejich hodnoty, vstupují do základních výpočtů jako absolutní hodnoty. Pouze ty hodnoty, které jsou změřené za účelem výpočtu efektivní dávky, vstupují do výpočtu se svou nejistotou stanovení (viz kap [7.5](#) a [12.2.3](#)). Ve většině případů se bude jednat pouze o hmotnostní aktivitu jednotlivých RN. V tom případě se efektivní dávka spočítá tak, že se jako hmotnostní aktivita příslušného RN do rovnice dosadí součet hmotnostní aktivity A a rozšířené kombinované nejistoty stanovení U . Efektivní dávka je tedy horním odhadem efektivní dávky zohledňujícím i rozšířenou kombinovanou nejistotu měření. Hodnoty aktivit ležící pod NDA se do výsledné dávky nezapočítávají. Při vyjadřování výsledků se postupuje podobně jako při měření obsahu RN v RaL.:

<i>výsledek výpočtu (mS/rok)</i>	<i>rozšířená nejistota (mSv/rok)</i>	<i>příklady hodnocení</i>
0,280	$\pm 0,090$	<i>Efektivní dávka nepřevyšuje s výhradou nejistoty hodnotu 0,3mSv/rok</i>
0,310	$\pm 0,080$	<i>Efektivní dávka převyšuje s výhradou nejistoty hodnotu 0,3 mSv/rok</i>

17.2 Výpočet efektivní dávky od zevního ozáření gama (ve vnějším prostředí a uvnitř budov)

Při výpočtu efektivní dávky ze zevního ozáření v důsledku expozice RaL se vychází jednak z expozice ve volném terénu, jednak z expozice při pobytu v budovách. Pro účely tohoto textu je expozicí v budovách míněno ozáření z RaL nacházejících se mimo budovy, tj. uvažuje se stínící schopnost budov vyjádřená stínícím faktorem. Doporučení předpokládá, že budovy jsou postaveny ze stavebního materiálu, v němž obsah RN odpovídá požadavkům zákona a vyhlášky. Ozáření ze stavebního materiálu uvnitř budovy je v takovém případě považováno za pozadřovou hodnotu, která se ve stanovení efektivní dávky nezohledňuje.

Efektivní dávka ze zevního ozáření se stanoví pomocí [rovnice 22](#)

$$E = \sum T \cdot B \cdot S \cdot (H_x - H_{xp})$$

22

kde

E	efektivní dávka ze zevního ozáření [μSv],
T	doba expozice (tj. délka pobytu) na jednotlivých místech (viz doporučené hodnoty v tabulce Tab. 14 pro pobyt budovách, volné přírodě a pro příležitostný pobyt) [h],
H_x	měřený příkon prostorového dávkového ekvivalentu nebo dávkový příkon v místě x [$\mu\text{Sv/h}$],
H_{xp}	příkon prostorového dávkového ekvivalentu nebo dávkový příkon odpovídající přírodnímu pozadí v posuzovaném místě x [$\mu\text{Sv/h}$], (není-li znám, lze použít průměrnou hodnotu pozadí v ČR $0,14 \mu\text{Sv/h}$),
B	konverzní faktor pro přepočítání dávkového příkonu záření gama RN na efektivní dávku v mSv/mGy ; pro běžnou směs RN ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Th s jejich produkty přeměny se konvenčně použije hodnota $B = 0,7 \text{ mSv/mGy}$ (podle UNSCEAR 1982). Pokud je měřeno ve veličině prostorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$, použije se hodnota $B = 1$.
S	bezrozměrný stínící faktor (připadá v úvahu zejména v případě pobytu v budovách a expozice osob materiálům vyskytujícím se mimo budovu), doporučené hodnoty $S=1$ (venku), $S=0,3$ (lehké stavební konstrukce), $S=0,1$ (masivní budovy).

Sčítá se přes všechna místa pobytu osob, kde se osoby zdržují významnou část roku, tj. venku i uvnitř budov.

17.2.1 Podrobnosti ke stanovení příkonu prostorového dávkového ekvivalentu

Příkon prostorového dávkového ekvivalentu lze stanovit:

- přímým měřením,
- výpočtem (pro některé jednoduché případy) ze známých aktivit uvolňované RaL.

Pro případ, kdy jsou známy hmotnostní aktivity RN v uvolňované RaL, lze příkon prostorového dávkového ekvivalentu vypočítat s použitím těchto hmotnostních aktivit a příslušných konverzních faktorů pro přepočítání z hmotnostní aktivity na příkon prostorového dávkového ekvivalentu při zvolené geometrii zdroje a exponované osoby podle [rovnice 23](#). Tyto konverzní faktory lze získat modelováním ve výpočetním software (např. Microshield, MCNPX, atd.). Pro vybrané geometrie a přírodní radionuklidy jsou tyto konverzní faktory shrnuty v tabulce [Tab. 16](#).

$$H_x = \sum_r h_{\text{ext},r} \cdot a_r$$

23

kde

$h_{\text{ext},r}$	konverzní faktor pro přepočítání hmotnostní aktivity radionuklidu r na prostorový dávkový ekvivalent pro danou geometrii [$(\text{Sv/h})/(\text{kBq/kg})$], viz Tab. 16
a_r	hmotnostní aktivita radionuklidu r [kBq/kg]

Poznámka: V celém textu jsou pro výpočty zevního ozáření používány hodnoty z Tab. 16, není-li uvedeno jinak.

17.3 Vnitřní ozáření v důsledku inhalace radonu a produktů jeho přeměny a radioaktivního aerosolu v budovách a volném prostranství

17.3.1 Výpočet efektivní dávky od radonu a produktů jeho přeměny

Při výpočtu efektivní dávky od „radonu“, tj. v důsledku inhalace produktů přeměny radonu, se vychází jednak z expozice ve volném terénu, jednak z expozice při pobytu v budovách. Expozicí v budovách se v tomto případě má na mysli expozice radonu z venkovního prostředí (obsah radonu ve venkovním ovzduší je ovšem ve skutečnosti zpravidla podstatně nižší než obsah radonu ve vlastním objektu). Pro výpočet efektivní dávky z inhalace radonu a jeho produktů přeměny se použije vztahů

$$E = \sum k \cdot F \cdot (a_{Rn} - a_{Rn0}) \cdot T, \text{ se použije, pokud je známá objemová aktivita radonu} \quad 24$$

$$E = \sum k \cdot (a_{ekv} - a_{ekv0}) \cdot T, \text{ se použije, pokud je známá ekvivalentní objemová aktivita radonu,} \quad 25$$

kde

E	efektivní dávka od produktů přeměny radonu [mSv/rok],
a_{Rn}	objemová aktivita radonu [Bq/m^3],
a_{ekv}	ekvivalentní objemová aktivita radonu [Bq/m^3],
a_{Rn0}	hodnota pozadí objemové aktivity radonu v Bq/m^3 v dané lokalitě, průměrná hodnota v ČR $10 Bq/m^3$ venku, $140 Bq/m^3$ uvnitř budov,
a_{ekv0}	hodnota pozadí ekvivalentní objemové aktivity radonu v Bq/m^3 v dané lokalitě, průměrná hodnota v ČR $5 Bq/m^3$ venku, $60 Bq/m^3$ uvnitř budov,
k	obecný koeficient přepočtu objemové aktivity radonu na efektivní dávku pro obyvatelstvo v $nSv \cdot h^{-1}/Bq \cdot m^{-3}$, $k = 2,4 nSv \cdot h^{-1}/Bq \cdot m^{-3}$,
F	faktor nerovnováhy, bezrozměrný, standardně $F = 0,4$ pro vnitřní prostředí, $F = 0,6$ pro venkovní prostředí,
T	doba pobytu [h] (viz Tab. 14).

Sčítá se přes všechna místa pobytu osob, kde se osoby zdržují významnou část roku, tj. venku i uvnitř budov.

17.3.2 Uvolňování radonu

Pro stanovení zdrojového členu, tj. celkového množství uvolňovaného za jednotku času, je přijatelné stanovit jej integrací distribuce rychlosti plošné exhalace na ploše, ze které probíhá uvolňování radonu. Plošnou rychlost exhalace lze stanovit přímým měřením nebo výpočtem. Pro výpočet je nutné znát parametry zdrojového materiálu, tj. hmotnostní aktivitu ^{226}Ra , emanační koeficient, difusní vlastnosti materiálu, překrytí zdrojového materiálu jiným materiálem. Exhalace také závisí na meteorologických podmínkách.

Pro výpočet se zpravidla používá difusní model. Nejprve se stanoví difusní tok, který dále vstupuje do výpočtu objemové aktivity radonu.

$$J = \rho \cdot a_m \cdot E \cdot \sqrt{\lambda \cdot D} \quad 26$$

kde

J	difusní tok [Bq/m ² .s]
ρ	hustota materiálu [kg/m ³]
a_m	hmotnostní aktivita ²²⁶ Ra [Bq/kg]
E	emanační koeficient, bezrozměrný
λ	přeměnová konstanta radonu, $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
D	efektivní součinitel difuze radonu materiálu [m ² /s]

Emanační koeficient a efektivní součinitel difuze radonu jsou materiálově závislé parametry. Pokud nejsou známy konkrétní hodnoty, lze použít $E = 0,2$ a $D = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, pro hustotu materiálu $\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$. [Rovnici 26](#) lze použít pro mocnost materiálu větší jak 2 m.

Pro odhad objemové aktivity radonu nad místem překrytým emanujícím materiálem se známým difusním tokem lze použít následující empirický vztah

$$C_{Rn} = 11 \cdot J \cdot \ln(1 + 1,7A) \quad 27$$

kde

C_{Rn}	objemová aktivita radonu [Bq/m ³]
J	difusní tok v [Bq/m ² .s]
A	plocha [ha]

Pro odhad objemové aktivity radonu ve vzduchu mimo emanující materiál se známým difusním tokem lze použít následující empirický vztah

$$C_{Rn} = 377 \cdot Q \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^{1,58} \quad 28$$

kde

C_{Rn}	objemová aktivita radonu [Bq/m ³]
Q	rychlost emise radonu v [kBq/s]
a	korekční faktor zohledňující meteorologické a topografické parametry místa emise a odchylky od bodového zdroje, bezrozměrný
r	vzdálenost místa stanovení od místa emise v m, $r \geq 20 \text{ m}$

Rychlost emise radonu Q lze stanovit jako součin difusního toku a plochy $Q = J \cdot A$.

Korekční faktor a lze stanovit jako součin $a = 1,25 \cdot K$. Tabelované hodnoty koeficientu K pro vybrané geometrie jsou shrnuty v [Tab. 17](#).

V případě, že je emanující materiál překrytý další vrstvou, postupuje se podle [IAEA TRS 333, 1992].

17.3.3 Výpočet efektivní dávky v důsledku inhalace aerosolů (kromě radonu a jeho DP)

Při výpočtu efektivní dávky z inhalace aerosolů (zejména prachu) se vychází jednak z expozice osoby ve volném terénu, jednak z expozice osoby při pobytu v budovách. Expozicí v budovách se v tomto případě má na mysli expozice v důsledku inhalace aerosolů z venkovního prostředí, které vznikly v důsledku uvolňování RaL, popř. jako sekundární prašnost po uvolnění RaL. Při infiltraci venkovního vzduchu do budov dochází ke snížení koncentrace aerosolů ve vzduchu, který vstupuje do budovy. K tomuto účelu se zavádí bezrozměrný faktor snížení koncentrace aerosolu při infiltraci.

Pro výpočet úvazku efektivní dávky v důsledku inhalace aerosolů při pobytu venku i uvnitř budov se použije následující vztah

$$E = \sum \sum h_{inh} \cdot (a_{m,r} - a_{m,r0}) \cdot T \cdot R \cdot P \cdot p \cdot F_p \quad 29$$

kde

E	efektivní dávka [mSv/rok],
h_{inh}	konverzní faktor přepočtu příjmu inhalací na efektivní dávku pro RN r [mSv/kBq], (viz Tab. 18),
$a_{m,r}$	hmotnostní aktivita RN r v uvolňovaném materiálu [kBq/kg],
$a_{m,r0}$	hmotnostní aktivita RN r odpovídající přírodnímu pozadí (např. zemina) [kBq/kg],
T	doba pobytu osob v prostředí i [h],
R	objem vdechnutého vzduchu za jednotku času [m^3/h] (viz Tab. 19),
P	bezrozměrný faktor zohledňující snížení venkovní koncentrace aerosolů, popř. použití respirátoru, $P = 1$ značí situaci bez snížení koncentrace aerosolů (tj. venku, bez respirátoru), pro situaci uvnitř budov $P = 0,5$, pokud není hodnota faktoru P známá, použije se konzervativně $P = 1$,
p	koncentrace kontaminovaného aerosolu v ovzduší (zpravidla prachu), [kg/m^3],
F_p	faktor zohledňující přibližně čtyřnásobně vyšší koncentraci RN v prachu (prašné frakci materiálu či půdy) [IAEA SFR 44].

Sčítá se přes všechna místa pobytu osob, kde se osoby zdržují významnou část roku, tj. venku i uvnitř budov, a přes všechny RN r přítomné v prachu/aerosolech.

V případě, že je známá objemová aktivita RN r , lze touto hodnotou nahradit součin $a_{m,r} \cdot p$, resp. $a_{m,r0} \cdot p$.

17.3.3.1 Otázka prašnosti prostředí

Množství prachu na pracovištích je velmi různorodé a záleží nejen na technologii, ale také na mikroklimatických podmínkách a dalších faktorech. Obecně lze říci, že při každé lidské činnosti je prašnost jiná a reálně se může pohybovat v rozpětí dvou řádů. Jedná se o parametr, který významně ovlivňuje výsledky výpočtu efektivní dávky.

Pro účely výpočtů v rámci expozičních scénářů lze uvažovat tyto hodnoty prašnosti, pokud není známo jinak:

- 10^{-1} mg/m^3 doporučená hodnota pro zemědělskou činnost;
- $5 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^3$ doporučená hodnota pro ostatní činnosti „doma“ a „venku“;
- 1 mg/m^3 pro běžné pracovní podmínky;
- 5 mg/m^3 pro extrémně vysokou prašnost.

17.3.3.2 Otázka osobních ochranných pracovních pomůcek

Vzhledem k odhadu efektivní dávky se použije faktor snížení koncentrace aerosolu $P = 1$ v [rovnici 29](#) ve všech případech. Pouze tehdy, pokud jsou jednoznačné doklady o správném používání respirátoru či obdobných ochranných pomůcek, lze použít hodnotu nižší, odpovídající vlastnostem a parametrům použité ochranné pomůcky. Při použití celoobličejové masky se inhalace aerosolů neuvažuje.

17.4 Ozáření v důsledku ingesce lokálních zdrojů vody, potravin, případně přímé ingesce půdy

Při výpočtu efektivní dávky z ingesce lokálních zdrojů vody a potravin se vychází z „potravinového koše“, tj. skladby potravin posuzované skupiny osob. Pokud se posuzovaná skupina neliší svými stravovacími zvyky významně od běžné populace, lze použít standardní hodnoty spotřeby vody a potravin. Podíl lokálních zdrojů potravy na celkové spotřebě potravy se zohledňuje bezrozměrným faktorem. V případě malých dětí je třeba do výpočtu zahrnout i ingesci půdy. Doporučené hodnoty pro výpočet týkající se ingesce jsou uvedeny v tabulkách [Tab. 20](#) až [Tab. 25](#).

17.4.1 Ingesce lokálních zdrojů vody a potravin

Efektivní dávka E z ingesce vody a potravin kontaminovaných RN se určí ze vztahu

$$E = \sum (P \cdot U \cdot \sum_r h_{\text{ing},r} \cdot (a_r - a_{r0})) \quad 30$$

kde

E	efektivní dávka [mSv],
P	podíl příjmu vody nebo potravin z lokálního zdroje na ročním příjmu; místně specifická hodnota, doporučená hodnota: voda: $P = 1$, potraviny: $P = 0,25$,
U	roční příjem vody v l nebo potraviny v kg referenční osobou,
a_r	objemová aktivita radionuklidu r ve vodě [Bq/l] nebo hmotnostní aktivita RN r v jednotlivém druhu potraviny [Bq/kg],
a_{r0}	přírodní (pozadřová) objemová aktivita RN r ve vodě [Bq/l] nebo přírodní (pozadřová) hmotnostní aktivita RN r v jednotlivém druhu potraviny [Bq/kg],
$h_{\text{ing},r}$	konverzní faktor pro přepočtení příjmu RN požitím na efektivní dávku pro referenční osobu v mSv/Bq, viz Tab. 23 , resp. Tab. 7 .

Sčítá se přes všechny posuzované RN r a přes tzv. „potravinový koš“.

17.4.2 Přestup RN do potravin

Vzhledem k tomu, že se v rámci expozičních scénářů předpokládá, že obsah skládky je dostatečně účinně oddělen od podloží, neuvažuje se kontaminace spodní vody jako relevantní expoziční cesta. Voda ze skládky se nepoužívá ani k zalévání, přestup RN z kontaminované vody do rostlin k lidské spotřebě se též neuvažuje. V případě ostatních expozičních scénářů je přestup do potravin zpravidla zohledněn.

Z hlediska kontaminace potravin se jeví nejvýznamnější expoziční cesta depozice prachu na zeleninu a ovoce a jejich následná konzumace. Pokud je dávkové kritérium splněno pro případ depozice kontaminovaného prachu na zelenině a ovoci, není nutné další cesty atmosférického šíření RN (např. přestup kořenovým systémem z půdy do rostlin) za standardních okolností uvažovat. Pokud dávkové kritérium splněno není, je vhodné prověřit význam i ostatních expozičních cest, aby nedošlo k podcenění efektivní dávky.

Přestup půda – kořenový systém – rostlina – člověk je nutné uvážit v situaci, kde je RaL používaná jako součást hnojiva.

17.4.2.1 Přestup RN z půdy do rostlin

Při hodnocení významu přestupu RN z půdy do rostlin se uvažuje vrstva půdy o mocnosti 10 cm (tj. 0-10 cm) pro pícniny a 30 cm (0-30cm) pro ornou půdu a zahrady. Hmotnostní aktivita RN r v rostlinách se stanoví jako

$$a_{m,n,r} = T_{n,r} \cdot (a_{mp,r} - a_{mp,r0}) \quad 31$$

kde

$a_{m,n,r}$ hmotnostní aktivita RN r v jednotlivém druhu rostliny [Bq/kg] (čerstvé vegetace),

$a_{mp,r}$ hmotnostní aktivita RN r v půdě [Bq/kg] (v sušině),

$a_{mp,r0}$ přírodní (požadovaná) hmotnostní aktivita RN r v půdě [Bq/kg] (v sušině),

$T_{n,r}$ faktor přestupu z půdy do rostliny pro RN r
v (Bq/kg)_{čerstvé vegetace} / (Bq/kg)_{v sušině}

n je index pro typ rostliny - zelenina nebo pícnina, viz [Tab. 24](#).

17.4.2.2 Přestup RN z deponovaného prachu do rostlin

Hmotnostní aktivita v rostlinách rostoucích v okolí zájmové oblasti způsobená přestupem RN z deponovaného prachu do rostlin se stanoví jako

$$a_{m,n,r} = v_{dep} \cdot (a_{m,r} - a_{m,r0}) \cdot p \cdot f_r \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_{ef,r} \cdot t_n}}{\lambda_{ef,r} \cdot Y_n} \quad 32$$

kde

$a_{m,n,r}$ hmotnostní aktivita RN r v jednotlivém druhu rostliny [Bq/kg] (čerstvé vegetace),

$a_{m,r}$ hmotnostní aktivita RN r v prachu [Bq/kg],

$a_{m,r0}$ přírodní (požadovaná) hmotnostní aktivita RN r v prachu [Bq/kg],

v_{dep} rychlost depozice [m/s],

p koncentrace kontaminovaného prachu v ovzduší (prašnost) [kg/m³],

f_r	podíl aktivity zachycené rostlinou, bezrozměrný,
Y_n	výtěžek rostliny nebo hustota porostu [kg/m^2],
$\lambda_{\text{ef},r}$	efektivní přeměnová konstanta [s^{-1}],
t_n	doba, po kterou může probíhat kontaminace rostliny [s].

Doporučené hodnoty použitých parametrů jsou shrnuty v [Tab. 25](#).

17.5 Ozáření v důsledku vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizace pro veřejnou potřebu

Odhad ozáření z RN v odpadní vodě se provádí výpočtem z výsledků měření získaných v rámci doplňujícího rozboru. Nemusí se provádět, pokud COAA a současně COAB po odečtení příspěvku ^{40}K nepřevyšují uvolňovací úroveň. Za nejvýznamnější expoziční cestu se považuje ingesce vody s obsahem RN v důsledku vypouštění. V případě, že je z předvídatelných expozičních scénářů pro vypouštění odpadních vod z pracoviště NORM zřejmé, že mohou být významné ještě jiné expoziční cesty, uvažují se i tyto.

Pro výpočet se použijí vztahy pro objemovou aktivitu v toku uvedené v [kapitole 13](#), hodnocení výsledků doplňujícího rozboru a [rovnice 30](#) pro ingesci vody (základní expoziční scénář). Sčítá se přes všechny RN stanovené v rámci doplňujícího rozboru.

18 Související dokumenty

Doporučení BfS, 2011. Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining, BfS, 2011

EU RP 122, 2000. EU Radiation Protection 122: Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption Part II: Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources

Doporučení SÚJB, 2008. Postupy při výpočtu ozáření obyvatelstva přírodními radionuklidy uvolňovanými do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech ovlivněných hornickou činností, SÚJB 2008

IAEA SFR 44, 2005. Safety Report Series 44: Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA, 2005

Klener, 2000. Klener a kol., Principy a praxe radiační ochrany, SÚJB 2000

IAEA TSR 333, 1992. Technical Report Series No. 333, Measurement and Calculation of Radon Releases from Uranium Mill Tailings, IAEA 1992

Část 4 – Odvozená kritéria a podmínky, jejichž dodržení zaručí nepřekročení efektivní dávky jedince z obyvatelstva 0,3 mSv/rok resp. 1 mSv/rok

19 Odvozená kritéria a podmínky uvolnění pro uvolnění RaL z pracoviště

Na základě v praxi nejčastěji používaných způsobů uvolňování RaL z pracoviště byly definovány expoziční scénáře, které se k jednotlivým způsobům uvolňování vztahují. Přehled těchto expozičních scénářů uvádí tabulka [Tab. 12](#).

Tab. 12: Seznam expozičních scénářů

Expoziční scénář	Jedinec z obyvatelstva	Označení
RaL je ukládána na skládku odpadu	Pracovník skládky	Sk.1
	Osoba bydlí v blízkém okolí skládky	Sk.2
	Zrekultivovaná skládka	Sk.3
RaL je použita na rekultivační ploše nebo při terénní úpravě	Pracovník na rekultivační ploše	R.1
	Osoba žije v domě nedaleko rekultivační plochy	R.2
RaL je spalována ve spalovně	Pracovník spalovny	Sp.1
	Osoba bydlí nedaleko spalovny	Sp.2
RaL je spalována v cementárně	Pracovník cementárny	C.1
	Osoba bydlí nedaleko cementárny	C.2
	Stavební materiál vyráběný v cementárně	C.3
RaL je převážena z místa A do místa B	Řidič vozidla	T.1
	Náhodný kolemjdoucí	T.2
RaL je použita při stavbě silnice	Pracovník na stavbě	S.1
	Osoba používající silnici	S.2
RaL je používána pro zemědělské účely na poli	Pracovník rozvážející kal po poli	Z.1
	Osoba konzumuje plodiny z pole	Z.2
RaL, u níž je porušena rovnováha dlouhodobých PR, je použita k výrobě SM	Osoby bydlící v budově postavené ze stavebního materiálu [EU RP 122 part II]	SM. 1
RaL je vypouštěna odpadních vod do vod povrchových/do kanalizace pro veřejnou potřebu	Osoba konzumuje vodu z toku, do něhož je vypouštěna odpadní voda	V.1

Na základě postupů uvedených v [Části 3](#) byly pro jednotlivé expoziční scénáře odvozeny kritéria a podmínky, při jejichž dodržení je zajištěno nepřekročení efektivní dávky jednotlivce z obyvatelstva 0,3 mSv/rok, resp. 1 mSv/rok u nejvíce exponovaného jedince z obyvatelstva (tzv. rozhodující scénáře). Odvozená kritéria a podmínky jsou uvedeny v [Tab. 13](#).

Tab. 13: Odvozená kritéria a podmínky pro uvolňování RaL z pracoviště

Rozhodující scénář	Jedinec	Požadavky na splnění 0,3 mSv/rok u jedince	Požadavky na splnění 1 mSv/rok u jedince
Skládka Rekultivační plocha, halda, terénní úprava z hlediska pracovníka (ukládání RaL)	Pracovník skládky (Sk. 1) Scénář uvažuje pracovníka skládky, který tráví polovinu své pracovní doby, tj. 1000 h za rok, na tělese skládky, z toho cca 2/3 v kompaktoru a zbytek kontrolou skládky a pochůzkami po skládce. Zbýlých 1000 h provádí různé práce mimo těleso skládky, především v provozní budově. Prašnost v areálu skládky je 1 mg/m ³ .	1. Celková průměrná roční hmotnostní aktivita uložená na skládku: $a_{\text{roční průměr}} \leq 0,2 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$ 2. Maximální hmotnostní aktivita žádného z RN v rámci 1 dodávky o hm. 10 t nepřekročí 5 kBq/kg. Maximální počet dodávek při splnění podmínky 1 je 10. Zvláštní požadavek: Navezený RaL/odpad bude v co nejkratší možné době překryt. Než se tak stane, bude omezen nevynucený pohyb osob v blízkosti nezakrytého odpadu.	1. Celková průměrná roční hmotnostní aktivita uložená na skládku: $a_{\text{roční průměr}} \leq 0,6 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$ 2. Maximální hmotnostní aktivita žádného z RN v rámci 1 dodávky o hm. 10 t nepřekročí 5 kBq/kg. Maximální počet dodávek při splnění podmínky 1 je 30. Zvláštní požadavek: Navezený RaL/odpad bude v co nejkratší možné době překryt dalším naváženým odpadem bez RaL. Než se tak stane, bude omezen nevynucený pohyb osob v blízkosti nezakrytého RaL/odpadu. 3. Pokud bude RaL/odpad uzavřen v obalu prokazatelně zamezujícím prašnosti a pokud v RaL budou přítomny nad UÚ pouze Pb-210 a Po-210, může být maximální hmotnostní aktivita takové dodávky 50 kBq/kg.
Rekultivační plocha, halda, terénní úprava z hlediska obyvatele (ukládání RaL)	Osoba bydlí nedaleko haldy/rekultivační plochy (Sk. 2)	1. Celková průměrná roční hmotnostní aktivita uložená na plochu: $a_{\text{roční průměr}} \leq 0,2 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$	1. Celková průměrná roční hmotnostní aktivita uložená na plochu: $a_{\text{roční průměr}} \leq 0,6 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$

Rozhodující scénář	Jedinec	Požadavky na splnění 0,3 mSv/rok u jedince	Požadavky na splnění 1 mSv/rok u jedince
Spalovna (spalování RaL)	<p>Pracovník spalovny (Sp.1)</p> <p>Scénář uvažuje pracovníka spalovny 500 h v kontaktu se škvárou a popílkem, prašnost 1 mg/m³</p>	<p>1. Průměrná 24h hmotnostní aktivita spálená ve spalovně v kBq/kg:</p> $a_{24} \leq 1 \frac{kBq}{kg}$ <p>2. Maximální hmotnostní aktivita žádného z radionuklidů v rámci 1 dodávky o vel. 1 m³ nepřekročí 10 kBq/kg.</p>	<p>1. Průměrná 24h hmotnostní aktivita spálená ve spalovně v kBq/kg:</p> $a_{24} \leq 1 \frac{kBq}{kg}$ <p>2. Maximální hmotnostní aktivita žádného z RN v rámci 1 dodávky o vel. 1 m³ nepřekročí 10 kBq/kg.</p> <p>3. Pokud se jedná o RaL s pouze Pb 210 a/nebo Pb 210, a pokud současně platí, že RaL je uzavřena v obalu tak, že se RaL prokazatelně nemůže rozprášit po pracovišti spalovny, maximální hmotnostní aktivita jedné dodávky může být až 50 kBq/kg.</p>
V případě, že se očekává, že škvára a/nebo popílek budou použity jako stavební materiál, musí splňovat obsah RN kladené na stavební materiál v § 101 atomového zákona.			
Cementárna (spalování RaL)	<p>Stavební materiál vyráběný v cementárně (C.3)</p> <p>Využití cementu na výrobu betonu (15 %hm.) a následně stavebního materiálu pro obytnou místnost s pobytem osob až 7000 h ročně.</p>		<p>1. Průměrná 24h hmotnostní aktivita cementu v kBq/kg:</p> $a_{24} \leq 0,6 \frac{kBq}{kg}$ <p>2. Maximální hmotnostní aktivita 1 dodávky RaL, která může být v cementárně spálena, se musí odvodit z formy, kterou bude RaL v cementárně spalována.</p>

Rozhodující scénář	Jedinec	Požadavky na splnění 0,3 mSv/rok u jedince	Požadavky na splnění 1 mSv/rok u jedince
Převoz RaL z místa A do místa B	Řidič vozidla (T.1) Scénář Krátká cesta uvažuje převoz RaL z místa A do místa B v celkové době 800 h a k tomu nakládku a vykládku materiálu v celkové době 400 h Dlouhá cesta uvažuje převoz RaL z místa A do místa B v celkové době 1000 h a k tomu nakládku a vykládku materiálu v celkové době 200 h	Krátká cesta: hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než UÚ Dlouhá cesta: hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než UÚ	Krátká cesta: hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než 2,5 kBq/kg Dlouhá cesta: hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než 3,5 kBq/kg
Použití RaL (kalu) pro zemědělské účely	Pracovník rozvážející kal po poli (Z.1) Scénář předpokládá 200h práce (z čehož je 120h včetně inhalace prachu)	Hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než 3,5 kBq/kg v sušině.	Hmotnostní aktivita žádného z RN nebude vyšší než 5 kBq/kg v sušině.
Vypouštění RaL (odpadní vody) do toku	Dospělý pije vodu hned za místem vypouštění odpadní vody, spotřeba 730 l (V.1)	Objemová aktivita žádného z RN nepřekročí $\frac{0,34 \cdot (q_0 + Q_0) - 2 \cdot Q_0}{q_0}$ Bq/l (není zohledněna chemická toxicita uranu). Lze také použít koncept indikativní dávky (ID) $\leq 0,1$ mSv. Výpočet předpokládá požadovnou hodnotu objemové aktivity Po 210 v toku Q ₀ .	Objemová aktivita žádného z RN nepřekročí $\frac{1,14 \cdot (q_0 + Q_0) - 2 \cdot Q_0}{q_0}$ Bq/l (není zohledněna chemická toxicita uranu). Výpočet předpokládá požadovnou hodnotu objemové aktivity Po 210 v toku Q ₀ .
Průměrná roční hmotnostní aktivita uložená na skládku/rek. plochu v kBq/kg: $a_{roční\ průměr} = \frac{a_{ral}}{m_{ral} + m_{ostatní}}$, kde a _{ral} je celková aktivita navezená za rok na skládku, m _{ral} je celková hmotnost RaL navezená na skládku za rok, m _{ostatní} je celková hmotnost odpadu mimo RaL navezená na skládku za daný rok.			
Průměrná 24h hmotnostní aktivita spálená ve spalovně/cementárně v kBq/kg: $a_{24} = \frac{a}{(m_{ral} + m_{ostatní}) \cdot p}$, kde a ₂₄ je průměrná hmotnostní aktivita popely (škvara a popílek) za 24 h, a je celková aktivita spalované RaL v rámci 24 h v kBq, m _{ral} je hmotnost spalované RaL za 24 h v kg, m _{ostatní} je hmotnost ostatního spalovaného odpadu za 24 h v kg, p je popelnatost paliva.			

Detailní popisy expozičních scénářů uvedených v [Tab. 12](#) uvádí [kapitola 20](#).

20 Popisy expozičních scénářů

20.1 Ukládání na skládku - pracovník skládky (Sk.1)

Jednotlivec z obyvatelstva provozující standardní operace na skládce (práce s kompaktozem, kontrola skládky). Dle zjištění se pracovník skládky na skládkovém tělese pohybuje maximálně polovinu své pracovní doby. Po zbytek své pracovní doby je v objektu správce skládky a provádí administrativní činnosti, např. příjem a odbavení vozidel přivázejících odpad na skládku. Tento objekt se nachází v areálu skládky, pro účely scénáře se předpokládá, že je umístěn 20 m od tělesa skládky.

20.1.1 Zevní ozáření

Efektivní dávka ze zevního ozáření je složena ze tří částí –

- pracovník chodí po tělese skládky,
- pracovník nakládá, rozváží a hutní odpad kompaktozem,
- pracovník je mimo těleso skládky.

Materiál uložený na skládce stíní okolní prostředí, tj. vede k poklesu příkonu prostorového dávkového ekvivalentu, jehož zdrojem je horninové podloží v daném místě.

Efektivní dávka ze zevního ozáření pracovníka na skládce se spočítá pomocí [rovnice 22](#).

Jako vstupní hodnoty příkonu prostorového dávkového ekvivalentu se použijí hodnoty změřené na místě, pokud to není možné, použijí se hodnoty z modelových výpočtů, viz [Tab. 16](#), sloupec „Venku, 20 m od paty haldy“ a „Rovina, např. skládka, 1 m nad zemí“.

Pro dobu strávenou v kompaktozu se předpokládá, že výška sedadla řidiče nad povrchem skládky je min. 2 m, ocelová podlaha kompaktozu slouží jako dodatečné stínění. Pro výpočet efektivní dávky ze zevního ozáření pro dobu strávenou v kompaktozu se použije se faktor stínění 2.

Pro dobu strávenou mimo těleso skládky, tedy dobu, kdy je pracovník v budově, se použije stínící faktor budovy (pokud se tam pracovník vyskytuje).

20.1.2 Vnitřní kontaminace

Na tělese skládky se nesmí pít, jíst a kouřit (viz provozní řád zařízení).

Šíření polétavých částic ze skládky je cíleně omezováno pomocí kropení skládky průsakovou vodou, důsledným hutněním odpadu, překrýváním neaktivních částí skládky (viz provozní řád skládky a integrované povolení). Pokud nejsou známy žádné hodnoty, lze velmi konzervativně odhadnout prašnost na 5 mg/m^3 nad tělesem skládky. Takové koncentrace polétavých částic se budou vyskytovat pouze při některých pracovních činnostech, nikoli po celou pracovní dobu. Jako horní odhad průměrné roční koncentrace prachu lze použít $p = 1 \text{ mg/m}^3$.

20.1.2.1 Inhalace prachu

Výpočet efektivní dávky z inhalace prachu se provede podle [rovnice 29](#).

Jako vstupní hodnoty do výpočtu se v ideálním případě dosadí na místě změřené údaje. Pokud nejsou k dispozici, nebo měření nelze provést, použijí se pro první odhady výsledky měření hmotnostních aktivit přírodních radionuklidů zjištěné z reprezentativního vzorku uvolňovaného materiálu a doporučené hodnoty prašnosti.

Při výpočtu se konzervativně předpokládá, že v kompaktoru, v budově i na skládce je stejná koncentrace aerosolů, není-li známo jinak.

20.1.2 Ingesce prachu

Prašnost na skládce vede i k požití určitého množství prachu, který ulpí v oblasti úst. Přímoou ingesci prachu lze odhadnout na 10 mg/h na tělese skládky, tj. při chůzi po skládce a jejím blízkém okolí. Efektivní dávka z ingesce se spočítá pomocí [rovnice 30](#) a tabulky [Tab. 23](#).

20.1.3 Inhalace radonu a produktů jeho přeměny

Inhalace radonu a produktů jeho přeměny je relevantní pouze v případě, že je na skládce ukládán materiál s obsahem ^{226}Ra .

Výpočet objemové aktivity radonu nad povrchem skládky se provede pomocí [rovnice 27](#).

20.1.4 Kontaminace kůže

Hmotnostní aktivitu 10 kBq/kg lze považovat za zprošřující kritérium pro určení ekvivalentní dávky z povrchové kontaminace příslušným radionuklidem.

20.1.5 Celková efektivní dávka za scénář

Celková efektivní dávka za scénář se spočte s pomocí [rovnice 21](#).

20.1.6 Modelový příklad skládky

Pracovník skládky tráví polovinu své pracovní doby, tj. 1000 h za rok, na tělese skládky, z toho cca 2/3 v kompaktoru a zbytek kontrolou skládky a pochůzkami po skládce. Zbylých 1000 h provádí různé práce mimo těleso skládky, především v provozní budově. Předpokládá se, že RaL bude tvořit pouze 10hm. % odpadu ročně ukládaného na skládku. Prašnost v areálu skládky je 1 mg/m^3 .

T celková = 2000 h	<p>a) Hodnoty $H^*(10)$ jsou k dispozici – dosadí se do rovnice 22.</p> <p>b) Hodnoty $H^*(10)$ nejsou k dispozici – provede se odhad pomocí konverzních koeficientů z Tab. 16, sloupec „Venku, 20 m od paty haldy“ a „Rovina, např. skládka, 1 m nad zemí“ na základě znalosti hmotnostní aktivity RN.</p> <p>Předpokládejme situaci b) s tím, že v materiálu, který se na skládku naváží, byla zjištěna hmotnostní aktivita Ra 226 $a_m = 5 \text{ kBq/kg}$ v rovnováze s krátkodobými i dlouhodobými produkty přeměny.</p> <p>Prašnost $p = 1 \text{ mg/m}^3$, AMAD $1 \mu\text{m}$</p> <p>Použití OOPP se neuvažuje</p>
T kompaktor = 600 h	
Stínění kompaktorem 0,5	
T skládka = 400 h	
T budova = 1000 h	
Stínění budovou 0,3	
$a_m = 5 \text{ kBq/kg}$ Ra 226 RaL pouze 10hm. % z celkového množství odpadu	

$E_{\text{zevní}} = T_{\text{kompaktor}} * 0,5 * 4,2 \cdot 10^{-1} * 5 * 0,1 + T_{\text{skládku}} * 4,2 \cdot 10^{-1} * 5 * 0,1 + T_{\text{budova}} * 5,37 \cdot 10^{-2} * 0,3 * 5 * 0,1 = 155 \mu\text{Sv}$ – příspěvek k efektivní dávce ze zevního ozáření od Pb-210 lze vzhledem k příspěvku ^{226}Ra , ^{214}Bi a ^{214}Pb zanedbat

$E_{\text{inh}} = (3,2 \cdot 10^3 + 9,74 \cdot 10^2 + 3,0 \cdot 10^3) * 5 * 0,1 * 2000 * 1,2 * 1 * 1 \cdot 10^{-6} * 4 = 34,4 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{ing}} = (2,8 \cdot 10^2 + 6,91 \cdot 10^2 + 1,2 \cdot 10^3) * 5 * 0,1 * 400 * 1 * 1 \cdot 10^{-5} * 4 = 17,36 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{Rn}} = 2,4 \cdot 10^{-3} * 0,4 * 2000 * 10 = 19,2 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{celkem}} = \underline{226 \mu\text{Sv}}$

Z výše uvedeného je zřejmé, že hlavní podíl na celkové efektivní dávce pracovníka skládky má zevní ozáření. Modelový scénář předpokládá průběžný návoz RaL na skládku. Pokud bude RaL navážen na skládku v časově omezené až jednorázové akci a navezený materiál bude v krátké době překryt ostatním odpadem, bude efektivní dávka z takové jednorázové akce významně nižší.

20.2 Rekultivační plocha, terénní úprava - osoba žije v domě nedaleko plochy v provozu (R.2)

Tento scénář předpokládá, že dům je umístěn 25 m od rekultivační plochy, resp. terénní úpravy. Obyvatelé domu stráví 1000 h ročně na zahradě a 7000 h ročně uvnitř domu. Po dokončení rekultivace bude možné plochu navštěvovat, neboť z ní bude prostor pro rekreaci. Předpokládá se, že na takto zrekultivované ploše může jednotlivec z obyvatelstva strávit až 250 h ročně. Po dokončení rekultivace se již nebude uvažovat šíření prachu po okolí a na ploše, protože se plocha překrývá zhruba 10-30 cm zeminy (ve scénáři se uvažuje 20 cm). Tato vrstva také způsobí pokles příkonu prostorového dávkového ekvivalentu na 20 % původní hodnoty. Scénář předpokládá kontaminaci zemědělských plodin resuspencí prachu z nepřekrytého povrchu plochy i primární prašností vznikající při zavážení.

20.2.1 Zevní ozáření

Pro výpočet efektivní dávky ze zevního ozáření lze použít hodnoty naměřené v místě pobytu jednotlivce z obyvatelstva a [rovnici 22](#). Lze také využít změřené hmotnostní aktivity radionuklidů v materiálu ukládaném na rekultivační plochu. Pro stanovení efektivní dávky ze zevního ozáření se hmotnostní aktivita násobí konverzním faktorem pro přepočítání hmotnostní aktivity na příkon prostorového dávkového ekvivalentu z [Tab. 16](#) sloupec „Venku, 20 m od paty haldy“ pro pobyt na zahradě domu, „Uvnitř v domě, 25 m od paty haldy“ pro pobyt v domě (stínění domem samotným je již započteno), „Rovina, např. skládka, 1 m nad zemí“ pro pobyt na rekultivované ploše (musí se ještě započíst faktor stínění překryvnou vrstvou zeminy podle její mocnosti, tj. pro 20 cm se konverzní faktor odečtený z tabulky dělí 5) a časem stráveným na jednotlivých místech.

20.2.2 Vnitřní kontaminace

Šíření prachu z plochy je omezováno hutněním plochy a přirozenou srážkovou činností. Protože se dům i zahrada nacházejí v těsné blízkosti rekultivační plochy, je potřeba do vnitřní kontaminace zahrnout inhalaci prachu a také přestup radionuklidů ze suché depozice na zemědělských plodinách do těchto plodin a jejich následnou konzumaci.

20.2.2.1 Inhalace

Šíření prachu z aktivní části plochy je omezováno postupným překrýváním, průměrná koncentrace prachu na zahradě domu je $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v domě $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Výpočet efektivní dávky z inhalace prachu se provede podle [rovnice 29](#) a [Tab. 18](#).

20.2.2.2 Inhalace radonu a produktů jeho přeměny

Objemová aktivita radonu uvolněného ze skládky závisí kromě celkové aktivity uloženého ^{226}Ra na mnoha faktorech (zrnatosti materiálu, emanačním koeficientu, mocnosti překrytí RaL neaktivním materiálem, vlhkosti materiálu s RaL i bez, meteorologických podmínkách). Výpočet objemové aktivity radonu mimo povrch plochy od vzdálenosti $r \geq 20 \text{ m}$ od plochy se provede pomocí [rovnice 28](#).

20.2.2.3 Ingesce

Ingesci prachu ze skládky (na zelenině, ovoci pěstovaném na zahradě domu, prach, který ulpí na rtech) lze očekávat nízkou vzhledem k ostatním expozičním cestám. Protože je ale možné, že na zahradě domu bude pěstováno množství ovoce a zeleniny, které bude mít významný podíl na potravním koši obyvatel domu, je vhodné ingesci kontaminovaných plodin uvážit. K výpočtu se použijí [rovnice 30](#) a [32](#) a příslušné tabulky.

20.2.3 Kontaminace kůže

Depozice prachu ze skládky na kůži a z ní plynoucí efektivní dávka na kůži lze vzhledem k ostatním expozičním cestám zanedbat.

20.2.4 Celková efektivní dávka za scénář

Celková efektivní dávka za scénář se spočte s pomocí [rovnice 21](#).

20.2.5 Modelový příklad osoby žijící v domě u plochy

Osoba domu stráví 7000 h uvnitř domu, 1000 h na zahradě a 250 h na zrekultivované ploše (po dokončení terénní úpravy). Průměrná koncentrace prachu na zahradě domu je $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v domě $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rekultivační plocha má tvar rozměrné haldy.

T dům = 7000 h	a) Hodnoty $H^*(10)$ jsou k dispozici – dosadí se do rovnice 22 .
T zahrada = 1000 h	b) Hodnoty $H^*(10)$ nejsou k dispozici – provede se odhad pomocí konverzních koeficientů z Tab. 16 sloupec „Venku, 20 m od paty haldy“ pro pobyt na zahradě domu, „Uvnitř v domě, 25 m od paty haldy“ pro pobyt v domě (stínění domem samotným je již započteno), „Rovina, např. skládka, 1 m nad zemí“ pro pobyt na rekultivované ploše (musí se ještě započíst faktor stínění překryvnou vrstvou zeminy podle její mocnosti, tj. pro 20 cm se hodnota z tabulky dělí 5) na základě znalosti hmotnostní aktivity RN.
T plocha = 250 h	
$a_m = 2 \text{ kBq}/\text{kg}$ U 238sec a Th 232sec	
	Předpokládejme situaci b) s tím, že v RaL navážené na plochu byla zjištěna hmotnostní aktivita U 238 a Th 232 v rovnováze se svými produkty přeměny $a_m = 2 \text{ kBq}/\text{kg}$ v rovnováze s krátkodobými i dlouhodobými produkty přeměny.

	<p>Koncentrace radionuklidů v jemném prachu je 4x vyšší.</p> <p>Průměrná prašnost na zahradě domu je $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, v domě $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.</p> <p>Spotřeba potravin z lokální produkce dospělý – 80 kg, dítě do 1 r – 20 kg.</p>
--	---

$$E_{\text{zevni}} = [T_{\text{dum}} * (4,47 \cdot 10^{-3} + 8,85 \cdot 10^{-3}) + T_{\text{zahrada}} * (5,5 \cdot 10^{-2} + 8,19 \cdot 10^{-2}) + T_{\text{plocha}} * 1/5 * (4,31 \cdot 10^{-1} + 6,21 \cdot 10^{-1})] * 2 = 565,48 \mu\text{Sv}$$

$$E_{\text{inh}} = (T_{\text{dum}} * 2 \cdot 10^{-8} + T_{\text{zahrada}} * 5 \cdot 10^{-8}) * (1,91 \cdot 10^5 + 2,76 \cdot 10^5) * 0,22 * 4 * 2 = 156,16 \mu\text{Sv} \text{ (dítě do 1 roku)}$$

$$E_{\text{inh}} = (T_{\text{dum}} * 2 \cdot 10^{-8} + T_{\text{zahrada}} * 5 \cdot 10^{-8}) * (5,7 \cdot 10^4 + 8,46 \cdot 10^4) * 1 * 4 * 2 = 215,23 \mu\text{Sv} \text{ (dospělý)}$$

$$E_{\text{Rn}} = 2,4 \cdot 10^{-3} * 0,4 * 1000 * 3,8 = 3,65 \mu\text{Sv}$$

Součin v tabelovaných hodnot v [rovnici 32](#) je roven 1660.

$$E_{\text{ing}} = (4,64 \cdot 10^4 + 4,12 \cdot 10^4) * 20 * 1660 * 5 \cdot 10^{-8} * 2 = 290,83 \mu\text{Sv} \text{ (dítě do 1 roku)}$$

$$E_{\text{ing}} = (2,57 \cdot 10^3 + 1,06 \cdot 10^3) * 80 * 1660 * 5 \cdot 10^{-8} * 2 = 48,21 \mu\text{Sv} \text{ (dospělý)}$$

$$E_{\text{celkem}} = \underline{1016,12 \mu\text{Sv}} \text{ (dítě do 1 roku)}$$

$$E_{\text{celkem}} = \underline{832,57 \mu\text{Sv}} \text{ (dospělý)}$$

20.3 Stavba silnice - pracovník na stavbě (S.1)

Pracovník na stavbě se ve většině případů pohybuje v těžkém stroji, jehož kovová konstrukce zeslabí příkon prostorového dávkového ekvivalentu minimálně na polovinu. Tyto stroje také často mají klimatizovanou kabinu. Část své pracovní doby stráví pracovník přímo na budované silnici, může dorovnávat některé drobné terénní nerovnosti, které se nevyplatí vytvořit těžkou technikou. Provádí také kontrolu a údržbu strojů a kontrolní činnost na stavbě. Protože nejsou známy bližší informace a časová schémata jednotlivých operací na stavbě, předpokládá se pro účely tohoto scénáře, že pracovník je po dobu 500 h ročně v přímém kontaktu se stavbou tak, že po ní chodí, a je při tom vystaven prašnosti.

20.3.1 Zevní ozáření

Zevní ozáření přichází v úvahu zejména při manuálních pracích na stavbě, kontrole stavby a strojů. Vzhledem k dostupné mechanizaci, která šetří čas i lidské zdroje, se nepředpokládá, že by pracovník strávil přímo na silnici celou svou pracovní dobu. Dále lze předpokládat, že těžká mechanizace bude fungovat jako dostatečné stínění ionizujícího záření emitovaného použitou RaL.

Efektivní dávka ze zevního ozáření pracovníka na stavbě se počítá pomocí [rovnice 22](#).

Jako vstupní hodnoty příkonu prostorového dávkového ekvivalentu se použijí hodnoty změřené na místě, pokud to není možné, použijí se hodnoty z modelových výpočtů, viz [Tab. 16](#), sloupec „Stavba silnice“.

20.3.2 Vnitřní kontaminace

Vnitřní kontaminace inhalací a ingescí prachu jsou součástí celkové efektivní dávky pracovníka na stavbě v okamžiku, kdy se z používaného materiálu práší, tj. ukládání, urovnávání a hutnění šterkových vrstev. Průměrná prašnost se odhaduje na 1 mg/m^3 .

20.3.2.1 Inhalace prachu

Výpočet efektivní dávky z inhalace prachu se provede podle [rovnice 29](#).

Jako vstupní hodnoty do výpočtu se v ideálním případě dosadí na místě změřené údaje. Pokud nejsou k dispozici, nebo měření nelze provést, použijí se pro první odhady výsledky měření hmotnostních aktivit RN zjištěné z reprezentativního vzorku rozhrnovaného materiálu, např. šterku.

Pokud je RaL součástí betonu nebo asfaltu, lze inhalaci zanedbat, neboť z těchto materiálů se při pokládce neuvolňuje žádný prach, nebo jen ve velmi malé míře.

20.3.2.2 Ingesce prachu

Prach se bude uvolňovat v rámci výstavby podkladových vrstev silnice, vykládání a rozhrnování šterku. Při pokládání cemento-betonové směsi či asfaltové obalované směsi již nikoli, nebo ve velmi omezené míře.

Přímou ingesci prachu lze odhadnout na 10 mg/h v době, kdy se na stavbě práší. Efektivní dávka z ingesce se spočítá pomocí [rovnice 30](#) a [Tab. 18](#).

20.3.3 Inhalace radonu a produktů jeho přeměny

Jedná se o stavbu v otevřeném prostoru, kde se bude radon rychle rozptýlovat a ředit okolním vzduchem, proto lze inhalaci radonu a produktů přeměny zanedbat.

20.3.4 Kontaminace kůže

Kontaminaci kůže lze zanedbat.

20.3.5 Celková efektivní dávka za scénář

Celková efektivní dávka za scénář se spočte s pomocí [rovnice 21](#).

20.3.6 Modelový příklad pracovník na stavbě

Pracovník stavby stráví cca 500 h ze své roční pracovní doby na stavbě v přímém kontaktu s materiálem, který může prášit. Průměrná prašnost na pracovišti se odhaduje na 1 mg/m^3 .

T silnice = 500 h	a) Hodnoty $H^*(10)$ jsou k dispozici – dosadí se do rovnice 22 .
$a_m = 0,5 \text{ kBq/kg Ra 226}$	b) Hodnoty $H^*(10)$ nejsou k dispozici – provede se odhad pomocí konverzních koeficientů z Tab. 16 , sloupec „Stavba silnice“ na základě znalosti hmotnostní aktivity RN.
$a_m = 10 \text{ kBq/kg Pb 210}$	Předpokládejme situaci b) s tím, že v materiálu, který se na skládku naváží, byla zjištěna hmotnostní aktivita Ra 226 $a_m = 0,5 \text{ kBq/kg}$ v rovnováze s krátkodobými produkty přeměny a Pb 210 v rovnováze s Po 210 o hmotnostní aktivitě 10 kBq/kg .
$a_m = 10 \text{ kBq/kg Po 210}$	

	Prašnost $p = 1 \text{ mg/m}^3$, AMAD $5 \mu\text{m}$ Použití OOPP se neuvažuje
--	---

$E_{\text{zevni}} = \text{Tsilnice} * 3,01 \cdot 10^{-1} * 0,5 = 75 \mu\text{Sv}$ – příspěvek k efektivní dávce ze zevního ozáření od ^{210}Pb lze vzhledem k příspěvku ^{226}Ra , ^{214}Bi a ^{214}Pb zanedbat

$E_{\text{inh}} = (2,2 \cdot 10^3 * 0,5 + (1,16 \cdot 10^3 + 2,2 \cdot 10^3) * 10) * \text{Tsilnice} * 1,2 * 1 * 1 \cdot 10^{-6} * 4 = 83,28 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{ing}} = \text{Tsilnice} * (2,8 \cdot 10^2 * 0,5 + (6,91 \cdot 10^2 + 1,2 \cdot 10^2) * 10) * 1 * 1 \cdot 10^{-5} * 4 = 381 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{Rn}} = 2,4 \cdot 10^{-3} * 0,4 * 500 * 2 = 19,2 \mu\text{Sv}$

$E_{\text{celkem}} = \underline{540,48 \mu\text{Sv}}$

Hlavní složkou celkové efektivní dávky je vnitřní kontaminace způsobená ingescí prachu na stavbě, a to díky vysokému konverznímu faktoru pro ingesci u ^{210}Po .

20.4 Spalování ve spalovně (Sp 1-2)

Na spalovnu je kladen požadavek, aby hmotnostní aktivita žádného z radionuklidů z uranové a thoriové řady v popílku ani ve škváře vyprodukovaných za 24h od zavezení RaL do spalovací komory nepřekročila UÚ. Na základě denního návozu na kotel a popelnatosti paliva lze určit maximální hmotnostní aktivitu spalitelnou za 24 h jako

$$\frac{a}{(m_{\text{ral}} + m_{\text{ostatní}}) \cdot p} \leq 1 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}} \quad 33$$

kde:

a aktivita spalované RaL [kBq],

m_{ral} hmotnost spalované RaL za 24 h [kg],

$m_{\text{ostatní}}$ hmotnost ostatního spalovaného odpadu za 24 h [kg],

p popelnatost paliva.

Ve spalovně s denním návozem 6t, popelnatostí paliva 30 % lze za 24 h spálit nejvýše 180 kg odpadu s hmotnostní aktivitou 10 kBq/kg.

$$\frac{10 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}} \cdot m_{\text{ral}}}{6000 \text{ kg} \cdot 0,3} \leq 1 \frac{\text{kBq}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{ral}} \leq 180 \text{ kg}$$

20.5 Spalování v cementárně (C 1-3)

Na cement je kladen požadavek, aby hmotnostní aktivita žádného z radionuklidů z uranové a thoriové řady v cementu, pro jehož výrobu je použito spoluspalování RaL, nebyla vyšší než

600 Bq/kg. V takovém případě se dá očekávat, že nebude překročen požadavek § 101 zákona.

$$\frac{a}{(m_{ral} + m_{ostatní}) \cdot p} \leq 0,6 \frac{kBq}{kg} \quad 34$$

kde

a	aktivita spalované RaL [kBq],
m _{ral}	hmotnost spalované RaL za 24 h [kg],
m _{ostatní}	hmotnost ostatních složek slínku spotřebovaných za 24 h [kg],
p	popelnatost paliva.

20.6 Převoz z místa A do místa B - řidič vozidla (T.1)

20.6.1 Zevní ozáření

Efektivní dávka ze zevního ozáření pracovníka se spočte pomocí [rovnice 22](#).

Jako vstupní hodnoty příkonu prostorového dávkového ekvivalentu se použijí hodnoty změřené na místě, pokud to není možné, použijí se hodnoty z modelových výpočtů, viz [Tab. 16](#) sloupec „Doprava, v kabině nákl. vozidla“.

20.6.2 Vnitřní ozáření

Vnitřní ozáření je možné v době vykládky a nakládky materiálu. Pokud je naložený materiál uzavřený v nádobách, které jsou prokazatelně těsné a zamezují šíření prachu z RaL, je možné vnitřní kontaminaci zanedbat, např. uzavřené sudy s kalem.

20.6.2.1 Inhalace

Výpočet efektivní dávky z inhalace prachu se provede podle [rovnice 29](#) s doplněním konverzních faktorů pro přepočtení na efektivní dávku pro inhalaci z [Tab. 18](#).

Jako vstupní hodnoty do výpočtu se v ideálním případě dosadí na místě změřené hodnoty. Pokud nejsou k dispozici, nebo měření nelze provést, použijí se pro první odhady výsledky měření hmotnostních aktivit RN zjištěné z reprezentativního vzorku uvolňovaného materiálu a doporučené hodnoty prašnosti, atd.

Předpokládá se, že prašnost při vykládce/nakládce materiálu v průměru nepřesáhne 1 mg/m³.

20.6.2.2 Ingesce prachu

Prašnost při nakládání a vykládání vede i k požití určitého množství prachu, který ulpí v oblasti úst. Přímá ingesce prachu se odhaduje na 10 mg/h. Možnost ingesce nastává pouze v době vykládky a nakládky materiálu. Efektivní dávka z ingesce prachu se spočítá pomocí [rovnice 30](#) a [Tab. 23](#).

20.6.3 Inhalace radonu a produktů jeho přeměny

Vzhledem k inhalaci prachu je nevýznamná.

20.6.4 Modelový příklad převoz z místa A do místa B

Pracovník za rok stráví ve vozidle celkem 800h a při nakládce a vykládce nákladu 400h. Jedná se o dopravu na krátkou vzdálenost. Jako náklad se vozí pouze RaL. Prašnost v místě nakládky a vykládky se v průměru pohybuje okolo 1 mg/m^3 .

T cesta = 800 h	a) Hodnoty $H^*(10)$ jsou k dispozici – dosadí se do rovnice 22 .
T nalož-vylož = 400 h	b) Hodnoty $H^*(10)$ nejsou k dispozici – provede se odhad pomocí konverzních koeficientů z Tab. 16 , sloupec „Doprava, v kabině nákl. vozidla“ a „Hromada“ na základě znalosti hmotnostní aktivity RN.
$a_m = 3 \text{ kBq/kg U 238 sec}$	Předpokládejme situaci b) s tím, že v materiálu, který se na skládku naváží, byla zjištěna hmotnostní aktivita U 238 v radioaktivní rovnováze s dlouhodobými produkty přeměny.
	Prašnost $p = 1 \text{ mg/m}^3$, AMAD $5 \mu\text{m}$
	Použití OOPP se neuvažuje

$$E_{\text{zevní}} = T_{\text{cesta}} * 7,72 \cdot 10^{-2} * 3 + T_{\text{nalož-vylož}} * 3,19 \cdot 10^{-2} * 3 = 224 \mu\text{Sv}$$

$$E_{\text{inh}} = 2,53 \cdot 10^4 * 3 * T_{\text{nalož-vylož}} * 1,2 * 1 * 1 \cdot 10^{-6} * 4 = 146 \mu\text{Sv}$$

$$E_{\text{ing}} = 2,57 \cdot 10^3 * 3 * T_{\text{nalož-vylož}} * 1 * 1 \cdot 10^{-5} * 4 = 123 \mu\text{Sv}$$

$$E_{\text{celkem}} = \underline{493 \mu\text{Sv}}$$

20.7 Použití kalů pro zemědělské účely - zemědělec rozvážející kal po poli (Z.1)

Scénář předpokládá, že upravený kal je producentem dovezen na složiště dle určení zemědělce. Takové složiště zpravidla bývá v blízkosti pole nebo na poli, které bude hnojeno. Pracovník (jednotlivec z obyvatelstva) jede s traktorem a valníkem pro kal, kal složí na hromadu na pole a následně ho rozváží po poli.

Scénář předpokládá rozprostření 5 tun sušiny kalu na hektar jednou za tři roky na pole o výměře 300 ha. Přičemž doba zapravení kalu nesmí být delší jak 48 hodin. Odhadovaná doba, kterou zemědělec stráví touto činností, je 200 h ročně. Dále scénář předpokládá, že kal je nakládán automaticky, obsluha traktoru chodí proces pouze kontrolovat (tj. doba strávená v přímé blízkosti shromaždiště kalu je velmi krátká).

20.7.1 Zevní ozáření

Efektivní dávka ze zevního ozáření je složena ze dvou částí – zemědělec jede traktorem z/na pole a zemědělec jezdí po poli. Zevní ozáření při cestě z a na pole je způsobeno pouze zářením emitovaným z nákladu. Zevní ozáření při rozmetání kalu na poli je složeno ze záření emitovaného nákladem a kalem zapraveným do půdy.

Efektivní dávka ze zevního ozáření zemědělce se spočte pomocí [rovnice 22](#).

Jako vstupní hodnoty příkonu prostorového dávkového ekvivalentu se použijí hodnoty změřené na místě, pokud to není možné, použijí se hodnoty z modelových výpočtů, viz [Tab. 16](#), sloupec „Doprava, v kabině nákl. vozidla“, resp. „Hřiště/pole, 1 m nad zemí“.

Pro dobu strávenou v traktoru na poli se předpokládá, že výška sedadla řidiče nad zemí je min. 2 m, ocelová podlaha traktoru slouží jako dodatečné stínění. Pro výpočet efektivní dávky ze zevního ozáření pro dobu strávenou v traktoru se použije se faktor stínění 2.

20.7.2 Vnitřní kontaminace

Kal se aplikuje v polotekutém (aplikátorem do půdy) nebo vlhkém stavu (cca 40 % vlhkosti, rozmetáním). Šíření aerosolu při aplikaci je málo pravděpodobné. Pro potřeby scénáře lze konzervativně uvažovat prašnost 1 mg/m^3 (zejm. v případě, že by se kal vozil nejprve v suchém stavu a následně ředil vodou pro lepší zapravitelnost).

20.7.2.1 Inhalace prachu

Výpočet efektivní dávky z inhalace prachu se provede podle [rovnice 29](#) a [Tab. 18](#).

Jako vstupní hodnoty do výpočtu se v ideálním případě dosadí na místě změřené hodnoty. Pokud nejsou k dispozici, nebo měření nelze provést, použijí se pro první odhady výsledky měření hmotnostních aktivit RN zjištěné z reprezentativního vzorku uvolňovaného materiálu (v tomto případě kalu), a doporučené hodnoty prašnosti, atd.

Při výpočtu se konzervativně předpokládá, že v traktoru při aplikaci kalu i při transportu je stejná koncentrace prachu, není-li známo jinak.

20.7.2.2 Ingesce prachu

Prašnost vede i k požití určitého množství prachu, který ulpí v oblasti úst. Přímá ingesce prachu se obecně odhaduje na 10 mg/h. Efektivní dávka z ingesce se spočte pomocí [rovnice 30](#) a [Tab. 23](#).

20.7.3 Inhalace radonu a produktů jeho přeměny

Inhalace radonu a produktů jeho přeměny je relevantní pouze, pokud by bylo na nějakém místě, kam má zemědělec přístup, dlouhodobě skladováno velké množství upraveného kalu se zvýšeným obsahem ^{226}Ra . Výpočet objemové aktivity radonu se, podle aktuální geometrie, provede pomocí [rovnice 27](#) nebo [28](#).

20.7.4 Modelový příklad kalu na pole

Zemědělec má pohnout 300 ha polí upraveným kalem. Kal je z místa vzniku přivážen na valník, na který se nakládá automatickým nakladačem. Rychlost jízdy po poli je 10 km/h. Činnost zemědělce spočívá v naložení materiálu na valník, odvoz na pole, rozmetání kalu a následné zaorání kalu do půdy. Kal je vlhký a zaorává se hned po rozmetání. Prašnost při práci je 1 mg/m^3 . Ingesce prachu 10 mg/h, faktor koncentrace na jemných částicích se neuvažuje pro ingesci, očekávají se spíš stříkance bahna. Inhalace a ingesce kontaminovaného prachu se odehrává pouze na poli a při nakládce.

T celková = 200 h	a) Hodnoty $H^*(10)$ jsou k dispozici – dosadí se do rovnice.
T transport = 120 h	b) Hodnoty $H^*(10)$ nejsou k dispozici – provede se odhad pomocí konverzních koeficientů z Tab. 16 , sloupec „Doprava,
T traktor na poli = 80 h	

Prašnost $p = 1 \text{ mg/m}^3$	v kabině nákl. vozidla“, resp. „Hřiště/pole, 1 m nad zemí“, a znalosti hmotnostní aktivity RN.
$a_{mRa-226} = 5 \text{ kBq/kg}$ $a_{mRa-228} = 5 \text{ kBq/kg}$	Předpokládejme situaci b) s tím, že v kalu byla zjištěna hmotnostní aktivita Ra 226 a Ra 228 překračující UÚ. Aktivita dalších RN je oproti aktivitě radia nízká.
Ingesce prachu 10 mg/h	Použití OOPP se neuvažuje, faktor koncentrace na jemných částicích 4 pouze pro inhalaci. AMAD $5 \mu\text{m}$. Stínění traktorem na poli 2

Protože se jedná o hypotetický příklad, pro který chybí vstupní údaje jako je např. vzdálenost zdroje kalu od pole, budeme předpokládat následující:

Nosnost valníku je 10 t, obsah sušiny v kalu je 50 %, tj. valník vydrží na 2 ha. Vzdálenost pole od skládky kalu je 10 km, rychlost traktoru po silnici je 40 km/h. Nakládka valníku trvá 15 minut. Dovážením kalu na pole k rozmetání stráví zemědělec celkem 80 h, nakládkou dalších 40 h. Zhruba 50 h trvá rozmetání kalu po poli a cesta z pole a na pole od silnice. Celkem 30 h trvá zaorání kalu. Celkem tedy stráví touto činností 200 h.

Lze zaorat 5 t/ha, což při předpokladu hustoty zeminy 1600 kg/m^3 a hloubce orby 30 cm, zvýší hmotnostní aktivitu v této vrstvě půdy o 5 Bq/kg, tj. 10 % nad průměrné přírodní pozadí v ČR. I vzhledem k času strávenému na poli není tedy nutné ani počítat dávku od radonu emanujícímu z kalu před zaoráním.

$$E_{\text{zevní}} = T_{\text{transport}} * (7,61 \cdot 10^{-2} + 4,0 \cdot 10^{-2}) * 5 + T_{\text{traktor na poli}} * (7,61 \cdot 10^{-2} + 4,0 \cdot 10^{-2} + (3,25 \cdot 10^{-1} + 1,78 \cdot 10^{-1}) * 0,5) * 5 = 216,7 \mu\text{Sv}$$

$$E_{\text{inh}} = (2,2 \cdot 10^3 + 1,71 \cdot 10^3) * 5 * 120 * 1,2 * 1 * 1 \cdot 10^{-6} * 4 = 11,26 \mu\text{Sv}$$

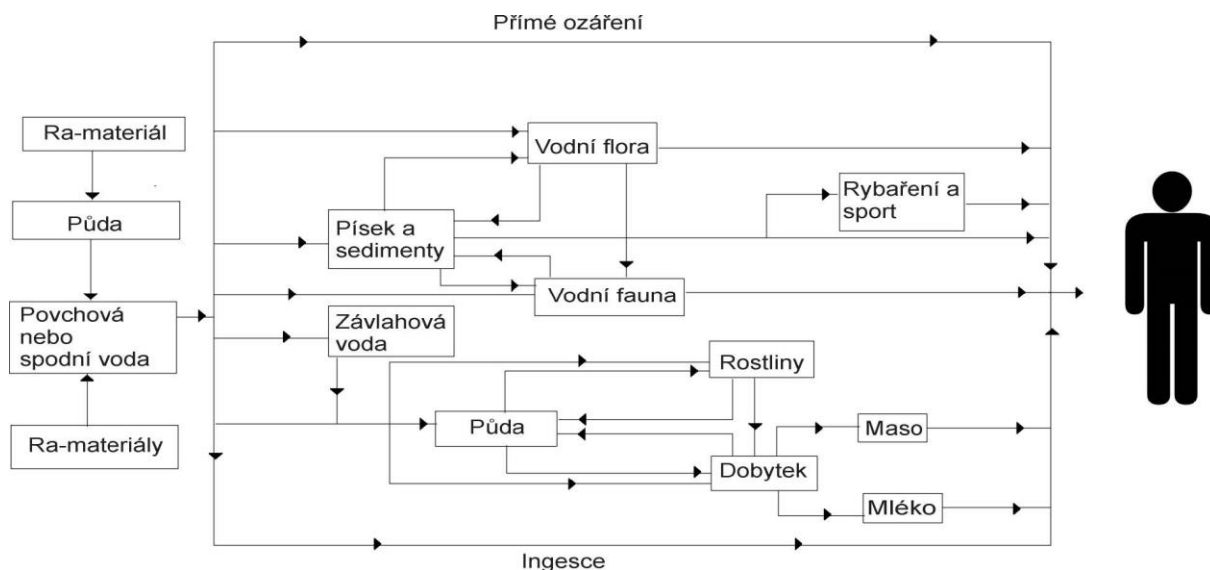
$$E_{\text{ing}} = (2,8 \cdot 10^2 + 6,9 \cdot 10^2) * 5 * 120 * 1 * 1 \cdot 10^{-5} = 5,82 \mu\text{Sv}$$

E_{Rn} neuvažuje se

$$E_{\text{celkem}} = \underline{234 \mu\text{Sv}}$$

Poznámka: Výsledky modelování v Tab. 16 jsou stanoveny pro některé radionuklidy a části přeměnových řad. Použitím výsledku pro část přeměnové řady se výsledek stává konzervativnější než při použití hodnoty pro samotný radionuklid, pokud je tento přítomný v materiálu samostatně. Např. koeficient pro ^{226}Ra zahrnuje v sobě i krátkodobé produkty přeměny radonu, ^{214}Pb a ^{214}Bi , oba emitují gama záření o významně vyšší energii než samotné ^{226}Ra . Na druhou stranu, pokud je kal dlouhodobě uložen před zapravením do půdy, ustaví se radioaktivní rovnováha mezi ^{226}Ra a ^{222}Rn a jeho krátkodobé produkty přeměny. Ta sice bude narušena emanací radonu z povrchu, ale konzervativně lze předpokládat, že žádný radon neunikne. Stejně platí i pro ^{228}Ra a ^{228}Ac .

Příloha 3 Podklady pro výpočet efektivní dávky



Obr. 5: Expoziční cesty z výpustí do vodního ekosystému [Doporučení SÚJB, 2008]

Tab. 14: Doporučené hodnoty pro dobu pobytu, pokud není známo jinak [Doporučení SÚJB, 2008]

Místo expozice	Doporučená hodnota (hodin) ročně		Poznámka
V budově při zaměstnání	až 2000		Děti ve škole a jinde 1300 hod
V budově při bydlení	7000		Děti 7000 hod Dospělí 7000 hod
Venku při zaměstnání	až 2000		Dospělí 1500 hod
Venku při bydlení	až 2000		Děti 500 hod
	z toho na zahradě	až 1000	Dospělí 300 hod
	z toho na ulici	až 1000	
	z toho na hřišti, v parku	až 1000	

Tab. 15: Přehled radionuklidů zahrnutých do přeměnových řad, resp. jejich částí

Uranová přeměnová řada	
U 238sec	U 238, Th 234, Pa 234m, Pa 234 (0.3%), U 234, Th 230, Ra 226, Rn 222, Po 218, Pb 214, Bi 214, Po 214, Pb 210, Bi 210, Po 210
U nat	U 238, Th 234, Pa 234m, Pa 234 (0.3%), U 234, U 235 (4.6%), Th 231 (4.6%)
Th 230	Th 230
Ra 226+	Ra 226, Rn 222, Po 218, Pb 214, Bi 214, Po 214
Pb 210+	Pb 210, Bi 210
Po 210	Po 210
Aktiniová přeměnová řada	
U 235sec	U 235, Th 231, Pa 231, Ac 227, Th 227 (98.6%), Fr 223 (1.4%), Ra 223, Rn 219, Po 215, Pb 211, Bi 211, Tl 207, Po 211 (0.3%)
U 235+	U 235, Th 231
Pa 231	Pa 231
Ac 227+	Ac 227, Th 227 (98.6%), Fr 223 (1.4%), Ra 223, Rn 219, Po 215, Pb 211, Bi 211,

	Tl 207, Po 211 (0.3%)
Thoriová přeměnová řada	
Th 232sec	Th 232, Ra 228, Ac 228, Th 228, Ra 224, Rn 220, Po 216, Pb 212, Bi 212, Po 212 (64.1%), Tl 208 (35.9%)
Th 232	Th 232
Ra 228+	Ra 228, Ac 228
Th 228+	Th 228, Ra 224, Rn 220, Po 216, Pb 212, Bi 212, Po 212 (64.1%), Tl 208 (35.9%)
Poznámka:	
„sec“ – přeměnová řada v sekulární radioaktivní rovnováze	
„+“ – část přeměnové řady v sekulární radioaktivní rovnováze	
„nat“ – přírodní uran s příslušným zastoupením jednotlivých izotopů	

Tab. 16: Konverzní faktor pro přepočítání hmotnostní aktivity radionuklidu (části přeměnové řady) na efektivní dávku (mSv/h)/(kBq/kg) pro různé geometrie [EU RP 122]

Radionuklid	Doprava, v kabině nákl. vozidla	Hromada >10.000m ³ , 10 m od paty	Velká halda, 500 m od paty	Rovina, např. skládka, 1 m nad zemí
U 238sec	7,72E-05	3,19E-05	3,21E-08	4,31E-04
U nat	7,13E-07	4,50E-07	4,44E-10	6,23E-06
Th 230	1,06E-09	3,82E-09	3,40E-12	3,85E-08
Ra 226+	7,61E-05	3,12E-05	3,14E-08	4,20E-04
Pb 210+	6,08E-17	7,03E-09	2,14E-12	1,07E-07
Po 210	3,54E-10	1,48E-10	1,48E-13	2,07E-09
Th 232sec	1,18E-04	4,74E-05	4,77E-08	6,21E-04
Th 232	1,86E-10	1,48E-09	1,21E-12	2,23E-08
Ra 228+	4,00E-05	1,66E-05	1,66E-08	2,27E-04
Th 228+	7,79E-05	3,08E-05	3,11E-08	3,94E-04
K 40	7,61E-06	2,86E-06	2,86E-09	3,77E-05
Radionuklid	Hřiště/pole, 1m nad povrchem, mocnost vrstvy 10 cm	Stavba silnice	Venku, 20 m od paty haldy	Uvnitř v domě, 25 m od paty haldy
U 238sec	3,34E-04	3,08E-04	5,50E-05	4,47E-06
U nat	5,31E-06	4,23E-06	7,55E-07	2,96E-08
Th 230	3,69E-08	2,78E-08	5,82E-09	1,11E-11
Ra 226+	3,25E-04	3,01E-04	5,37E-05	4,43E-06
Pb 210+	1,07E-07	9,29E-08	1,02E-08	1,01E-17
Po 210	1,66E-09	1,41E-09	2,53E-10	1,39E-11
Th 232sec	4,62E-04	4,59E-04	8,19E-05	8,85E-06
Th 232	2,13E-08	1,59E-08	2,21E-09	1,64E-12
Ra 228+	1,78E-04	1,59E-04	2,84E-05	1,91E-06
Th 228+	2,84E-04	3,00E-04	5,35E-05	6,94E-06
K 40	2,77E-05	2,89E-05	4,95E-06	4,90E-07

Tab. 17: Numerické hodnoty koeficientu K [Doporučení BfS]

r (m)	Plocha haldy nebo skládky v ha									
	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100
10	0,521	0,415	0,300	0,232	0,179	0,126	0,097	0,074	0,052	0,04
20	0,703	0,587	0,441	0,347	0,270	0,191	0,147	0,113	0,079	0,061
30	0,800	0,694	0,541	0,433	0,340	0,243	0,188	0,144	0,101	0,078
40	0,856	0,766	0,617	0,503	0,399	0,288	0,223	0,171	0,121	0,092
50	0,891	0,815	0,676	0,560	0,450	0,327	0,254	0,196	0,138	0,106
60	0,915	0,85	0,723	0,608	0,494	0,363	0,282	0,218	0,154	0,118
70	0,931	0,876	0,761	0,649	0,533	0,395	0,309	0,239	0,169	0,130
80	0,943	0,896	0,791	0,684	0,568	0,424	0,333	0,259	0,183	0,141
90	0,952	0,911	0,816	0,715	0,599	0,452	0,356	0,277	0,197	0,151
100	0,959	0,923	0,837	0,741	0,627	0,477	0,377	0,295	0,210	0,161
200	0,986	0,972	0,934	0,881	0,800	0,658	0,541	0,433	0,314	0,244
300	0,992	0,985	0,963	0,931	0,876	0,760	0,649	0,533	0,394	0,308
400	0,995	0,990	0,976	0,954	0,915	0,823	0,723	0,609	0,460	0,363
500	0,997	0,993	0,983	0,967	0,938	0,864	0,777	0,668	0,515	0,410
600	0,997	0,995	0,987	0,975	0,952	0,893	0,817	0,715	0,562	0,452
700	0,998	0,996	0,990	0,98	0,962	0,913	0,847	0,753	0,603	0,489
800	0,998	0,997	0,992	0,984	0,969	0,927	0,87	0,784	0,639	0,523
900	0,999	0,997	0,993	0,987	0,974	0,938	0,888	0,810	0,670	0,554
1000	0,999	0,998	0,994	0,989	0,978	0,947	0,902	0,831	0,697	0,581
2000	1,000	0,999	0,998	0,996	0,992	0,981	0,964	0,931	0,852	0,761
3000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,996	0,990	0,980	0,962	0,912	0,846
4000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,997	0,994	0,987	0,975	0,941	0,893
5000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,995	0,991	0,982	0,958	0,921
6000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,997	0,993	0,987	0,968	0,938
7000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,997	0,995	0,989	0,974	0,951
8000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,996	0,991	0,979	0,959
9000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,996	0,993	0,983	0,966
10000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,997	0,994	0,985	0,971

Tab. 18: Konverzní faktory h_{inh} pro inhalaci (mSv/kBq) pro pracovníky a obyvatelstvo

Radionuklid	AMAD 1 μm	AMAD 5 μm	< 1 rok	1- 2roky	2-7 let	7-12 let	12-17 roků	> 17
U 238sec	36,00	25,30	191,00	166,00	109,00	70,70	61,50	57,00
U nat	16,20	12,80	63,40	55,20	35,80	22,50	19,10	17,80
Th 230	13,00	7,20	40,00	35,00	24,00	16,00	15,00	14,00
Ra 226+	3,20	2,20	34,20	29,10	19,10	12,00	10,00	9,53
Pb 210+	0,97	1,16	18,40	18,30	11,20	7,33	6,01	5,69
Po 210	3,00	2,20	18,00	14,00	8,60	5,90	5,10	4,30
U 235sec	122,00	83,30	395,00	349,00	233,00	162,00	145,00	133,00
U 235+	7,70	6,10	30,00	26,00	17,00	11,00	9,20	8,50
Pa 231	32,00	17,00	74,00	69,00	52,00	39,00	36,00	34,00
Ac 227+	82,40	60,20	291,00	254,00	164,00	112,00	100,00	90,70
Th 232sec	65,50	48,20	276,00	238,00	157,00	106,00	92,50	84,60
Th 232	23,00	12,00	54,00	50,00	37,00	26,00	25,00	25,00
Ra 228+	2,61	1,71	49,10	48,10	32,00	20,00	16,00	16,00
Th 228+	39,90	34,40	173,00	140,00	88,30	59,70	51,50	43,60

Poznámka

Další konverzní faktory jsou dostupné ve [vyhlášce](#)

Tabulka shrnuje konverzní faktory pro přepočet aktivity inhalovaného radionuklidu (nebo přeměnové řady v sekulární radioaktivní rovnováze, viz Tab. 15) na efektivní dávku pro pracovníky pro dvě velikosti aerosolů – AMAD 1 a 5 μm – a pro obyvatelstvo pro různé věkové kategorie. Konverzní koeficienty h_{inh} byly získány z ICRP 119, 2012, konzervativně byl použit vždy vyšší konverzní koeficient v případě více možných typů absorpce. Není-li známo velikostní rozdělení, použije se konzervativní odhad, tedy vyšší hodnota h_{inh} . V opačném případě se použije reálný konverzní koeficient pro známé velikostní rozdělení a typ absorpce podle [vyhlášky](#).

Tab. 19: Množství vdechovaného vzduchu

		< 1 rok	1- 2roky	2-7 let	7-12 let	12-17 roků	> 17	pracovník
Vyhláška	m^3	1000	2000	4000	6000	8000	8500	2000
Doporučení SÚJB, 2008			Dítě 1 rok	Dítě 5 let			Dospělý	
	m^3/h doporučená hodnota (rozpětí)		0,22 (0,15 – 0,22)	0,46 (0,38 – 0,83)			0,97 (0,85 – 1,00)	1,2

Tab. 20: Roční spotřeba potravin v ČR

Potravina	Spotřeba v kg, resp. l
Mléko a mléčné výrobky (litry)	190
Maso hovězí (kg)	20
Maso vepřové (kg)	50
Maso drůbeží (kg)	12
Maso ostatní (kg)	5
Ryby (kg)	5
Obiloviny (kg)	100

Brambory (kg)	90
Zelenina celkem (kg)	75
Ovoce (kg)	50

Tab. 21: Spotřeba vody

		< 1 rok	1-2roky	2-7 let	7-12 let	12-17 roků	> 17	pracovník
Vyhláška	litr/rok	250 ve formě kapaliny		450 ve formě kapaliny			1000 / 730 ve formě kapaliny	

Tab. 22: Konzumace zeminy a prachu

Doporučení SÚJB 2008	Dítě 1 – 6 let	0,02 kg/rok
-----------------------------	----------------	-------------

Tab. 23: Přehled konverzních koeficientů pro ingesci h_{ing} (mSv/kBq) [EU RP 122]

Nuklid	< 1 rok	1-2roky	2-7 let	7-12 let	12-17 roků	> 17	pracovník
U 238sec	46,40	14,30	7,90	5,83	5,48	2,57	2,57
U nat	0,77	0,28	0,19	0,15	0,15	0,10	0,10
Th 230	4,10	0,41	0,31	0,24	0,22	0,21	0,21
Ra 226+	4,70	0,96	0,62	0,80	1,50	0,28	0,28
Pb 210+	8,42	3,61	2,20	1,90	1,90	0,69	0,69
Po 210	26,00	8,80	4,40	2,60	1,60	1,20	1,20
U 235sec	52,00	5,70	4,00	2,96	2,46	1,97	1,97
U 235+	0,35	0,13	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05
Pa 231	13,00	1,30	1,10	0,92	0,80	0,71	0,71
Ac 227+	38,60	4,27	2,81	1,97	1,59	1,21	1,21
Th 232sec	41,20	7,25	4,36	4,62	5,86	1,06	1,06
Th 232	4,60	0,45	0,35	0,29	0,25	0,23	0,23
Ra 228+	30,00	5,70	3,40	3,90	5,30	0,69	0,69
Th 228+	6,55	1,09	0,60	0,43	0,31	0,14	0,14

Poznámka: Další konverzní faktory jsou dostupné ve [vyhlášce](#)

Tab. 24: Faktor přestupu (transfer faktor) pro kořenový přestup z půdy do pícnin a zeleniny (listová zelenina, obiloviny, brambory, atd.)

Nuklid	Krmivo	Zelenina
Po	0,01	0,005
Pb	0,05	0,007
Ra	0,01	0,005
Th	0,002	0,0005
Ac	0,003	0,003
Pa	0,003	0,003
U	0,003	0,003

Tab. 25: Parametry potřebné pro výpočet obsahu radionuklidů v rostlinách

Parametr	Doporučená hodnota	Poznámka
v_{dep}	0,005 m/s	Rychlost depozice aerosolu je závislá na mnoha faktorech, v literatuře lze dohledat rozpětí od $1 \cdot 10^{-2}$ do $1 \cdot 10^{-4}$ m/s ¹ , rychlost depozice roste s velikostí částic. [Doporučení BfS, 2011] doporučuje hodnotu $1 \cdot 10^{-2}$ m/s, [EU RP 122, 2000] doporučuje hodnotu $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.
t_n	2,6. 10^{-6} s pro pícniny 5,2e6 s pro zeleninu, obilí, atd.	
Y_n	1,6 kg/m ² pro listovou zeleninu 2,4 kg/ m ² pro ostatní rostliny 0,85 kg/ m ² pro pastvinu	
$\lambda_{\text{ef},r}$	$\lambda_{\text{ef},r} = \lambda_{\text{b},r} + \lambda_{\text{f},r}$ $\lambda_{\text{b},r}$ je biologická přeměnová konstanta radionuklidu r , $\lambda_{\text{b},r} = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ $\lambda_{\text{f},r}$ je fyzikální přeměnová konstanta radionuklidu r	Pro uvažované přírodní radionuklidy lze $\lambda_{\text{ef},r} = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
f_r	0,4	

Tab. 26: Doporučené hodnoty přírodní (pozadové) objemové aktivity radionuklidu ve vodě [mBq/l], přírodní (pozadové) hmotnostní aktivity radionuklidu v jednotlivém druhu potravin nebo krmiva [mBq/kg] a v prachu a půdě [Bq/kg]

Voda/potravina	Doporučené hodnoty											
	U 238	U 234	Th 230	Ra 226	Pb 210	Po 210	U 235	Pa 231	Ac 227	Th 232	Ra 228	Th 228
Pitná a povrchová voda [mBq/l]	20	20	2	20	50	2	1	1	1	1	20	20
Mléko [mBq/kg]	3	3	1	15	10	10	0,1	0,001	0,005	1	15	1
Maso [mBq/kg]	10	10	2	50	50	50	0,5	5	4	2	50	2
Ryby [mBq/kg]	20	20	50	100	200	1000	1	15	15	25	100	25
Listová zelenina [mBq/kg]	50	50	20	100	150	150	2	2	2	20	100	20
Luční tráva [mBq/kg]	50	50	20	100	150	150	4	6	6	20	100	20
Půda/prach	U 238	U 234	Th 230	Ra 226	Pb 210	Po 210	U 235	Pa 231	Ac 227	Th 232	Ra 228	Th 228
Půda [Bq/kg]	50	50	50	50	50	50	2	2	2	40	40	40
Prachová frakce půdy [Bq/kg]	200	200	200	200	200	200	8	8	8	160	160	160

¹ Kromě hodnot v [EU RP 122, 2000] a [Doporučení BfS, 2011], lze dohledat rozbor depozičních rychlostí v Dry Deposition Velocity Estimation for the Savannah River Site: Part 1 – Parametric Analysis, BA Napier, U.S. DoE, 2012 nebo v IAEA Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Report series No. 19, 2001

Příloha 4 Kontakt na inspektory SÚJB

územní působnost (okres)	kontaktní adresa, jméno inspektora	kontakt
Ostrava-město, Frýdek-Místek, Karviná, Opava, Nový Jičín, Olomouc, Šumperk, Jeseník, Bruntál, Přerov, Vsetín	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, RNDr. Ivana Ženatá, vedoucí oddělení Syllabova 21, 703 00 Ostrava 3	555 302 723 ivana.zenata@sujb.cz
hl.m.Praha, Benešov, Beroun, Kladno, Kolín, Kutná Hora, Mělník, Mladá Boleslav, Nymburk, Praha-východ, Praha-západ, Příbram, Rakovník	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Ing. Růžena Šinaglová Senovážné nám. 9, 110 00 Praha 1	221 624 715 ruzena.sinaglova@sujb.cz
České Budějovice, Český Krumlov, Jindřichův Hradec, Pelhřimov, Tábor, Písek, Strakonice, Prachatice	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Schneiderova 32, poštovní schránka 10, 370 07 České Budějovice	389 502 723 (dočasně zastupuje RNDr. Ivana Ženatá) 555 302 723 ivana.zenata@sujb.cz
Plzeň-město, Plzeň-sever, Plzeň-jih, Rokycany, Klatovy, Domažlice, Tachov, Cheb, Sokolov, Karlovy Vary	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Mgr. Marcela Velkoborská Klatovská třída 2739/200F 301 00 Plzeň	378 402 718 marcela.velkoborska@sujb.cz
Ústí nad Labem, Teplice, Most, Chomutov, Litoměřice, Děčín, Louny, Česká Lípa, Liberec, Jablonec	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Mgr. Jana Buchtová Habrovce 52, 403 40 Ústí n. L.	417 662 720 jana.buchtova@sujb.cz
Semily, Trutnov, Jičín, Náchod, Hradec Králové, Pardubice, Rychnov nad Kněžnou, Chrudim, Havlíčkův Brod, Svitavy, Ústí nad Orlicí	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Ing. Hana Procházková Piletická 57, 500 03 Hradec Králové	498 652 705 hana.prochazkova@sujb.cz
Blansko, Brno-město, Brno-venkov, Vyškov, Prostějov, Kroměříž, Zlín, Břeclav, Hodonín, Uher. Hradiště, Jihlava, Třebíč, Znojmo, Žďár nad Sázavou	SÚJB, Oddělení přírodních zdrojů, Bc. Hana Jurkovská Třída kpt. Jaroše 5, 602 00 Brno	515 902 781 hana.jurkovska@sujb.cz

Příloha 5 Informace o výskytu přírodních radionuklidů na vybraných pracovištích s materiálem se zvýšeným obsahem přírodního radionuklidu

Těžba, transport produktovody a zpracování ropy a plynu

V tomto odvětví jsou relevantní zejména izotopy radia a radonu, který je strháván společně se zemním plynem, a jejich dceřiné produkty, které se také deponují v potrubním systému, filtrech přečerpávacích stanic a v zásobních nádržích. Uran a thorium nejsou mobilizovány z matečné horniny a proces těžby vede k narušení radioaktivní rovnováhy. Mechanismus výskytu radia spočívá ve spolusrážení se sírany a uhličitany Ba^{2+} a Sr^{2+} obsaženými v ropě. V zemním plynu jsou vysoké aktivity ^{222}Rn , jeho přeměna vede ke vzniku depozitů s obsahem ^{210}Pb . Tabulka Tab. 27 uvádí nejčastější výskyt NORM v oblasti těžby ropy a zemního plynu. Aktivita v residuích a odpadech je závislá na mnoha faktorech, a proto není možné udat typický rozsah aktivit jednotlivých radionuklidů. Obecně lze říci, že se mohou vyskytovat na úrovni 1 až 15 000 Bq/g. Depozity s vysokými aktivitami ^{210}Pb a ^{210}Po jsou relevantní nejen v technologických celcích těžby ropy a zemního plynu, ale také technologii určené pro transport těchto surovin.

Expozice pracovníků je zejména způsobena externím ozářením. K inhalaci radionuklidů může dojít jednak v místech čištění technologických celků, které se zpravidla provádí tlakovou vodou či pískováním, a jednak v místech výskytu vysokých aktivit ^{222}Rn .

Tab. 27: Nejčastější typy NORM residuů vznikajících při těžbě ropy a zemního plynu

Typ	Radionuklidy	Charakteristika	Výskyt
Ra usazeniny, sraženiny	Ra 226, Ra 228, Ra 224 a jejich produkty přeměny	Tvrde depozity Ca, Sr, Ba síranů a uhličitánů	Mokrý část těžební technologie, vrt
Ra kaly	Ra 226, Ra 228, Ra 224 a jejich produkty přeměny	Písek, jíl, parafin, těžké kovy	Separční jednotky
Pb depozity	Pb 210 a jeho produkty přeměny	Stabilní depozity olova	Mokrý část těžební technologie, vrt
Pb film	Pb 210 a jeho produkty přeměny	Tenké povrchové vrstvy	Transportní části
Po film	Po 210	Tenké povrchové vrstvy	Technologie na separaci kondenzátu
Kondenzáty	Po 210	Pravděpodobně emanace z vrtu	V plynu
Plyn	Rn 222 a jeho produkty přeměny	Plyn, depozity na stěnách	Technologické části na úpravu a transport plynu
Odpadní voda	Ra 226, Ra 228, Ra 224 a Pb 210	Více či méně slané, velké objemy	Všechny těžební celky

Získávání geotermální energie

Voda (medium) se obohacuje minerály, současně také ale radionuklidy, zejména ^{226}Ra , ^{210}Pb z uranové přeměnové řady a ^{228}Ra , ^{224}Ra z thoriové přeměnové řady. Kvůli změnám tlaku a teplot média dochází k tvorbě sekundárních minerálů – usad na transportních potrubích. Rozpuštěné radium se sráží s karbonáty, barytem, celestýnem a nahrazuje v nich své

chemické analogy. Olovo se zabudovává rovnou do krystalické mřížky galenitu a laureonitu. Míra obohacení transportního media radionuklidu (a dalšími minerály) závisí na salinitě. V oblastech s vysokou salinitou je tvorba usad značná. Závislost koncentrace radionuklidů v usadách a na filtrech na salinitě geotermální vody ukazují studie z Německa. V oblasti Severoněmecké pánve a Hornorýnské nížiny, kde je salinita vysoká, jsou v geotermálních elektrárnách měřeny vysoké aktivity přírodních radionuklidů - izotopů radia ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th a ^{210}Pb v usadách (až 500 Bq/g) a ^{210}Pb na filtrech (až 1000 Bq/g) v provozech v Hornorýnské nížině resp. Neustadt-Gleve v Severoněmecké pánvi a aktivity až do 100 Bq/g pro izotopy radia ^{226}Ra a ^{228}Ra , a až 30 Bq/g pro ^{228}Th a ^{210}Pb ve výzkumném centru pro geotermální energii v Groß Schönebeck v Severoněmecké pánvi. V oblasti molaské pánve v Bavorsku je salinita velmi nízká a měření ukazují, že zde nedochází ke vzniku usazenin se zvýšeným obsahem radionuklidů.

Výroba pigmentu na bázi oxidu titaničitého

Základem pigmentů, které jsou nejvýznamnějšími bílými pigmenty, je oxid titaničitý TiO_2 , tzv. titanová běloba. Základní surovinou pro výrobu TiO_2 jsou titanové koncentráty obsahující minerály ilmenit FeTiO_3 a rutil TiO_2 . V těchto minerálech je obsah ^{238}U obvykle nižší než 1 Bq/g a obsah ^{232}Th se obvykle pohybuje pod 2 Bq/g, v závislosti na ložisku se obsah radionuklidů mění.

Část ^{210}Pb se usazuje v nálepech na potrubí, část se sráží při neutralizaci kyseliny sírové na síran vápenatý a část zůstává spolu s izotopy radia ve filtrátu po rozkladu ilmenitu. Síran radia (^{226}Ra i ^{228}Ra) jsou málo rozpustné, zůstávají proto ve velké míře v nerozloženém ilmenitu. Izotopy radia se usazují v místech změny tlaků a teplot, tj. na filtrech (zejm. Moorovy filtry), v nádobách hydrolýzy, i jako sintr v potrubích. Oxidy vizmutu jsou v H_2SO_4 rozpustnější než výše vyjmenované prvky, a spolu s U a Th doprovází produkt TiOSO_4 . Díky chemismu procesu opouští hlavní proces při filtraci na Moorových vakuových filtrech. Oxidy uranu a thoria jsou rozpustné v teplé kyselině sírové. Pokud je kyselina sírová neutralizována na sádro, přechází do ní i přítomný uran a thorium. Pokud se kyselina sírová recykluje zpět do procesu, koncentrují se uran a thorium v síranu železnatém. V rámci procesu se lze setkat s nejvyššími dávkovými příkony záření gama u nádrží hydrolýzy a Moorových filtrů. Významnými z hlediska radiační ochrany mohou být i skládky produkované sádry a nerozloženého zbytkového ilmenitu.

Termická výroba fosforu

Sedimentární fosfority mohou obsahovat 0,5 – 3 Bq/g ^{238}U , aktivita ^{232}Th nebývá znatelně vyšší než obvyklé hodnoty aktivity hornin nebo půd. Naopak v apatitech lze nalézt zvýšené aktivity ^{232}Th 0,1 - 0,4 Bq/g a hmotnostní aktivity ^{238}U i okolo 5 Bq/g. V těchto materiálech se ^{238}U a ^{232}Th obvykle nacházejí v radioaktivní rovnováze s dceřinými radionuklidy. Fosfáty mohou obsahovat radionuklidu jako nečistoty v krystalické mřížce (U^{4+} , U^{6+} , Th^{4+} , Ra^{2+} , Pb^{4+} , Pb^{2+} , Po^{4+} and Bi^{3+}), nebo ve formě přidané sloučenin.

Struska, která je z hlediska množství nejvýznamnějším odpadem výroby fosforu, je tvořena křemičitanem vápenatým, obsahuje uran a thorium se svými produkty přeměny v koncentracích totožných se vstupní surovinou, je ochuzena o olovo a polonium. Koncentrování ^{210}Po a ^{210}Pb je následkem recyklace vzduchu z pecí. Olovo i polonium se koncentruje v prachu, který je zachytáván odlučovacími filtry, v technologické vodě i ve formě usad na technologických potrubích. Kalcinovaný prach obsahuje velmi vysoké aktivity Pb-210 (až 40 kBq/g).

Výroba kyseliny fosforečné

Kyselina fosforečná H_3PO_4 se vyrábí dvěma postupy, tzv. termickým postupem nebo převažujícím extrakčním postupem, který se někdy označuje jako mokrý postup.

Termický postup probíhá ve dvou stupních: spálení roztaveného fosforu na oxid a následné reakci s vodou na kyselinu fosforečnou.

Při extrakčním procesu získávání kyseliny fosforečné se matečná hornina louží buď kyselinou sírovou, nebo kyselinou chlorovodíkovou. V případě kyseliny sírové dochází ke vzniku fosfosádrovce, do kterého většinou přechází izotopy radia. ^{226}Ra se usazuje spolu se fosfosádrovcem v reakčních a zásobních nádobách, na jejichž površích se deponují také aktivní depozity dceřiného radonu. Uran většinou přechází do kyseliny fosforečné ve formě uranylu fosforu, v malém množství pak do fosfosádrovce. ^{210}Po přechází do fosfosádrovce, ^{210}Pb má nejasný osud, část do kyseliny, část do fosfosádrovce. Podobně se chová i thorium. Aktivita ^{226}Ra v fosfosádře se pohybuje v širokém rozpětí od 200 do 2000 Bq/kg

Při loužení kyselinou chlorovodíkovou nedochází ke koncentrování radionuklidů. Uran může být srážen v kalech fluoridu vápenatého přidáním vápna a radium přechází do kapalného odpadu s obsahem chloridu vápenatého.

Výroba fosfátových hnojiv

Superfosfát se vyrábí loužením fluoroapatitu kyselinou sírovou, víceústupňový superfosfát je loužen kyselinou fosforečnou a sírovou. Při výrobě superfosfátů se sice produkuje fosfosádra, ale ta zůstává součástí superfosfátu. Výsledná aktivita superfosfátu je dána aktivitou vstupních surovin – kyseliny fosforečné (dvojitý a trojitý superfosfát) a fluoroapatitu. Aktivita ^{238}U v superfosfátech se pohybuje od 0,2 do 2,0 Bq/g.

Základními surovinami pro výrobu kombinovaných hnojiv jsou - kapalný nebo plynný čpavek, 52-70% HNO_3 , apatity nebo kyselina fosforečná a chlorid nebo síran draselný. Pokud do procesu výroby vstupuje kyselina fosforečná, je ochuzena o ^{226}Ra , neboť to se sráží při její výrobě s vápníkem v sádře. V ostatních případech přechází radionuklidy do produkovaného hnojiva. Vznikat mohou ale nálepy s obsahem ^{210}Pb a ^{210}Po , které se deponují na povrchu nádrží a potrubí.

Odvětví zirkonu a zirkonia

Výrobní postupy závisí na použití vzniklých produktů a jejich zpracování. Zr se získává hlavně z rud zirkoniových – zirkon (orthosilikát) $ZrSiO_4$ a baddeleyit (oxid zirkoničitý) ZrO_2 , které obsahují U a Th v krystalové mřížce, kde nahrazují malé množství atomů Zr. Uvolňování radionuklidů je díky pevné vazbě v krystalové mřížce velmi omezené, a to jak při vysokých teplotách (^{210}Po), tak i v rozpouštědlech. Surový zirkon obsahuje typicky 2-4 Bq/g ^{238}U a 0,4-1 Bq/g ^{232}Th . Koncentrace radionuklidů se opět mění v závislosti na ložisku, např. hmotnostní aktivita ^{238}U v baddeleyitu z Jižní Afriky dosáhla až 13 Bq/g a ^{232}Th téměř 3 Bq/g, doporučení IAEA hovoří o aktivitách ^{232}Th až na úrovni 26 Bq/g v baddeleyitu.

Výroba cementu, údržba slínkových pecí

Radioaktivní prvky se mohou vyskytovat zejména v kouřových plynech a v úletech, které odchází z pece s kouřovými plyny ($^{210}Po/^{210}Pb$). K odprašování se používají různá zařízení jako cyklony a elektrofiltry. Úlet se využívá buď zpětným zavedením do rotační pece, přidávkem do cementu při mletí nebo jako méně hodnotné pojivo. Expozice pracovníků se neočekává významná, neboť obsah radionuklidů není velký. Významné z hlediska radiační ochrany může být čištění a údržba slínkových pecí kvůli úletům a nálepům s obsahem $^{210}Po/^{210}Pb$.

Expozice pracovníků lze očekávat zejména při údržbě pecí, a to zejména skrze inhalaci prachu.

Tepelné elektrárny spalující uhlí, údržba kotlů

Radioaktivita produktů spalování závisí na aktivitě vstupní suroviny, typu spalování, popelnatosti vstupní suroviny, ale také na systému odstraňování popílku a odsíření výstupního plynu. Uran, radium a thorium lze typicky nalézt koncentrované ve škváře polonium a olovo (polonium) v popílku. Poměry zastoupení jednotlivých radionuklidů v produktech spalování se ale liší.

Primární výroba železa

Hlavním odpadem je prach v unikajících plynech, který se zachytává pomocí elektrostatických precipitátorů, usazeniny a kaly. V těchto odpadech lze nalézt ^{210}Po a ^{210}Pb (zpravidla nejsou v rovnováze), které kondenzují na povrchu aerosolu unášeného spalinami, deponují se také na povrchu vzduchovodů a koncentrují na filtrech pro čištění a recyklaci vzduchu. Vyšší aktivity lze nalézt spíše v sintrových usazeninách než ve vysoké peci. Do strusky přechází většina uranu, thoria, radia (viz Tab. 28). Radionuklidy, zejména ^{210}Po a ^{210}Pb , se dále mohou koncentrovat v podnikové čistírně odpadních vod v kalech a usazeninách.

Tab. 28: Rozdělení radionuklidů při tavně železa

Radionuklid	Tavenina	Struska	Prach
U 238, U 235	1 %	98 %	1 %
Th 232, Th 234	< 1 %	> 98 %	1 %
Ra 226, Ra 228	-	98 %	2 %
Pb 210	-	7 %	93 %
Po 210	-	2 %	98 %

Zařízení na filtrování podzemní vody

Vznik NORM odpadů se týká především primárních zpracovatelů podzemní vody ve filtračních zařízeních pro odstraňování uranu, radia, železa a manganu a také provozovatelů zařízení, kde se podzemní voda používá nikoli jako pitná – lázně, plavecké bazény, apod. Radionuklidy, které byly původně obsaženy v surové vodě, je možné očekávat ve filtračních náplních (Greensand pro radium, Lewatit a GEH sorbenty pro uran), vodárenských kalech ve formě odkalů ze sedimentace (oxidace provzdušněním, srážení a sedimentace pro odstranění radia), odpadních vodách (např. pracích vodách z filtrů, u reverzní osmózy) a jako usady na potrubích vedoucích vodu. Rozptyl obsahu radionuklidů v surové vodě a následně v odpadních materiálech je značně široký, např. pro ^{226}Ra se může pohybovat v rozmezí 0,1 - 14 Bq/g v sedimentech a kalech ze zpracování vody.

Odstraňování radonu a přírodních radionuklidů

Metody odstraňování radonu z pitné vody jsou založeny na přestupu radonu z vody do vzduchu. V principu lze pro odstranění radonu využít stejných metod jako u mechanických způsobů odkyselení vody, tj. intenzivního provzdušnění vody nebo zkrápění vody na koloně s vysokým aktivním povrchem. Vzduch obohacený radonem odvádět mimo prostor vodárny.

V podzemních vodách se mohou z horninového podloží rozpouštět další přírodní radionuklidy – izotopy uranu a radia. Tabulka Tab. 29 uvádí používané postupy pro odstraňování uranu a radia z vody.

Tab. 29: Technologie na úpravu podzemní vody vzhledem k záchytu radionuklidů

Technologie	Schopnost záchytu		Výskyt radionuklidů
	Radium	Uran	
filtrace na upravených vod. píscích (Greensand)	•		odpadní voda náplně
oxidace provzdušněním, srážení, sedimentace, filtrace	•		odpadní voda kaly
iontová výměna (Lewatit)		•	náplně
sorbenty (GEH)		•	odpadní voda náplně
reverzní osmóza	•	•	odpadní voda

Expozice pracovníků lze očekávat zejména z externího ozáření při manipulaci s filtračními náplněmi, opravách potrubí s úsadami a při transportu kontaminovaných technologických celků a filtračních náplní. Vnitřní ozáření z inhalace je možné při přítomnosti pracovníků u odradonovacích jednotek nebo při mechanickém odstraňování suchých úsad z potrubí.