

Práce se zdroji ionizujícího záření na katedře fyziky nízkých teplot MFF UK a rizika s nimi spojená

*Obecná informace a školení
pro pracovníky katedry fyziky nízkých teplot MFF UK*



Poslední úprava: březen 2026.

Cíle prezentace

- Periodické školení interních a externích radiačních pracovníků, konajících radiační činnosti na katedře fyziky nízkých teplot (KFNT) Matematicko-fyzikální fakulty UK, a některých dalších pracovníků z obecných pravidel bezpečné práce se zdroji ionizujícího záření (ZIZ).
 - Prokazatelné ověření znalostí, které byly předmětem školení (písemný test radiačních pracovníků).
 - Poskytnutí všeobecné informace ostatním (neradiačním) pracovníkům a studentům KFNT o ionizujícím záření, potenciálním riziku spojeném s jeho využíváním a o radiačních činnostech konaných na KFNT.
-
- ✓ Periodické školení z obecných pravidel bezpečné práce se ZIZ a prokazatelné ověření znalostí písemným testem jsou *povinné* pro interní radiační pracovníky KFNT kategorií A nebo B, pro externí radiační pracovníky, konající radiační činnosti na KFNT, a dále pro vedoucího KFNT a jeho zástupce.
 - ✓ Školení je prováděno nejméně jednou ročně, a to prezenční nebo distanční formou.
 - ✓ Prokazatelné absolvování školení a úspěšný test znalostí jsou vyžadovány zákonem, a proto nutnou podmínkou samostatného vykonávání radiačních činností na KFNT.
 - ✓ Vedle tohoto všeobecného školení je na KFNT prováděna také individuální příprava nových pracovníků a studentů všech forem studia před zahájením jejich samostatné práce se ZIZ. Individuální příprava nových pracovníků a studentů je zajišťována vedoucími jednotlivých laboratoří KFNT (pozitronová anihilační spektroskopie, Mössbauerova spektroskopie) a týká se především konkrétní praktické stránky radiačních činností.

Obsah prezentace

- Ionizující záření: historie objevů ¹⁾.
- Působení ionizujícího záření na neživou a živou hmotu. Přínos × rizika používání ionizujícího záření.
- Radiační ochrana. Legislativa regulující využívání ionizujícího záření.
- Obecné pojmy, veličiny a pravidla radiační ochrany vztahující se k radiačním činnostem na KFNT.
- Povolení k nakládání se ZIZ na KFNT a související dokumentace. Povinnosti držitele povolení.
- Neprofesní ozáření člověka. ¹⁾
- Popis pracovišť KFNT se zdroji ionizujícího záření.
- Obecná praxe radiačních činností na KFNT:
 - prostředky a postupy omezování ozáření pracovníků a kontaminace pracoviště a okolí radionuklidy;
 - monitorování radiace;
 - radiační mimořádné události a řešení nepředvídaných situací.
- Ověřovací test znalostí radiačních pracovníků KFNT.

¹⁾ Pouze za účelem informovanosti, nebude součástí testu.

Ionizující záření – historie objevů

Objev záření X (1895)



Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923): německý fyzik, nositel Nobelovy ceny za fyziku (1901) za objev záření X (1895).¹⁾

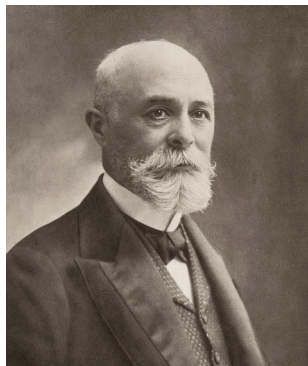
Jeden z prvních lékařských rentgenových snímků (ruka manželky W.C. R. Anny-Berthy).



¹⁾ W.C. R. – pravděpodobně jediný nositel Nobelovy ceny za fyziku, který neměl středoškolské vzdělání ukončené maturitou (nespravedlivé vyloučení ze studia), a tudíž nemohl studovat na univerzitách v Německu nebo Holandsku. Vysokou školu proto absolvoval v Curychu (strojní inženýrství).

Ionizující záření – historie objevů

Objev přirozené radioaktivity (1896)



Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908): francouzský fyzik, který první prokázal existenci spontánní radioaktivity (1896). Nositel Nobelovy ceny za fyziku (1903, společně s Marií Curie-Skłodowskou a Pierrem Curie).



Maria Curie-Skłodowska (1867 – 1934): francouzská fyzička polského původu, izolace čistého Po a Ra. Spolunositelka Nobelovy ceny za fyziku (1903), nositelka Nobelovy ceny za chemii (1911).

Pierre Curie (1859 – 1906): francouzský fyzik a chemik, spolunositel Nobelovy ceny za fyziku (1903).



Ionizující záření – historie objevů

Objevy dalších zdrojů ionizujícího záření

- 1903 – Tři druhy radioaktivity (α , β , γ).
- 1919 – Objev jaderných reakcí (E. Rutherford) → cesta k širšímu spektru dostupných ZIZ.
- 1932 – Objev neutronu (J. Chadwick).
- 1934 – Objev umělých radionuklidů (F. a I. Joliot-Curie), mj. ^{30}P jako první radionuklid emitující pozitrony.
- 30. až 40. léta – (a) Urychlovače nabitých částic → možnost produkce svazků jakýchkoliv nabitých částic od elektronů po ionizované atomy nejtěžších prvků (a také synchrotronového záření). (b) Štěpení atomových jader (L. Meitner, O. Hahn, F. Strassmann) → jaderný reaktor a jaderná puma jako nejintenzivnější ZIZ vyrobené člověkem. ¹⁾

¹⁾ Nejintenzivnější *přírodní* ZIZ jsou kosmická tělesa, která produkují kosmické záření. Díky vzdálenostem kosmických těles ve vesmíru a ochranné roli zemské atmosféry je příkon fluence částic kosmického záření na povrchu Země malý.

Ionizující záření – historie objevů

Význam objevů záření X a přirozené radioaktivity

- + Nová oblast jevů vedoucí k hlubšímu poznávání struktury hmoty, významný stimul vzniku kvantové mechaniky a jejího bouřlivého rozvoje na přelomu 20. a 30. let XX. století.
- + Subatomové částice, jaderné přeměny a ionizující záření – rychlé uplatnění v řadě praktických oborů, např. zobrazovací metody v lékařství a výzkumu materiálů, jaderná energetika, modifikace užitečných materiálů,
- Již během prvních desetiletí po těchto objevech se však také ukázalo, že ozáření ionizujícím zářením

může přinášet závažná až fatální zdravotní poškození:

- někteří lékaři-rentgenologové,
- M. Curie-Skłodowska a I. Joliot-Curie (?),
- H.K. Daghljan a L.A. Slotin, ... ,
- ... ,
- zneužití objevů k vývoji jaderných zbraní a jejich použití.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

Ionizující záření (IZ) – záření tvořené kvanty elektromagnetického pole nebo hmotnými částicemi, které jsou schopné ionizovat atomy nebo molekuly ozářené látky:

- elektromagnetické záření (krátkovlnná část UV oblasti elektromagnetického spektra, X , γ),
- subatomové částice (β , α , elektrony, protony, neutrony, lehká atomová jádra, miony, ...),
- energetické těžké ionty.

Přímá ionizace – elektricky nabitými částicemi s dostatečnou energií.

Nepřímá ionizace – elektricky neutrálními částicemi produkujícími sekundární nabitě částice schopné ionizace.

Energetický práh ionizace - typicky několik desítek eV předané energie:

- Fotony ≈ 10 eV neboli 124 nm – odpovídá ionizačním energiím atomů H nebo O (1. ionizační energie),
- ≈ 33 eV (biologický práh) – odpovídá ionizaci ‚typické‘ molekuly H_2O v biologickém prostředí.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

Typy působení IZ na hmotu:

- *fyzikálně-chemické* působení – závisí na *energii deponované ve hmotě*, jeho makroskopickou mírou je *absorbovaná dávka*;
- *biologický* účinek (v *živé tkáni*: chemické změny → úhyn buněk, mutace buněk, genetické změny) – závisí na deponované energii, ale i na *druhu IZ*, jeho makroskopickou mírou je *ekvivalentní dávka*.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

Projevy poškození *živé tkáně* ozářením

Deterministické projevy – projeví se při krátkodobém ozáření 100-krát převyšujícím roční přírodní ozáření:

- otrava organismu toxickými produkty rozpadu zasažených buněk (radikály) – akutní nemoc z ozáření,
- nenádorová poškození tkáně,
- poškození embrya a plodu,
- poškození plodnosti.

Se stoupající dávkou se zvyšuje *závažnost* poškození.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

Projevy poškození živé tkáně ozářením

Stochastické projevy – projevy náhodných mutací buněk:

- různé formy zhoubných nádorů indukovaných ozářením,
- projevují se (obvykle) po uplynutí delší doby od ozáření.

Se stoupající dávkou ozáření neroste závažnost poškození, ale roste *pravděpodobnost projevu* poškození.

Lidé jsou přirozeně vystaveni ‘malým’ dávkám IZ, neboť IZ je přirozenou součástí životního prostředí (přírodní radionuklidy v zemské kůře, kosmické záření).

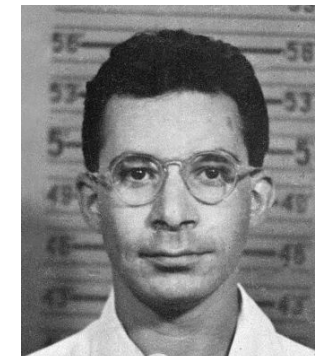
Prahovost (bezprahovost?) stochastických účinků ozáření – otevřená otázka, která je stále předmětem výzkumů i diskuzí.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

Případy fatálně škodlivého laboratorního ozáření člověka

Louis Alexander Slotin (1910 – 1946): kanadský fyzik a chemik, podílel se mj. na výzkumu kritických množství štěpných materiálů (U, Pu):

- Od r. 1942 projekt Manhattan,
- po r. 1945 LANL.



1946 – nežádané nastartování štěpné reakce v zářiči Pu při demonstraci kritického množství.

L.A. S. okamžitě oddálil reflektor neutronů rukou, přičemž obdržel smrtelnou dávku ozáření neutrony a zářením γ a zemřel po 9 dnech na akutní nemoc z ozáření.

L.A. S. je oceňován za rychlou reakci, která zabránila smrti dalších přítomných osob, ale je také kritizován za *podcenění zásad bezpečné práce*.

H.K. Daghlian (1921 – 1945): smrtelná nehoda se stejným exemplářem Pu při sestavování reflektoru neutronů okolo zářiče.

?

Maria Curie-Skłodowska: anémie – †66 let.

Irene Joliot-Curie (dcera M. C.-S.): leukémie – †58 let.

Ionizující záření – účinky na neživou a živou hmotu

1. dílčí shrnutí

Důležité pojmy: Ionizující záření (složky IZ); přímá a nepřímá ionizace; energetický práh ionizace; fyzikálně-chemické a biologické působení IZ (absorbovaná a ekvivalentní dávka); deterministické a stochastické projevy poškození živé tkáně ozáření.

Používání IZ nepochybně přináší
užitek v řadě oborů lidské činnosti.

Používání IZ může přinášet i
zdravotní rizika pro člověka a
poškozovat životní prostředí.



**Proto je používání IZ
regulováno zákonnými
normami.**

Radiační ochrana

Radiační ochrana (RO) – systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob ionizujícím zářením a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření

- zahrnuje legislativu (zákony a prováděcí předpisy),
- na ni navazující další technická a organizační opatření k zajištění RO a
- je zastřešený Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále SÚJB nebo Úřad) se sídlem v Praze:

- **legislativní činnost** (příprava zákonů, tvorba a vydávání prováděcích předpisů),
- **posuzování projektů a vydávání povolení** k činnostem zahrnujícím využívání IZ,
- **kontrolní činnosti**,
 - školení, konzultační činnost,
 - ověřování a vydávání osvědčení zvláštní odborné způsobilosti v oblasti využívání IZ,
 - informování veřejnosti o radiační situaci,
 -

Regionální centra (RC) SÚJB: Praha, České Budějovice, Brno,

<http://www.sujb.cz/>

Radiační ochrana

Základní legislativní normy vztahující se k radiační ochraně:

- Zákon č. 263/2016 Sb., **Atomový zákon** (dále též Zákon, Z263),
- Vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb. **o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje** (dále též Vyhláška, V422).
- Vyhláška SÚJB č. 359/2016 Sb. **o podrobnostech k zajištění zvládnutí mimořádné radiační události**.
- Vyhláška SÚJB č. 409/2016 Sb. **o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany ...**
- ...
- Zákon č. 262/2006 Sb., **Zákoník práce**.
- Zákon č. 505/1990 Sb. **o metrologii**.

Aktuální znění zákonů a vyhlášek:

<http://www.mvcr.cz/> , <http://www.sujb.cz/>

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Aktivita A – makroskopická *fyzikální* veličina, která slouží jako absolutní míra *množství* radioaktivních jader určitého radionuklidu. Udává střední počet jaderných přeměn radionuklidu za jednotku času.

$$[A] = \text{s}^{-1} \quad \text{Jednotka SI aktivity je } \mathbf{becquerel} \text{ (Bq),}$$
$$1 \text{ Bq} \equiv 1 \text{ jaderná přeměna} / 1 \text{ s} .$$

Starší jednotkou aktivity je **curie** (Ci) – odpovídá aktivitě 1 g izotopu 226-Ra.

- $1 \text{ Ci} \approx 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Typické aktivity zářičů v některých aplikacích:

- Zářiče pro mössbauerovskou spektrometrii: $1.85 \text{ GBq} = 50 \text{ mCi}$.
- Zářiče pro spektrometrii dob života pozitronů: $\approx 1 \text{ až } 2 \text{ MBq} \approx 25 \text{ až } 50 \text{ } \mu\text{Ci}$.
- Zářiče pro 1D γ -spektrometrii s HPGe: $\approx 100 \text{ kBq} \approx \text{jednotky } \mu\text{Ci}$.

Hmotnostní aktivita α – aktivita jednotky hmotnosti látky.

$$[\alpha] = \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Plošná aktivita – aktivita jednotkové plochy na povrchu předmětu.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Absorbovaná dávka D – makroskopická *fyzikální* veličina, která udává energii deponovanou při průchodu záření látkou v jednotkovém množství hmoty ozařované látky:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}, \quad d\bar{\varepsilon} - \text{střední energie předaná objemovému elementu o hmotnosti } dm.^{1)}$$

$$[D] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \text{Jednotka SI absorbované dávky je } \mathbf{gray} \text{ (Gy),}$$
$$1 \text{ Gy} \equiv 1 \text{ J} / 1 \text{ kg}.$$

- ¹⁾ Obdobně je zaváděna absorbovaná dávka D_{TR} v tkáni (orgánu) T jako střední energie $\bar{\varepsilon}_{TR}$ deponovaná zářením R v tkáni (orgánu) T o hmotnosti m_T :

$$D_{TR} = \bar{\varepsilon}_{TR} / m_T$$

Louis Harold Gray (1905 – 1965): anglický fyzik, který se zabýval především účinky záření na biologické systémy. Zavedl veličinu absorbované dávky a její jednotku (1960), která byla později pojmenována po něm a přijata jako jednotka SI.



Pojmy a veličiny radiační ochrany

Lineární přenos energie (linear energy transfer, LET)

Absorbovaná dávka je necitlivá k *okamžitému lokálnímu* rozložení energie přenesené na látku, které může ovlivňovat výsledné efekty ozáření, zejména v živé tkáni. Takovými efekty mohou být:

- lokální chemické změny,
- úhyn buněk,
- mutace buněk,
- genetické změny.

Mírou okamžitého lokálního rozložení energie přenesené na látku je veličina *lineární přenos energie* L_Δ . Veličina L_Δ je zaváděna jako *hustota* předávání energie ionizující částice prostředí podél dráhy částice v prostředí (,brzdící síla' prostředí), tj. jako energie dE předaná v ,daném místě' nabitou částicí podél její dráhy dx elektronům prostředí v nepružných srážkách (ionizace nebo excitace) provázených přenosem energie menším než Δ .¹⁾

LET závisí jak na *povaze záření*, tak na *materiálu*, kterým záření prochází.

¹⁾ Tj. sekundární elektrony s energiemi přesahujícími Δ , tzv. δ -elektrony, jsou již chápány jako samostatné, do LET primární částice se nezahrnují.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Lineární přenos energie (linear energy transfer, LET)

$$L_{\Delta} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{\Delta},$$

- L_{Δ} – lineární přenos energie,
- Δ – omezující hodnota na přenos energie v jedné kolizi (vyloučení δ -záření), ¹⁾
- dx – element dráhy, kterou ionizující částice v látce prošla,
- dE – ztráta energie částice v důsledku srážek s elektrony při jejím průchodu po dráze dx v látce a přenosem energie v jedné kolizi menším než Δ .

Jednotkou LET v SI je J/m, v praxi se užívá spíše keV/ μ m nebo MeV/cm.

$\Delta \rightarrow \infty : L_{\infty}$ je ekvivalentní lineární srážkové brzdě schopnosti S_{col} zahrnující všechny srážky.

¹⁾ Obvyklá konvence: $\Delta \approx 100$ keV.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Lineární přenos energie (linear energy transfer, LET)

Vysoké hodnoty LET (hustě ionizující záření): protony, α , těžké ionty, štěpné produkty,

Nízké hodnoty LET (řídce ionizující záření): elektrony, γ , X,

Záření nebo materiály s vysokými hodnotami LET :

- menší hloubka průniku IZ, materiály poskytující efektivnější stínění IZ,
 - lokálně vyšší koncentrace deponované energie $\rightarrow$ silnější lokální poškození materiálu v okolí dráhy částice
- $\rightarrow$ vysvětlení, proč např. projevy radiačního poškození mohou být neproporciální střední deponované energii (absorbované dávce) v ozářené látce (mikroelektronika ve vesmírných aplikacích, buněčná tkáň).

Příklady hodnot L_{Δ} :

Typ záření	$L_{100\text{ eV}}$ ve vodě [keV/ μm]
------------	---

γ , 60-Co	0.225
------------------	-------

e^- , 2 MeV	0.20
---------------	------

β^- , 3-H	4.7
-----------------	-----

α , 5.3 MeV	43
--------------------	----

V dozimetrii jsou efekty LET uvažovány zaváděním *radiačních váhových faktorů* W_R .

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Dávkový ekvivalent H – makroskopická *biofyzikální* veličina, která charakterizuje biologický účinek ionizujícího záření v *určitém bodě* tkáně. Závisí na absorbované dávce D a typu záření.

$$H = Q \times D ,$$

$$[H] = \text{J/kg} .$$

Q – bezrozměrný jakostní činitel (někdy též faktor kvality záření), vyjadřující rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření.

Jednotkou SI dávkového ekvivalentu je **sievert** (Sv).

Rolf Maximilian Sievert (1896 – 1966): švédský fyzik, který se věnoval studiu nepříznivých biologických efektů radiace. Je po něm pojmenována jednotka ekvivalentní dávky v soustavě SI.



Pojmy a veličiny radiační ochrany

Jakostní činitel Q – souvisí s LET.

Typ záření	Q (podle příl. 2 Vyhlášky)
fotony, elektrony, miony	1
protony, nabité piony	5
neutrony	2 až 20 v závislosti na energii
částice α , těžké ionty,	20
štěpné fragmenty	20

Dávkový ekvivalent tedy vyjadřuje absorbovanou dávku záření γ ($Q=1$), která by vyvolala stejné poškození organismu, jako absorbovaná dávka záření daného typu a množství.

Fatální dávky *krátkodobého* ozáření:

- Závažné zdravotní poškození: > 400 mSv.
- Smrtelná dávka: ≈ 4000 mSv (L.A. S. obdržel ≈ 200 Sv ve zlomku vteřiny).

Příklad:

Ozáření <i>fotony</i> 0,5 Gy:	0,5 Sv, způsobí nevolnost,
ozáření <i>neutrony</i> 0,5 Gy:	až 10 Sv, je smrtelné.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Ekvivalentní dávka H_T – makroskopická *biofyzikální* veličina vyjadřující velikost absorbované dávky záření γ , která by vyvolala stejné poškození tkáně (orgánu) T , jako záření daného druhu R a střední absorbované dávky D_{TR} .

$$H_T = \sum_R w_R \times D_{TR}, \quad w_R - \text{radiační váhový faktor záření druhu } R.$$

$$[H_T] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Jednotkou SI ekvivalentní dávky je **sievert** (Sv), $1 \text{ Sv} \equiv w_R \times 1 \text{ Gy}$.

Efektivní dávka E – makroskopická *biofyzikální* veličina vyjadřující součet ekvivalentních dávek H_T v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem w_T .¹⁾

$$E = \sum_T w_T \times H_T, \quad w_T - \text{tkáňový váhový faktor tkáně } T, (\sum_T w_T = 1) \text{ vyjadřující}$$

$[E] = \text{J/kg}$.
rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (zhoubných nádorů a genetických změn).

SI jednotka E – **sievert**.

¹⁾ Hodnoty radiačních i tkáňových faktorů, w_R i w_T , jsou průběžně upřesňovány Mezinárodní komisí radiologické ochrany (ICRP) v souladu s posledními výsledky bádání v oblasti. Aktuální doporučení ICRP jsou dostupná na webu SÚJB.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Ekvivalentní dávka H_T a efektivní dávka E – nejdůležitější veličiny radiační ochrany (pro ně jsou stanoveny *dávkové limity*, avšak nelze je *přímo měřit*):

- efektivní dávka umožňuje vyjádřit *jediným číslem* radiační zátěž těla při nerovnoměrném ozáření,
- tkáňové váhové faktory vyjadřují podíl jednotlivých orgánů a tkání na celkovém riziku stochastických poškození při celotělovém ozáření.

Doporučované hodnoty w_T : ¹⁾

<i>tkáň</i>	w_T	$\sum w_T$
kostní dřev (červená), tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, zbytek tkání *	0.12	0.72
gonády	0.08	0.08
močový měchýř, jícn, játra, štítná žláza	0.04	0.16
povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0.01	0.04
Celkem		1.00

* nadledviny, horní cesty dýchací, žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznice dutiny ústní, slinivka, prostata, tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/děložní hrdlo.

¹⁾ Vyhláška 422/2016 Sb., příl. 2.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Operační veličiny – měřitelné veličiny zaváděné pro monitorování osob a pracoviště. Jsou definované na základě hodnoty dávkového ekvivalentu (jednotka Sv) ve zvoleném bodě jednoduchého fantomu z tkáňově ekvivalentního materiálu (tzv. ICRU koule). Běžně používané operační veličiny jsou *osobní dávkový ekvivalent*, *prostorový* a *směrový* dávkový ekvivalent.

Osobní dávkový ekvivalent $H_p(d)$ ¹⁾ – dávkový ekvivalent v měkké tkáni v hloubce d pod povrchem těla. Slouží jako operační veličina k *monitorování osob*:

- hodnocení ozáření kůže, rukou a nohou – $d = 0.07$ mm,
- ozáření oční čočky – $d = 3$ mm,
- hodnocení efektivní dávky – $d = 10$ mm.

Operační veličiny k *monitorování prostředí*:

- *prostorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$* ¹⁾ – odhad obdržené efektivní dávky;
- *směrový dávkový ekvivalent $H'(d)$* ¹⁾ – oceňování obdržené ekvivalentní dávky kůže ($d = 0.07$ mm) nebo oční čočky ($d = 3$ mm).

¹⁾ Tyto veličiny slouží k charakterizaci dávek při ozáření ze všech směrů nebo z určitého směru. Jejich podrobnější výklad lze nalézt v knize Kolektiv: *Radiobiologie*.
<http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/74/742.html> .

Pojmy a veličiny radiační ochrany

Příkon ekvivalentní (efektivní) dávky nebo dávkového ekvivalentu: ekvivalentní (efektivní) dávka nebo dávkový ekvivalent za jednotku času.

Úvazek efektivní (ekvivalentní) dávky:

časový integrál příkonu efektivní (ekvivalentní) dávky po dobu τ od příjmu radionuklidu v čase t_0 vdechnutím nebo požitím.

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt ,$$
$$E(\tau) = \sum_T w_T \cdot H_T(\tau) ,$$

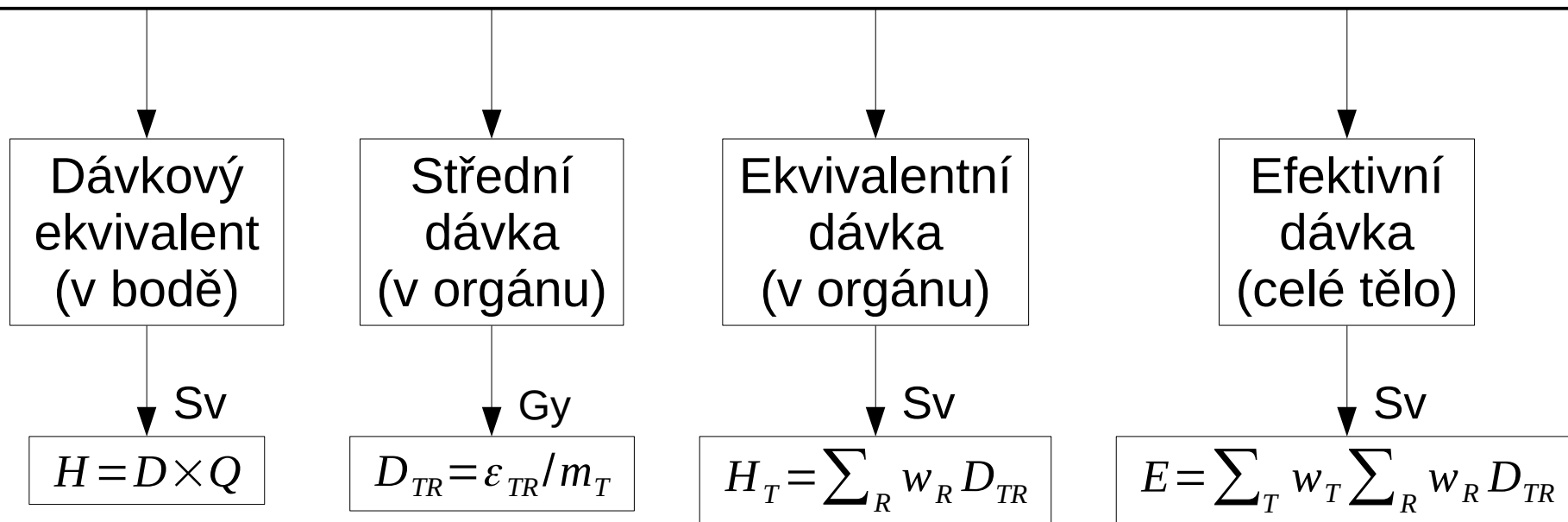
τ – 50 let pro příjem radionuklidů u dospělých, nebo období do 70 let věku pro příjem radionuklidů u dětí.

Pojmy a veličiny radiační ochrany

2. dílčí shrnutí:

Důležité pojmy: Aktivita (hmotnostní, plošná A .); absorbovaná dávka v bodě (D) a v orgánu (D_{TR}); lineární přenos energie; radiační váhové faktory (w_R); tkáňové váhové faktory (w_T); dávkový ekvivalent v bodě (H); jakostní činitel (Q); ekvivalentní dávka v orgánu (H_T); efektivní dávka v celém těle (E); příkony dávek; úvazek ekvivalentní a efektivní dávky; operační veličiny pro monitorování osob, prostředí; osobní dávkový ekvivalent.

Veličiny v radiační ochraně



Pojmy a pravidla radiační ochrany

Ionizující záření (IZ) ¹⁾ – přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln vlnové délky ≤ 100 nm (tj. s frekvencí $\geq 3 \times 10^{15}$ Hz), který je schopen vytvářet ionty (odpovídající energie 12.4 eV).

Radioaktivní látka (RA) – jakákoliv látka, která obsahuje radionuklid nebo je jím kontaminovaná v míře, která z hlediska možného ozáření vyžaduje regulaci podle Zákona. ¹⁾

Zdroj ionizujícího záření (ZIZ): ¹⁾

- RA látka a předmět nebo zařízení ji obsahující nebo uvolňující,
- generátor ionizujícího záření.

Pracovní místo – měřicí poloha zářiče ve spektrometru, pracovní stůl, box, digestoř, ...

SÚJB schvaluje pro jednotlivé radionuklidy jmenovitě maximální aktivity, které mohou být používány/zpracovávány na jednom pracovním místě.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §2.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Radionuklidový zdroj (RZ) ¹⁾ – ZIZ obsahující RA látku, pro nějž součty

$$\sum_i \left(\frac{\text{aktivita}}{\text{zprošřovací úroveň aktivity}} \right)_i \geq 1 \quad \text{a současně} \quad \sum_i \left(\frac{\text{hmotnostní aktivita}}{\text{zprošřovací úroveň hmotnostní aktivity}} \right)_i \geq 1$$

Zprošřovací úrovně ¹⁾ slouží mj. ke *kategorizaci* RZ podle stupně rizika a jsou pro většinu radionuklidů tabelovány ve Vyhlášce (příl. 7, str. 6816). Sčítá se zde přes všechny radionuklidy obsažené ve zdroji.

Zprošřovací úrovně aktivity a zprošřovací úrovně hmotnostní aktivity pro malé množství látky (<1 t) pro vybrané radionuklidy:

Radionuklid	Aktivita [Bq]	hm. akt. [kBq/kg]	Radionuklid	Aktivita [Bq]	hm. akt. [kBq/kg]
22-Na	10 ⁶	10	64-Cu	10 ⁶	10 ²
44-Ti	10 ⁵	10	68-Ge	10 ⁵	10
55-Fe	10 ⁶	10 ⁴	137-Cs	10 ⁴	10
57-Co	10 ⁶	10 ²	181-Hf	10 ⁶	10
60-Co	10 ⁵	10	207-Bi	10 ⁶	10

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §2 odst. 2.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Expoziční situace (ES) – všechny v úvahu připadající okolnosti vedoucí k vystavení fyzických osob nebo životního prostředí ionizujícímu záření: ¹⁾

- plánovaná ES, která je spojená se *záměrným* využíváním ZIZ,
- nehodová ES,
- existující ES.

Radiační činnosti: ¹⁾

- činnost s *umělým* ZIZ v rámci *plánované* ES (včetně poskytování služeb ...),
- činnost, při které je *přírodní radionuklid* v rámci *plánovaných* ES využíván pro své radioaktivní, štěpné nebo množivé charakteristiky, včetně činností souvisejících se získáváním radioaktivního nerostu.

Činnosti zvláště důležité z hlediska RO ²⁾ – např. soustavný dohled, přímý dohled, zajišťují plnění požadavků na RO stanovených Zákonem. K výkonu těchto činností je vyžadována *zvláštní odborná způsobilost* osvědčovaná Úřadem.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §2 odst.2.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §3 odst. 1.

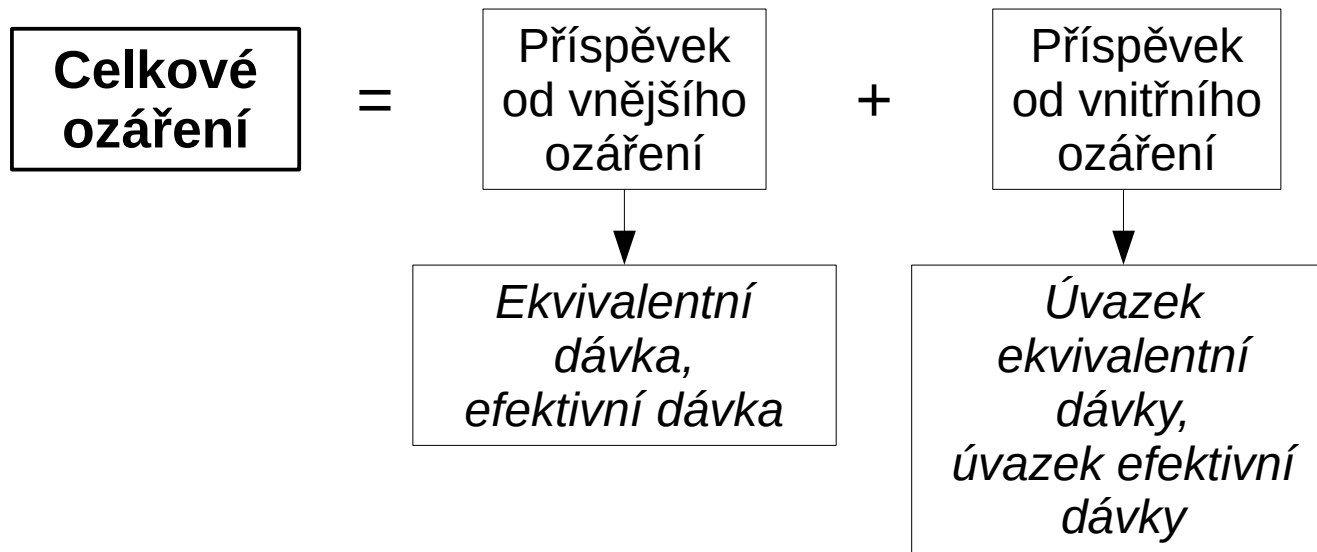
Pojmy a pravidla radiační ochrany

Ozáření – vystavení fyzické osoby ionizujícímu záření: ¹⁾

- profesní (v souvislosti s výkonem práce v rámci plánované ES),
- z přírodního pozadí (radionuklidy obsažené přirozeně v lidském těle, kosmické záření v míře běžné na zemském povrchu, radionuklidy v lidskou činností neporušené zemské kůře, ...),
- lékařské,
- havarijní.

Vnější ozáření – pochází ze ZIZ mimo tělo fyzické osoby.

Vnitřní ozáření – pochází od radionuklidů přítomných v těle fyzické osoby.



¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §2 odst. 3.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Radiační pracovník ¹⁾ – fyzická osoba vystavená *profesnímu* ozáření, a to *vědomě a dobrovolně*.

Zasahující osoba ¹⁾ – fyzická osoba připravená zasahovat v rámci nehodové ES.

Optimalizace radiační ochrany ¹⁾ – iterativní proces k dosažení a udržení takové úrovně radiační ochrany, aby ozáření fyzické osoby bylo tak nízké, jakého lze rozumně dosáhnout při uvážení všech hospodářských a společenských hledisek.

Radiační činnosti na KFNT jsou považovány za optimalizované, nedochází-li u radiačních pracovníků k soustavnému překračování ročních efektivních dávek 1 mSv.

Monitorování ¹⁾ – cílené měření veličin charakterizujících ozáření (osobní dávky, pole záření, výskyt radionuklidů v životním prostředí na pracovišti nebo v jeho okolí) a hodnocení těchto veličin z hlediska radiační ochrany, vč. např. potravin,

Osobní dozimetrie: ¹⁾

- odečet a výklad hodnot zaznamenaných zařízením určeným k osobnímu monitorování (včetně kalibrace monitoru),
- měření radioaktivity v lidském těle nebo biologických vzorcích,
- posuzování osobních dávek jako míry vnějšího i vnitřního ozáření jednotlivých osob.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §3.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Radiační mimořádná událost (RMU) ¹⁾ – událost, která vede (může vést) k překročení limitů ozáření a která vyžaduje opatření bránící překročení limitů nebo zhoršení situace z pohledu zajištění radiační ochrany.

- *RMU 1. stupně – zvládnutelná* silami a prostředky *obsluhy v aktuální směně*.
- *Radiační nehoda*
 - *nezvládnutelná* silami a prostředky obsluhy v aktuální směně,
 - ztráta, nález, zneužití RZ,
 - *nevyžaduje* zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.
- *Radiační havárie*
 - *nezvládnutelná* silami a prostředky obsluhy v aktuální směně,
 - ztráta, nález, zneužití RZ,
 - *vyžaduje* zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Zvládání RMU – systém postupů a opatření k zajištění

- analýzy v úvahu připadajících RMU a hodnocení jejich dopadů,
- připravenosti k odezvě na RMU,
- odezvy na RMU.
- nápravy stavu po RMU.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §4.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace ¹⁾ – *odstupňovaný přístup* k radiační ochraně.

- Kategorie *ZIZ* – podle zapouzdření RZ a podle stupně rizika ZIZ (např. podle aktivity RZ).
- Kategorie *zabezpečení* RZ – pro účely regulace přeshraničního pohybu RZ a jejich zabezpečení.
- Kategorie *radiačních pracovníků* – pro účely pracovnělékařských služeb a monitorování.
- Kategorie *pracoviště*, na němž se vykonává radiační činnost. Úřad zohledňuje typický způsob provozu pracoviště, související míru možného ozáření pracovníků a obyvatelstva a potenciální riziko plynoucí z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu.

Podrobnosti pro zařazení do kategorií jsou stanoveny Vyhláškou 422/2016 Sb.

Kategorie RZ podle zapouzdření: ²⁾

- *Uzavřené* (URZ) – RZ, jejichž úprava zapouzdřením nebo ochranným překryvem zajišťuje těsnost a vylučuje za předvídatelných podmínek použití a opotřebování únik radionuklidu. Těsnost musí být periodicky ověřována.
- *Otevřené* (ORZ) – RZ, které nejsou URZ.

¹⁾ Zákon 263/2016 Sb., §61. ²⁾ Zákon 263/2016 Sb., §60.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Uzavřené radionuklidové zářiče

Předepsané zkoušky URZ a zařízení s URZ – *přejímací zkouška, zkouška dlouhodobé stability a provozní stálosti* :

- *Přejímací zkouška (PZ):*
 - Osvědčení URZ na základě zkoušky těsnosti, kterou provádí autorizovaná osoba, zajišťuje dovozce nebo prodejce. ¹⁾
 - Ověření údajů v dodacím listu.
 - Kopie osvědčení URZ a dodacího listu musí zaslat držitel zářiče k evidenci SÚJB do 1 měsíce od převzetí zářiče.
- *Zkouška dlouhodobé stability (ZDS):*
 - ZDS se provádí v rozsahu a periodicitě stanovené při PZ nebo typovém schvalování (zkoušku provádí autorizovaná osoba, zajišťuje držitel URZ),
 - ZDS následuje okamžitě po údržbě zařízení s URZ nebo při podezření na nesprávnou funkci URZ či zařízení s URZ.

¹⁾ Při prvním dovozu zářiče daného typu do EU, zajistí dovozce/prodejce rovněž *typové schválení* (Zákon, §137 odst. 1 a 4).

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Uzavřené radionuklidové zářiče

Předepsané zkoušky URZ a zařízení s URZ – *přejímací zkouška, zkouška dlouhodobé stability a provozní stálosti* :

- *Zkouška provozní stálosti (ZPS) zařízení s URZ*):
 - ZPS zajišťuje ji nebo provádí držitel URZ i zařízení, a to v rozsahu stanoveném při typovém schvalování na základě návrhu výrobce/dovozce a upřesněném při PZ a ZDS (držitel také vede protokol o ZPS).
 - ZPS se provádí zpravidla nepřímo otěry částí zařízení v kontaktu se zářičem.
 - Součástí ZPS je i sledování klíčových parametrů a ukazatelů zařízení s URZ,
 - Četnost ZPS je nejméně 12 měsíců (a to i v chemicky neaktivním prostředí) nebo okamžitě po každé údržbě/čištění.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Otevřené radionuklidové zářiče

Předepsané zkoušky ORZ – *přejímací zkouška* (PZ):

- PZ spočívá v ověření údajů průvodního listu ORZ, který vydává autorizovaný dodavatel (prodejce, distributor nebo výrobce),
- součástí PZ je i vizuální kontrola zářiče při převzetí od autorizovaného dodavatele.

URZ s prošlou platností osvědčení nebo zkoušek lze používat jako ORZ pouze, pokud bylo na takový ORZ vydáno povolení a pokud k němu byl vydán autorizovanou osobou průvodní list ORZ.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace ZIZ podle stupně rizika – *nevýznamý* ZIZ ¹⁾:

- Generátor záření emitující IZ s energií ≤ 5 keV, který není významným ZIZ.
- Katodová trubice, určená k zobrazování nebo jiné elektrické zařízení pracující při rozdílu potenciálů ≤ 30 kV, u něhož je příkon *prostorového* dávkového ekvivalentu na kterémkoliv přístupném místě ve vzdálenosti 0.1 m od povrchu < 1 $\mu\text{Sv/h}$.
- RA látka, pro kterou je

$$\sum_i \left(\frac{\text{aktivita}}{\text{zprošřovací úroveň aktivity}} \right)_i \quad \underline{\text{nebo}} \quad \sum_i \left(\frac{\text{hmotnostní aktivita}}{\text{zprošřovací úroveň hmotnostní aktivity}} \right)_i \leq 1^*).$$

¹⁾ Vyhláška, §12.

^{*}) Sumace se provádí přes všechny radionuklidy obsažené v látce.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace ZIZ podle stupně rizika – *drobný* ZIZ ¹⁾:

- Generátor záření, který není nevýznamným nebo významným ZIZ, konstruovaný tak, že je příkon *prostorového* dávkového ekvivalentu na kterémkoliv přístupném místě ve vzdálenosti 0.1 m od povrchu $< 1 \mu\text{Sv/h}$ a na místech, určených za běžných pracovních podmínek k manipulaci a obsluze zařízení výhradně rukama, je příkon *směrového* dávkového ekvivalentu $\leq 250 \mu\text{Sv/h}$.
- URZ, který není nevýznamný ZIZ a pro který je

$$\sum_i \left(\frac{\text{aktivita}}{\text{zprošťovací úroveň aktivity}} \right)_i \quad \underline{\text{nebo}} \quad \sum_i \left(\frac{\text{hmotnostní aktivita}}{\text{zprošťovací úroveň hmotnostní aktivity}} \right)_i < 100$$

v případě dlouhodobých RZ emitujících záření α , včetně RZ emitujících neutrony, a < 1000 v ostatních případech ^{*)}.

¹⁾ Vyhláška, §13.

^{*)} Sumace se provádí přes všechny radionuklidy obsažené v látce.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace ZIZ podle stupně rizika – *drobný* ZIZ (pokrač.) ¹⁾ :

- Zařízení s URZ, který není nevýznamným ZIZ, konstruované tak, že je příkon *prostorového* dávkového ekvivalentu na kterémkoliv přístupném místě ve vzdálenosti 0.1 m od povrchu $< 1 \mu\text{Sv/h}$ a na místech určených za běžných pracovních podmínek k manipulaci a obsluze zařízení výhradně rukama je příkon *směrového* dávkového ekvivalentu $\leq 250 \mu\text{Sv/h}$.
- ORZ, který není nevýznamný ZIZ, a pro který je

$$\sum_i \left(\frac{\text{aktivita}}{\text{zprošťovací úroveň aktivity}} \right)_i \quad \underline{\text{nebo}} \quad \sum_i \left(\frac{\text{hmotnostní aktivita}}{\text{zprošťovací úroveň hmotnostní aktivity}} \right)_i < 10$$

¹⁾ Vyhláška, §13.

*) Sumace přes všechny radionuklidy obsažené v látce.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace ZIZ podle stupně rizika – *jednoduchý* ZIZ ¹⁾:

- ZIZ, který není nevýznamným, drobným, významným nebo velmi významným ZIZ.

Ostatní kategorie ZIZ podle stupně rizika ²⁾:

- *Významný ZIZ* (generátor IZ určený k lékařskému ozáření, kromě kostního denzitometru a zubního rentgenu, jiného než zubní výpočetní tomograf; urychlovač částic; ZIZ k radioterapii protony, neutrony a jinými těžkými částicemi; zařízení s URZ k radioterapii, ozařování předmětů včetně potravin, surovin, předmětů běžného používání aj.; mobilní defektoskop s URZ; vysokoaktivní zdroj ³⁾).
- *Velmi významný ZIZ* je jaderný reaktor.

¹⁾ Vyhláška, §14.

²⁾ Vyhláška, §§15,16.

³⁾ Vyhláška, §11 a příloha 8.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorie zabezpečení RZ: ¹⁾

- Kategorie zabezpečení *souboru* RZ – podle *D*-hodnot pro jednotlivé radionuklidy ²⁾.
- Rozlišují se kategorie 1 – 5 *vzestupně* podle klesající míry rizika.
- Kriteriem pro zařazení souboru do kategorie zabezpečení je *agregovaný poměr A/D* (D_n – *D*-hodnota pro radionuklid n ²⁾, $A_{i,n}$ – aktivita i -tého zdroje radionuklidu n):

$$A/D = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

D-hodnoty pro vybrané radionuklidy

Nuklid	<i>D</i> -hodnota [TBq]	Nuklid	<i>D</i> -hodnota [TBq]	Nuklid	<i>D</i> -hodnota [TBq]
22-Na	3×10^{-2}	57-Co	7×10^{-1}	68-Ge	7×10^{-2}
44-Ti	3×10^{-2}	60-Co	3×10^{-2}	137-Cs	1×10^{-1}
54-Mn	8×10^{-2}	64-Cu	3×10^{-1}	207-Bi	5×10^{-2}

¹⁾ Zákon, §61. Vyhláška, §§17,18. ²⁾ *D*-hodnoty tabelovány ve Vyhlášce, příl. 1.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorie zabezpečení RZ (pouze výtah, podrobněji viz ¹⁾):

Kategorie zabezpečení 1: $1000 < A/D$.

Kategorie zabezpečení 2: $10 \leq A/D < 1000$.

Kategorie zabezpečení 3: $1 \leq A/D < 10$.

Kategorie zabezpečení 4: $0.01 \leq A/D < 1$.

Kategorie zabezpečení 5: $\text{zprošřovací úroveň} \leq A/D < 0.01$.

A – aktuální aktivita URZ nebo nejvýše zpracovávaná aktivita ORZ u kategorií 3, 4, aktuální aktivita u kategorie 5.

Soubor RZ držených na KFNT (URZ i ORZ) spadá do kategorie zabezpečení 3 a úroveň jejich zabezpečení splňuje požadavky stanovené Zákonem a Vyhláškou ¹⁾ pro tuto kategorii: protipožární čidla v místnostech a čidla pohybu na chodbách; kamerový systém na plášti budovy L; uzamykání místností při nepřítomnosti pracovníka; stálá ostraha budovy.

¹⁾ Zákon, §61. Vyhláška, §§17,18.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorie radiačních pracovníků ¹⁾

- Radiační pracovníci jsou podle možné míry zdravotního rizika zařazováni do kategorie A nebo B (podrobně jsou kriteria pro zařazení radiačních pracovníků do příslušné kategorie stanovena Vyhláškou, §20 ²⁾):
 - Radiační pracovníci kategorie A – ti radiační pracovníci, kteří mohou obdržet roční efektivní dávku > 6 mSv, roční ekvivalentní dávku > 15 mSv na oční čočku nebo > 0.3 limitu ozáření na kůži a končetiny.
 - Radiační pracovníci kategorie B – ti radiační pracovníci, kteří nejsou radiačními pracovníky kategorie A.
- Povinnost lékařských prohlídek (vstupní, periodická, mimořádná, výstupní) platí pro obě kategorie radiačních pracovníků. ³⁾

¹⁾ Zákon, §61, §78.

²⁾ Kategorizace radiačních pracovníků je povinností držitele povolení.

³⁾ Zařazení do kategorie provede *zaměstnavatel* na návrh *vedoucího* pracoviště (KFNT) a po absolvování vstupní prohlídky. Plnění povinnosti procházet předepsanými lékařskými prohlídkami kontroluje na MFF UK zaměstnanecké oddělení. Nesplnění této povinnosti má za následek sankce, mj. až po vyřazení pracovníka z výkonu radiačních činností.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorie radiačních pracovníků

Radiační pracovníci kategorie A ¹⁾ :

- lze u nich předpokládat překročení dávek ozáření pro zařazení do kat. A stanovených Vyhláškou (viz předchozí snímek);
- věk 18+;
- povinné lékařské prohlídky u poskytovatele *specifických zdravotních služeb* ²⁾: vstupní, periodické (alespoň 1×ročně), mimořádné (byl-li překročen některý z limitů pro radiační pracovníky), výstupní prohlídky;
- osobní monitorování filmovými nebo prstovými dozimetry (právo na informování o obdržených dávkách nejméně 1×ročně),
- *prokazatelné* poučování a ověřování způsobilosti k bezpečné práci (obecné školení pravidelně alespoň 1×ročně nebo podle potřeby, např. při zařazení nových pracovníků a studentů k samostatné práci, při změně charakteru radiačních činností – provádí a zodpovídá dohlízející osoba; individuální příprava týkající se praktických stránek specifických radiačních činností – zodpovídají vedoucí příslušných oddělení KFNT).

¹⁾ Zákon o ochraně veřejného zdraví: radiační činnosti, které smějí vykonávat pouze radiační pracovníci kategorie A, jsou rizikovými pracemi kategorie *druhé*.

²⁾ Smluvním poskytovatelem zdravotních služeb pro MFF UK je Klinika pracovního lékařství Všeobecné fakultní nemocnice v Praze.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorie radiačních pracovníků

Radiační pracovníci kategorie B ¹⁾ :

- věk 18+ nebo studenti věku 16 až 18 v rámci výuky;
- obvykle *na KFNT* pracují pod dohledem pracovníka kat. A nebo konají pouze méně rizikové radiační činnosti a nepředpokládá se překročení limitů pro zařazení do kat. A;
- povinné lékařské prohlídky u všeobecného lékaře nebo u smluvního poskytovatele *specifických zdravotních služeb* s periodicitou
 - pro pracovníky *do 50 let věku* 6 roků nebo, je-li souběh dvou a více rizikových faktorů (např. vystavení IZ a práce se studenty), 4 roky;
 - pro pracovníky *nad 50 let věku* 2 roky;
- nebyl-li pracovníkovi přidělen osobní dozimetr, provádějí se u něj konzervativní odhady obdržených dávek na základě monitorování pracoviště a odpracované doby;
- poučování a ověřování způsobilosti, stejné jako u kat. A.

¹⁾ Zákon o ochraně veřejného zdraví: ostatní práce, zahrnující profesní ozáření pracovníka IZ na pracovišti, kromě těch, které smějí vykonávat pouze radiační pracovníci kategorie A, jsou rizikovými pracemi kategorie *první*.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Kategorizace pracovišť se ZIZ ¹⁾

- Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti jsou zařazovány do I. až IV. kategorie, *vzestupně* se stoupající mírou rizika radiačních činností. O zařazení pracoviště do kategorie rozhoduje SÚJB, přičemž zohledňuje:
 - typický způsob provozu pracoviště,
 - míru možného ozáření pracovníků a obyvatelstva a
 - potenciální riziko plynoucí z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu pracoviště.
- Kritéria pro zařazení pracoviště do příslušné kategorie (Vyhláška, §19 a příl. 9) zahrnují mj.:
 - charakter radiačních činností (např. práce s potenciálně prašnými nebo těkavými RA látkami),
 - vybavení pracoviště (ventilační, izolační a stínící vybavení a provedení kanalizace),
 - maximální aktivity RZ zpracovávané na jednom pracovním místě.

¹⁾ Zákon, §61.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Sledované a kontrolované pásmo na pracovišti se ZIZ¹⁾

Kontrolované pásmo (KP) – prostor s *kontrolovaným vstupem*, kde lze očekávat překročení roční efektivní dávky 6 mSv nebo 0,3 limitu ozáření radiačního pracovníka pro oční čočku, kůži a končetiny, a v němž jsou zaváděna zvláštní pravidla k zajištění radiační ochrany a předcházení šíření kontaminace:

- právo vstupu do KP mají pouze fyzické osoby poučené a vybavené ochrannými pomůckami (oděv, obuv, dozimetr a pod.);
- radiační činnosti v KP mohou za normálních okolností provádět pouze pracovníci kategorie A, kterým to jmenovitě povolil vedoucí pracoviště;
- provádí se osobní monitorování (filmová nebo prstová dozimetrie) i monitorování pracoviště;
- nelze-li vyloučit kontaminaci osob a věcí, provádí se dozimetrická kontrola osob a vynášených předmětů při opouštění KP;
- zákaz vstupu těhotných žen, pokud v KP *nepracují*.

¹⁾ Zákon, §§61,73. Vyhláška §§46,47,49 a příl. 18.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Sledované a kontrolované pásmo na pracovišti se ZIZ¹⁾

Sledované pásmo (SP) – prostor kde lze očekávat překročení roční efektivní dávky 1 mSv nebo 0,1 limitu ozáření radiačního pracovníka pro oční čočku, kůži a končetiny, a který podléhá *dohledu* pro účely radiační ochrany:

- provádí se monitorování pracoviště a sleduje se pohyb osob;
- radiační činnosti mohou konat pouze radiační pracovníci (A i B).

¹⁾ Zákon, §§61,73. Vyhláška §§46-48 a příl. 18.

Práce těhotných a kojících žen :

Držitel povolení k vykonávání činností v rámci ES je povinen neprodleně poté, co mu žena oznámí, že

- je těhotná, upravit její pracovní podmínky tak, aby součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření plodu alespoň po zbývajícím období těhotenství nepřekročil 1 mSv;
- kojí dítě, přeřadit ji z práce v kontrolovaném pásmu pracoviště s otevřeným RZ.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Radioaktivní odpad ¹⁾ je věc, která je RA látkou, předmět nebo zařízení ji obsahující nebo jí kontaminované,

- pro kterou se nepředpokládá další využití,
- a která nesplňuje podmínky Zákona ²⁾ pro uvolňování z pracoviště (limity stanovené Vyhláškou, §104 a příl. 7 – *uvolňovací úrovně*).

Nakládání s radioaktivním odpadem je radiační činností, která obecně zahrnuje shromažďování, třídění, skladování, zpracování, ... nebo ukládání, a může být podmíněno povolením Úřadu.

Povolení SÚJB *není potřeba* ke shromažďování, třídění a skladování odpadu *přímo u jeho původce*, pokud je oprávněn s ním nakládat jako s ORZ.

Skladování × ukládání radioaktivního odpadu:

- Ukládání je *trvalé* do úložiště radioaktivního odpadu a může být prováděno pouze oprávněnou osobou.
- Skladování je *dočasné* před předáním odpadu k uložení do úložiště nebo vyměření aktivity na úroveň, kdy je možné uvolnění z pracoviště.

¹⁾ Zákon, §3, odst. 2. ²⁾ Zákon, §76.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Limity a podmínky – soubor požadavků, při jejichž nepřekročení (splnění) je výkon radiačních činností považován za bezpečný (například limity ozáření).

Limity ozáření osob ¹⁾ – kvantitativní ukazatele pro omezení ozáření fyzických osob z činností v rámci *plánovaných expozičních situací* :

- obecné limity pro obyvatele,
- limity pro radiační pracovníky,
- limity pro žáky a studenty,
- odvozené limity (kvantitativní ukazatele pro radiační pracovníky vyjádřené v *měřitelných veličinách*).

Limitům ozáření nepodléhá lékařské ozáření.

Obecné limity pro obyvatele:

- pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření **1 mSv** za kalendářní rok,
- pro ekvivalentní dávku v oční čočce **15 mSv** za kalendářní rok,
- pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže **50 mSv** za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy.

¹⁾ Zákon, §63. Hodnoty limitů ozáření osob a způsob nakládání s nimi jsou stanoveny Vyhláškou, §§3 až 6.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Limity pro radiační pracovníky: ¹⁾

- pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření **20 mSv** za kalendářní rok, nebo hodnota schválená SÚJB (nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok).
- pro ekvivalentní dávku v čoční oči **100 mSv** za 5 po sobě jdoucích let a současně **50 mSv** za jeden kalendářní rok,
- pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže **500 mSv** za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy,
- pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky **500 mSv** za kalendářní rok.

Posuzování, zda nedošlo k překročení limitů:

- musí být soustavné,
- zohledňovat všechny cesty ozáření při všech pracovních činnostech a
- u interních pracovníků zohledňovat *všechny* radiační činnosti pro více ohlašovatelů, registrantů, držitelů povolení.

¹⁾ Vyhláška, §4.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Limity pro žáky a studenty, kteří jsou *povinni* v průběhu studia pracovat se ZIZ, jsou ¹⁾

- pro žáky a studenty *mladší 16 let* – shodné s obecnými limity pro obyvatele,
- pro žáky a studenty *ve věku 16 až 18 let* ≈ 0.3 limitů pro radiační pracovníky, tj.
 - součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření **6 mSv** za kalendářní rok,
 - pro ekvivalentní dávku v čoční oči **15 mSv** za jeden kalendářní rok,
 - pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže **150 mSv** za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy,
 - pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky **150 mSv** za kalendářní rok.
- pro žáky a studenty *nad 18 let věku* – shodné s limity pro radiační pracovníky.

¹⁾ Vyhláška, §5.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Odvozené limity pro zevní ozáření: ¹⁾

- osobní dávkový ekvivalent $H_p(0.07 \text{ mm})$ **500 mSv** za kalendářní rok,
- osobní dávkový ekvivalent $H_p(3 \text{ mm})$ **20 mSv** za kalendářní rok,
- osobní dávkový ekvivalent $H_p(10 \text{ mm})$ **20 mSv** za kalendářní rok.

$H_p(d)$ – osobní dávkový ekvivalent v hloubce d .

¹⁾ Vyhláška, §6, odst. 2.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Odvozené limity pro *vnitřní* ozáření radiačních pracovníků: ¹⁾

- limit pro příjem jednotlivého radionuklidu *vdechnutím* – aktivita A_{inh} [Bq] = $0.02 \text{ Sv} / h_{inh}$ za *kalendářní rok*,
- limit pro příjem jednotlivého radionuklidu *požitím* – aktivita A_{ing} [Bq] = $0.02 \text{ Sv} / h_{ing}$ za *kalendářní rok*.

h_{inh} , h_{ing} – konverzní faktory pro příjem jednotlivého radionuklidu vdechnutím (inh) nebo požitím (ing) v jednotkách Sv/Bq, závisejí na velikosti aerosolů a chemické formě radionuklidu (tabelovány pro různé radionuklidy v ²⁾).

¹⁾ Vyhláška, §6 odst. 3. ²⁾ Vyhláška, příl. 3.

Maximální konverzní faktory pro příjem vdechnutím a požitím radiačními pracovníky pro vybrané radionuklidy ²⁾ a limity A_{inh}

Nuklid	h_{inh} , $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$	A_{inh} , MBq	h_{ing} , $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
22-Na	1.3e-09	15	3.2e-09
57-Co	9.4e-10	21	2.1e-10
60-Co	2.9e-08	0.69	3.4e-09

Nuklid	h_{inh} , $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$	A_{inh} , MBq	h_{ing} , $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
68-Ge	1.3e-08	1.5	1.3e-09
137-Cs	6.7e-09	4.2	1.3e-08
207-Bi	5.2e-09	3.8	1.3e-09

Pojmy a pravidla radiační ochrany

Odvozené limity při současném zevním a vnitřním ozáření směsí radionuklidů (za kalendářní rok):

$$H_p(0.07) \leq 0.5 \text{ Sv} \quad \text{a současně}$$
$$H_p(10) + \sum_i h_{i,ing} A_{i,ing} + \sum_i h_{i,inh} A_{i,inh} \leq 0.02 \text{ Sv} , \text{ kde}$$

$A_{i,inh}$, $A_{i,ing}$ – aktivity ročního příjmu i -tého radionuklidu vdechnutím nebo požitím (v jednotkách Bq),

$h_{i,inh}$, $h_{i,ing}$ – konverzní faktory pro příjem i -tého radionuklidu vdechnutím nebo požitím v jednotkách Sv/Bq (tabelované ve Vyhlášce, příl. 3).

Limity pro radiační pracovníky se pokládají za nepřekročené, nejsou-li překročené žádné odvozené limity.

Pojmy a pravidla radiační ochrany

3. dílčí shrnutí

Nejdůležitější pojmy: Ionizující záření; RA látka; zdroj IZ; radionuklidový zdroj; zprošťovací úrovně; radiační činnosti; ozáření; radiační pracovník; radiační ochrana a optimalizace RO; monitorování; osobní dozimetrie; radiační mimořádná událost a její zvládnání; radioaktivní odpad; pracovní místo.

Kategorizace; kategorizace RZ (URZ, ORZ); kategorizace ZIZ (nevýznamný, drobný, jednoduchý, ...); kategorizace zabezpečení RZ; kategorizace radiačních pracovníků; kategorizace pracovišť; kontrolované pásmo; sledované pásmo.

Limity a podmínky; limity ozáření osob (obecné limity, limity pro radiační pracovníky, pro žáky a studenty); odvozené limity pro zevní i vnitřní ozáření; konverzní faktory pro příjem radionuklidu vdechnutím nebo požitím.

Legislativa regulující využívání IZ

Základní zákonné normy:

- Zákon č. 263/2016 Sb., **Atomový zákon** (dále jen Zákon),
- Vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb. **o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje** (dále jen Vyhláška),
- další relevantní normy – viz. snímek #15.

Tři úrovně regulace využívání IZ :

- registrace činnosti Úřadem (Zákon, §10),
- ohlášení činnosti Úřadu (Zákon, §11),
- povolení Úřadu k vykonávání činnosti (Zákon, §9).

Ohlášení nebo **registrace** činnosti Úřadu lze využít pro některé méně rizikové činnosti, pro které není potřeba povolení Úřadu.

- např. používání *typově schváleného* ¹⁾ drobného ZIZ, s výjimkou používání ZIZ k nelékařskému ozáření, je možné i na ohlášení.

Neodkladný zásah směřující ke zmírnění nebo odvrácení RMU nebo odstranění jejích následků lze provést bez povolení, ohlášení nebo registrace.

¹⁾ O typové schválení ZIZ žádá Úřad distributor zdroje.

Legislativa regulující využívání IZ

Radiační činnosti konané na KFNT spadají mezi ty radiační činnosti, pro které je nutné žádat Úřad o **Povolení SÚJB** – povolení k *nakládání se ZIZ* (Zákon, §9). Na KFNT se jedná o

- používání radionuklidových zářičů (odst. 2, písm. f), bod 7),
- nakládání s radioaktivním odpadem (odst. 3, písm. a)).

Žádost o Povolení k nakládání se ZIZ (dále jen Povolení) – je podávána spolu se zákonem požadovanou dokumentací místnímu RC SÚJB statutárním zástupcem pracoviště žadatele (k žádosti se přikládá kolek, 1 kKč v r. 2019).

Dokumentace potřebná k žádosti o vydání povolení *) je dvojího typu:

- dokumentace požadovaná Zákonem a v rozsahu upřesňovaném prováděcími předpisy (Vyhláška, ...),
- vnitřní předpisy pracoviště žadatele.

*) Dokumentace se předkládá SÚJB k *posouzení* ve správním řízení. SÚJB vydá Rozhodnutí ve lhůtě 90 dnů od podání žádosti, která se prodlouží o eventuální dobu přerušení správního řízení kvůli řešení připomínek Úřadu k žádosti.

Legislativa regulující využívání IZ

Výčet dokumentace pro povolovanou činnost požadované Zákonem, příl. 1, část 2, "Činnosti v rámci expozičních situací", písm. f): ¹⁾

- Odůvodnění činnosti.
- Specifikace zdroje ionizujícího záření, jeho typ a příslušenství.
- Popis vymezení sledovaného pásma vč. schematického plánu, doplněný o informaci o stínění, ochranných zařízeních a vybavení pracovních míst.
- Postupy optimalizace radiační ochrany.
- Přehled pracovníků, kteří budou konat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany (osoby s přímým dohledem a dohlízející osoby).
- Program monitorování pracoviště a jeho okolí.
- Vymezení kontrolovaného pásma a předpokládaný počet fyzických osob pracujících v něm a způsob zábrany vstupu nepovolovaných do tohoto pásma.
- Analýza a hodnocení radiační mimořádné události pro nakládání se zdroji ionizujícího záření.
- Vnitřní havarijní plán na pracovišti II. a vyšší kategorie.
- Při očekávaném ... vzniku radioaktivního odpadu ... předpokládaný druh a množství vznikajícího radioaktivního odpadu a doklad o jeho zneškodňování.
- **Program zajištění radiační ochrany.**

Pokračování na následujícím snímku.

Legislativa regulující využívání IZ

Výčet dokumentace pro povolovanou činnost požadované Zákonem, příl. 1, část 2, "Činnosti v rámci expozičních situací", písm. f): ¹⁾

- Plán zabezpečení zdroje ionizujícího záření v případě radionuklidového zdroje 1. až 3. kategorie zabezpečení.
- Doklad o zajištění bezpečného nakládání s radioaktivním odpadem včetně financování tohoto nakládání.

¹⁾ Zde a v dalším jsou uváděny jen položky dokumentace relevantní k radiačním činnostem na KFNT. Další podrobnosti k jednotlivým položkám dokumentace i k těmto činnostem budou probírány v následujícím.

Držitel Povolení – KFNT MFF UK reprezentovaná statutárním zástupcem (děkan MFF UK).

Obecné povinnosti držitele Povolení z hlediska zajištění radiační ochrany a prevence a likvidace radiačních mimořádných událostí ²⁾:

- zajistit materiální a organizační zabezpečení podmínek stanovených v Povolení,
- zajistit dodržování těchto podmínek,
- vést a udržovat dokumentaci související s činnostmi obsaženými v Povolení.

²⁾ Zákon, §§24,25 a navazující části Vyhlášky.

Neprofesní ozáření člověka

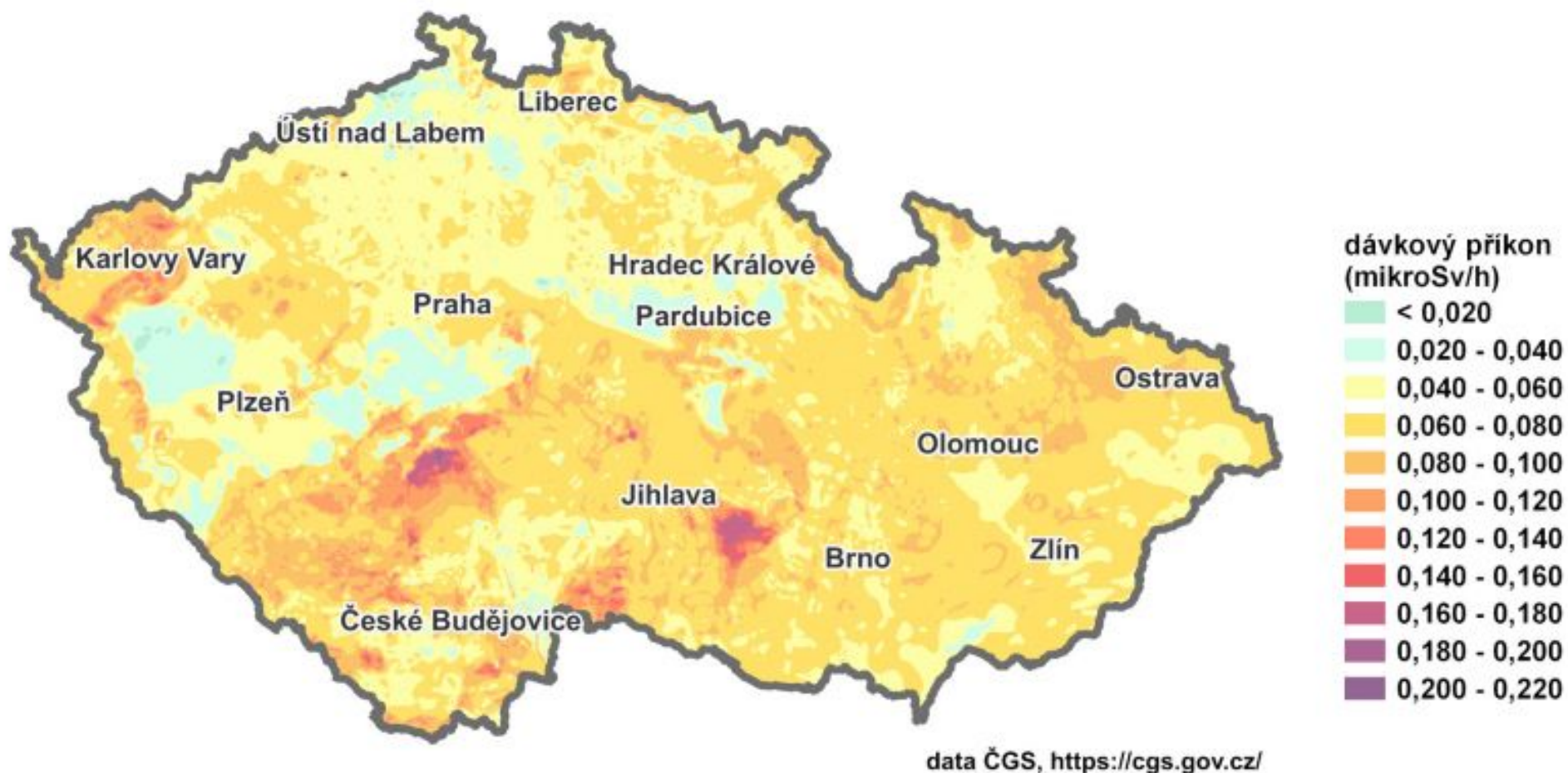
Zdroje neprofesního ozáření člověka

- **Přírodní ozáření**
 - Vnější ozáření kosmickým zářením (KZ), radionuklidy s $T_{1/2} > 10^8$ let v zemské kůře (hlavně ^{40}K , rozpadové řady uran-radiová, thoriová a aktiniová) a produkty jaderných reakcí vyvolaných KZ ve vnějším zemském obalu (^{14}C , ^3H , ^{87}Rb , ...), včetně jejich dceřiných produktů.
 - Vnitřní ozáření přírodními radionuklidy obsaženými v lidském těle ¹⁾ : radon a jeho produkty, ^{40}K (≈ 4.3 kBq), ^{14}C (≈ 3 kBq), ^{87}Rb (≈ 0.6 kBq), ^{210}Pb , ^3H , ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra ,
- **Umělé ozáření** (civilizační zdroje, lékařské ozáření):
 - Vnější i vnitřní ozáření.
 - Důsledek využívání IZ člověkem (generátory záření, urychlovače částic, radionuklidy, ...):
zobrazovací metody, lékařství (diagnostika, terapie), jaderná energetika, těžba a zpracování rud,

¹⁾ Kol.: Radiobiologie (fbmi.sirdik.org/4-kapitola/42/422.html)

Neprofesní ozáření člověka

Radionuklidy v horninovém podloží ČR – radiometrická mapa ČR



Nejvyšší hodnoty příkonu prostorové efektivní dávky E – žulové podloží (Třebíčský masiv, bývalé uranové doly na Příbramsku nebo Jáchymovsku),
nejnižší hodnoty příkonu E – vápencové podloží, mramor.

Neprofesní ozáření člověka

Ozáření z civilizačních zdrojů:

- Cestující v letadle ve výšce 10 km: 1 až 10 $\mu\text{Sv/hod}$.
- Ostatní civilizační zdroje: ≈ 1 mSv/rok/jednotlivce.

Lékařské ozáření: ¹⁾

- | | |
|---|-------------------------|
| ○ Rentgenové vyšetření | ○ CT |
| – končetiny, klouby <10 μSv , | – hlava 2.3 mSv, |
| – plíce 20 μSv , | – hrudník 8 mSv, |
| – lebka 70 μSv , | – břicho, panev 10 mSv. |
| – mamografie (skreening) 100 μSv , | |
| – kyčle 300 μSv , | |
| – břicho 1 mSv | |
| – polykací akt 1,5 mSv, | |
| – žaludek, střevní pasáž 3 mSv. | |

¹⁾ <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/pouzivani-rentgenu-lekarske-ozareni/>

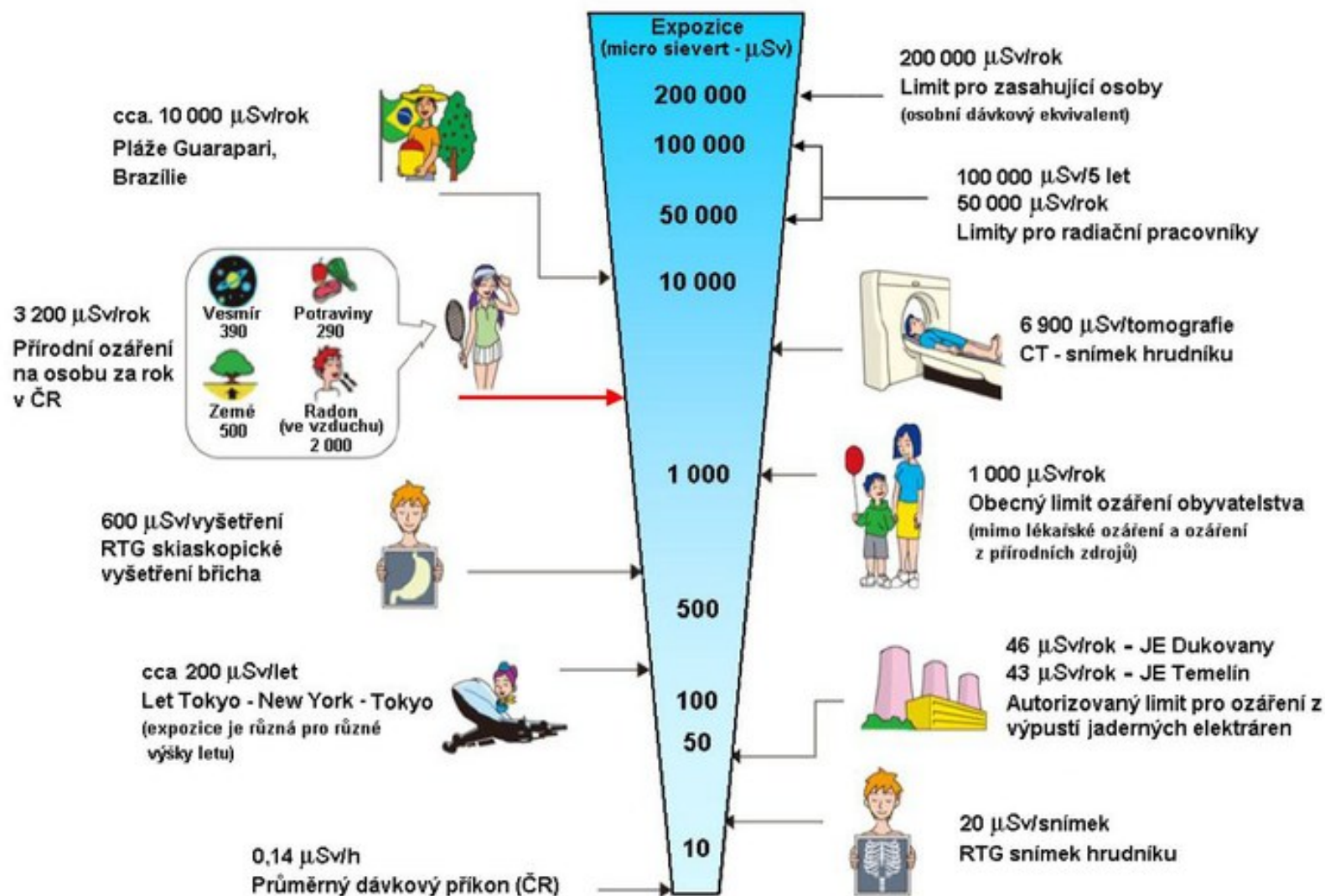
Extrémní příkony prostorového dávkového ekvivalentu záření γ na Zemi:

- Pláž Guarapari, Brazílie – 20 až 50 $\mu\text{Sv/h}$ (monazitové písky – Th),
- Kerala, Indie – ≈ 2 $\mu\text{Sv/h}$ (monazitové písky – Th),
- Ramsar, Írán – až 10 $\mu\text{Sv/h}$ (horké prameny v horninách s vysokou koncentrací radia).

Neprofesní ozáření člověka

Příklady některých expozic ionizujícímu záření
včetně limitů platných v ČR

Jednotky : μSv



zdroj: SÚJB

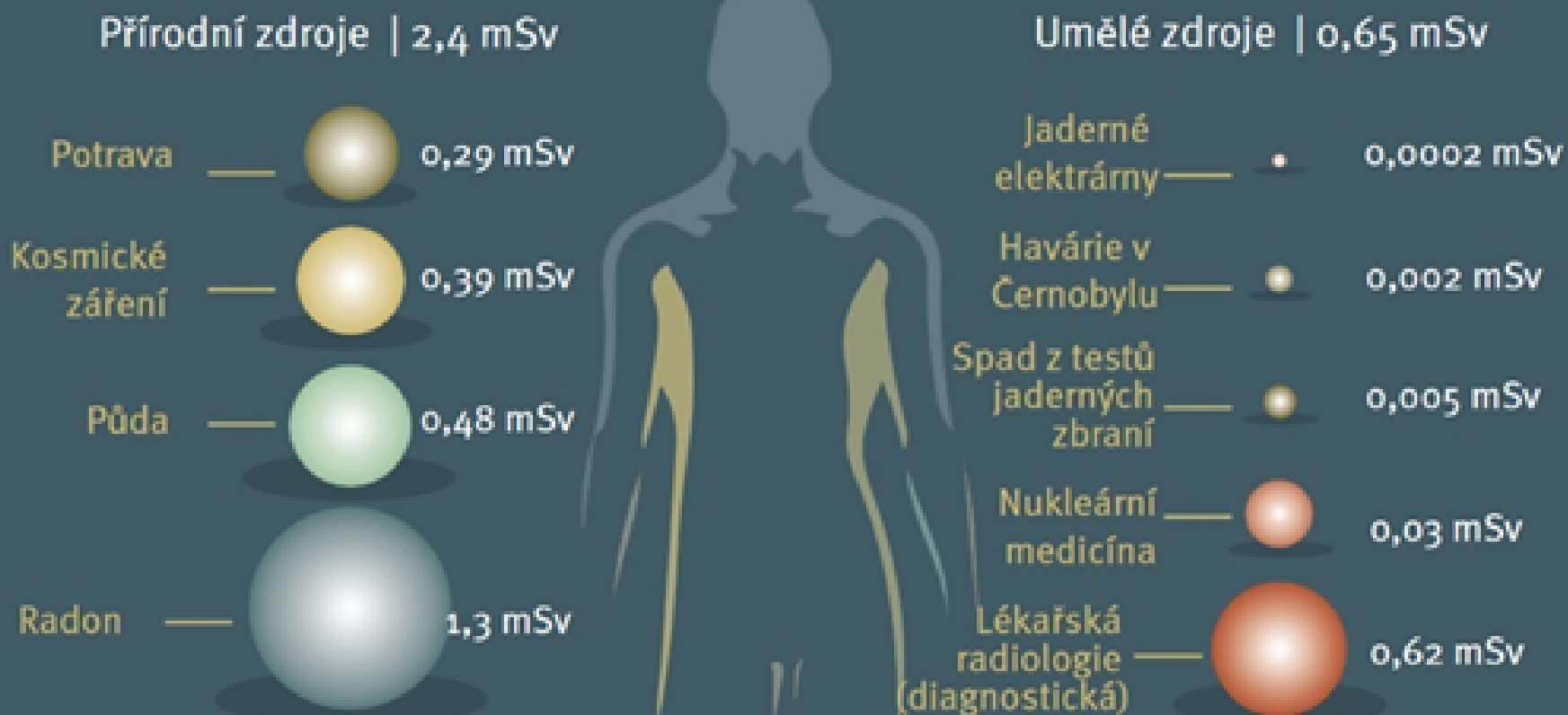
Neprofesní ozáření člověka



zdroj: SÚJB, upraveno

Neprofesní ozáření člověka

Průměrné expozice obyvatel podle zdrojů záření*



* Zaokrouhlené odhady efektivních dávek na jednoho obyvatele za rok (celosvětový průměr).

Pracoviště se zdroji ionizujícího záření na KFNT

Radiační činnosti na KFNT jsou konány v rámci **Povolení SÚJB k nakládání se ZIZ** vydaného **Rozhodnutím SÚJB** ze dne 19.2.2020.

ZIZ používané na KFNT ¹⁾ jsou radionuklidové zářiče (RZ) emitující záření γ nebo β (nikoliv α ani neutrony) nebo zařízení obsahující RZ:

- jednoduché URZ pro Mössbauerovu spektroskopii (57-Co, 119-Sn),
- zařízení s URZ – Mössbauerovy spektrometry,
- jednoduché nebo drobné ORZ pro konvenční pozitronovou anihilační spektroskopii (22-Na, 44-Ti),
- jednoduché ORZ a URZ ke generaci svazku pomalých monoenergetických pozitronů (22-Na).
- Některé další jednoduché nebo drobné ORZ
 - pro kalibrační a pomocná měření, nebo
 - indukované ve studovaných materiálech modifikovaných ozářeními na externích zařízeních (nabitými ionty na urychlovačích nebo neutrony z neutronových zdrojů).

¹⁾ Jmenovitý výčet radionuklidů, pro které je vydáno povolení (včetně maximálních aktivit na jednom pracovním místě), je povinnou součástí dokumentace k žádosti předkládané Úřadu ke schválení.

Pracoviště se zdroji ionizujícího záření na KFNT

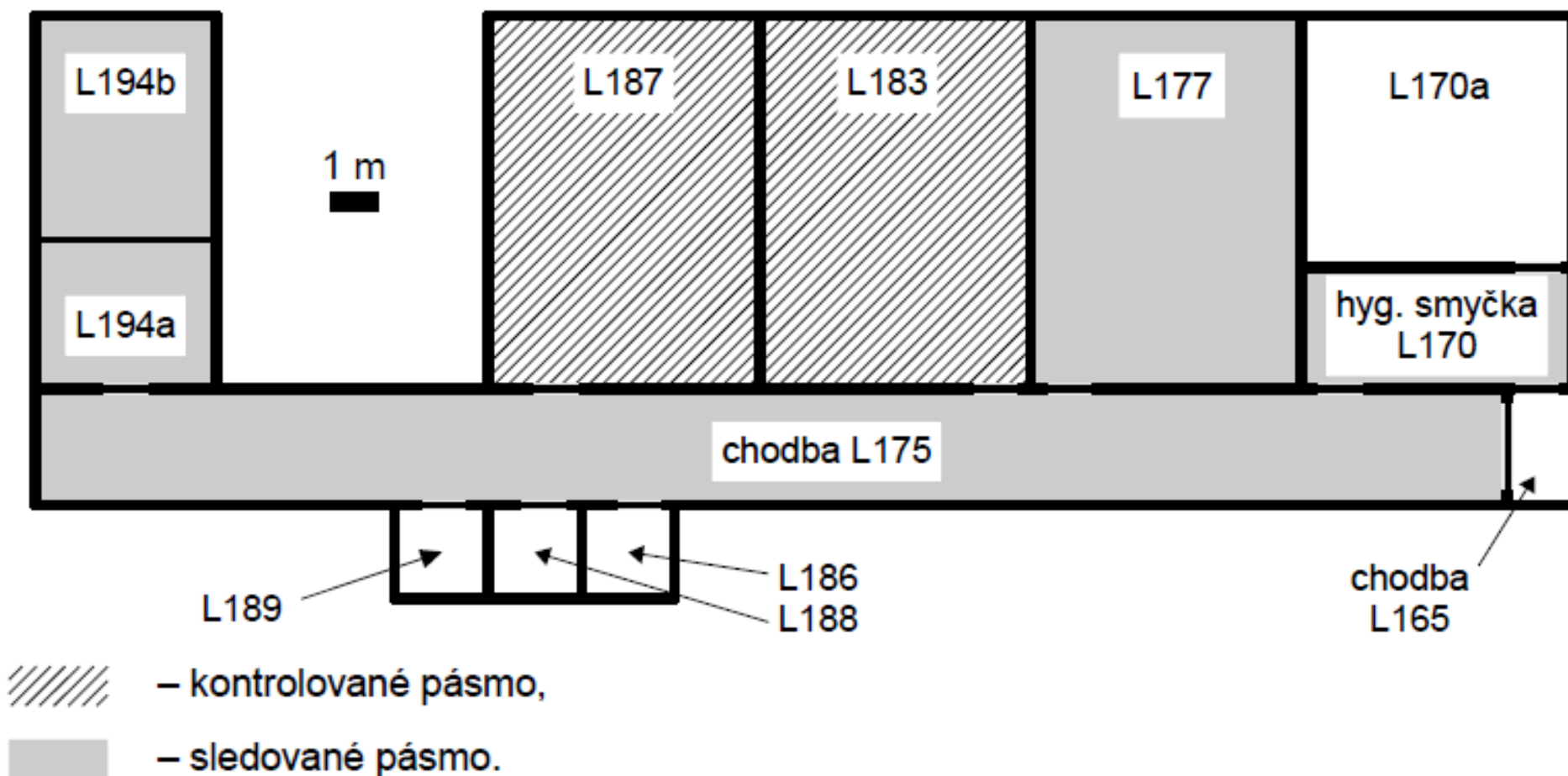
Kategorie pracovišť se ZIZ na KFNT: Všechna pracoviště se ZIZ na KFNT jsou *kategorie II*.

- Dvě *sledovaná* pásma:
 - SP A v přízemí budovy L – hyg. smyčka L170, chodba L175, L184 (laboratoř pozitronové anihilační spektroskopie), L194 (společný sklad nepoužívaných zářičů – L194b a radioaktivního odpadu – L194a);
 - SP B v 1. suterénu budovy L – L006 (laboratoř Mössbauerovy spektroskopie).
- *Kontrolované* pásmo:
 - přízemí budovy L – L183, L187 (laboratoře pozitronové anihilační spektroskopie).

Pracoviště se zdroji ionizujícího záření na KFNT

Oddělení spinové fyziky – Laboratoř pozitronové anihilační spektroskopie (PAS).

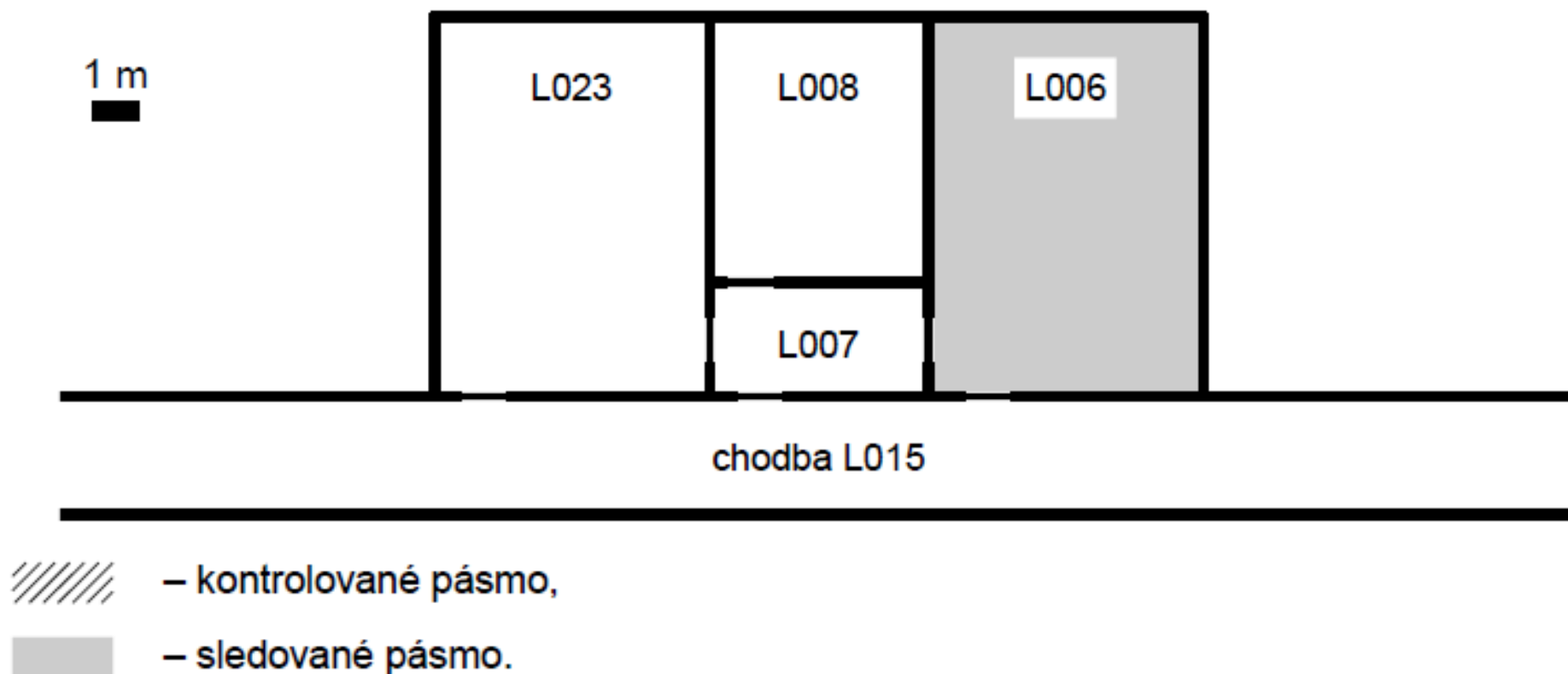
Sledované pásmo A a kontrolované pásmo – přízemí budovy L:



Pracoviště se zdroji ionizujícího záření na KFNT

Oddělení fyziky nízkých teplot – Laboratoř Mössbauerovy spektroskopie (LMS).

Sledované pásmo B – 1. suterén budovy L:



Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Výčet dokumentace předložené SÚJB k posouzení s poslední žádostí o povolení k nakládání s ZIZ (identifikátory jednotlivých dokumentů jsou v kulatých závorkách) ¹⁾:

- 1) Program zajištění radiační ochrany (KFNT/PZRO/2019/1).
- 2) Návrh vymezení kontrolovaného pásma (KFNT/KP/2019/1).
- 3) Popis vymezení sledovaného pásma (KFNT/SP/2019/1).
- 4) Program monitorování (KFNT/PM/2019/1).
- 5) Postupy optimalizace radiační ochrany (KFNT/PORO/2019/1).
- 6) Analýza a hodnocení radiační mimořádné události (KFNT/AHRMU/2019/1).
- 7) Vnitřní havarijní plán (KFNT/VHP/2019/1).
- 8) Provozní pokyny (KFNT/PP/2019/1).
- 9) Ostatní dokumentace k žádosti ... (KFNT/Ost/2019/1).

¹⁾ Jednotlivé části dokumentace podléhají aktualizaci, v některých případech schvalované SÚJB. Rozhodnutí SÚJB a aktuální znění dokumentů 1) – 9) je k dispozici v tištěné i elektronické podobě (pdf, ≈ 50 MB) u dohlížejší osoby.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Program zajištění radiační ochrany je základní součástí dokumentace. Obsahuje obecný popis všech radiačních činností na KFNT. Jeho hlavními součástmi jsou ¹⁾ :

- popis organizační struktury zajištění radiační ochrany (RO) na KFNT a vymezení odpovědnosti osob, vč. zajištění soustavného a přímého dohledu,
- podrobný popis pracoviště a povolovaných radiačních činností,
- specifikace používaných ZIZ včetně jmenovitého výčtu radionuklidových zářičů (RZ) a maximálních aktivit zpracovávaných na jednom pracovním místě, nákupu RZ, jejich evidence a provádění předepsaných zkoušek,
- vývoj, provozování, údržby aparatur obsahujících RZ, postupy řešení neshod,
- způsoby skladování RZ a nakládání s radioaktivním odpadem,
- rozsah sledování, měření a hodnocení veličin důležitých z hlediska RO, monitorování pracoviště a radiačních pracovníků, evidence osobních dávek,
- zajištění pracovnělékařských služeb,
- postupy řešení RMU,
- systém vzdělávání radiačních pracovníků a ověřování jejich znalostí,
- popis způsobu vedení dokumentace o radiačních činnostech na KFNT a předávání informací SÚJB a systému pravidelných revizí dokumentace,

¹⁾ Některé z nich odkazují na podrobnější popis v dalších součástech dokumentace.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – program monitorování (PM, dokument KFNT/PM/2019) se sestává z popisu

- monitorování *osob* a
- monitorování *pracoviště*.

V PM jsou stanoveny

- monitorované veličiny, monitorovací místa a stanovená měřidla,
- *monitorovací úrovně*, po jejichž překročení je třeba provádět příslušné kroky specifikované rovněž v PM:
 - záznamová – zaznamenávání a uchovávání údaje,
 - vyšetřovací – zjištění příčiny a případná revize pracovních postupů,
 - zásahová – neodkladná nápravná opatření (jde-li navíc o RMU, je další postup určován i Vnitřním havarijním plánem – dokument KFNT/VHP/2019).

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – monitorování osob:

- Všichni radiační pracovníci kategorie A jsou vybaveni osobními dozimetry,
 - filmové dozimetry ¹⁾ umožňující vyhodnocovat prostorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$ a ekvivalentní dávku H_T na kůži,
 - u vybraných pracovníků i prstové dozimetry umožňující vyhodnotit ekvivalentní dávku na ruce.
- Vyhodnocení dozimetrů se provádí autorizovanou osobou (Nuvia, a.s.) s frekvencí vyhodnocení 1 měsíc.
- Měsíční i roční přehledy obdržených dávek zpřístupňuje Nuvia pracovišti držitele povolení, kde jsou uloženy u dohlízející osoby (alespoň 10 let); radiační pracovníci mají právo být informováni o svých obdržených dávkách.
- Pracovníci kategorie B nemusejí (ale mohou) mít osobní dozimetr. Pokud nemají, provádějí se u nich konzervativní horní odhady obdržených dávek, např. na základě typických dat z monitorování pracoviště a doby trvání vykonávaných radiačních činností. Pracují-li pod dohledem jiného pracovníka vybaveného dozimetrem, využije se k hornímu odhadu i údaj dozimetru tohoto pracovníka.

¹⁾ Filmový dozimetr má být nošen na přední straně oděvu v oblasti levé strany hrudníku, otvorem směrem dopředu.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – monitorování *pracoviště*:

- Provádějí se pravidelná měření příkonu efektivní dávky E a plošné kontaminace *stanovenými* měřidly ¹⁾,
- v monitorovacích bodech ²⁾ stanovených v PM (periodicita 1 měsíc na pracovišti pozitronové anihilace, 3 měsíce na pracovišti Mössbauerovy laboratoře – za provádění odpovídají vedoucí oddělení/laboratoří).
- Stanovená měřidla musí být ověřována autorizovanou osobou ³⁾ (ČMI, perioda 2 roky), musí mít rovněž ZPS (zajišťuje držitel povolení, perioda 1 rok).
- Dozimetrická kontrola povrchové kontaminace pracovního místa musí také být provedena a zaznamenána do provozního deníku laboratoře *po každé manipulaci se zářiči* (výměna vzorků apod.).
- Záznamy o monitorování pracoviště jsou držitelem Povolení uchovávány po dobu nejméně 10 roků.

¹⁾ Měřidla stanovenými Úřadem jsou Tema RM 552 GS pro monitorování příkonu efektivní dávky E (citlivost od $\approx 0,05 \mu\text{Sv/h}$) a CoMo170 pro monitorování plošné kontaminace (citlivost od $\approx 0,1 \text{ Bq/cm}^2$ pro 22-Na, 60-Co a 137-Cs).

²⁾ Schematický plán monitorovacích bodů a typické hodnoty dávkového příkonu nebo plošné kontaminace v monitorovacích bodech jsou povinné součástí PM.

³⁾ Na pracovišti musí být vždy alespoň jedno měřidlo s platným ověřením autorizovanou osobou.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – monitorovací úrovně:

Monitorovací úrovně při *osobním monitorování* (ef. dávka E za jeden měsíc (A) nebo 1 rok (B), mSv) ¹⁾ :

kategorie	A	B
záznamová	2,0	1,0
vyšetřovací	6,0	2,0
zásahová	10,0	6,0

Monitorovací úrovně při *monitorování pracoviště* (příkon efektivní dávky E , $\mu\text{Sv/h}$, a plošná kontaminace c , Bq/cm^2):

	E	c v KP	c v SP
záznamová	0,3	0,4	0,1
vyšetřovací	3,0	1,2	0,2
zásahová	10,0	4,0	0,4

Typické hodnoty příkonů efektivní dávky v laboratoři pozitronové anihilace KFNT činí desetiny $\mu\text{Sv/h}$, s výjimkou pozitronového svazku a skladu RZ, kde jsou to jednotky $\mu\text{Sv/h}$. Obdržené roční efektivní dávky radiačních pracovníků KFNT nepřesahují soustavně hodnoty 1 mSv.

¹⁾ Pracovník je povinen neprodleně ohlásit držiteli Povolení, tj. KFNT, veškeré radiační činnosti konané pro externí instituce. Týká se to např. činností v rámci OSVČ a spoluprací KFNT+ÚJV/ÚJF Řež, KFNT+CERN, apod.

Vždy k 31.3. běžného roku má dále pracovník povinnost sdělit KFNT i obdržené dávky za uplynulý kalendářní rok v rámci činností pro externí instituce, protože při posuzování, zda byla/nebyla překročena některá úroveň osobního monitorování, je nutno zahrnovat i takto obdržené dávky.

Překročení *zásahové* úrovně při takových činnostech, např. 6 mSv pracovníkem kategorie B v průběhu roku, je nutno ohlásit KFNT *neprodleně*.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – stanovená měřidla pro monitorování pracoviště

CoMo 170 – přenosný monitor *povrchové kontaminace* (α , β , γ).



- Pro všechny tři druhy záření jediný velkoplošný plastický scintilační detektor (170 cm²) s vrstvou ZnS s integrovaným fotonásobičem; krycí folie (3 μ m Al) plus krycí mřížka – celková průsvitnost 83%.
- Měřené veličiny – cps, Bq/cm², Bq; digitální zobrazení měřených veličin. Kalibrace pro konkrétní radionuklidy.
- Volitelný režim s automatickým odečítáním pozadí.
- Typická radionuklidová účinnost (23 nuklidů): ⁵⁵Fe – 0.8%, ⁵⁷Co – 7.5%, ⁶⁰Co – 23%, ¹³⁷Cs – 35%,
- Pozadí β , γ 15 až 25 cps.
- Volitelné externí detektory (např. pro dávkový příkon).
- Napájení: 2×AA .

<https://www.empos.cz/>

<https://www.empos.cz/attachments/a/a9989fd2c7b8bf9fa1856f5e5e6d45ab.pdf>

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – stanovená měřidla pro monitorování pracoviště

CoMo 170 – přenosný monitor *povrchové kontaminace* (α , β , γ).

Dodavatel měřidla pro KFNT, vč. kalibrace pro vybrané radionuklidy – jaderná elektrárna Dukovany (JEDu)

CoMo 170 – kalibrační faktory JEDu

Radionuklid	Kalibrační faktor [(Bq/cm ²)/cps]	cps pro 0.4 Bq/cm ²
57-Co	0.165(13)	2.4
60-Co	0.02305(25)	17.4
137-Cs	0.01570(26)	25.5

*Reálné hodnoty pozadí na KFNT
(CoMo 170):*

12±3 cps vně KP / SP (@C109);
15±4 cps v L187.

CoMo 170 je stanoveným měřidlem *povrchové kontaminace* na KFNT.

Zákonná povinnost periodického ověřování – autorizovanou osobou (ČMI, Inspektorát ionizujícího záření).

Platnost ověření: dva roky + do konce příslušného kalendářního roku.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – stanovená měřidla pro monitorování pracoviště

TEMA RM 552 GS – přenosný dozimetr (β a γ záření).



- Dva vestavěné detektory (GM pro γ , $E > 50 \text{ keV}$; okénkový GM pro povrchovou kontaminaci β , $E > 160 \text{ keV}$).
- Měření fotonového dávkového ekvivalentu H a příkonu H , měření cps.
- Analogové zobrazení měřené veličiny.
- Signalizace překročení nastavených úrovní.
- Volitelné externí scintilační sondy (např. PGMS 552 pro nepřístupná místa),
- Napájení: vestavěné akumulátory nebo síť.

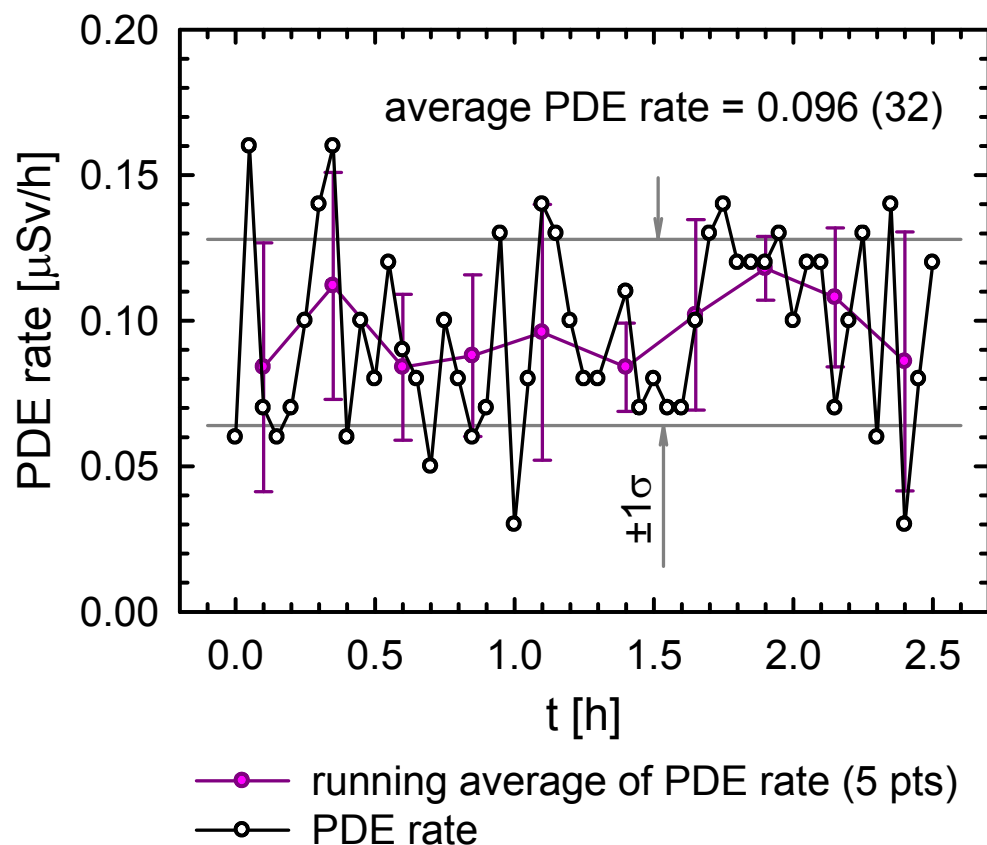
Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Monitorování úrovně radiace na KFNT – stanovená měřidla pro monitorování pracoviště

TEMA RM 552 GS – přenosný dozimetr (β a γ záření).

Tema RM 552 GS

drift of photon dose equivalent (PDE) rate
(background, C109, 19.07.2022)



TEMA RM 552 GS je stanoveným měřidlem *dávek a dávkových příkonů* na KFNT.

Zákonná povinnost periodického ověřování ... – stejné jako pro CoMo 170.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Zvládání radiační mimořádné události na KFNT

- Obecné kroky ke zvládání radiační mimořádné události (RMU) zahrnují ¹⁾ :
 - analýzu a hodnocení RMU připadajících v úvahu a jejich možných dopadů,
 - připravenost k odezvě na RMU,
 - odezvu na RMU,
 - nápravu stavu po RMU.
- Konkrétní postupy zvládání RMU pro jednotlivé radiační činnosti na KFNT jsou obsaženy v *Zásahových instrukcích* (ZI), které
 - jsou součástí VHP jako příloha a
 - pro každý typ experimentů jsou ZI vyvěšeny laboratořích KP a SP.

Vzhledem k charakteru radiačních činností provozovaných na KFNT a velikosti zpracovávaných aktivit mohou všechny RMU uvažované v dokumentu AHRMU být klasifikovány jako události nejvýše 2. stupně.

¹⁾ Relevantní dokumenty :

- Analýza a hodnocení radiační mimořádné události (AHRMU, dokument KFNT/AHRMU/2019/1).
- Vnitřní havarijní plán (VHP, dokument KFNT/VHP/2019/1).

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Zvládání radiační mimořádné události na KFNT

Výčet RMU připadající v úvahu na KFNT ¹⁾:

- požár na pracovišti,
- ztráta kontroly nad ZIZ, zneužití neoprávněnou osobou,
- zvýšený příkon dávkového ekvivalentu na pracovišti,
- zvýšená povrchová kontaminace na pracovišti,
- fyzická ztráta/nález ZIZ,
- vodní škodní událost.

¹⁾ Podle dokumentu “Analýza a hodnocení RMU” .

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Zvládání radiační mimořádné události na KFNT

Prioritní kroky po vzniku RMU: ¹⁾

- Neprodleně informovat vedoucího oddělení/laboratoře, který s dohlížejícím pracovníkem stanoví a řídí další postup.
- Došlo-li ke kontaminaci osob, provést jejich dekontaminaci (dekontaminační prostředky se nacházejí v hyg. smyčce L170).
- Došlo-li ke kontaminaci předmětů nebo pracovního místa, provést jejich dekontaminaci. Není-li účinná, označit kontaminované místo a kontaminované předměty uložit do radioaktivního odpadu (sklad L194).
- Vše dokumentovat a protokol o průběhu likvidace RMU zaslat ve stanovené lhůtě SÚJB.

¹⁾ Podrobnosti – viz ZI.

Součástí plánu experimentů, za který zodpovídá vedoucí oddělení/laboratoře, musí být i konkrétní kroky likvidace myslitelných RMU. Součástí přípravy na experiment je i nácvik zvládání RMU.

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Doporučení k omezení ozáření a kontaminace radionuklidy na pracovišti:

- Ochrana před ozářením *vzdáleností*: nebrat RZ do ruky, používat distanční držáky (alespoň pinzety).
- Ochrana před ozářením *stíněním*: Pb cihly, plechy, W, Fe, Cu,
- Ochrana před zářením *časem*: předejít zbytečným prostojeům.
- Používat osobní ochranné pomůcky (plášť, obuv, rukavice, štít, ...).
- Víčka kontejnerů s RZ zajistit proti uvolnění (při transportu a pod.) např. přelepením izolepou.
- Bariéry proti šíření radionuklidů (práce v digestoři s odtahem, boxu, zatavení RZ do PE obalů). Byla-li použity odtahy z digestoří, zkontrolovat filtry (i na střeše budovy L.,
- Po manipulaci s RZ prověřit kontaminaci rukou a oděvu a i v „negativním“ případě si umýt ruce.
- Po každé přípravě nových ORZ zaznamenávat bilanci spotřeby zásobních aktivit.
- Nejíst, nepít, nekouřit v kontrolovaném a ani sledovaném pásmu.
- Nepracovat o samotě.
- Používat vždy *osobní dozimetr* (ale neuchovávat dozimetry v místnostech, kde jsou zářiče !).

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Doporučení k omezení ozáření a kontaminace radionuklidy na pracovišti:

Stínicí materiály vhodné pro různé druhy záření

<i>Druh záření</i>	<i>Materiál</i>
Záření γ	Materiály s vyšším at. číslem Z (Pb, W, ochuzený U, Fe, ...).
Elektrony	Materiály s nižším Z (polystyren, plexisklo – materiály s vyšším Z nevhodné kvůli možné produkci brzdného záření); dvouvrstvové stínění: vnitřní vrstva (nižší Z) pro zabrzdnění elektronů, vnější vrstva (vyšší Z) pro zeslabení brzdného záření.
Pozitrony	Materiál s vysokým Z (absorbce anihilačních fotonů 511 keV – dvouvrstvové stínění není obvykle nezbytné).
Nabitě částice	Materiály s vysokou hustotou, aby maximalizovaly měrné ionizační ztráty dE/dx .
Neutrony	Materiály s vysokým obsahem vodíku (zpomalování neutronů), obvykle následované stíněním s vysokým Z (absorbce fotonů vznikajících při zachytu neutronů).

Jednotlivé radiační činnosti na KFNT

Doporučení k omezení ozáření a kontaminace radionuklidy na pracovišti:

Příklady účinku stínění a vzdálenosti pro snížení ozáření:

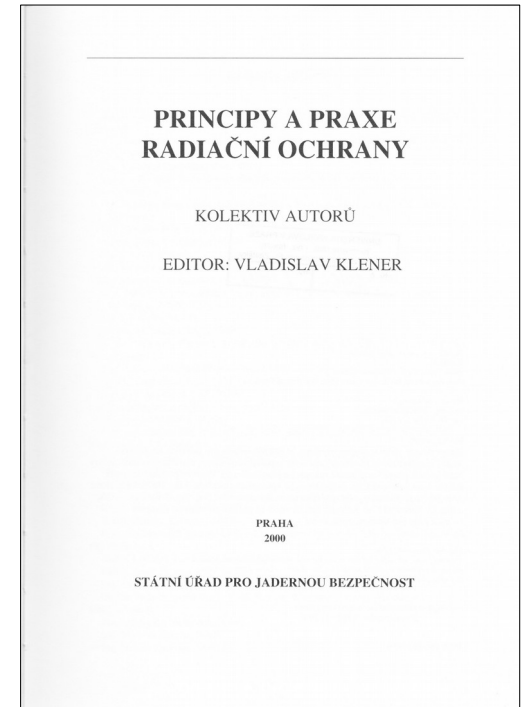
- γ 22-Na, 1 MBq, vzdálenost: 100 cm, 50 cm, 15 cm
příkon ¹⁾, $\mu\text{Sv/h}$: 0,28 1,1 12
- γ 22-Na, 37 MBq, vzdál. 100 cm,
stínění Pb: 0 mm, 2 mm, 5 cm
příkon ¹⁾, $\mu\text{Sv/h}$: 10 8,3 0,44
- γ 57-Co, 1850 MBq, vzdál. 5 cm,
stínění Pb: 0 mm, 2 mm, 5 mm
příkon ¹⁾, $\mu\text{Sv/h}$: 9800 21 0,012

¹⁾ Příkon směrového dávkového ekvivalentu počítaný podle „Radiation protection calculator“, <http://www.radprocalculator.com/Gamma.aspx> .

Každé zbytečné profesní ozáření je škodlivé.

Doporučená literatura

- Kolektiv autorů. Editor Vladislav Klener: *Principy a praxe radiační ochrany*. Vydal Azin pro Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha (2000), 620 stran.



- Kolektiv: J. Halaška, J. Kubeš, L. Navrátil, V. Navrátil, J. Sabol, (FBMI ČVUT), Z. Freitinger Skalická, R. Havránková, L. Sirový, F. Zölzer (ZSF JU): *Radiobiologie*. fbmi.sirdik.org/ .
- Vojtěch Ulman (FN Ostrava): *Radiobiologie, radiační ochrana*. astronuklfyzika.cz/strana2.htm .
- Zákon a Vyhlášky citované v této prezentaci a dokumentace k žádosti o povolení (snímek #60).



Konec

Test znalostí bezpečné práce se zdroji ionizujícího záření (2026/03)

1. Makroskopickou mírou biologického účinku ionizujícího záření na živou hmotu je veličina (podtrhněte její jednotku SI):
☐ absorbovaná dávka, ☐ aktivita zářiče, ☐ ekvivalentní dávka. Jednotky: Sv , Gy , Bq .
2. Biologický účinek ionizujícího záření závisí
☐ pouze na energii emitovaného záření,
☐ pouze na aktivitě zářiče a délce ozáření,
☐ pouze na druhu záření a energii emitovaného záření,
☐ na druhu záření a celkové energii deponované v tkáních.
3. Závažnost biologického účinku ozáření (Q-faktor) stoupá podle druhu částic následovně:
☐ částice β , částice α , protony, fotony, ☐ fotony a částice β , částice α , protony,
☐ fotony a částice β , protony, částice α .
4. Likvidace radioaktivního odpadu se provádí prostřednictvím
☐ služeb svozu komunálního odpadu v místě držitele Povolení,
☐ služeb svozu nebezpečného odpadu v místě držitele Povolení,
☐ autorizované osoby s licencí pro likvidaci radioaktivního odpadu do úložiště.
5. Limity ozáření radiačních pracovníků činí pro součet efektivních dávek zevního a úvazků efektivních dávek vnitřního ozáření (pokud nepovolil SÚJB výjimku)
☐ 50 mSv/rok, ☐ 20 mSv/rok, ☐ 10 mSv/rok, ☐ 1 mSv/rok, ☐ 0,1 mSv/rok.
6. Periodicita lékařských prohlídek radiačních pracovníků kategorie A činí
☐ 1 rok, ☐ 2 roky, ☐ 2.5 roku.

Test znalostí bezpečné práce se zdroji ionizujícího záření (2026/03)

7. a) Kontrolované pásmo musí být vymezeno všude, kde lze očekávat překročení roční efektivní dávky
☐ 1 mSv, ☐ 3 mSv, ☐ 6 mSv. b) Sledované pásmo musí být vymezeno všude tam, kde lze očekávat roční efektivní dávku v mezích ☐ 1 až 6 mSv, ☐ 0,1 až 6 mSv.
8. a) Zásahová monitorovací úroveň plošné kontaminace β , γ v kontrolovaném pásmu činí
☐ 0,4 Bq/cm², ☐ 4 Bq/cm². b) Zásahová monitorovací úroveň plošné kontaminace β , γ ve sledovaném pásmu činí ☐ 0,4 Bq/cm², ☐ 4 Bq/cm².
9. Pro posouzení úrovně ozáření radiačního pracovníka z hlediska nepřekročení limitů se dávky obdržené při radiačních činnostech konaných pracovníkem pro různé instituce ☐ uvažují odděleně, ☐ sčítají.
10. Která 3 opatření přispějí ke snížení vnějšího ozáření při manipulaci se zdroji ionizujícího záření:
☐ používání osobních dozimetrů,
☐ vzdálenost pracovníka od zářiče,
☐ používání pracovního pláště a rukavic,
☐ používání distančních manipulátorů, pinzety apod.,
☐ stínění Pb mezi pracovníkem od zářičem.

Test vypracoval (datum, jméno a podpis):

Výsledek testu (vyhověl / nevyhověl)
Test hodnotil (datum, jméno a podpis):

I. Procházka