

Bezpečnost práce se zdroji ionizujícího záření

Mgr. Sándor Forczek, PhD.

dohlížející osoba RO

Izotopová laboratoř

Ústav experimentální botaniky AV ČR, v.v.i.

dne 9.7.2020

Ionizující záření (IZ)

- **Zdrojem IZ** je látka, přístroj nebo zařízení, které může vysílat IZ nebo uvolňovat radioaktivní látky
- IZ je souhrnné označení pro záření, jehož kvanta mají energii postačující k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky
- druhy (alfa, beta, gama, rentgen, neutron)
- zdroje ionizujícího záření (ZIZ)
 - přírodní (kosmické, sluneční, př. radioizotopy)
 - umělé (urychlovače, jaderné zbraně, j. reaktor, um. radioizotopy, ozařovače, radiofarmaka, tracery)
- druhy zářiče (otevřené, uzavřené)
- účinky záření na látku

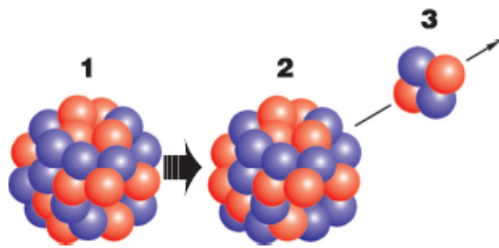


Značka zdroje ionizujícího záření

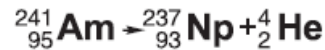
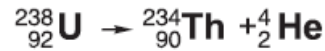


Nový doplňkový výstražný symbol

Radioaktivní přeměny

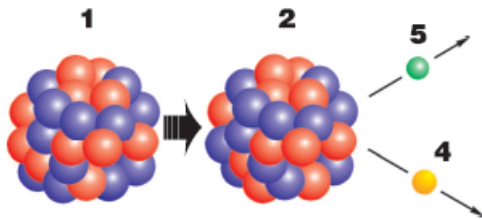


PŘEMĚNA ALFA

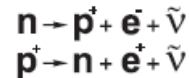


Některé atomy (přírodní i umělé) nejsou stabilní, samovolně se přeměňují na jiné atomy a vyzařují při tom **záření**.

Nestabilní jádro se přemění na jiné a na **jádro helia**. Zářiče alfa jsou např. ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{234}\text{U}$, ${}^{241}\text{Am}$, ${}^{222}\text{Rn}$, ${}^{226}\text{Ra}$

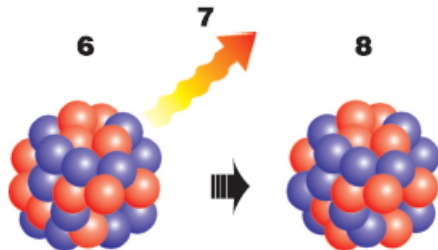


PŘEMĚNA BETA

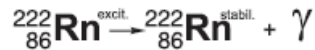


V jádře atomu se přemění neutron na proton za současného vyzáření **elektronu a antineutrina**. Zářičem beta minus je např. tritium (${}^3\text{H}$), ${}^{14}\text{C}$, ${}^{33}\text{P}$, ${}^{40}\text{K}$, ${}^{234}\text{Th}$, ${}^{210}\text{Pb}$.

Zářičem beta plus (vyzáření pozitronu - antielektronu) je např. ${}^{52}\text{Mn}$, ${}^{11}\text{C}$.



PŘEMĚNA GAMA



Nestabilní, excitované jádro přechází do stavu s nižší energií vyzářením **fotonu** - kvanta elektromagnetické energie. Částice gama je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou.

1. MATEŘSKÉ JÁDRO
2. DCEŘINÉ JÁDRO
3. α ČÁSTICE

4. ELEKTRON (β^-)
5. ANTINEUTRINO ($\bar{\nu}$)
6. EXCITOVANÉ JÁDRO

7. γ ZÁŘENÍ (fotony)
8. STABILIZOVANÉ JÁDRO

Některé zářiče emitují více druhů záření **zároveň**, např. ${}^{36}\text{Cl}$ je beta i gama zářič.

Ionizace a excitace zářením

I. Těžké nabité částice – (α , p , ...) působí svým coulombovským polem. Podél své trajektorie vytrhují z atomů elektrony. Tím jsou atomy ionizovány. **Dosah** α -částic – zpravidla μm .

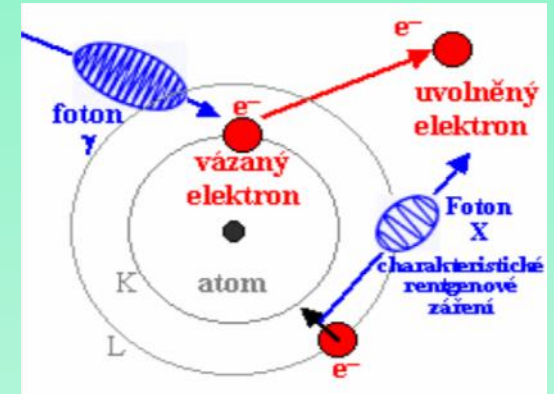
II. Lehké nabité částice – (e^+e^-) ionizují podobně jako těžké nabité částice. Navíc budí tzv. brzdné rentgenovské záření (X). **Dosah** elektronů – zpravidla mm .

III. X, γ -záření – kvanta elektromagnetického pole způsobí buď

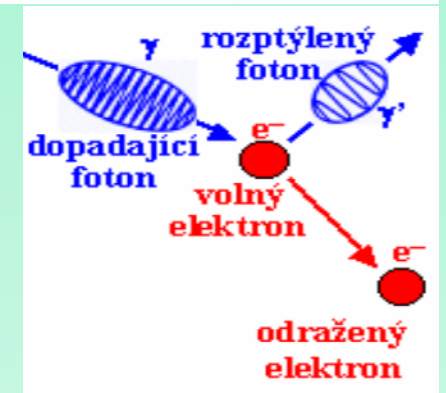
- 1) *Fotoefekt* – foton zaniká, svou energii předá elektronu z obalu atomu látky nebo
- 2) *Comptonův rozptyl* – foton část své energie předá elektronu z obalu atomu látky nebo
- 3) *Tvorbu páru* – foton zaniká, jeho energie se spotřebuje na vytvoření páru (e^+e^-) a na kinetickou energii vzniklých částic.

Ve všech případech 1), 2), 3) se v důsledku působení fotonu objeví pohybující se nabitá/é částice (e^+e^-), která způsobí ionizaci látky (viz II.). Střední volná **dráha** fotonu je zpravidla **mm** (X), **cm**, **dm** (γ).

IV. Neutrony – jsou neutrální, proto neionizují přímo, jako nabité částice. Bud' vyrážejí nárazem atomové jádro z atomu nebo nabité částice vznikají v důsledku jaderné reakce neutronu s jádrem atomu látky. Takto uvolněné částice (α , p , fragmenty štěpení, ...) předávají svou energii látce ionizací (viz I.). Střední volná **dráha** neutronů – zpravidla **cm**, **dm**.



1)



2)



3)

Účinky ionizujícího záření

- Fyzikální

Při průchodu záření látkou vznikají velmi nestálé a reaktivní ionizované a excitované stavy molekul.

- Fyzikálně chemická

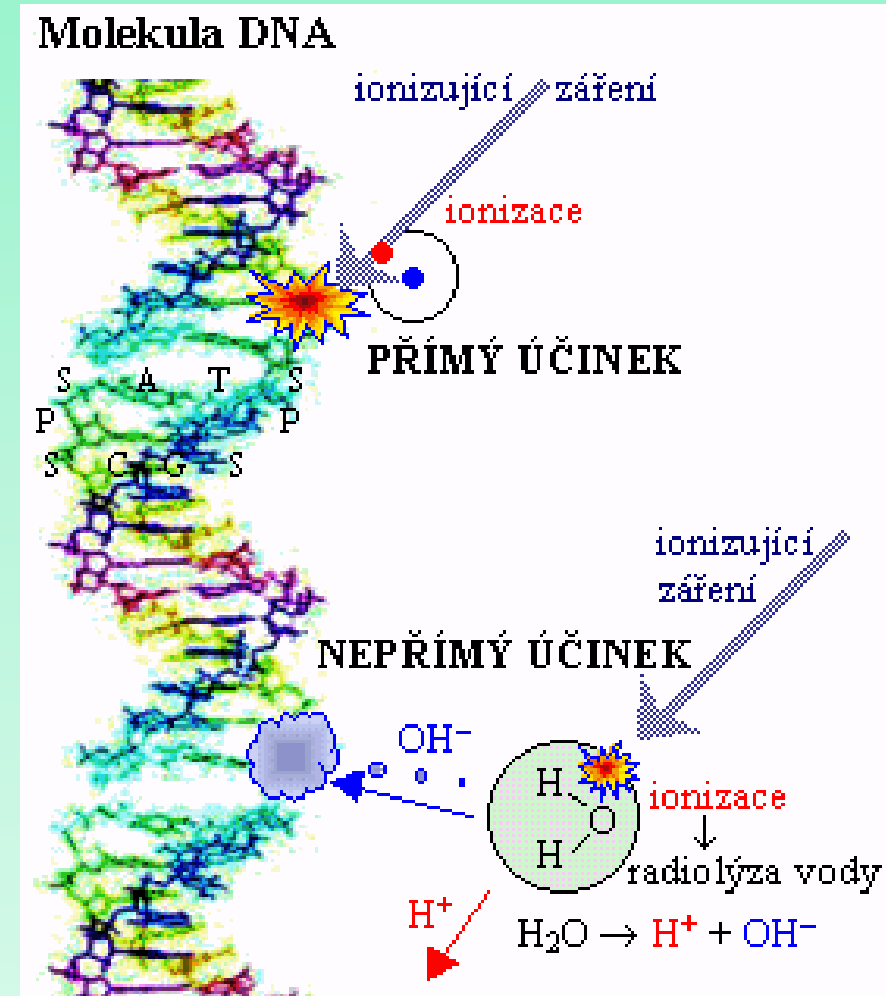
Tvorba sekundárních chemicky reaktivních produktů – např. radiolýzou vody vznikají primární radikály: $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$, H_2 , H_2O_2 , H^+ , OH^- , v přítomnosti rozpuštěného kyslíku navíc $\text{HO}_2\cdot$, O_2^- . Řetězová reakce, adukce H na dvojně vazby, sekundární radikály

- Chemická

Reakce radikálů vzájemně a s okolím (DNA, RNA, enzymy a proteiny). Rozpad makromolekul – např. zlomy DNA, vznik atypických vazbových můstků v DNA, crosslinks, tvorba DNA-protein vazeb

- Biologická

Zeslabení účinků – oprava DNA, zesílení účinků – chybná oprava DNA (transverze, tranzice, adice, delece), chromosomové mutace (změny počtu, deficience, delece, inverze, translokace), funkční a morfologické změny. Mutageneze, letální účinky, dědičnost, metabolické změny, ...



Biologické účinky IZ

Platí vše z předešlé stránky, absorbátorem je však živý organizmus - značně složitý systém.

Účinky stochastické – mohou se projevit, ale nemusejí. Nemůžeme předpovědět míru účinků záření, pouze pravděpodobnost, s jakou se projeví poškození organismu. **Neexistuje práh, i malá dávka zvyšuje riziko vzniku rakoviny.** S rostoucí dávkou roste riziko, že bude poškozeno důležité místo v DNA. Poškozená buňka se pak může nekontrolovaně, zhoubně množit. Toto se může přihodit i při sebemenší absorbované dávce. Není tedy možné žádným opatřením vyloučit takové poškození. Můžeme pouze omezit riziko poškození na společensky únosnou míru.

Účinky deterministické – stupeň poškození organismu lze odhadnout na základě absorbované dávky. Se vzrůstající dávkou se postupně dostavuje únava, rudnutí pokožky, puchýře, krvácení dásní, do kůže, průjmy, vypadávání vlasů, omezení komunikace orgánů s mozkiem, -až smrt organismu. Do určité, tzv. **prahové hodnoty dávky**, je organismus schopen regenerovat a nestochastické účinky se nedostaví. Můžeme jim tedy zabránit dostatečnou ochranou před zářením (frakcionace dávek, ANO – akutní nemoc z ozáření).

Různé orgány jsou různě CITLIVÉ na ionizační záření a mají různou schopnost REPARACE. (tkáňový váhový faktor, radiosenzitivita)

Nejvíce citlivé: rozmnožovací ústrojí, embryo, kostní dřev, mléčná žláza, lymfoidní orgány, výstelky střev, oční čočky, mužský pohlavní epitel

Nejméně citlivé: svaly, centrální nervový systém, tukové tkáně.

Deterministické biologické účinky IZ

Mezi onemocnění související s deterministickými účinky IZ patří **akutní radiační syndrom**, radiační dermatitida, radiační katarakta, poruchy fertility a poškození zárodku a plodu.

Akutní radiační syndrom (nemoc z ozáření, ANO)	Zasažený orgán(y)	Příznaky	Prachová dávka
Lehká forma	kmenové buňky, kostní dřeň, lymf. tkáň	celková únava, slabost, pokles leukocytů a trombocytů v krvi	1-2 Gy
Hematologická (dřeňová) forma	kostní dřeň (významný pokles prekurzorů krevních buněk)	lymfopenie, granulocytopenie, trombocytopenie, vysoká horečka, infekce, sepse nebo krvácení, radiační pneumonitida	2-6 Gy
GIT forma	gastrointestinální trakt (nekróze buněk střevní výstelky)	zvracení, průjem, alterace vědomí, lymfopenie, hemateméza, rozvrat vnitřního prostředí, závratě, hypotenze	6-10 Gy
Neuropsychická forma	centrální nervová soustava	edém mozku, srdeční selhání, smrt do několika hodin	30-50 Gy

Koncepce a cíle RO

- **Ochrana před IZ** vychází z poznatků o biologických účincích IZ, jeho vlivu na lidské zdraví, z rozboru podmínek ovlivňujících výši ozáření v různých skupinách obyvatelstva a ze společných principů, organizačních a právních zásad, jimiž je řízena **ochrana zdraví ve společnosti**.
- **Základním problémem** určujícím principy a přístup RO je **vztah dávky záření a biologického účinku záření**.
- **Cílem RO** je u zdůvodněných činností spojených s expozicí **zabránit vzniku škodlivých deterministických účinků a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na přijatelnou úroveň**.

Principy radiační ochrany

1. Zdůvodnění činnosti které mohou vést, nebo vedou k ozáření

přináší-li dostatečný přínos, ve zdravotnictví je používán často, při indikaci vyšetření nebo léčení prostřednictvím zdrojů záření

2. Optimalizace ochrany před zářením

ALARA („as low as reasonably achievable“) Cílem je zajistit, aby velikost individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření osob tam, kde není prakticky jisté, že k němu dojde, byly **tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout z hospodářských a sociálních hledisek.**

3. Nepřekročení limitů

Limity jsou považovány nikoliv za hodnoty zaručující přijatelnost, ale za hranici mezi oblastí dávek zcela nepřijatelných a oblastí, kde je nutno určit skutečnou přijatelnost ozáření optimalizací ochrany před zářením. Vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb. rozlišuje několik druhů **základních limitů** jako závazných kvantitativních ukazatelů, jejichž překročení není podle zákona č. XX/2016 Sb. přípustné, a dále **odvozené limity**, omezující stejné případy ozáření jako základní limity pro radiační pracovníky, ale vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách.

4. Zajištění bezpečnosti zdrojů

Základní dozimetrické veličiny a jednotky

Aktivita – jednotkou je **Becquerel (Bq)**

Počet jaderných přeměn za jednotku času.

Absorbovaná dávka – jednotkou je **Gray (Gy)**

$D = dE/dm$ (J/kg=Gy)

Množství energie (jeden J) záření předané absorbovaná v jednom kg látky.

Nevyjadřuje účinky IZ na živé organismy.

Přirovnání: absorbovaná dávka 10 Gy způsobí akutní nemoc z ozáření. Pro muže o hmotnosti 80 kg to představuje energii 800 J. Sklenice vody o objemu 300 ml se touto energií ohřeje o 0,6 °C.

Základní dozimetrické veličiny a jednotky

Ekvivalentní dávka – jednotkou je **Sievert (Sv)**

Vyjadřuje biologické účinky záření, v uvažovaném bodě tkáně v závislosti na druhu záření a jeho energii, zohledňuje to, že různé druhy záření mají při shodné dávce různý vliv na živou tkáň.

$$H_T \text{ (střední hodnota } H \text{ v tkáni } T) = \sum w_R \cdot D_{TR}$$

Kde **D_{TR} je střední absorbovaná dávka** v tkáni T od záření R,

w_R je radiační váhový faktor

Příkon dávkového ekvivalentu – působení záření v čase (**Sv/h**)

Přirovnání: hrubým odhadem lze říci, že materiál s aktivitou 300 Bq/l nás ozáří dávkovým ekvivalentem 10 μ Sv (záleží na druhu záření).

Efektivní dávka – zahrnuje citlivosti různých orgánů T (**Sv**)

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

Kde **w_T je tkáňový váhový faktor** - relativní zdravotní újma spojená s účinky v tkáni T, $\sum w_T = 1$

Váhové faktory w_R a w_T stanoví tab.1 a 2 přílohy č. 2 vyhlášky 422/2016 Sb.

Základní dozimetrické veličiny a jednotky

Dávkový ekvivalent – Sv

je definován jako součin jakostního faktoru Q (souvisí s lineárním přenosem energie a zpravidla tato hodnota není známa) a dávky v uvažovaném bodě tkáně

Dávkový úvazek – resp. úvazek ekvivalentní dávky (Sv)

se definuje jako celková dávka, kterou člověk obdrží za delší časové období (zpravidla 50 let u dospělých, za 70 let u dětí)

Základní limity ozáření (*od r. 2016*)

stanovené vyhláškou SÚJB č. 422/2016 Sb.

veličina	limity pro radiační pracovníky		limity pro učně a studenty	obecné limity
	za 5 za sebou jdoucích roků (mSv)	za rok (mSv)	za rok (mSv)	za rok (mSv)
$\Sigma E + \Sigma E50^*$	100	50 20	6	1
H oční čočka	- 100	150 50	50 15	15
H kůže	-	500	150	50
H končetiny	-	500	150	-

* $\Sigma E + \Sigma E50$: součet **efektivních dávek** ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření za 50 roků pro dospělé, a 70 roků pro děti. [‡]H: **ekvivalentní dávka** je součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni pro ionizující záření daného typu. Přeskrtnuté hodnoty byly platné podle vyhlášky 307/2002 Sb.

Do čerpání limitů se **nezapočítává ozáření z přírodních zdrojů**, kromě ozáření z těch přírodních zdrojů, které jsou vědomě a záměrně využívány, a kromě případů stanovených v 422/2016 §88 (doly, letadla, ...).

Limity pro **učně a studenty** se vztahují na ozáření, kterému jsou **vědomě, dobrovolně a po poučení o rizicích** s tím spojených vystaveny osoby po dobu své specializované přípravy na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření, ve věku 16-18 let. Ve věku pod 16 let pro žáka a studenty platí obecné limity pro obyvatelé, pro starší 18 let platí limity pro radiační pracovníky.

Odvozené limity

stanovené vyhláškou SÚJB č. 422/2016 Sb.

Měřitelné nebo jednoduše vypočitatelné, zaručují nepřekročení základních limitů

1. OL pro vnější ozáření

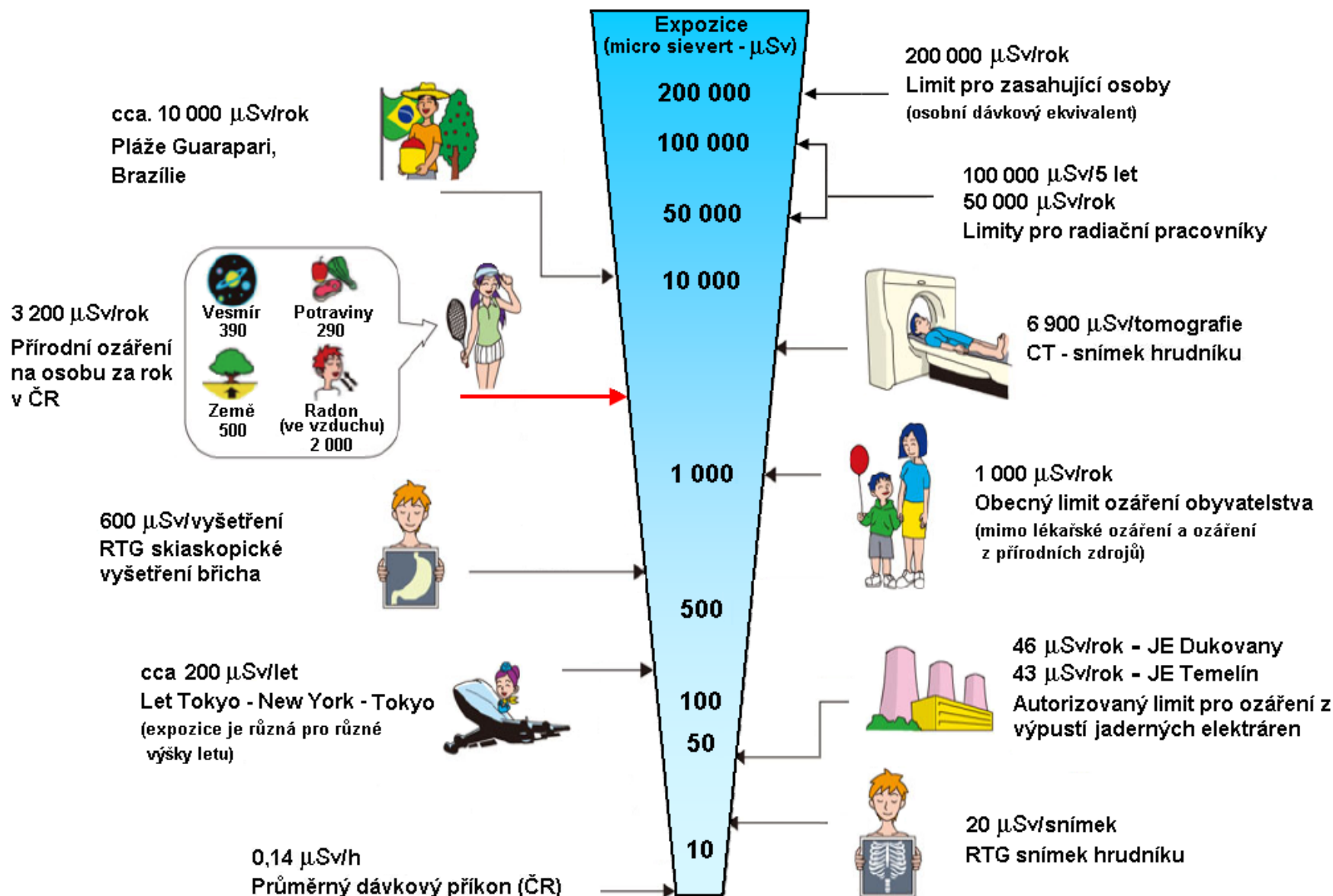
- Osobní dávkový ekvivalent v hloubce d [mm]
- $H_p(0,07)$ - odhad H_T , 500 mSv/rok
- $H_p(3)$ - odhad H_T , 20 mSv/rok
- $H_p(10)$ - odhad E , 20 mSv/rok

2. OL pro vnitřní ozáření

- Jsou stanoveny konverzní faktory h [Sv/Bq] - převádí příjem daného radionuklidu vyjádřený v aktivitě [Bq] na hodnotu v Sv (Příloha č. 3, 422/2016 Sb.)
- h_{ing} - pro příjem daného radionuklidu požitím (ingescí)
- h_{inh} - pro příjem daného radionuklidu vdechnutím (inhalací)

Příklady některých expozičních limitů ionizujícího záření včetně limitů platných v ČR

Jednotky: μSv



Typické hodnoty efektivních dávek pro konvenční RTG a CT vyšetření a přehled rizika

Tab. 1 Typické hodnoty efektivních dávek pro vybraná konvenční rentgenová a CT vyšetření

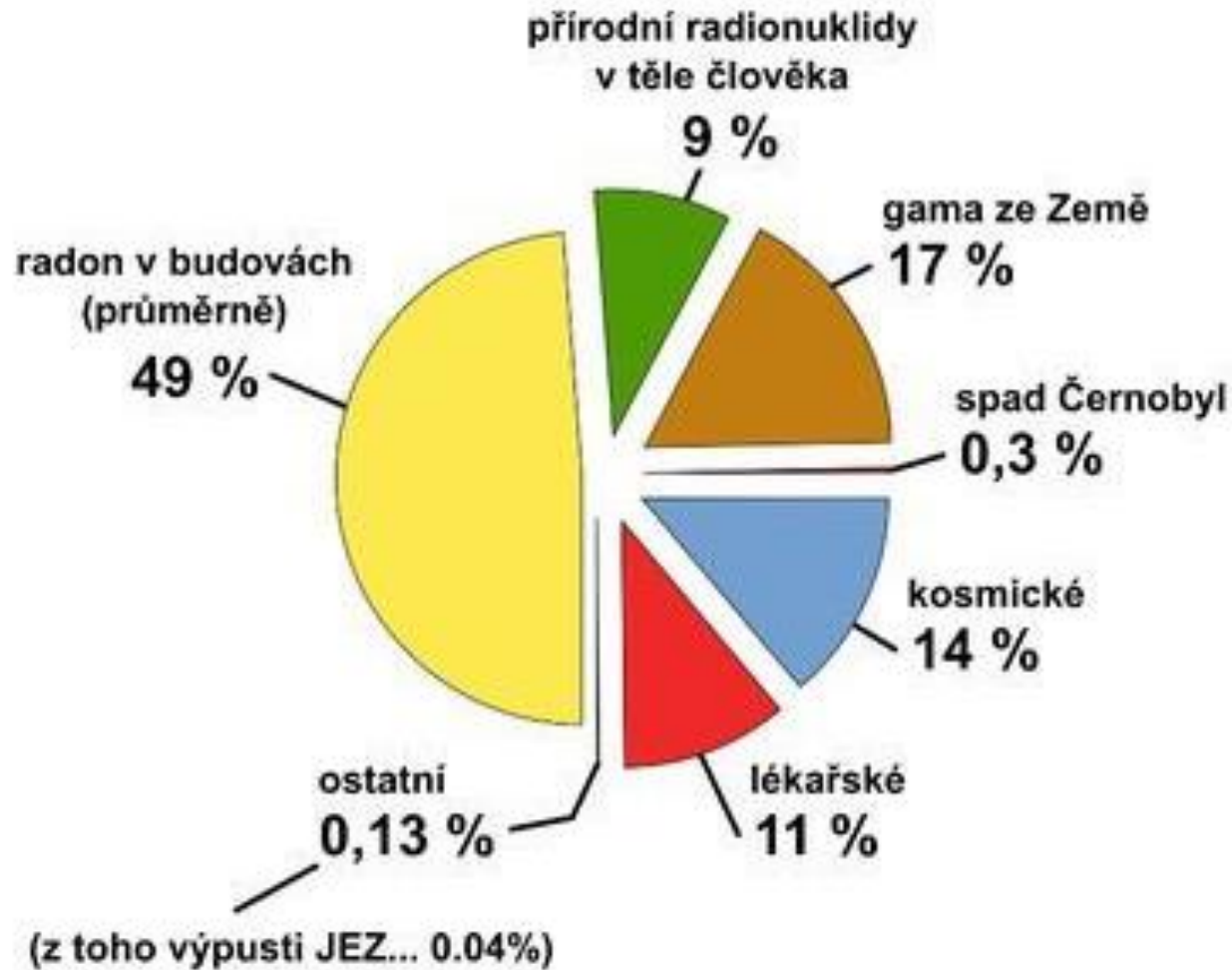
Diagnostický výkon		Typické efektivní dávky (mSv)	Přibližná doba pro stejné ozáření z přírodních zdrojů
Konvenční rentgenová vyšetření	Končetiny a klouby	< 0,01	< 1,5 dne
	Plicе (jeden PA snímek)	0,02	3 dny
	Lebka	0,07	11 dní
	Mamografie (skreening)	0,1	15 dnů
	Kyčle	0,3	7 týdnů
	Pánev, hrudní páteř	0,7	4 měsíce
	Břicho	1,0	6 měsíců
	Bederní páteř	1,3	7 měsíců
	Polykací akt	1,5	8 měsíců
	IVU	2,5	14 měsíců
	Vyšetření žaludku, střevní pasáž	3	16 měsíců
	Irigoskopie	7	3,2 roku
CT vyšetření	CT hlavy	2,3	1 rok
	CT hrudníku	8	3,6 roku
	CT břicha nebo pánve	10	4,5 roku

Tab. 2 Přístup radiční ochrany k označení rizika při ozáření malými dávkami

Velikost efektivní dávky	Riziko
nižší než 0,1 mSv	zanedbatelné
0,1 mSv - 1 mSv	minimální
1 mSv - 10 mSv	velmi nízké
10 mSv - 100 mSv	nízké

Zdroj: Bulletinu RENTGEN 9/2001

Rozdělení zdrojů ozáření pro průměrného obyvatele světa



Průměrná roční efektivní dávka na obyvatele z různých zdrojů v České republice

Přírodní zdroje (3200 μSv)

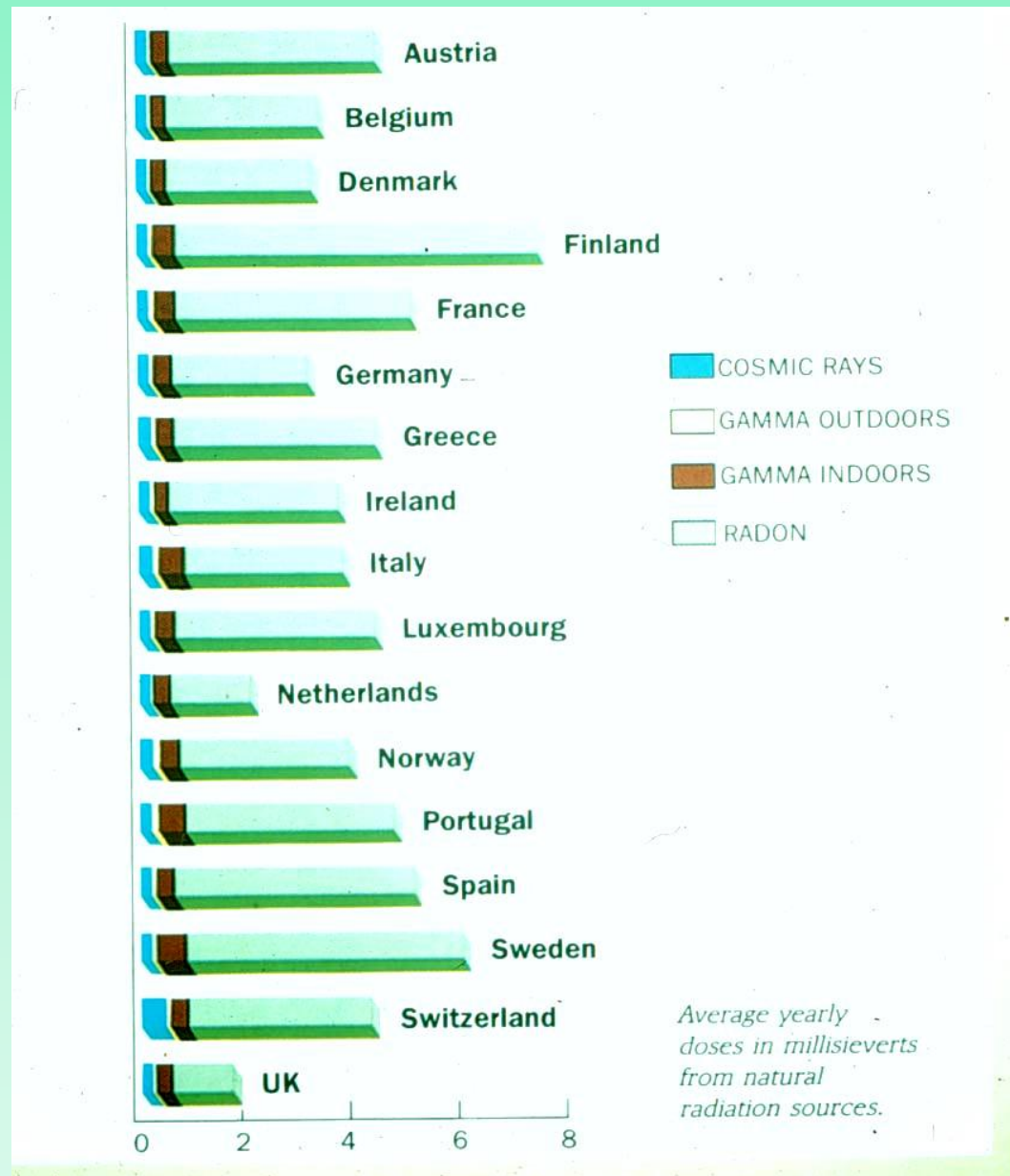
- 390 μSv kosmické záření
- 290 μSv potraviny a voda
- 500 μSv gama záření z podloží
- 2000 μSv radon

Umělé zdroje (~ 1000 μSv) hlavně lékařské ozáření

- 700 μSv diagnostická radiologie
- 100 μSv nukleární medicína
- 200 μSv radioterapie

Průměrná roční dávka

**z přírodních zdrojů v
evropských zemích**



Ochrana před ionizujícím zářením

Čas, vzdálenost, stínění, bránění kontaminace

1. **Minimalizací doby ozáření** – absorbovaná dávka je úměrná době pobytu v blízkosti zářiče. Organizujeme činnost na pracovišti tak, abychom minimalizovali dobu expozice.
2. **Vzdáleností** – absorbovaná dávka klesá se čtvercem vzdálenosti. Organizujeme pracoviště tak, aby zářiče byly pokud možno v odlehlých koutech pracoviště a místa dlouhodobého výskytu pracovníků co nejdál od zářičů. Použití manipulátorů, pinzety.
3. **Stíněním** – pro různé typy záření používáme různá stínění:
 - α – stačí list papíru
 - β – např. kovový plech tloušťky 1-3 mm.
 - X – materiály s vysokým Z. Např. Pb, Fe, W tloušťky několika mm
 - γ – materiály jako pro X, ale tloušťky několika cm.
 - n – materiály bohaté na H. Např. voda, parafín, polyetylén.
4. **Bránění vnitřní a vnější kontaminace s kontrolou ozáření** – pracovníci nosí **osobní dozimetry**, které se pravidelně vyhodnocují a sleduje se, zda nedochází k překročení zákonem stanovených limitů ozáření. Vymezuje se **kontrolované pásmo**, kde je třeba dodržovat režim ochrany osob před ionizujícím zářením.

Osobní dozimetrie



filmový dozimetr



prstové TLD dozimetr



elektronický dozimetr

Pracovníci kategorie A

- podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu, s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie. (422/2016 §20)
- kteří by **mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně** nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v 422/2016 §4 odst. 1; ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie B. V kontrolovaném pásmu mohou trvale pracovat pouze pracovníci kategorie A.
- se vybavují osobním dozimetrem záření beta a gama. Na dozimetru se vyhodnocuje osobní dávkový ekvivalent z vnějšího ozáření, který se přepočítává na efektivní dávku vztahující se ke stochastickým účinkům.

Monitorování pracoviště



Monitorování pracoviště se uskutečňuje měřením **dávkového příkonu** záření gama a **kontaminace povrchů** radioaktivními látkami na řadě míst stanovených v kontrolovaném pásmu i mimo něj. K tomuto účelu se používají vhodné přístroje vybavené zpravidla GM počítači a proporcionálními detektory.

Ke kontrole a měření povrchové kontaminace se používají měřiče povrchové kontaminace (žehlička).

Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že **za běžného provozu** nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu **by ozáření mohlo překročit tři desetiny základních limitů** pro pracovníky (efektivní dávka vyšší než 6 mSv nebo ekvivalentní dávka vyšší než 3/10 ročního limitu pro oční čočku, kůži a končetiny – viz. odvozené limity). **V kontrolovaném pásmu mohou trvale pracovat pouze pracovníci kategorie A.**

Fyzikální charakteristika

často používaných radioaktivních izotopů

jméno	značka	Poločas rozpadu	záření	Energie částic	Max. dosah ve vzduchu/ve vodě	Stínění (Plexisklo)
Tritium	^3H (T)	12,32 let	β^-	18,6 keV	6 mm/ 0,006 mm	Není třeba
Uhlík	^{14}C	5.730 let	β^-	156 keV	24 cm/ 0,28 mm	1 cm
Chlor	^{36}Cl	301.000 let	β^- , e- záchyt	714 keV	200 cm/ 2,6 mm	6 mm
Fosfor	^{32}P	14 dní	β^-	1709 keV	790 cm/ 8mm	1 cm
Síra	^{35}S	87 dní	β^-	167 keV	26 cm/ 0,32 mm	1 cm
Jod	^{125}I	60 dní	X, γ	27-32/ 35 keV	γ ~34 cm/ 0,4 mm	těkavost! Olovo (>mCi)

Dokumentace RO 1

- Odůvodnění činnosti
- Specifikace zdrojů
- Program zajištění radiační ochrany (PZRO)
 - Přílohy: KP
 - Postupy optimalizace RO
 - Doklad RA odpady
 - Osoby v organizační struktuře
- Program monitorování
 - Přílohy: Seznam přístrojů pro PM
 - Jmenný seznam radiačních pracovníků

Dokumentace RO 2

- Vnitřní havarijní plán (VHP)
 - Přílohy: Seznam komunikačních spojení
 - Seznam zásahových instrukcí
 - Mapový podklad
 - Vyrozumívací formulář
 - Informační formulář
- Analýza a hodnocení radiačních mimořádných událostí
- Jmenování pracovníků
 - garant pro odbornou činnost, dohlížející osoba (DO) a osoba s přímou odpovědností (OsPO) a jejich oprávnění od SÚJB

Dokumentace RO 3 - PZRO

- Program zajištění radiační ochrany (PZRO)
 - Popis činnosti, organizační struktury, práva, povinností a vztahů pracovníků
 - Popis dokumentace, předávání informace SÚJB, řízení neshod, nápravy, systém informování a vzdělávání pracovníků v RO
 - Nakládání se zdroji ionizujícího záření
 - Přejímání ZIZ
 - Měření
 - Zásady nakládání s RA odpadem
 - Uvolňování RA látek z pracoviště
 - Používání osobních ochranných prostředků a pomůcek
 - Vymezení kontrolovaného a sledovaného pásma

Dokumentace RO 6 – KP

- Je držitel povolení povinen vymezit **kontrolované pásmo (KP)**
 - na pracovišti se ZIZ, kde lze předpokládat, že za běžného provozu a za předvídatelných odchylek od běžného provozu by mohla být:
 - **průměrný příkon prostorového dávkového ekvivalentu (E)** vyšší než 2,5 $\mu\text{Sv/h}$,
 - $H_T > 3/10$ limitu pro RP pro kůži anebo končetiny nebo
 - $H_T > 15$ mSv pro oční čočku,
 - **povrchová kontaminace** na pracovním místě může být vyšší než hodnoty plošné aktivity stanovené v příloze č. 18 k této vyhlášce
 - KP musí být na vchodu **označeno** znakem radiačního nebezpečí + upozorněním „KP se ZIZ, nepovolaným vstup zakázán“ a údaji o charakteru a rizika ZIZ
 - radiační činnost může vykonávat pouze RP **kategorie A**
 - KP musí být vybaveno ochrannými prostředky a pomůckami a stíněním podle charakteru ZIZ, poučení při vstupu

Dokumentace RO 7 – SP

- Je držitel povolení povinen vymezit **sledované pásmo (SP)**
 - Na pracovišti se zdrojem IZ, kde lze předpokládat, že by mohla být:
 - $E > 1$ mSv/rok, nebo
 - $H_T > 1/10$ ozáření pro RP pro oční čočku, kůži a končetiny,
 - SP se vymezuje jako ucelená a jednoznačně určená část pracoviště
 - Označení SP je znakem „Radiální nebezpečí“ + „Sledované pásmo se ZIZ, nepovolaným vstup zakázán“ a údaji o charakteru a rizika ZIZ
 - radiační činnost může vykonávat pouze RP kategorie A nebo B
 - SP musí být vybaveno ochrannými prostředky a pomůckami a stíněním podle charakteru ZIZ

Dokumentace RO 8 – KP

Příloha č. 18 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Hodnoty plošné aktivity pro povrchovou kontaminaci

Místo kontaminace	Typ radionuklidového zdroje	Plošná aktivita [Bq/cm ²]
Povrch podlah, stěn, stropů, nábytku, zařízení apod. v kontrolovaném pásmu pracoviště Vnější povrch osobních ochranných prostředků	Radionuklidový zdroj emitující záření beta nebo gama a nízcetoxický radionuklidový zdroj emitující záření alfa	4
	Jiný radionuklidový zdroj emitující záření alfa	0,4
Vnitřní povrch osobních ochranných prostředků Povrchy pracoviště mimo kontrolované pásmo	Radionuklidový zdroj emitující záření beta nebo gama a nízcetoxický radionuklidový zdroj emitující záření alfa	0,4
	Jiný radionuklidový zdroj emitující záření alfa	0,04

Dokumentace RO 9 - VHP

- Vnitřní havarijní plán (VHP) obsahuje
 - Výčet a popis **radiačních mimořádných událostí** (RMÚ)
 - technické a organizační opatření pro zjištění vzniku, vyhlášení a vyrozumívání při RMÚ, opatření určené pro řízení a provádění odezvy na RMÚ
 - **Seznam zásahových instrukcí**: řízení a provádění odezvy, dokumentace RMÚ
 - **ztráta nebo odcizení ZIZ** > šetření, oznámení
 - **ztráta kontroly nad ZIZ při manipulaci** > zabránění dalšímu šíření
 - **požár na pracovišti** > vyhlášení, hašení požáru
 - **významná kontaminace osob a prostředí** > kontrola a dekontaminace osob

Dokumentace RO 10 – Provozní pokyny

Pravidla práce v laboratoři

- Dbát pokynů OsPO
- **Je zakázáno v laboratoři jíst, pít, kouřit, aplikovat kosmetiku (rtěnky, stíny...).**
- Při zjištění poškození obalu zářiče uvědomit DO
- Při odchodu z laboratoře si umýt ruce (před použitím toalety...)
- Oznámit graviditu

Časté návyky nevhodné v laboratoři

- Olíznutí prstů při otáčení stránky v knize
- Okusování nehtů
- Šťourání prsty v nose
- Mnutí očí prsty
- Nemytí rukou před jídlem po práci v laboratoři

NEBEZPEČÍ v laboratoři

Při hrubém porušení pravidel práce v laboratoři je největším nebezpečím

vnitřní kontaminace radioaktivní látkou.

Může k ní dojít např. po narušení obalu zářiče, znečištění rukou nebo potravy radioaktivní látkou a následném přenesení do úst.

Některé chemické látky se absorbují skrze pokožku, nebo je možné je nadýchat, pokud jsou těkavé.

Dokumentace RO 5 – RA odpad

- Zásady nakládání s **RA odpadem**
 - Třídění dle radionuklidů a dále na pevný a kapalný
 - OsPO vede knihu „Záznamy o odpadech“, co a kolik bylo odevzdané k likvidaci
 - Pevný odpad
 - Třídění podle jednotlivých radionuklidů a typu spalitelnosti
 - Kapalný odpad
 - Třídění podle jednotlivých radionuklidů a typu spalitelnosti
- **Uvolňování** RA látek z pracoviště
 - Radioaktivní odpadní látky na pracovišti vzniklé z povolené činnosti mohou být uvolňovány, pokud nepřekračují meze uvolňovací úrovně, které je stanoveno v příloze č. 3 a 7 V 422/2016, a splňují další požadavky stanovené §104 V 422/2016.

RA odpad

Pevný

Spalitelný
(papír)

Nespalitelný
(sklo, nástroje,
přístroje)

^{14}C

^3H

další
izotopy
jednot-
livě

^{14}C

^3H

další
izotopy
jednot-
livě

Kapalný

Spalitelný (org.
rozpouštědla)

Nespalitelný
(vodný)

^{14}C

^3H

další
izotopy
jednot-
livě

^{14}C

^3H

další
izotopy
jednot-
livě

Zprošťovací a *uvolňovací* úrovně pro jakékoliv množství a druh

Částka 172

Sbírka zákonů č. 422 / 2016

Strana 6811

Příloha č. 7 k vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Zprošťovací a uvolňovací úrovně

Zprošťovací úrovně a uvolňovací úrovně hmotnostní aktivity pro jakékoliv množství a druh radioaktivní pevné látky

Nuklid	Hmotnostní aktivita [kBq/kg]
H-3	100
Be-7	10
C-14	1
F-18	10
Na-22	0,1
Na-24	1
Si-31	1 000
P-32	1 000
P-33	1 000
S-35	100
Cl-36	1
Cl-38	10

Nuklid	Hmotnostní aktivita [kBq/kg]
Co-55	10
Co-56	0,1
Co-57	1
Co-58	1
Co-58m	10 000
Co-60	0,1
Co-60m	1 000
Co-61	100
Co-62m	10
Ni-59	100
Ni-63	100
Ni-65	10

Nuklid	Hmotnostní aktivita [kBq/kg]
Sr-92	10
Y-90	1 000
Y-91	100
Y-91m	100
Y-92	100
Y-93	100
Zr-93	10
Zr-95*	1
Zr-97*	10
Nb-93m	10
Nb-94	0,1
Nb-95	1

^3H
100 kBq/kg
 $6 \cdot 10^3$ DPM/ml
6 DPM/ μl

^{14}C
1 kBq/kg
60 DPM/ml
0,06 DPM/ μl

Zprošťovací úrovně pro malé množství RA látky (<1 tuna)

Zprošťovací úrovně hmotnostní aktivity pro malé množství radioaktivní látky a zprošťovací úrovně aktivity

10^6 kBq/kg
 $6 \cdot 10^7$ DPM/ml
60.000 DPM/ μ l

10^4 kBq/kg
 $6 \cdot 10^5$ DPM/ml
600 DPM/ μ l

Nuklid	Hmotnostní aktivity [kBq/kg]	Aktivita [Bq]
H-3	10^6	10^9
Be-7	10^3	10^7
Be-10	10^4	10^6
C-11	10	10^6
C-14	10^4	10^7
N-13	10^2	10^9
Ne-19	10^2	10^9
O-15	10^2	10^9
F-18	10	10^6
Na-22	10	10^6
Na-24	10	10^5
Mg-28	10	10^5
Al-26	10	10^5
Si-31	10^3	10^6
Si-32	10^3	10^6

Nuklid	Hmotnostní aktivity [kBq/kg]	Aktivita [Bq]
Sc-45	10^2	10^7
Sc-46	10	10^6
Sc-47	10^2	10^6
Sc-48	10	10^5
Sc-49	10^3	10^5
Ti-44	10	10^5
Ti-45	10	10^6
V-47	10	10^5
V-48	10	10^5
V-49	10^4	10^7
Cr-48	10^2	10^6
Cr-49	10	10^6
Cr-51	10^3	10^7
Mn-51	10	10^5
Mn-52	10	10^5

Likvidace odpadu

- RP sbírají odpad po práci
 - **Rukavice** pro práce s nízkoaktivními (ředěnými) roztoky je do komunálního odpadu, s vysokoaktivními roztoky je do spalitelného RA odpadu
 - **Scintilační roztoky** používat výhradně biodegradabilní, a pokud je pod limitních hodnot uvolň. úrovně, je možný zlikvidovat do kanalizace, jinak do spalitelného RA odpadu
 - do **označených nádob** dle druhu a izotopu
 - odpad **pod uvolňovací úrovní** se zlikviduje jako chemický nebo komunální (neradioaktivní) odpad podle typu
- OsPO přebírá a zkontroluje tříděný odpad
 - bezpečně uzavřené obaly
 - zaznamená do knihy odpadu množství a druh
 - organizuje likvidaci odpadu

Literatura

- Legislativa ČR v oblasti radiační ochrany (zákony a prováděcí právní předpisy)
 - **Zákon č. 18/1997 Sb.**, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (**Atomový zákon**)
 - **Vyhlášky SÚJB č. 307/2002. o radiační ochraně** (ve znění č. 499/2005)
 - Nařízení vlády ČR č. 416/2002 Sb., o radioaktivních odpadů
 - Nařízení vlády č. 11/1999 Sb., o zóně havarijního plánování
 - Nařízení vlády č. 73/2009 Sb., o předávání informací v souvislosti s mezinárodní přepravou radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva
 - Nařízení vlády č. 399/2011 Sb., o poplatcích
- V. Vorobel - Bezpečnost práce s ionizujícím zářením
- M. Mysliveček - Radiační ochrana pracovníků (LF Uni Palackého v Olomouci)
- L. Navrátil - Klinická radiobiologie (Jihočeská univerzita, České Budějovice)
- V. Ullmann - Biologické účinky ionizujícího záření (<http://astronuklfyzika.cz>)
- M. Dufkova – Hygiena IZ a radioaktivita