

# Ochrana před škodlivými účinky radioaktivního záření

## Samostatná práce



Tento článek je editován studenty 2. LF UK v rámci plnění jejich studijních povinností (seminární práce – vypracování zkouškových otázek z biofyziky). Ostatní uživatele prosíme, nezasahujte výrazněji do jeho tvorby až do doby, než bude práce odevzdána (s výjimkou malých editací – opravy překlepů, pomoci s formátováním apod.). Máte-li nějaké náměty či připomínky, uveďte je prosím v diskusi ([https://www.wikiskripta.eu/w/Diskuse:Ochrana\\_p%C5%99ed\\_%C5%A1kodliv%C3%BDmi\\_%C3%BA%C4%8Dinky\\_radioaktivn%C3%ADho\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Diskuse:Ochrana_p%C5%99ed_%C5%A1kodliv%C3%BDmi_%C3%BA%C4%8Dinky_radioaktivn%C3%ADho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD)). V případě potřeby kontaktujte autory stránky – naleznete je v historii ([https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Ochrana\\_p%C5%99ed\\_%C5%A1kodliv%C3%BDmi\\_%C3%BA%C4%8Dinky\\_radioaktivn%C3%ADho\\_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD&action=history](https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Ochrana_p%C5%99ed_%C5%A1kodliv%C3%BDmi_%C3%BA%C4%8Dinky_radioaktivn%C3%ADho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD&action=history)).

Stránka byla naposledy aktualizována v úterý 18. 4. 2023 v 19.08.

## Článek ke kontrole



Žádá se kontrola tohoto článku učitelem.

Navržený učitel: Jan Tomsa

## Zdroje lékařského ionizujícího záření<sup>[1]</sup>

### Ionizující záření vzniká při vyšetření:

- skiografie
- skiaskopie
- angiografie
- CT;
- všechny radionuklidové metody (PET, scintigrafie);
- terapie radionuklidy a zářením (brachyterapie, teleterapie)

### Ionizující záření nevzniká při:

- ultrasonografii;
- magnetické rezonanci

## Škodlivé účinky radioaktivního záření

Jedním z druhů ionizujícího záření je záření radioaktivní. Energie jeho kvant je tedy natolik vysoká, že při průchodu látkou nastávají mimo tepelných účinků také tyto jevy:

- radioaktivní záření způsobí ionizaci atomu nebo molekuly (vznik reaktivního iontu)
- radioaktivní záření způsobí excitaci jádra zasaženého atomu

V lidském organismu se tyto změny projeví ztrátou specifických vlastností zasažených molekul. Na mikroskopické úrovni dojde k porušení důležitých biochemických procesů uvnitř buněk, např. proteosyntézy nebo fosforylace. Takto poškozené buňky zanikají, případně dochází k mutaci jejich DNA. Makroskopicky se změny projeví porušením tkáně a funkce orgánů. To nakonec vede ke vzniku nemoci z ozáření. <sup>[2]</sup>

Účinky ionizujícího záření dělíme na stochastické a deterministické. Stochastické účinky jsou pozdní a náhodné. Jejich příčinou jsou genetické mutace v jedné nebo více buňkách organismu. S rostoucí dávkou záření roste pravděpodobnost výskytu poruch, ne však jejich závažnost. Deterministické účinky jsou naproti tomu nenáhodné a jejich závažnost roste po překročení určité prahové hodnoty lineárně s dávkou záření. Mezi deterministické účinky řadíme např. akutní nemoc z ozáření, poškození plodu v děloze matky (teratogenní účinek), radiodermatitidu a nenádorová pozdní poškození.

## Základní cíl ochrany, základní legislativa, Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Nejobecnější pravidla pro práci se zdroji ionizujícího záření, hlavní cíle ochrany před účinky ionizujícího záření apod. vymezuje v ČR tzv. „Atomový zákon“ (<https://www.sujb.cz/legislativa/zakony/>), tj. Zákon č. 18/1997 o mírovém využití jaderné energie, spolu s dalšími vyhláškami vydanými Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB),

především Vyhláškou č. 307/2002 o radiační ochraně. SÚJB je orgánem státní správy, který vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany.

Dle „Atomového zákona“ je **hlavním cílem ochrany před účinky ionizujícího záření vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a účinky stochastické omezit na minimum.**

## Základní principy a způsoby ochrany

Základní principy ochrany jsou dané legislativním rámcem. Jedná se o obecné principy, které se týkají celkové ochrany obyvatelstva a obecného využívání zdrojů ionizačního záření (Princip zdůvodnění a Princip optimalizace ochrany), ale také o principy ochrany jednotlivců pracujících v bezprostřední blízkosti zdroje radiačního záření - **Princip aplikace dávkových limitů**. Tyto limity jsou doporučené Evropskou komisí. Celková dávka konkrétnímu jednotlivci z kontrolovaných zdrojů (v plánovaných expozicích) s výjimkou lékařské expozice pacientů by neměla překročit zákonem dané limity. Nynější hodnota ročního limitu **pro pracovníky v radiačně zatížených provozech činní max. 50 mSv, pětiletý limit je 100 mSv** (průměrně tedy 20 mSv ročně). Tyto hodnoty jsou určeny pro omezení závažných stochastických účinků. Pro deterministické účinky jsou stanoveny podle druhu tkáně, resp. prahové hodnoty, např. dávkový ekvivalent pro oční čočku v případě profesionální expozice nesmí přesáhnout 150 mSv, pro veřejnost je limitem 50 mSv.

Splnění limitů je ověřováno kontrolami a systémem monitorování pracovišť i osobního monitorování pracovníků. Dávka absorbovaná organismem (D) se měří pomocí dozimetru a používají se jednotky *gray* [Gy].  $1 \text{ gray} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .<sup>[3]</sup> Také se používá jednotka *sievert* pro měření dávkového ekvivalentu (H).  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , dávkový ekvivalent se však liší od absorbované dávky tím, že záleží na kvalitě určitého záření. Kvalita záření je popsána jakostním činitelem (Q) podle biologických účinků na organismus, jakostní činitel nemá jednotky. Platí tedy vzorec:

$$H = D \cdot Q$$

Ochrana před nebezpečím radioaktivního záření se může uskutečnit několika **způsoby uvedenými dále a jejich kombinací**. Cílem ochrany je snížení absorbovaného záření na minimální možnou mez. Základní způsoby ochrany dělíme na ochranu před vnějším ozářením a ochranu před vnitřní a povrchovou kontaminací:

### Ochrana časem

Ochrana časem spočívá ve zkrácení doby, po kterou je člověk vystaven radioaktivnímu záření. Absorbovaná dávka záření je přímo úměrná době expozice. Příkladem ochrany časem může být časté střídání zaměstnanců, dodržování stanovené pracovní doby v pracovišti se zdrojem radioaktivního záření, optimalizace času strávená s pacientem, v jehož těle je radiofarmakum. Zkrácení doby strávené v blízkosti zdroje ionizujícího záření je možná také důslednou přípravou případně předchozím nácvikem činností na neaktivním vzorku.

### Ochrana stíněním

Pro ochranu stíněním se použije překážka z určitého materiálu umístěná mezi zdroj záření a místo výskytu ochraňovaných osob. Například jaderný reaktor je ohraničen speciálním betonovým pláštěm, který pohlcuje a zeslabuje radioaktivní záření. Šance, že určitá částice ionizujícího záření pronikne až za bariéru, bude jistě nižší, jednak když tloušťka stínicí vrstvy bude větší nebo bude-li stínicí vrstva tvořena materiálem o vyšší hustotě částic. Je možné odvodit závislost počtu částic ( $N(x) - B$ ) ionizujícího záření (tj. po odečtení přírodního pozadí  $B$ ), které projdou vrstvou dobře definovaného stínicího materiálu tloušťky  $x$ , na této tloušťce:  $N(x) - B = A / (e^C)^x$ , kde  $A$  je konstanta úměrná aktivitě zdroje záření a  $C$  je lineární součinitel zeslabení. Koeficient  $C$  závisí na hustotě překážky, protonovém čísle materiálu a energii ionizujícího záření. **Pokles této funkce je exponenciální.**

- **Záření gama** nejlépe odstíní materiály s velkou hustotou, např. olovo, případně těž beton. Olověné zástěny, olověné obložení se často používá v lékařství. V olověných obalech se přechovávají zářiče.
- **Záření beta** lze snadno odstínit lehkými materiály (plasty, např. plexisklem tloušťky cca 5–10 mm).
- **Záření alfa** lze odstínit ještě snadněji – stačí k tomu vrstva papíru, plastu apod. tenká cca 1 mm. Někdy není třeba záření alfa vůbec stínit, protože ve vzduchu je dolet částic alfa jen několik centimetrů, při vyšších energiích max. desítky centimetrů.

### Ochrana vzdáleností

Při ochraně vzdáleností je uplatňován princip snižování fluence ( $\Phi$ ), a následkem toho i dávky záření absorbované organismem, se zvyšující se vzdáleností od zářiče. Fluence se vyjadřuje jako podíl počtu částic (dN), které dopadly za 1 sekundu na určitou plochu (dS), postavenou kolmo ke směru šíření. Její jednotkou je tak  $\text{m}^{-2}$ . Fluence je pak nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti (r) daného objektu od zdroje záření (vyplývá ze sférické plochy, nejlépe platí pro bodový zdroj). Zvýšíme-li tedy vzdálenost mezi námi a zářičem, snížíme tak počet částic, které naším tělem projdou. V praxi se pak používají delší nástroje na manipulaci se zářiči a co nejméně se přibližujeme k pacientům, na které byly použity radioaktivní látky.



Popáleniny nohou účinkem radioaktivního záření. Hiroshima.

$$\phi = dN/dS$$

## Ochrana před povrchovou a vnitřní kontaminací

Zde se uplatňuje snaha omezovat rozptýl radioaktivního materiálu. Při plnění požadovaných úkonů je potřeba pracovat s co nejmenší aktivitou radioaktivní látky. Celkově je třeba dodržovat předepsaný režim práce, hygienické předpisy pracoviště, používat ochranné prostředky, nejíst a nepít v zakázaných prostorech apod.

## Ochrana pacientů

Jak je výše uvedeno, ochrana lidí pracujících v blízkosti zdrojů ionizujícího záření je stanovena zákonnými limity. To se však nevztahuje na lékařské expozice pacientů. Lékařské ozáření, ať diagnostické nebo terapeutické, nepodléhá žádným zákonným limitům. **Rozsah vyšetření ani terapie není zákonně omezen.** Radiační ochrana pacientů je zakotvena ve Vyhlášce 307/2002 stanovením požadavku na zdůvodnění převažujícího přínosu pro pacienta, důrazem na vedení přesných záznamů o lékařském ozáření konkrétní osoby a požadavkem na zpracování písemných standardů léčby. Tato vyhláška také stanoví diagnostické referenční úrovně pro jednotlivá vyšetření (pacient 70 kg) viz tabulka č.1, ty však nemusí být dodrženy. Pro srovnání terapeutické lékařské ozáření dosahuje běžně např. při kurativní léčbě (primární volba léčby nádoru) zevní radioterapií maximální dávky záření 60 - 80 Gy. Maximální dávka je samozřejmě frakcionalizovaná obvykle 1,8 - 2 Gy denně, 5 dní v týdnu, po dobu 6 - 8 týdnů.

**Tabulka č. 1: Klasifikace typických efektivních dávek ionizujícího záření pro běžná zobrazovací vyšetření**

Třída	Typická efektivní dávka [mSv]	Příklady
0	0	US, MRI
I	<1	rtg snímky končetin, hrudníku, pánve
II	1-5	IVU, rtg vyšetření bederní páteře, NM vyšetření (např. scintigram skeletu), CT hlavy a krku
III	5-10	CT hrudníku a břicha, NM (např. srdce)
IV	>10	<b>některá NM vyšetření (např. PET)</b>

Pozn.: více viz portál Radiodiagnostika

## Odkazy

### Související články

- Radioaktivita

### Reference

- Ochrana před ionizujícím zářením
- NAVRÁTIL, L. a J. ROSINA. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. 2005. s. 371-372. ISBN 80-247-1152-4.
- TARÁBEK, Ing P. a Mgr. Petra ČERVINKOVÁ. *Odmaturuj z fyziky*. 2. vydání. 2006. s. 197. ISBN 80-7358-058-6.

<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>

### Použitá literatura

- Navrátil L. et al. *Medicínská biofyzika*, Grada Praha 2005
- Vojtěch Ullmann, *Jaderná a radiační fyzika* <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>
- Hála Jiří, *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*, Konvoj 1998, ISBN 80-856-1556-8
- Lucie Koláčná, Ph.D. RNDr. Ferdinand Varga, Ph.D. RNDr. Petr Heřman, prezentace na téma radioaktivita: <http://slideplayer.cz/slide/3038595/>
- Vyhláška č. 307/2002, o radiační ochraně
- Hynková L., Doleželová H., Šlampa P., *Radioterapie - učební texty*, <http://www.mou.cz/radioterapie-ucebni->



Jaderný reaktor na půdě univerzity McMaster. Kanada.

