

# **RADIAČNÍ OCHRANA PŘI ZUBNÍCH RADIODIAGNOSTICKÝCH VYŠETŘENÍCH**

*Ing. Otto Kodl*

Autoři            Ing. Otto Kodl, MUDr. A. Heribanová, MUDr. František Urban, CSc.

Název            RADIAČNÍ OCHRANA PŘI ZUBNÍCH RADIODIAGNOSTICKÝCH VYŠETŘENÍCH

Vydavatel        Česká stomatologická komora

Vydání           druhé přepracované, 1999

Redakce a sazba MUDr. Miroslav Paichl

ISBN

## Předmluva

Předložené texty mají posloužit jako studijní materiál pro přípravu lékařů - stomatologů na odborné zkoušky znalostí o ochraně zdraví před ionizujícím zářením a dále má sloužit k lepší orientaci těch, kteří zubní rentgen již používají nebo jeho používání plánují. Text je zpracován na základě současně platných právních předpisů a odborných poznatků. Přes značnou podrobnost nenahrazuje úplné a přesné znění příslušných legislativních ustanovení, ze kterých vychází a na která se v odkazech odvolává. Užívání zdrojů ionizujícího záření je upraveno **zákonem č. 18/1997 Sb.**, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a na něj navazujícími vyhláškami Státního úřadu pro jadernou bezpečnost **vyhláškou č. 184/1997 Sb.**, o požadavcích na zajištění radiační ochrany, **vyhláškou č. 146/1997 Sb.**, kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků, **vyhláškou č. 214/1997 Sb.**, o zabezpečení jakosti při činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a činnostech vedoucích k ozáření a o stanovení kritérií pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd

Ke každé kapitole textu jsou vypracovány otázky, na základě kterých mají být ověřeny znalosti obsažené v jednotlivých kapitolách. Z těchto otázek jsou vytvořeny dva soubory otázek, které jsou pak určeny ke zkouškám zvláštní odborné způsobilosti vybraných pracovníků - stomatologů, zřizujících si soukromé praxe s využíváním rentgenového zařízení.

Ing. Otto Kodl

## Poznámka vydavatele

Po jednáních na Státním úřadu pro jadernou bezpečnost, kdy vydavatel doporučoval snížit požadavky na ověřovaný rozsah znalostí při zkoušce zvláštní odborné způsobilosti a zjednodušit administrativu spojenou s radiodiagnostickým vyšetřováním, zdůraznil autor části textu které obsahují informace zvláště důležité. Tento text je označen vlevo čarou, stejně jako tento odstavec.

## Obsah

POŽADOVANÝ ROZSAH ZNALOSTÍ JE SHRNUT DO NÁSLEDUJÍCÍCH  
KAPITOL

- Kapitola 1** Úvod do ochrany zdraví před ionizujícím zářením
- Kapitola 2** Fyzikální základy ionizujícího záření
- Kapitola 3** Veličiny a jednotky v ochraně před zářením
- Kapitola 4** Stručný přehled biologických účinků záření  
MUDr. A. Heribanová
- Kapitola 5** Základní principy ochrany před zářením
- Kapitola 6** Ochrana pacientů při radiodiagnostických výkonech
- Kapitola 7** Zobrazovací proces
- Kapitola 8** Ochrana pracovníků při radiodiagnostických výkonech
- Kapitola 9** Monitorování ionizujícího záření
- Kapitola 10** Základní podmínky bezpečného provozu pracovišť se zdroji ionizujícího záření  
  
Používání zdrojů ionizujícího záření  
  
Používání zdrojů ionizujícího záření při zubní radiodiagnostice
- Kapitola 11** Ochrana před ionizujícím zářením při rtg vyšetření ve stomatologii  
MUDr. František Urban
- Otázky ke zkouškám zvláštní odborné způsobilosti**  
zpracované Státním ústavem radiační ochrany na základě podkladů  
(Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Praha)
- Otázky k jednotlivým kapitolám určené pro ověření znalostí**

## Kapitola 1

### ÚVOD DO OCHRANY ZDRAVÍ PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

Pod pojmem ionizující záření rozumíme takové druhy záření (korpuskulární a fotonové), které mají schopnost při průchodu hmotou vytvářet z původně elektricky neutrálních atomů odtržením elektronu z elektronového obalu atomu nebo molekuly, kladné a záporné ionty. Takto vytvořené iontové páry mohou v důsledku jiných biologických, chemických i fyzikálních dějů destruktivně působit na molekulární změny a u živého organismu způsobit zdravotní poškození. Zjištění, že expozice ionizujícímu záření vede k bezprostřednímu poškození, bylo podnětem k rozvoji činností, které dnes shrnujeme do rámce radiální ochrany.

Prvním dokumentovaným případem poškození byly kožní změny pozorované Grubbem v Chicagu v lednu 1896. Grubbe, který vyráběl Cookesovy trubice, zjistil na hřbetu své ruky kožní změny, které později přešly přes stadium puchýřů a vředů v jizvu. V roce 1904 umírá asistent Thomase A. Edisona pan Charles M. Dally na rakovinu, která je připisována radiaci. Od té doby byla posuzována řada lokálních a celkových projevů poškození z profesionální expozice nebo léčebného použití ionizujícího záření. Tradičně citované jsou - výskyt kostních sarkomů u skupiny pracovníků používajících k výrobě svítících ciferníků hodinek a leteckých přístrojů barvu s  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$ , případy plicní rakoviny horníků jáchymovských a schneberských dolů. Bezprostřední zdravotní poškození jsou posuzována zejména po nehodách se zdroji ionizujícího záření spojených s nadměrným ozářením lidí. V paměti je ještě stále katastrofa v Černobyli v roce 1986, kde akutní nemocí z ozáření bylo postiženo více než 200 osob, havarijní ozáření a kontaminace osob  $^{137}\text{Cs}$  v roce v brazilské Goianii nebo radiální nehoda při léčebném ozařování na lineárním urychlovači ve španělské Saragose v roce 1989. I v Československu došlo v průběhu let k několika závažným haváriím spojených s akutním lokálním poškozením u postižených osob. Společným rysem všech těchto případů zdravotního poškození byla vysoká úroveň ozáření osob zapříčiněná nevyhovující ochranou před ionizujícím zářením nebo jejím hrubým porušením.

V souvislosti s postupným zvyšováním úrovně radiální ochrany a v důsledku hromadného využívání zdrojů ionizujícího záření v různých oborech lidské činnosti, soustředila se pozornost k otázce, zda i nízké dávky ionizujícího záření mohou vést ke zvýšenému výskytu biologického poškození u skupin ozářených osob. Vzhledem k charakteru a frekvenci projevů poškození bylo třeba organizovat skupinová šetření a aplikovat statistické přístupy. Výsledky těchto studií nebyly vždy jednoznačné (např. pokud šlo o sledování změn periferního krevního obrazu u dlouhodobě exponovaných osob, nevyplýval z publikovaných pozorování jednotný závěr). Proto je třeba tyto srovnávací populační studie organizovat a vyhodnocovat velmi náročnými metodami současné epidemiologie. Jedním ze základních požadavků takovýchto šetření je jejich dlouhodobost, to je sledování exponovaných osob od doby jejich ozáření až do konce života. Jednu z nejvýznamnějších studií se podařilo zorganizovat v Japonsku, kde významná instituce Atomic Bomb Causality Commission, později pod názvem Radiation Effects Research Foundation, od roku 1950 zkoumá účinky ozáření u populačních skupin obyvatelstva v Hirošimě a Nagasaki po zasažení obou měst atomovou zbraní.

Humánní studie, které jsou nejcennějším zdrojem informací, nepokrývají celou šíři údajů potřebných k odvození hygienických doporučení a standardů. Doplňujícím zdrojem informací jsou výsledky radiobiologických a radiotoxikologických experimentů. Experimentální poznatky jsou zvláště důležité pro posuzování genetických účinků záření na člověka, protože z žádných humánních studií nelze odvodit přímý důkaz o takovém účinku a jeho závislosti na dávce.

K nejvýznamnějším studiím bezpochyby patří průkaz vlivu rentgenového záření na genové mutace u drosophil od amerického genetika H. J. Mullera nebo převratné výzkumy v oblasti molekulární a virové genetiky např. Rouse a Mc. Clintockové, které otvírají zcela nové pohledy na genetické účinky záření. Takto získané biologické informace jsou významné pro stanovení současných kritérií a přístupů zaváděných v ochraně zdraví před ionizujícím zářením. Souhrn základních doporučení a nových koncepcí se

nalézá v doporučení ICRP č. 60 z roku 1990. Tato nová doporučení mezinárodní komise pro radiační ochranu jsou postupně zaváděna do národních legislativních předpisů.

## Přehled zdrojů ozáření člověka

Schematicky můžeme rozdělit jednotlivé zdroje na zdroje přírodní a zdroje umělé. Podle údajů z UNSCEAR 1995 se přírodní zdroje podílí na ozáření 83,0% a zdroje umělé 17,13%, zdravotnictví je v této složce zastoupeno 16,0%. Přehled zdrojů ozáření populace s vyznačeným procentuálním podílem jednotlivých složek je uveden v následující tabulce:

Přírodní zdroje:	83,0%	Umělé zdroje:	17,1%
Radon	58,0%	lékařská expozice	16,0%
zemské ozáření	10,6%	různé	0,5%
vnitřní ozáření	5,4%	profesionál. ozáření	0,3%
kosmické záření	9,0%	jaderná energetika	0,2%

Jak vyplývá z výše uvedeného, je průměrné ozáření z přírodních zdrojů s celkovou hodnotou 3,58 mSv ročně, nejvyšším příspěvkem k ozáření průměrného obyvatele ze všech zdrojů. Rozhodující podíl na něm má vdechování dceřiných produktů radonu. V podstatě jde o **vnitřní ozáření**, na kterém se ještě svými 5,4%, (0,23 mSv za rok) podílí radioaktivní draslík  $^{40}\text{K}$ , který je obsažen ve tkáních těla a potravou přijímané členy rozpadové řady  $^{238}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  a  $^{210}\text{Po}$ ).

Pro svou závažnost příspěvku k ozáření jsou radon a jeho dceřiné produkty z této skupiny vyčleněny a uvedeny zvlášť. Radon vzniká přírodní radioaktivní přeměnou radia ( $^{226}\text{Ra}$ ) jako jeden z prvků uran-radiové řady. S poločasem přeměny 3,8 dne přechází radon v krátkodobé dceřiné produkty - alfa zářiče (RaA, RaC) a zářiče beta (RaB, RaC), jejichž poločas přeměny dosahuje maximálně několik minut. Jako plyn proniká radon z pevných přírodních materiálů do ovzduší a působí spolu se svými dceřinými produkty, zejména alfa zářiči, na výstelku dýchacích cest. Odtud dřívější častý výskyt bronchogenního karcinomu u horníků v uranových i jiných rudných dolech. Radon v uzavřených prostorech, kam proniká z povrchů stěn nebo podlaží, dosahuje mnohonásobně vyšší koncentrace než ve volné atmosféře. Ta je závislá především na obsahu přírodních radionuklidů uran-radiové řady v hornině nebo v použitých stavebních materiálech, ale také na intenzitě větrání. Expozice obyvatelstva radonu a jeho dceřiným produktům se stala v posledních letech ústředním a jedním z nejvíce diskutovaných témat ochrany před zářeními. Na základě dlouhodobého výzkumu a prováděných měření dochází celosvětově k omezování koncentrace radonu v budovách, dolech, a tím i k částečné regulaci ozáření z přírodního pozadí.

Další složkou přírodního pozadí je gama **záření zemské** (terestrální). K dávce zevního gama záření člověku přispívají přírodní radionuklidy obsažené v půdě, horninách a přízemních vrstvách atmosféry. Největší měrou se podílejí přírodní radioaktivní prvky, pocházející z uran-radiové a thoriové rozpadové řady a radioaktivní draslík ( $^{40}\text{K}$ ). Jejich rozdílný příspěvek závisí na geologickém prostředí, v němž se člověk pohybuje. I když dávka z vnějšího ozáření přírodními gama zářiči kolísá v rozmezí několika řádů podle geologických struktur jednotlivých oblastí a i jako střední dávka je vykazována v různých zemích světa s rozdílem až jednoho řádu, byla za efektivní dávkový ekvivalent ze zevního ozáření pro obyvatele Země odvozena hodnota 0,46 mSv za rok.

Jednou ze složek přírodního záření je **kosmické záření**. Bývá děleno na složku solární, která je produkována při slunečních erupcích jako tok protonů, případně elektronů, a menší složkou galaktickou, kterou tvoří těžké nabitě částice. Nabitě částice mají vysokou až velmi vysokou energii, takže po dopadu do atmosféry dochází k složitým interakcím tohoto primárního kosmického záření s jádry atomů ovzduší za vzniku sekundárního kosmického záření. Vznikají fotony brzděného záření o vysoké energii a prakticky všechny známé elementární částice. Navíc dochází v malém rozsahu i k jaderným reakcím za vzniku kosmogenních radionuklidů (tritium, radioaktivní uhlík aj.). Na povrchu Země se uplatňuje prakticky jen sekundární složka. Příkon dávky kosmického záření na povrchu Země je závislý významně na nadmořské výšce, neboť se stoupající výškou stoupá nelineárně asi do vzdálenosti 20 km, ale také, byť

velmi málo, na zeměpisné šířce. Zemské magnetické pole působí totiž na dráhu nabitých částic tak, že v rozmezí 30° - 60° jižní a severní šířky je intenzita záření asi o 10% vyšší než na rovníku a magnetických pólech. Bez ohledu na všechny rozdílnosti a nepravidelnosti je za průměrné roční ozáření obyvatele Země z kosmického záření uváděn roční efektivní dávkový ekvivalent 0,39 mSv.

Ze všech **uměle vytvořených** zdrojů ionizujícího záření přispívá nejvíce k zátěži obyvatelstva ozáření osob vyšetřovaných nebo léčených pomocí zdrojů ionizujícího záření. Dávky z **lékařské expozice** se u jednotlivých skupin obyvatel velmi liší, od hodnot nulových až po násobky dávek z přírodního pozadí. Zátěž na obyvatele závisí na frekvenci úkonů spojených s ozářením a na dávkách spojených s jednotlivými úkony. Oba faktory se mezi jednotlivými státy značně odlišují. Například frekvence radiodiagnostických vyšetření na 1000 obyvatel se pohybuje v rozmezí od 15 do 2000 za rok. Odhaduje se, že více než 3/4 obyvatel Země není podrobováno radiodiagnostickým vyšetřením vůbec. Následující přehledná tabulka ukazuje průměrné efektivní dávky  $E^*$  v radiodiagnostice v České republice roce 1997 provedené kvalifikovaným odhadem s použitím údajů o frekvenci radiodiagnostických vyšetření v daném roce a z výchozích hodnot efektivního dávkového ekvivalentu pro jednotlivá vyšetření zjištěného studií provedenou v letech 1975 až 1984 pracovníky Centra hygieny záření IHE Praha a modifikovaného s použitím dat o průměrných vstupních dávkách pacientů při jednotlivých radiodiagnostických vyšetření dosahovaných v současné době.

Hodnoty efektivní dávky  $E$  a kolektivní efektivní dávky  $S_e$  za rok, pro jednotlivá vyšetření

vyšetření	efektivní dávka $E$ (mSv)	celkový počet vyšetření	$S_e$ (Sv)	průměrná $E$ na obyvatele ČR (mSv)
hlava	0,28	904 601	253	<b>0,69</b>
krční páteř	0,28	560 245	157	
hrudní páteř	1,76	395 763	696	
lumbosakrální páteř	2,00	565 376	1131	
kyčle / pánev	1,26	678 451	729	
plíce - dálkový snímek	0,05	1 498 000	75	
plíce - radiofotografie	0,70	255 417	179	
břicho	3,00	209 230	628	
horní úsek trávicí trubice	3,00	123 988	372	
dolní úsek trávicí trubice	8,50	54 245	461	
žlučník	1,26	37 932	48	
urografie	2,04	124 134	253	
mamografie	0,50	122 321	61	
CT hlava	1,10	232 000	255	
tělo	9,20	116 000	1067	
angiografie mozku	2,80	4 634	13	
srdce	3,60	11 583	42	
ostatní	8,9	41 698	371	
zubní intraorální	0,10	2 000 000	200	

\* Efektivní dávka  $E$  je veličina charakterizující ozáření člověka. Její velikost je vyjádřena jednotkou Sievert (Sv). (Podrobněji o veličinách a jednotkách pojednává kapitola 3).

Do šetření nebyla zahrnuta data o vyšetřeních dětské populace. Za poslední roky počet některých vyšetření významně poklesl. Jde zejména o vyšetření preventivního snímkování plic ze štítu (v důsledku provedených legislativních úprav), vyšetření žlučníku a nefrografická vyšetření (přesun na vyšetření pomocí ultrazvuku). Naproti tomu stoupá počet vyšetření speciálních a CT. Poslední naše odhady o frekvenci vyšetření ukazují, že roční zátěž obyvatelstva v ČR se neustále pohybuje kolem hodnoty 0,7 mSv.

Otázka zátěže obyvatelstva z radioterapie je na okraji zájmu, neboť velká většina indikací se týká maligních onemocnění.

Při hodnocení zátěže populace z uměle vytvořených zdrojů ionizujícího záření bývají do zvláštní skupiny (různé) zařazovány tzv. **předměty denní spotřeby**, tedy výrobky, které se v široké míře užívají v běžném občanském životě a které mohou obsahovat radioaktivní látky ve formě uzavřeného nebo otevřeného záříče, nebo jako přístroj mohou produkovat rtg záření. V domácnostech nejrozšířenějším výrobkem, který produkuje ionizující záření, je televizní přijímač a monitor PC. Z dalších můžeme jmenovat požární hlásiče ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) nebo optické čočky s obsahem Th. Výroba takovýchto předmětů je z hlediska ochrany zdraví hodnocena a regulována tak, aby ozáření populace z těchto zdrojů bylo velice nízké.

**Profesionálním ozářením** rozumíme expozici, které jsou vystaveny pracovníci při práci, kromě expozice z přírodních zdrojů vyjma těch, které jsou vědomě a záměrně využívány. Ozáření osob při práci je usměrňováno předpisy a jsou stanoveny limity ozáření, které nesmějí být při plánované práci překročeny. (Viz kapitola 5). Vyšší než limitní dávky bývají zpravidla dosaženy jen při nehodách. Ukazuje se, že průměrná dávka u sledovaných pracovníků se pohybuje kolem 1/10 limitu. V České republice je odhadována průměrná roční dávka pracovníků v jaderné energetice na 0,66 mSv. Průměrná dávka zdravotnického personálu je ročně 1,44 mSv. Souhrnně lze označit příspěvek profesionálního ozáření k průměrné populační dávce za nízký.

**Jaderné elektrárny** uvádějí do životního prostředí tak malé aktivity radionuklidů, že jejich stanovení v prostředí je velmi obtížné. Odhad ozáření obyvatel se proto opírá o údaje o výpustech radionuklidů z jaderných elektráren a modelování jejich šíření a distribuce ke vztahu k dávkám obyvatelům. Příspěvek k celkovému ozáření se odhaduje na hodnotu nižší než je 0,2 % .Obyvatelstvo v blízkosti jaderných zařízení dostává pochopitelně vyšší dávky, než je celosvětový průměr. Pohybuje se mezi zlomkem procenta a nejvýše však několika málo procenty dávky z přírodního pozadí.

Významné riziko ozáření hrozí při úniku radionuklidů do okolí v důsledku jaderné havárie. Odhady za prvý rok po havárii v Černobylu uvádí Vědecký výbor OSN. Pro Československo činil 0,35 mSv (Rakousko 0,67 mSv). Zpráva Centra hygieny záření IHE uvádí 0,32 mSv u dospělých a 1,42 mSv u dětí. Jak patrně, šlo o relativně nízké dávky, představující jen frakci ozáření z přírodních zdrojů. Do této skupiny lze zařadit ozáření z výbuchu **jaderných zbraní**, kterým bylo opakovaně radioaktivními látkami kontaminováno prostředí na naší planetě. Radioaktivní spad z výbuchů lze rozdělit na lokální, troposférický a stratosférický. K ozáření přispívají nejvýznamněji radionuklidy  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . V současné době činí odhad asi 0,16% z průměrné zátěže.

Celkové roční průměrné ozáření jednotlivce z obyvatelstva ze všech zdrojů je odhadnuto na 4,31 mSv.



## Kapitola 2

# FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Zdrojem ionizujícího záření jsou jaderné přeměny nebo zařízení, u nichž záření vzniká v důsledku buďto urychlování nabitých částic (např. betatron), nebo jejich brzděním po jejich počátečním urychlení (např. rentgenky).

**Radioaktivita** je schopnost některých atomových jader se samovolně přeměňovat, vyslat přitom ionizující záření, a tím přejít do energeticky nižšího a stabilnějšího stavu.

**Radioaktivní přeměna** je náhodný proces v tom smyslu, že nelze předpovědět, které jádro se v daném okamžiku přemění. Je ovšem možné stanovit pravděpodobnost, že k přeměně dojde za jednotku času. Tato veličina se nazývá přeměnová konstanta (též rozpadová konstanta), značí se symbolem  $\lambda$  a je charakteristickou pro daný radionuklid.

Množství radioaktivní látky se charakterizuje veličinou zvanou aktivita. Je definována jako střední počet radioaktivních přeměn, ke kterým dojde v zářiči za jednotku času. Aktivita **A** souvisí s počtem atomů **N** radionuklidu vztahem:

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

S pomocí přeměnové konstanty je možné vyčíslit úbytek radioaktivní látky způsobený radioaktivní přeměnou. Označíme-li **N(O)** počáteční množství radionuklidu, který má přeměnovou konstantu **lambda**, potom po uplynutí času **t** zbude množství:

$$N(t) = N(O) \cdot \exp(-\lambda t)$$

Obdobný vztah platí též pro pokles aktivity radioaktivních zářičů s časem:

$$A(t) = A(O) \cdot \exp(-\lambda t)$$

Zde značí **A(O)** počáteční aktivitu zářiče a **A(t)** je jeho aktivita po uplynutí doby **t**.

V praxi se namísto přeměnové konstanty  $\lambda$  často používá poločas přeměny (též poločas rozpadu) **T**. Je to doba, za kterou se přemění právě polovina z počátečního množství radionuklidu. Hodnota poločasu **T** souvisí s přeměnovou konstantou vztahem

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

a je rovněž charakteristická pro daný radionuklid. Dosud známé radionuklidy mají poločas přeměny v rozsahu od zlomků sekund do desítek miliard let. Ty, které se využívají v praxi jako uzavřené zářiče, mají poločas obvykle od desetin do desítek roků.

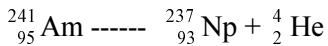
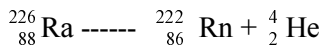
S pomocí poločasu **T** je možné radioaktivní přeměnu popsat vztahem

$$A(t) = A(O) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

Radioaktivita může být dvojího druhu - přírodní nebo umělá. Přírodní radioaktivitu vykazuje více než 50 v přírodě se vyskytujících nuklidů, převážně izotopů těžkých prvků jako radium, uran nebo thorium. Umělá radioaktivita je vyvolána vnějším zásahem do jádra - například ozářováním stabilních nuklidů neutrony v jaderném reaktoru, nebo rychlými nabitými částicemi na urychlovačích. Převážná část v současné době prakticky využívaných radionuklidů patří k uměle vytvořeným.

Podle způsobu radioaktivní přeměny rozlišujeme radioaktivitu alfa a beta. Při přeměně alfa je emitováno jádro helia  ${}^4_2\text{He}$ , hmotnostní číslo nuklidu se zmenší o 4 a protonové číslo se zmenší o 2 jednotky.

### Příklad přeměny alfa :



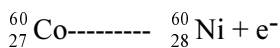
Záření alfa je tedy přímo ionizující záření tvořené částicemi alfa - jádry helia. Částice obsahují po 2 protonech a 2 neutronech a nesou tedy dva jednotkové kladné náboje. Zdrojem záření alfa jsou těžké radionuklidy, např. izotopy polonia, radia, thoria, uranu nebo transuranových prvků. K nejpoužívanějším zářičům alfa patří radionuklidy  ${}^{241}\text{Am}$  a  ${}^{226}\text{Ra}$ .

Záření alfa má čárové spektrum. To znamená, že daný radionuklid emituje částice alfa pouze o určitých energiích, které jsou pro jeho radioaktivní přeměnu charakteristické. Počáteční energie částic alfa činí jednotky megaelektronvoltů; to odpovídá počátečním rychlostem řádově  $10^7 \text{ m.s}^{-1}$ .

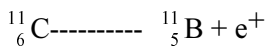
Protože částice alfa nesou dva elektrické náboje, při průchodu prostředím velmi silně ionizující a rychle ztrácejí svoji energii. Dosah záření alfa je proto značně omezen. Ve vzduchu činí jenom několik centimetrů, ve vodě nebo tkáni jenom zlomky milimetru. Ochrana před zevním ozářením částicemi alfa nepředstavuje tedy větší problém.

K radioaktivní **přeměně beta** dochází i u lehčích radionuklidů. Při této přeměně nedochází ke změně hmotnostního čísla nuklidu. Rozlišujeme 3 způsoby přeměny:

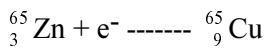
**Přeměna beta<sup>-</sup>**, kdy jádro emituje elektron a jeho protonové číslo se o 1 zvýší



**Přeměna beta<sup>+</sup>**, kdy jádro emituje pozitron a jeho protonové číslo se o 1 sníží



**Elektronový záchyt**, kdy jádro zachytí jeden z orbitálních elektronů a jeho protonové číslo se sníží o 1



Záření beta je tvořeno rychlými elektrony nebo pozitrony (částice se stejnou hmotností a opačným nábojem než má elektron). Vzniká při přeměně mnoha přirozených i umělých radionuklidů. K nejčastěji využívaným zdrojům záření beta patří např.  ${}^{90}\text{Sr}$ ,  ${}^{147}\text{Pm}$  nebo  ${}^{63}\text{Ni}$ .

Záření beta má spojité spektrum; obsahuje tedy částice beta s energií od nuly až po určitou maximální hodnotu  $E_{\text{max}}$ , která je charakteristická pro daný radionuklid. Střední energii záření beta je možné přibližně odhadnout jako jednu třetinu maximální energie. Hodnoty  $E_{\text{max}}$  u běžně používaných radionuklidů činí desítky kiloelektronvoltů až jednotky megaelektronvoltů.

Při průchodu prostředím způsobuje záření beta ionizaci nebo excitaci atomů a molekul. V porovnání se zářením alfa jsou částice beta mnohem lehčí, pohybují se při stejné energii podstatně rychleji (řádově  $10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ) a daleko méně ionizují. Například částice alfa s energií 4 MeV vytvoří ve vodě na dráze 0,001 mm kolem 3000 iontových párů, zatímco částice beta o energii 1 MeV vyprodukuje za stejných podmínek jenom asi 5 iontových párů. Zářetí beta má proto daleko větší dosah v prostředí. Částice jsou velmi často rozptylovány jenom s malými ztrátami energie.

Pro potřeby ochrany před zářením možno odhadnout přibližně dosah záření beta vyjádřený v jednotkách plošné hmotnosti jako polovinu jeho maximální energie:

$$R (\text{g.cm}^{-2}) = 0,5 E_{\text{max}} [\text{MeV}]$$

Tak např. záření beta s maximální energií  $E_{\text{max}} = 2 \text{ MeV}$  má dosah ve vzduchu kolem 8 m, ve vodě 1 cm a v hliníku asi 4 mm.

Kromě již popsaných procesů ionizace a excitace ztrácí záření beta svoji energii při průchodu prostředím též produkcí tzv. **brzděného záření**. Je to elektromagnetické záření s pronikavostí daleko větší než

má záření beta. Jeho výtěžek závisí na energii záření a na atomovém čísle absorbátoru. V lehkých materiálech je pravděpodobnost vzniku brzdného záření menší. Například záření beta s maximální energií 2 MeV spotřebuje na tvorbu brzdného záření v plexiskle jenom asi 0,7% své energie, zatímco při absorpci v olovu jde na tento účel kolem 8% energie. Tuto skutečnost je nutné brát v úvahu při výběru materiálů pro zářiče beta. Dává se přednost látkám obsahujícím lehké prvky.

Při průchodu záření beta<sup>+</sup> prostředím se pozitron po ztrátě energie spojí s elektronem a dochází k tzv. **anihilaci**. Výsledkem jsou 2 fotony záření gama, každý s energií 511 keV (anihilační záření). Každý pozitronový zářič i jeho obal a okolní materiál jsou tedy současně zdrojem pronikavého anihilačního záření a tuto skutečnost je nutno při ochraně před zářením pozitronů uvažovat. O vlastnostech záření gama i brzdného záření bude pojednáno dále.

**Záření gama** je elektromagnetické záření, obvykle jaderného původu. Vzniká při radioaktivní přeměně řady radionuklidů, často současně se zářením beta nebo alfa. K nejčastěji používaným zářičům gama patří radionuklidy <sup>60</sup>Co a <sup>137</sup>Cs.

Záření gama má čárové spektrum - daný radionuklid emituje pouze fotony s určitými energiemi, které jsou pro jeho přeměnu charakteristické. U prakticky používaných zdrojů záření gama činí jeho energie desítky kiloelektronvoltů až jednotky megaelektronvoltů.

Interakce záření gama s hmotou se výrazně odlišuje od interakce elektricky nabitých částic. Při průchodu prostředím uvolňují fotony elektricky nabitě částice a předávají jim energii dostatečnou k tomu, aby byly schopny ionizovat a excitovat. Jedná se tedy o nepřímou ionizující záření.

Z druhé skupiny zdrojů ionizujícího záření nás nejvíce budou zajímat **zdroje rentgenového záření**. Pohyb urychlených elektronů (nebo jiných nabitých částic) hmotou je provázen brzdným a eventuálně charakteristickým zářením, které vzniká při interakci elektronů s coulombovským polem atomových jader. Nejznámějším příkladem brzdného záření je spojité spektrum rentgenového záření, vznikajícího na anodě rentgenky. Jde o elektromagnetické záření s energií fotonů od 0 až po určitou hodnotu, která odpovídá maximální energii urychlených elektronů. Je vyjádřena vztahem

$$E_M = e \cdot U_M \text{ [eV]}$$

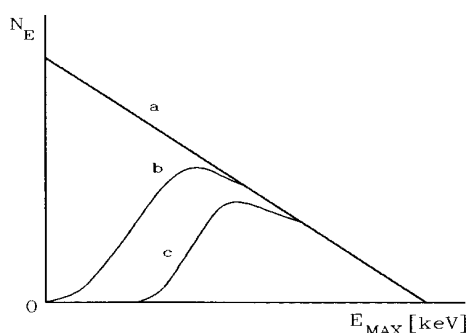
kde  $E_M$  - maximální energie spektra [eV],  $e$  - elementární náboj [C],  $U_M$  - potenciální rozdíl [V]

Rozdělení energie ve spektru vzniklém v rentgence s konstantním potenciálem je možné určit podle rovnice

$$N_{(E)}dE = k \cdot i \cdot (E_M - E) dE,$$

kde  $N_E$  - počet částic na energetický interval ( $E; E + dE$ ),  $i$  - proud rentgenky,  $k$  - konstanta rentgenky zahrnuje protonové číslo z materiálu anody a urychlující napětí  $U^a$ ,  $E_M$  - maximální energie spektra – určená urychlujícím napětím  $U^a$ .

Pro názornost je průběh rozložení spektra zobrazen na následujícím obrázku.



*a - průběh teoretické závislosti*

*b - spektrum po průchodu sklem rentgenky a okénkem krytu rentgenky (vlastní filtrace zářiče)*

*c - svazek spektra filtrován dalším přidavným filtrem*

U klasických rentgenek je účinnost energetické přeměny asi 1%. Ostatní energie elektronů je přeměněna v teplo. Urče-

ní skutečného průběhu spektra v závislosti na energii fotonů vyžaduje řadu velice náročných měření. V radiodiagnostické praxi postačí charakterizovat rentgenová spektra třemi základními údaji:

- vysokým napětím na rentgence
- filtrací svazku rentgenového záření
- první polotloušťkou.

**Polotloušťka** podle definice ( $d_{1/2}$ ) je tloušťka vrstvy látky zeslabující hustotu proudu částic na polovinu původní hodnoty. V případě exponenciálního zeslabení platí, že

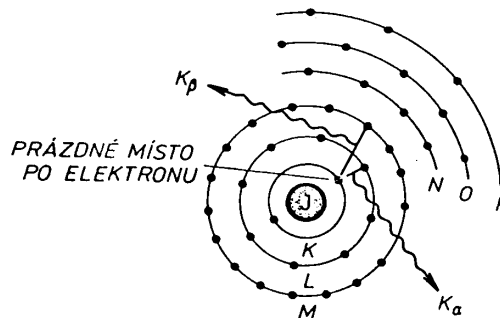
$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

kde  $\mu$  - je lineární součinitel zeslabení.

Ze známého součinitele zeslabení  $\mu$  lze pomocí tabulkových hodnot jeho průběhu určit energii ve spektru, která se nazývá efektivní energie spektra  $E_{ef}$ . Nachází se v oblasti vrcholu spektra. Pro slabě filtrované svazky lze odhadnout velikost efektivní energie na  $E_{ef} = 2/5 E_M$ . **Charakteristické záření** je elektromagnetické záření, které vzniká při zářivých přechodech elektronů v atomovém obalu.

Jeho zdrojem jsou radionuklidy, zejména ty, které se mění záchytem elektronu. Charakteristické záření se uvolňuje rovněž při ozařování různých materiálů nízkoenergetickým zářením gama, brzdným zářením nebo rychlými nabitými částicemi. Jeho zdrojem jsou tedy i rentgenky; proto se někdy nazývá též rentgenové charakteristické záření.

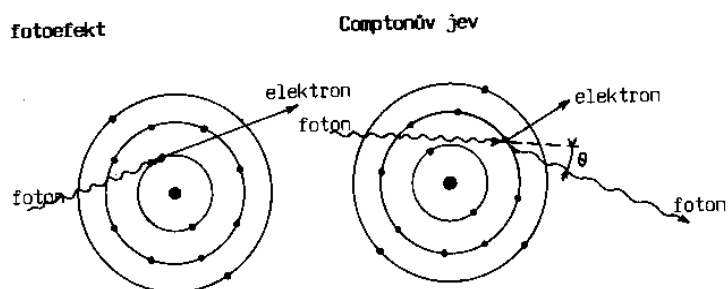
Spektrum charakteristického záření je čárové, jeho energie činí jednotky až desítky kiloelektronvoltů a je charakteristická pro prvek, jehož atom záření vyslal.



Při průchodu rentgenového záření hmotou interagují fotony výrazně odlišně než přímo ionizující částice (alfa, beta). Při průchodu prostředím fotony uvolňují elektricky nabitě částice (elektrony) a předávají jim energii dostatečnou k tomu, aby byly schopny ionizovat. Jde tedy o nepřímou ionizující záření. Nejvýznamnějším způsobem interakce rentgenového záření s hmotou je **fotofekt** a **Comptonův rozptyl**.

Schematicky jsou tyto procesy zobrazeny na dalším obr.

**Fotofekt** se uplatňuje především u záření nižších energií. Jedná se o proces, při kterém foton předá veškerou svoji energii některému z orbitálních elektronů, obvykle na vnitřních slupkách atomu. Výsledkem je uvolnění fotoelektronu, který získanou energii dále předává ionizací nebo excitací atomů a molekul. Po fotofektu je atom v excitovaném stavu (na vnitřní orbitě chybí elektron) a při přechodu na stav základní vyzáří foton charakteristického záření nebo elektron. Tyto částice mají již poměrně nízkou energii a většina jich je pohlcena v okolním materiálu. Z tohoto důvodu možno fotofekt považovat za téměř úplnou absorpci záření. Pravděpodobnost fotofektu roste s protonovým číslem materiálu a například u olova je tento proces převládajícím způsobem interakce pro záření gama o energii až 1 MeV.



**Comptonův rozptyl** probíhá na volných nebo slabě vázaných elektronech (vnější orbit atomu). V tomto případě dopadající foton předává část své energie elektronu, uvede jej do pohybu a sám pokračuje v letu, avšak v odlišném směru a s nižší energií. Urychlený elektron interaguje potom s prostředím stejně jako fotoelektron, tj. ionizuje a excituje atomy a molekuly okolního prostředí. Comptonův rozptyl je převládajícím procesem interakce záření středních energií.

Realizace každého z uvedených typů interakce má náhodný charakter, takže proces je popsán absorpčním zákonem

$$N_{(x)} = N_0 \exp(-\mu x)$$

kde  $N_0$  je počet fotonů dopadajících na vrstvu látky o tloušťce  $x$ ,  $N_{(x)}$  je počet nerozptýlených fotonů za vrstvou látky,  $\mu$  je lineární součinitel zeslabení ( $m^{-1}$ ), který je součtem lineárních součinitelů zeslabení výše uvedených typů interakce

$$\mu = \mu_f + \mu_c$$

Jejich velikost je závislá na energii fotonů a zeslabujícím materiálu.

Pro úplnost je třeba se zmínit ještě o dvou způsobech interakce, pro záření s velmi vysokou energií nad 1,02 MeV a velmi nízkou energií do 30 keV.

K prvnímu procesu, který se nazývá tvorba párů elektron-pozitron, dochází teprve tehdy, když energie fotonů je větší než 1,02 MeV. Uplatňuje se významně v případě velmi vysokých energií. Jev spočívá v tom, že foton se přemění na dvě částice - elektron a pozitron. Ty se potom chovají obdobně jako záření beta, tj. ionizují nebo excitují okolní prostředí a pozitron na konci své dráhy anihiluje za vzniku dvou fotonů anihilačního záření.

U záření s energií kolem 30 keV se významně uplatní tzv. pružný nebo jinak nazývaný rozptyl. Spočívá v tom, že foton po srážce s elektronem mění směr letu bez ztráty energie.

### Kapitola 3

## VELIČINY A JEDNOTKY V OCHRANĚ PŘED ZÁŘENÍM

Dozimetrické veličiny a jednotky charakterizují zdroje ionizujícího záření, pole záření a působení tohoto záření na látku.

Základní veličinou charakterizující působení ionizujícího záření na látku je **dávka D**. Je definována jako poměr střední energie  $dE$  sdělené látky o hmotnosti  $dm$ :

$$D = \frac{dE}{dm} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Zjednodušeně můžeme říci, že dávka je energie absorbovaná v určitém bodě. Jednotkou absorbované dávky je **gray (Gy)**, který se rovná energii 1 joulu (J) absorbované v 1 kg látky.  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ . Pro průběžné ozařování je důležité zavést i **dávkový příkon D** jako změnu dávky za časovou jednotku:

$$D = \frac{dD}{dt} \quad [\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Absorbovaná dávka není sama o sobě postačující k předpovědi ani závažnosti ani pravděpodobnosti škodlivých účinků na zdraví vyvolaných ozářením za neurčených podmínek. Proto bylo účelné v ochraně před zářením zavést další veličiny, které lépe charakterizuje významnější škodlivé účinky ozářením, zejména pozdní stochastické účinky.

**Veličiny používané v radiační ochraně jsou následující:**

**Ekvivalentní dávka  $H_T$** , vyjadřuje součin radiačního váhového součinitele  $w_R$  a střední absorbované dávky  $D_R$  v orgánu nebo tkáni pro druh ionizující záření **R**:

$$H = w_R D_R \quad [\text{J kg}^{-1}]$$

Hodnoty radiačního váhového součinitele  $w_R$  jsou v následující tabulce.

Druh záření případně energie	Radiační váhový součinitel $w_R$
Fotony	1
Elektrony, miony	1
Neutrony, méně než 10 keV	5
Neutrony, 10 keV až 100 keV	10
Neutrony, 100 keV až 2 MeV	20
Neutrony, 2 MeV až 20 MeV	10
Neutrony, více než 20 MeV	5
Protony, více než 2 MeV, (mimo odražené)	5
Částice alfa, těžká jádra	20

Radiační váhový součinitel  $w_R$  charakterizuje vliv energie ionizujícího záření na újmu. Rozdíl mezi dávkou a ekvivalentní dávkou je patrný z následujícího příkladu. Jestliže ionizující záření s radiačním součinitelem  $w_R = 10$  způsobí dávku 1 mGy, pak ekvivalentní dávka je 10 mSv. A obráceně biologický účinek odpovídající ekvivalentní dávce 10 mSv by mohla způsobit dávka 10 mGy ionizujícího záření s jakostním faktorem  $w_R = 1$ . Jednotkou **ekvivalentní dávky je sievert (Sv)**.

**Efektivní dávka E** je součet součinů tkáňových váhových součinitelů  $w_T$  a ekvivalentní dávky  $H_T$  v ozářených tkáních nebo orgánech T lidského těla. Je vyjádřena vztahem:

$$E = \sum w_T \cdot H_T \quad [\text{J kg}^{-1}]$$

a definovanou tak, aby při nerovnoměrném ozáření měla efektivní dávka  $E$  hodnotu ekvivalentní dávky  $H_T$ , která by při rovnoměrném ozáření celého těla způsobila stejnou zdravotní újmu jako dané nerovnoměrné ozáření. Jednotkou **efektivní dávky je sievert (Sv)**.

Tkáňový váhový čísel  $w_T$  respektuje pravděpodobnost vzniku stochastických účinků a jejich relativní významnost, a tím i závažnost ozáření jednotlivých orgánů a tkání. Má konvenčně stanovené hodnoty doporučením Mezinárodní komise pro radiační ochranu ICRP č. 60/91.

Hodnoty  $w_T$  pro jednotlivé orgány a tkáně jsou uvedeny v následující tabulce:

Tkáň, orgán	Tkáňový váhový čísel $w_T$
Gonády	0,20
Červená kostní dřev	0,12
Tlusté střevo	0,12
Plíce	0,12
Žaludek	0,20
Močový měchýř	0,05
Mléčná žláza	0,05
Játra	0,05
Jícen	0,05
Štítná žláza	0,05
Kůže	0,01
Povrchy kostí	0,01
ostatní orgány a tkáně*	0,05
$\sum w_T$	1,00

\*Poznámka. Jako ostatní orgány a tkáně jsou voleny: nadledvinky, mozek, vzestupná část tlustého střeva, tenké střevo, ledviny, svaly, slinivka břišní, slezina, thymus a děloha.

**Kolektivní efektivní dávka  $S_E$**  je definována jako součet efektivních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Je vyjádřen vztahem:

$$S_E = \int_0^E EP_E dE \quad [\text{J kg}^{-1}],$$

kde  $P_E dE$  je počet jedinců, kteří obdrží z daného zdroje záření efektivní dávku v rozmezí  $E$  až  $E+dE$ . Veličina  $S_E$  se používá při hodnocení ozáření populačních skupin obyvatelstva.

Na příklad je-li při urografickém vyšetření efektivní dávka  $E = 2.04 \text{ mSv}$  a počet vyšetřených 124134, pak kolektivní efektivní dávka  $S_E$  z tohoto vyšetření je 253 Sv.

**Dávkový ekvivalent  $H$**  je součin absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního součinitele  $Q$ :

$$H = D \cdot Q \quad [\text{J kg}^{-1}],$$

kde  $D$  je absorbovaná dávka a  $Q$  je jakostní součinitel.

Jakostní součinitel  $Q$  bere v úvahu vliv mikroskopického rozdělení absorbované energie na újmu a vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření. Hodnota jakostního součinitele je uvedena v tab. 3 přílohy č. 5 vyhlášky č.184/1997 Sb. Pro záření X, gama je jakostní součinitel  $Q = 1$ .

Pro individuální monitorování osob, např. pro potřeby osobní dozimetrie, byla zvolena odvozená veličina z dávkového ekvivalentu nazvaná **osobní dávkový ekvivalent  $H_p(d)$** , což je dávkový ekvivalent v bodě tkáně v určité hloubce těla. Je definován pro silně pronikavé záření, pro něž je příslušná hloubka  $d = 10$  mm a slabě pronikavé záření, pro něž je definovaná hloubka  $d = 0,07$  mm. Za slabě pronikavé záření se zde považuje záření, které působí při rovnoměrném ozáření z jednoho směru v některém místě citlivé části kůže dávkový ekvivalent alespoň desetkrát vyšší, než je efektivní dávka jím způsobená. V opačném případě jde o záření silně pronikavé. Osobní dávkový ekvivalent je praktická veličina umožňující přímé měření detektorem nošeným na povrchu těla. Pro určení pronikavého dávkového ekvivalentu  $H_{p(10)}$  je dozimetr překryt vrstvou  $d = 10$  mm tkáňově ekvivalentního materiálu; pro určení povrchového dávkového ekvivalentu  $H_{p(0,07)}$  je použit dozimetr, který je překryt vrstvou  $d = 0,07$  mm tkáňově ekvivalentního materiálu.

Ozáření oční čočky se hodnotí podle obou osobních dávkových ekvivalentů  $H_{p(10)}$  a  $H_{p(0,07)}$  a není-li to dostatečné, pak podle osobního dávkového ekvivalentu v hloubce tkáně  $d = 3$  mm.

Kvantitativní přírůstek shora uvedených veličin v určitém časovém intervalu je definován jako jejich příkon.

Pro odhad účinků vysokých dávek při radiačních haváriích a jiných mimořádných situacích je nutno používat veličinu absorbovaná dávka namísto veličin od ní odvozených, které reprezentují účinky ionizujícího záření na člověka spíše při ozáření na úrovni limitů.

#### **Další veličiny používané v dozimetrii ionizujícího záření jsou:**

v případech nepřímo ionizujícího záření může docházet k interakci na zcela jiném místě, než na kterém pak sekundární částice ionizují a excitují atomy prostředí a dávají příspěvek k dávce. Proto byla definována další veličina **kerma  $K$** :

$$K = \frac{dE_k}{dm} \quad [\text{J} \cdot \text{Gy}^{-1}]$$

kde  $dE_K$  je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nepřímo ionizujícím zářením v objemovém elementu daného materiálu o hmotnosti  $dm$ . Analogicky jako dávkový příkon se definuje **kermový příkon**:

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} \quad [\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Pro popis polí fotonového záření si stále zachovává význam v dozimetrii dlouho užívaná **expoziční  $X$** , která vyjadřuje ionizační účinky fotonů na vzduch

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad [\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}],$$

kde  $dQ$  je absolutní hodnota celkového náboje všech iontů jednoho znaménka vytvořených ve vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů, které jsou uvolněny fotony v objemovém elementu vzduchu o hustotě  $dm$ . To znamená, že expoziční je definována pouze pro jeden druh záření, a to pro záření fotonové a jeden druh materiálu - vzduch.



## STRUČNÝ PŘEHLED BIOLOGICKÝCH ÚČINKŮ ZÁŘENÍ

Biologické a lékařské poznatky o účincích ionizujícího záření jsou získávány již od počátku tohoto století a v současné době jsou sice rozsáhlé, ale dosud ne úplné. Zahrnují pozorování klinická, experimentální a především skupinová šetření, která jsou nezbytná pro průkaz zvýšené frekvence těch onemocnění, která jsou klinicky neodlišitelná od onemocnění spontánních (např. rakovina).

Různé změny, vyvolané ionizujícím zářením u člověka nemají stejný dosah pro jeho zdravotní stav. Praxe radiační ochrany však vyžaduje jednoznačná kritéria, zaměřená na prevenci závažných důsledků ozáření. Stanovení těchto kritérií se musí opírat o třídění biologických poznatků tak, aby bylo možné kvantitativní hodnocení rizika z ozáření člověka a lidské populace.

Znalost biologických účinků záření je důležitá pro stanovení principů a kritérií radiační ochrany z nichž je dále odvozen systém limitování dávek u pracujících a obyvatelstva. Znalost biologických účinků záření je dále základem pro poskytování léčebné péče při poškození zářením. Jednoznačnou orientaci v této oblasti vyžaduje poskytování první pomoci při nehodě na pracovišti.

### Účinky záření na živou hmotu

Působení záření na živou hmotu se nejprve řídí obecnými zákony platnými i pro látky neživé. Dochází k ionizaci a excitaci, přičemž je absorbována energie. Na tento fyzikální proces navazuje řada dějů, podmíněných složitou organizací živé hmoty. Bylo zjištěno, že množství energie ionizujícího záření, potřebné např. K usmrcení jedince, je neobyčejně malé v porovnání s jinými druhy energie a tento nesoulad byl jedním z podnětů k vypracování různých teorií o účincích záření na živou hmotu:

1. **Zásahová** teorie (přímého účinku) vychází z úvahy o přímém poškození citlivého objemu, kdy dochází k lokální absorpci energie a fyzikální, fyzikálně chemické nebo funkční změně zasažené struktury.
2. **Radikálová** teorie (nepřímého účinku) bere za základ účinky ionizujícího záření na molekuly vody (radiolýzu vody). 70% biologického materiálu je tvořeno vodou. Zásahem molekul vody ionizujícím zářením vznikají H a OH radikály a dále pak produkty schopné oxidace ( $\text{HO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), které mohou ovlivnit (nepřímo) metabolické děje.
3. Teorie **duálové radiační akce** byla formulována v r. 1972 H. H. Rossim a A. M. Kellerem po mikrodozimetrových studiích. Základní podmínkou poškození buňky je podle této teorie dosažení určité kritické hodnoty lokální hustoty energie v daném čase. Teorie vychází ze dvou experimentálních směrů: ze studií chromozomálních aberací v buňkách a ze studií, používajících tzv. Rossiho počítač (mikrodozimetrie), který registruje průchod částic simulovaným malým objemem tkáně. Uvedená teorie usiluje o spojení fyzikálních představ mikrodozimetrie s experimentálně pozorovanými biologickými účinky záření. Předpokládá, že záření vyvolává v živé hmotě subléze, které jsou přímo úměrné sdělené energii. Kombinací dvou sublézí pak vzniká primární biologická léze. Částice řídce ionizujícího záření (záření beta a gama), zejména v oblasti vyšších dávek vytváří při průchodu elementárním objemem pouze po jedné sublézi, a proto primární léze biologická vzniká v důsledku průchodu dvou jednotlivých částic (two-track action). Počet těchto primárních lézí závisí převážně na čtverci dávky. Částice hustě ionizujícího záření (alfa, neutrony) vyvolávají při průchodu elementárním objemem dvě subléze a počet primárních biologických lézí je převážně přímo úměrný dávce.
4. **Molekulárně biologická** teorie uvažuje, že poškození vzniká kombinací dvou primárních dějů, které se odehrávají na dvojlátknech nukleové kyseliny, tvořící jádro buňky. Poškození je závislé na počtu vzniklých zlomů a působení reparačních dějů.

Jednotlivé teorie o účincích záření na živou hmotu je třeba chápat tak, že se vzájemně nevylučují, ale z různých hledisek doplňují. Uvedené teorie zachycují období od absorpce energie záření až po stabilizo-

vané poškození molekuly, které však později vede k morfologickým a funkčním změnám, zjištělným na různé úrovni organizace živé hmoty - buněčné, orgánové nebo celého organismu.

## Účinky záření na buňku a tkáň

Pro pochopení účinku záření na buňku je třeba si zopakovat některé základní skutečnosti z biologie: nové buňky vznikají buněčným dělením, které známe ve dvou formách. Nejčastější je dělení *mitotické* (nepřímé), méně časté je dělení *mitotické* (přímé), které probíhá jako jednoduché zaškrčení jádra i těla buněčného. Dělení nepřímé, mitosa, je komplikovaný dělicí pochod, charakterizovaný v mikroskopickém obraze hlavně nápadnými změnami jaderné hmoty buňky - tzv. chromatinu, který se dočasně změní v podkovovitě zahnuté tyčinky - chromozomy. Ty se po podélném rozštěpení a vstoupení do příslušných polovin původní buňky opět změní v chromatinová zrna a hrudky, (chromozomů má člověk v jádře buňky 46). Vytvoří se tak dvě nová dceřiná jádra a cytoplasma původní buňky se rozdělí na dvě buněčná těla.

Vedle těchto základních forem dělení existuje ještě zvláštní druh dělení *pohlavních buněk* (meiosa), při kterém se počet chromozomů redukuje na polovinu a jejich kompletního počtu je opět dosaženo až po splnutí mužské a ženské zárodečné buňky.

### Účinky záření na buňku můžeme rozdělit do dvou skupin:

1. **Smrt** buňky (buněčná deplece).

2. Změna tzv. **cytogenetické informace**.

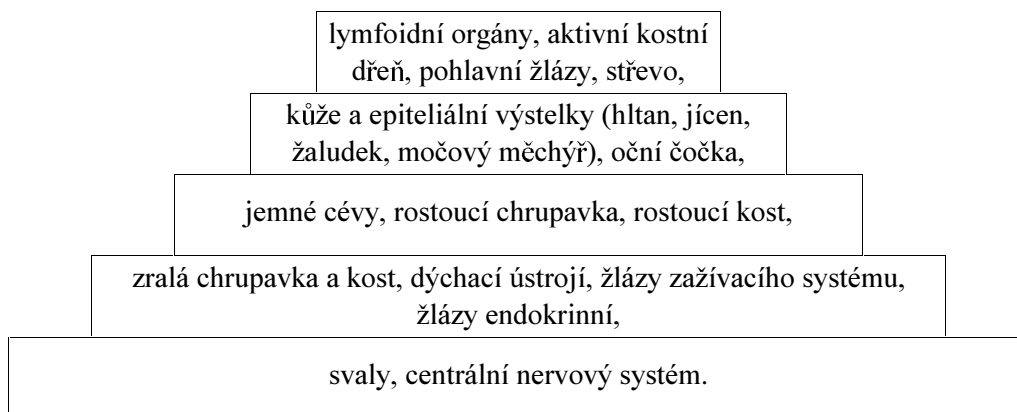
ad 1. Buňka může být usmrcena již v *klidovém období*, *interfázi* (což je interval mezi dvěma buněčnými děleními, mitozami). Tento účinek však předpokládá povšechnou denaturaci buněčných složek, tedy relativně vysokou dávku záření. Významnějším typem buněčné smrti je zánik vázaný na mitozu, na buněčné dělení. Poškození buňky se neprojevuje okamžitě, ale tím, že buňka není schopna se dále dělit. Tato tzv. *mitotická smrt* buňky se pozoruje při menších dávkách, které nestačí na vyvolání smrti v interfázi. Odtud lze odvodit, že smrtící účinek záření na buňky se nejnáze projeví ve tkáních, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení (krvetvorné orgány, výstelka střeva, vyvíjející se zárodek).

ad 2. Druhým typem buněčných poruch jsou změny, které bezprostředně nenarušují průběh *buněčného dělení*. Jedná se o změny v genetické informaci buňky, která je uložena v jejím jádře, ve zmíněných chromozomech, které nesou zakódované vlastnosti v tzv. *genech*. Záření vyvolává změny - **mutace**, které mohou být podle jednoho dělení bodové, genové a chromozómové, podmíněné hrubší poruchou. Podle jiného dělení se odlišují mutace **gametické** (týkající se zárodečných žláz, propagují se do dalších generací), které jsou odpovědné za genetické účinky záření a mutace **somatické**, které se týkají ostatních orgánů a tkání a důsledky se projevují u jejich nositele, v ozářené tkáni. Mají vztah ke vzniku rakoviny.

Zjednodušené schéma účinku záření na buňku (pomocí teorie zásahové a radikálové) ukazuje tabulka.

Stadium	Procesy	Trvání
fyzikální	absorbce energie i.z., ionizace ve vodě: $H_2O - H_2O^{+} e^{-}$	$10^{-16}s$
fyzikálně chemické	interakce iontů s molekulami, volné radikály ve vodě: $H_2O, HO_3, H_2O_2$	$10^{-6}s$
chemické	interakce radikálů s organickými molekulami, denaturace důležitých buněčných složek a fermentů, interakce s nukleovými kyselinami (DNK)	sekundy
biologické	smrt buňky, usmrcení v interfázi, zánik vázaný na mitózu (sterilizace),	buněčná deplece, změny genetické informace buňky, mutace somatická, gametická
		desítky min. až desítky let

Lidský organismus je funkční celek jednotlivých tkání a orgánů, které nemají stejnou citlivost k ozáření, tzv. radiosensitivitu. Při stejné absorbované dávce se v různých tkáních projeví rozdílné biologické účinky. Obecně platí, že zvláště vysokou radiosensitivitu vykazují tkáně, v nichž probíhá rychlé buněčné dělení. Vysvětluje se to tím, že mitotická smrt buňky je převládajícím typem buněčné smrti v důsledku ionizujícího záření. Orientačně lze seřadit orgány a tkáně podle klesající radiosensitivit (z hlediska destrukce tkáně) takto:



Vedle radiosensitivit z hlediska destrukce tkáně, vázané na buněčnou smrt, lze rozlišit i různou vnímavost orgánů a tkání k vyvolávání cytogenetického efektu, což se projevuje různou vnímavostí na vznik nádorů.

Konečný výsledek působení ionizujícího záření na buňku a tkáně není určen pouze uvedenými mechanismy, ale je spoluurčován uplatněním obnovných **reparačních** mechanismů. Lze odlišit tzv. časovou reparaci, to znamená obnovu schopnosti dalšího dělení na úrovni postižené buňky (trvá několik hodin) a proliferaci, která vychází ze zachovalé dělivé schopnosti přeživších buněk (trvá dny až týdny). Omezený význam má sekundární neboli atypická reparace, která spočívá v náhradě ztracené tkáně funkčním pojivem.

Pro příznivý, stimulační účinek záření není podle závěrů Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (MKRO) dokladů. Jedná se zřejmě o průvodní nález v průběhu reparačních dějů. Někteří autoři však uvádějí, že zejména řídké ionizující záření může v oblasti velmi nízkých dávek stimulovat chromozómové reparace a vést k pozitivnímu účinku. Tento jev se nazývá **hormeze**.

Uvedené mechanismy reparace se uplatní při rozboru účinků záření vázaných na buněčnou smrt, je-li dávka podávána **frakcionovaně** nebo **protrahovaně**.

Účinky záření v tomto případě budou po stejné dávce, rozdělené do několika frakcí nebo realizované v delším časovém období, menší, než účinky téže dávky, aplikované jednorázově. Pro ty účinky záření, které jsou vázány na změnu cytogenetické informace (nádory, genetické změny), výše popsany vliv rozdělené dávky na celkový účinek neplatí.

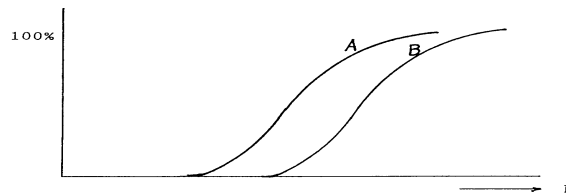
Další charakteristikou, určující celkový účinek záření, je prostorové rozložení dávky. Zcela rozdílnou biologickou odezvu má ozáření lokální, kdy jsou postiženy jen určité tkáně. (Stíněním částí těla se uchová určitá část tzv. Kmenových buněk, ze kterých může vzejít regenerace tkáně.) Zvláštním případem nerovnoměrného ozáření je kontaminace radioaktivními látkami, ať již zevní, či vnitřní.

## Vztah dávky a účinku

Z hlediska vztahu dávky a účinku je třeba rozlišovat dva základní typy účinků:

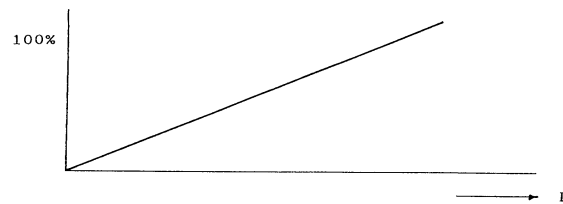
**Deterministické** účinky. Jde o účinky, k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace, jejich závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu (pod ním se účinek neprojeví) a mají charakteristický klinický obraz. Do této skupiny patří např. akutní nemoc z ozáření nebo radiační zánět kůže. Pro typickou existenci dávkového prahu bývají označovány též jako účinky **nestochastické**.

- např. akutní nemoc z ozáření
- intenzita projevů stoupá s dávkou
- existence dávkového prahu
- patogenese: smrt buněk, deplece buněk



**Stochastické** účinky: jsou to účinky vyvolané již zmíněnými mutacemi (změnami v genetické informaci buňky) a předpokládá se pro ně bezprahový, lineární vztah mezi dávkou a účinkem. Závislost těchto účinků na dávce má statistický charakter, a proto pro ně bylo zavedeno označení účinky stochastické (pravděpodobné, náhodné). Velikost dávky záření nemění závažnost projevu jednotlivce, ale v populaci mění frekvenci přídatné četnosti zhoubných novotvarů a dědičných poškození. S dávkou tedy vzrůstá pro jednotlivce pravděpodobnost poškození. Klinický obraz těchto účinků není typický, neodlišuje se od "spontánně" vzniklých případů.

- zhoubné nádory, genetické změny
- pravděpodobnost výskytu stoupá s dávkou
- klinicky neodlišitelné od případů "spontánních"
- patogenese: mutace



## Účinky záření na lidský organismus

Přehled hlavních typů účinků záření u člověka jsou shrnuty v následující tabulce.

Časné	Pozdní		
	Somatické		Genetické
-akutní nemoc z ozáření, -akutní lokální změny -akutní radiodermatitis -poškození fertility	-nenádorová pozdní poškození -chronická radiodermatitis -zákal oční čočky	zhoubné nádory	genetické účinky u potomstva
poškození vývoje plodu			
nestochastické		stochastické	

Jsou to:

- Akutní nemoc z ozáření.**
- Akutní lokální změny.**
- Poškození vyvíjejícího se plodu v těle matky.**
- Nenádorová pozdní poškození.**
- Zhoubné nádory.**
- Genetické změny.**

První dvě skupiny představují účinky časné, které se klinicky projeví v krátkém čase po ozáření většími jednorázovými dávkami, třetí skupina - poškození vyvíjejícího se plodu - je z hlediska matky také časným účinkem, z hlediska plodu již může jít i o účinek pozdní.

O pozdní účinky se jedná i u dalších třech skupin poškození. Podle vztahu dávky a účinku jsou pak první čtyři skupiny zahrnovány mezi účinky nestochastické, zhoubné nádory a genetické změny mezi účinky stochastické. (Pokud jde o poškození vyvíjejícího se plodu, nejedná se o čistý účinek nestochastický a bude o něm pojednáno samostatně.)

Před výkladem o jednotlivých skupinách biologických účinků záření je třeba uvést, že průměrné roční dávkové ekvivalenty u pracovníků většiny profesí, užívajících zdroje záření, jsou v současné době nižší než 1/10 nejvýše přípustných dávek, které jsou bezpečně stanoveny pod prahem vzniku nestochastických účinků. Ochrana před zářením za kontrolovatelných podmínek je tudíž ochranou před stochastickými účinky, tj. před zhoubnými nádory a dědičnými poškozeními. Možnost vzniku nestochastických účinků v důsledku práce se zdroji ionizujícího záření je spojena pouze s překročením limitních hodnot při nehodách.

## Akutní nemoc z ozáření

Akutní nemoc z ozáření (akutní postradiační syndrom) se rozvíjí po jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho větší části dávkou asi od 1 Gy výše. V závislosti na stupni ozáření převládají v klinickém obraze příznaky od poškození krvetvorných orgánů a trávicího ústrojí až k poškození centrálního nervového systému.

**Krevní (hematologický) typ** akutní nemoci z ozáření vzniká po celotělovém ozáření dávkou si od 1 Gy do 6 Gy. Jeho průběh lze rozdělit do několika období. V prvním dni po ozáření vystupují všeobecné neurčité příznaky (nevolnost, skleslost), které doprovází zvracení. Tyto projevy jsou důsledkem poruch regulačních (nervových a humorálních) systémů. Následuje období latence (1 - 2 týdny), které je v podstatě bez příznaků. Vlastní onemocnění je charakterizováno zejména projevy mikrobiálního rozsevu (sepsy) a krvácením. Postižený má teploty, trpí krvácením z dásní a do kůže, ubývá na váze pro nechutenství a průjmy, může mít zvrhodovatělá ložiska na sliznicích. V krevním obraze je výrazný pokles bílých krvinek (především lymfocytů). Klesá i počet krevních destiček a červených krvinek. V závislosti na dávce nastupují po šesti až osmi týdnech známky uzdravování. Ze zachovalých ostrůvků krevní dřeně dochází dělením a zráním kmenových buněk k doplňování chybějících krvinek v krevním oběhu. Je-li dávka záření vyšší, mezi 6 Gy až 10 Gy, je celý průběh bouřlivější, nevolnost a zvracení se objevují za několik málo hodin po ozáření, období latence je kratší, průběh vlastního onemocnění je velmi těžký a vede k smrti kolem 20. - 30. dne, pokud nebyla včas zajištěna intenzivní individuální léčba.

Při dávkách záření kolem 10 Gy a vyšších jsou časné příznaky značně vystupňované a závažné obtíže vystoupí už 4. až 6. den po ozáření, tj. dříve než se objeví příznaky krevní. Tato tzv. **střevní forma** akutní nemoci z ozáření (gastrointestinální) je charakterizována krvavými průjmy, poruchou hospodaření tekutinami a minerálními látkami. Může dojít i ke komplikacím, bezprostředně ohrožujícím život, jako je střevní proděravění nebo střevní zástava. Tyto projevy mají příčinu v odumření buněk střevní výstelky, jejichž odolnost vůči ozáření je poněkud vyšší než citlivost kmenových buněk krvetvorby, ale doba jejich života (rychlost obměny) je kratší (4 - 6 dnů). Zánikem výstelky střevní dojde k obnažení vnitřního povrchu střeva a k dalším uvedeným komplikacím. Přežije-li postižený 7 - 10 dnů, projeví se v plné míře i příznaky poškození krvetvorných orgánů.

Po dávkách v úrovni několika desítek Gy proběhne akutní nemoc z ozáření pod obrazem **nervové formy**. Bezprostředně po ozáření se dostaví psychická desorientace a zmatenost, porucha koordinace pohybu, křeče a konečně hluboké bezvědomí. Smrt nastane do několika hodin nebo dnů.

Závažnost průběhu akutního onemocnění z ozáření a vyhlídky na přežití jsou příznivě ovlivněny stíněním určitých částí těla. Z hlediska krvetvorby je důležité zachování ostrůvků krvetvorné kostní dřeně.

## Akutní lokální změny

Z lokálních účinků je třeba věnovat největší pozornost kůži, která je při každém zevním ozáření vstupním polem svazku záření.

Stupeň poškození kůže je závislý na dávce, druhu záření, velikosti ozářeného pole a na lokalizaci.

Prahová erytémová dávka v závislosti na energii fotonů:

energie (keV)	odpovídající polovrstva (mm)	erytémová dávka (Gy)
100	1,0 Al	2,7
140	0,4 Cu	5,3
200	0,9 Cu	6,8
700	7,0 Cu	8,0
1000	3,8 Rb	10,0
600 - 2200	(Ra aplikátor)	10,6

Práh poškození se pohybuje od cca 3 Gy výše (pro rtg záření). Několik hodin po ozáření (do 2 - 3 dnů) se objevuje tzv. časné erytém (časné zarudnutí kůže), který do 24 hodin mizí. Pak nastane období klidu, trvající 10 - 15 dnů. Vlastní odezva na ozáření je tzv. pozdní erytém (pozdní zarudnutí) při kterém dochází ke zduření kůže a bolestivosti. To je obraz akutní radiační dermatitidy prvního stupně. Při dávce kolem 3 Gy dochází k epilaci (ztrátě ochlupení), která po dávce asi 6 Gy může být trvalá. Nejvýraznější bývá tam, kde se vlas či chlup rychle obnovuje (vlasatá část hlavy, vousy).

Po ozáření vyššími dávkami, zpravidla nad 10 Gy vzniká radiační dermatitis druhého stupně. Pokožka se odděluje od pojivového podkladu tekutinou, vystupující z cév a vznikají puchýře. Jejich odlučováním a infekcí ložiska se stav dále komplikuje. V příznivějším případě nastává po 2 - 4 týdnech obnova pokožky z okrajů defektu. Pokud dojde k těžšímu poškození cév, vyživujících tkáň, dochází k jejímu odumření a vzniku vředu (radiační dermatitis třetího stupně). Vřed se velmi špatně hojí a i po zhojení je další osud postiženého okrsku kůže nejistý. Nová pokožka je tenká a špatně odolává zátěži (mechanické, termické) i infekci. Rozvojem degenerativních změn může i po letech vzniknout tzv. pozdní vřed vyžadující chirurgický zákrok.

Dalším významným lokálním poškozením může být postižení fertility (plodnosti) po ozáření pohlavních žláz. Odpověď na ozáření pohlavních orgánů je u muže a ženy různá. U muže dochází již po dávce 0,25 Gy k přechodnému snížení počtu spermií, ke sterilitě dochází až po dávkách 3 - 8 Gy s tím, že se plodnost může nejdříve obnovit. U žen vzniká trvalá sterilita po dávce kolem 3 Gy (v závislosti na věku ženy). Rozdíly jsou zde proto, že vajíčka, která ubývají z vaječníků během jednotlivých měsíčních cyklů ženy nejsou nahrazována, zatímco ve varlatech je zásoba spermií během dospělého věku průběžně doplňována. U žen mohou být postiženy i sekundární pohlavní znaky, protože produkci ženských pohlavních hormonů obstarávají rychle se dělicí buňky v okolí dozrávajícího vajíčka, zatímco u mužů relativně odolné buňky nepřísluší k zárodečné tkáni.

Z dalších časných účinků je možno jmenovat radiační zánět plic nebo radiační zánět nosohltanu po jednorázovém ozáření hrudníku nebo hlavy (práh kolem 5 Gy).

### Nenádorová pozdní poškození

Vznikají v průběhu let za podmínek protražované expozice a jsou charakterizovány dávkovým prahem, který je vysoký vzhledem k časovému rozložení dávky, umožňujícímu uplatnění reparačních procesů. Do této skupiny patří především chronický zánět kůže a zákal oční čočky.

Chronický zánět kůže byl zjišťován zejména u lékařů-rentgenologů, kteří prováděli rtg vyšetření bez dokonalé ochrany před zářením. Projevoval se zejména suchostí kůže, jejím praskáním a křehkostí, lomi-  
vostí a podélným rýhováním nehtů.

Zákal oční čočky může po dlouhé době latence vzniknout po jednorázové dávce kolem 3 Gy, při protražované expozici se práh zvyšuje na 15 Gy i více.

### Zhoubné nádory

Zhoubné nádory jsou nejzávažnější pozdní somatické účinky ionizujícího záření. Společným rysem představ o vzniku rakoviny je vícesložkový charakter tohoto onemocnění. Jednou složkou je existence buněk, nesoucích modifikovanou (mutovanou) informaci a přenášejících tuto atypii na své potomstvo,

druhou složkou vzniku nádoru je soubor podmínek, které působí proti tendenci eliminovat atypické buňky nebo potlačit jejich růst. Je známa řada činitelů, působících v jedné nebo druhé jmenované fázi děje. Jsou to viry, dehtové karcinogeny aj. Ve druhé fázi se uplatňují zejména změny v produkci hormonů nebo oslabení imunitní obrany organismu. Ionizující záření může podle současných poznatků působit na různých stupních procesu vývoje rakoviny. Představa, že zhoubné nádory jsou vyvolávány i malými dávkami ionizujícího záření, je odvozena z řady pozorování, mezi nimiž má zvláštní význam studie přeživších obětí atomových útoků v Hirošimě a Nagasaki, pozorování pacientů léčených v Anglii rtg zářením pro onemocnění páteře a rozbor příčin smrti amerických radiologů exponovaných v letech 1900 - 1950.

Jak bylo uvedeno již v kapitole o účincích záření na buňku a tkáň, jsou jednotlivé tkáně a orgány různě vnímavé na vznik nádorů po ozáření. Mezi nejvnmavější patří např. kostní dřev, žaludek a plíce. Číslo, které charakterizuje riziko úmrtí na zářením vyvolanou rakovinu (zahrnuje různou radiosenzitivitu, ale i léčitelnost jednotlivých nádorů) se jmenuje koeficient rizika. Celkový koeficient rizika úmrtí na zářením vyvolané zhoubné novotvary byl stanoven pro pracovníky  $4 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Sv}^{-1}$  (tzn., že při ozáření 100 pracovníků efektivní dávkou 1 Sv zemřou pravděpodobně 4 osoby na rakovinu z ozáření). Koeficient rizika smrti pro celkovou populaci je vyšší -  $5 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Sv}^{-1}$ , neboť jsou zde zahrnuty i děti, které jsou radiosenzitivnější. V následující tabulce je uveden přehled koeficientů rizika pro jednotlivé orgány a tkáně. Je třeba poznamenat, že se jedná o odhad celoživotního rizika při malých dávkových příkonech řídce ionizujícího záření, přičemž pro děti jsou tyto koeficienty pravděpodobně cca 2 - 3 krát vyšší, pro dospělé nad 50 let 5 - 10 krát nižší (což se netýká některých typů leukémií).

Nominální koeficienty celoživotního rizika:

tkáň, orgán	pravděpodobnost fatálního nádoru ( $10^{-2} \cdot \text{Sv}^{-1}$ )	
	obyvatelé	pracovníci
kostní dřev	0,5	0,4
kostní povrch	0,05	0,04
mléčná žláza	0,2	0,16
plíce	0,85	0,68
štítná žláza	0,08	0,06
tlusté střevo	0,85	0,68
jícen	0,3	0,24
kůže	0,02	0,02
žaludek	1,1	0,88
játra	0,15	0,12
močový měchýř	0,3	0,24
vaječníky	0,1	0,08
ostatní	0,5	0,4
celkem	5,0	4,0

Důležitou charakteristikou je časový průběh výskytu zhoubných nádorů po ozáření. Po ozáření nevznikne nádor bezprostředně, ale až po několikaletém období latence, která je např. u leukemie 5 - 20 let, u nádorů plic 10 - 40 let.

## Genetické změny

Významnou skupinou pozdních účinků záření je postižení potomstva ozářených osob. Podkladem genetických změn je, jak již dříve uvedeno, mutace, tj. změna v genetické informaci buňky. Za dědičné účinky je odpovědná tzv. gametická mutace, což je mutace v jádře zárodečných buněk (vajíčka, spermie) pohlavních žláz. Genetický účinek záření spočívá ve zvýšené frekvenci spontánně se vyskytujících mutací. Mutovaný gen je schopen reprodukce při dělení buňky, a tak je mutace předávána do dalších generací. Základ budoucího jedince, vzniklý splynutím mužské a ženské zárodečné buňky, může v důsledku své

nepříznivé genetické skladby velmi časně zaniknout, tj. v období před nebo krátce po vnoření se do děložní sliznice matky. Tento typ poškození se projeví jako neúspěšné oplození. V jiném případě dojde k vývoji zárodku, ale těhotenství končí potratem, předčasným porodem, úmrtím novorozence brzy po porodu nebo porodem dítěte s hrubou vrozenou vadou. Je třeba poznamenat, že podíl všech genetických vlivů na samovolné potratovosti činí 20 - 25% . Příkladem genetické vývojové vady je např. Downova nemoc, genetický podklad může mít i změna poměru pohlaví v populaci apod. Geneticky podmíněné a tudíž i zářením zasažitelné jsou i některé komplexní biologické charakteristiky, jako je fyzická síla, inteligence, motorická hbitost apod.

Z uvedeného výčtu různých projevů změny genetické informace je patrné, že mutace mohou ovlivnit vyhlídky na přežití a další uplatnění nových jedinců. Odhaduje se, že mutovaný gen setrvává v populaci asi 40 generací.

Kvantitativní odhady vztahů mezi dávkou a účinkem se u genetických účinků opírají téměř výlučně o experimentální údaje. Koeficient rizika genetických účinků byl nově pro celkovou populaci odhadnut na  $1,3 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Sv}^{-1}$ , pro kojence a děti s očekávanou plnou reprodukční schopností je však riziko několikrát vyšší než je uvedená hodnota. Pro starší věkové skupiny naopak riziko klesá k nule v souladu s poklesem reprodukční schopnosti. Při posuzování vlivu ionizujícího záření na geneticky podmíněné nepříznivé rysy u potomstva je třeba zvážit, že v normální (neozářené) populaci je spontánní výskyt geneticky podmíněných odchylek cca 5 - 10 na 100 živě narozených dětí.

### Vliv záření na vývoj plodu

Možnost účinku záření na zárodek záleží na době ozáření vzhledem k době, uplynulé od doby početí. Soudí se, že v prvních třech týdnech po početí, kdy je počet buněk zárodku malý a buňky nejsou ještě specializované, projeví se poškození těchto buněk nejčastěji neschopností implantace nebo zánikem oplozeného vajíčka, nikoli deterministickými nebo stochastickými účinky.

Největší radiosenzitivitu vykazuje plod **mezi třetím a osmým týdnem** po početí. (období tzv. embryogeneze), kdy je relativně vysoké riziko vzniku malformací orgánu, který je v té době právě ve vývoji. Tyto účinky jsou deterministické povahy a mají u člověka práh, odhadovaný na základě pokusů na zvířatech na 0,1 Gy.

**Mezi osmým a dvacátým pátým týdnem** po početí je zárodek citlivý na vyvolání mentální retardace, se zjištěným snížením inteligenčního kvocientu (IQ) o 30 IQ jednotek na 1 Gy dávky v mozku během 8 – 15 týdne po početí, s menším posunem v pozdějším období. Práh pro tento účinek se udává 0,1 Gy.

Od **čtvrtého týdne** po početí může být plod citlivý na zhoubné nádory vyvolané ozářením, které se manifestují v dětství nebo v dospělosti. O míře rizika se soudí, že je obdobná jako u dětí v první dekádě života, tedy cca 2 - 3 krát vyšší než u dospělých.

### Závěr

Jak bylo v textu uvedeno, k nestochastickým projevům poškození ionizujícím zářením při používání zdrojů záření v pracovním procesu může dojít pouze při hrubém poškození zásad radiační ochrany, protože roční nejvýše přípustné dávky byly stanoveny tak, aby nebylo dosaženo prahových hodnot nestochastických poškození ani za celou dobu pracovního života jednotlivce. Takže ochrana před zářením při běžné pracovní činnosti spočívá v ochraně před účinky stochastickými, které je třeba omezit na úroveň přijatelnou pro jednotlivce i společnost. Této problematice - kritériím ochrany před zářením a systému limitování dávek, které vycházejí z biologických účinků záření - je věnována jedna z dalších kapitol.



# ZÁKLADNÍ PRINCIPY OCHRANY PŘED ZÁŘENÍM

Jak již bylo v předchozí kapitole uvedeno, z hlediska dávky a účinku ionizujícího záření na lidský organismus je třeba rozlišovat dva základní typy účinku:

**nestochastické účinky** - k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace. Jejich závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu,

**stochastické účinky** (pozdní nádorové projevy a geneticky podmíněné změny u potomstva) - k nimž dochází v důsledku vyvolaných změn v genetické informaci buňky. Předpokládá se pro ně bezprahový lineární vztah mezi dávkou a účinkem.

**Cílem ochrany před zářením je zcela vyloučit nežádoucí nestochastické účinky a omezit výskyt stochastických účinků na tak nízkou úroveň, aby byla přijatelná pro společnost a jednotlivce.**

Nestochastickým účinkům lze zabránit stanovením tak nízkých limitů ekvivalentní dávky, aby nebyla dosažena prahová dávka ani po celoživotním ozáření. Omezení stochastických účinků se zajišťuje systémem limitování dávek tak, aby pravděpodobnost poškození zářením byla snížena na velmi malou míru a aby přitom nedocházelo k nežádoucímu omezení využití zdrojů záření. Základem systému limitování dávek je uplatňování následujících zásad:

- činnost způsobující ozáření musí být zdůvodněna přínosem pro společnost (princip zdůvodnění)
- ozáření osob musí být tak nízké, jak lze z hledisek ekonomických a společenských dosáhnout (princip optimalizace)
- dávkový ekvivalent žádného jednotlivce nesmí přesáhnout limity doporučené pro příslušné podmínky (princip nepřekročení limitů).

Požadavek k **zdůvodnění činnosti** vedoucí k ozáření osob je součástí rozhodování, které vychází z posouzení celkových společenských nákladů a přínosů této činnosti s uvážením všech nežádoucích zdravotních důsledků vyplývajících z předpokládané činnosti. Pro zahrnutí nežádoucích zdravotních důsledků do společenských nákladů je třeba vyjádřit zdravotní újmu v peněžním ekvivalentu, aby je bylo možné porovnat s jinými náklady nebo ztrátami. Na příklad pro lékařské ozáření (§ 4, odst. 6, písm. a) zákona), je odhadován peněžní ekvivalent na 1 mil. Kč.Sv<sup>-1</sup>.

Uvedený peněžní ekvivalent efektivní dávky platí pro rok 1997. Pro další kalendářní roky se násobí koeficientem vyjadřujícím míru inflace, který se odvozuje z ročního klouzavého průměru změny hladiny spotřebitelských cen za předcházející kalendářní rok podle indexu Českého statistického úřadu. Použije se koeficient, který stanovuje a v Cenovém věstníku uveřejňuje Ministerstvo financí pro účely zvláštního předpisu. K zajištění tohoto principu se zavádí obecná povinnost ohlášení činnosti a povinnost vyžádat si před zahájením činností blíže uvedených v prováděcích právních předpisech povolení příslušného orgánu Regionálního centra Státního Úřadu pro jadernou bezpečnost.

Uplatnění **principu optimalizace** v praxi spočívá v tom, že provozovatel v rámci své pravomoci provádí taková opatření v ochraně před zářením, aby efektivní dávka byla co nejnižší s ohledem na ekonomické a společenské hledisko. Při projektování a výstavbě pracovišť se zdroji záření se tedy postupuje na základě metod optimalizace, jejichž cílem je dosáhnout tak vysokého stupně ochrany, že další její zdokonalování nezdůvodní úsilí a náklady potřebné na dosažení dalšího jejího zvýšení. V případech, kdy při uplatnění optimalizace ochrany před ionizujícím zářením by byly překročeny u jednotlivců limity v ochraně před zářením (např. v důsledku velmi vysokých stavebních nákladů), nejsou požadavky systé-

mu limitování dávek splněny a ochrana musí být vybudována tak, aby stanovené limity nebyly překročeny bez ohledu na náklady s tím spojené.

Pro rozhodování o opatřeních vedoucích k omezení ozáření byly stanoveny směrné hodnoty, jejichž nesplnění nebo překročení indikuje podezření, že radiační ochrana není optimalizována a jsou vodítkem pro posouzení opatření v radiační ochraně.

Nutnou podmínkou pro to, aby provoz pracoviště se zdroji mohl být považován za bezpečný, je

- a) aby v prostorách přilehlých k radioterapeutickým ozařováním roční efektivní dávky nepřekročily 250  $\mu\text{Sv}$ ,
- b) aby v prostorách přilehlých k radiodiagnostickým vyšetřováním roční efektivní dávky nepřekročily 100  $\mu\text{Sv}$ ,

příčemž směrné hodnoty ozáření, které se považují za dostatečné k prokázání rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany při nakládání se zdroji ionizujícího záření, jsou 1 Sv pro roční kolektivní efektivní dávku, 1 mSv pro roční efektivní dávku u pracovníků kategorie A nebo B a 50  $\mu\text{Sv}$  pro roční efektivní dávku u ostatních osob. Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany se považuje za dostatečně prokázanou, pokud ani za předvídatelných odchylek od běžného provozu nemůže být žádná z uvedených směrných hodnot překročena, a to ani u jedné osoby.

Význam optimalizace spočívá v tom, že uvážením přínosů a nákladů lze zdůvodněně dosáhnout, zejména v oblasti radiodiagnostiky nižších efektivních dávek, než dříve přijatým způsobem výpočtu ochrany.

Při usměrňování ozáření osob vycházíme především z principu řízení a ochrany u zdroje záření a komponent kolem zdroje. Při usměrňování profesionální expozice přistupuje k tomuto principu individuální ochrana jednotlivých pracovníků. Z praktických důvodů sledování a regulace expozice pracovníků je účelné zavést systém klasifikace pracovních podmínek :

pracovníkem kategorie A se rozumí pracovník se zdroji ionizujícího záření (dále jen „pracovník se zdroji“), starší 18 let, který přichází do styku se zdroji ionizujícího záření při své práci vědomě a dobrovolně a po prokazatelném poučení o míře možného ozáření při práci a o rizicích s tím spojených, u něhož osobní dávky jsou systematicky měřeny, hodnoceny, evidovány a oznamovány do státního systému evidence ozáření pracovníků se zdroji vedeného Úřadem podle § 3, odst. 1, písm. m) zákona a který se kromě toho v posledních 24 měsících podrobil preventivní lékařské prohlídce v rozsahu odpovídajícím posuzování zdravotní způsobilosti na rizikových pracovištích a závěr této prohlídky není v rozporu s prací se zdroji ionizujícího záření,

pracovníkem kategorie B se rozumí pracovník se zdroji, starší 18 let, který přichází do styku se zdroji ionizujícího záření při své práci vědomě a dobrovolně a po prokazatelném poučení o míře možného ozáření při práci a o rizicích s tím spojených.

Expozice jednotlivců, které jsou vystaveni při činnostech připadajících v úvahu, podléhá stanoveným limitům efektivní dávky. Limity jsou stanoveny odděleně pro ozáření při práci a pro ozáření obyvatel. Pod pojmem **základní limity** rozumíme hodnoty efektivní dávky, které nesmí být u jednotlivce ve stanoveném období překročeny. Je třeba současně splnit požadavek, aby nebyly překročeny ani limity pro stochastické ani nestochastické účinky.

Limity ozáření, jako závazné kvantitativní ukazatele, jejichž překročení není podle § 4, odst. 6, zákona č. 18/1997 Sb. z hlediska radiační ochrany přípustné, jsou

- a) základní limity obecné, vztahující se na ozáření ze všech činností vedoucích k ozáření, kromě
  - ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci pracovníci kategorie A nebo B,
  - ozáření, kterému jsou vědomě, dobrovolně a po poučení o rizicích s tím spojených vystaveny osoby po dobu jejich specializované přípravy na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření,
  - lékařského ozáření,
  - ozáření osob podílejících se na zásazích v případě radiační nehody,
  - ozáření, na které se vztahují limity zvláštní podle § 12.
- b) základní limity pro pracovníky se zdroji, vztahující se na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci pracovníci kategorie A nebo B,

- c) základní limity pro učně a studenty, vztahující se na ozáření, kterému jsou vědomě, dobrovolně a po poučení o rizicích s tím spojených vystaveny osoby po dobu jejich specializované přípravy na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření,
- d) zvláštní limity, vztahující se na ozáření ve zvláštních případech podle § 12,
- e) odvozené limity, vztahující se na stejné případy ozáření jako základní limity pro pracovníky, ale vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách než základní limity.

Pro činnosti vedoucí k ozáření nebo zdroje ionizujícího záření, u nichž jsou v podmínkách povolení Úřadem stanoveny mezní hodnoty podle § 4, odst. 6, zákona č. 18/1997 Sb, specificky pro danou činnost nebo zdroj již zohledňující případné ozáření z jiných možných činností a zdrojů, se nepřekročení těchto mezních hodnot považuje za nepřekročení odpovídajících základních limitů.

Limity ozáření se nevztahují na ozáření osob podílejících se na zásazích v případě radiální nehody, avšak toto ozáření nesmí překročit desetinásobek základních limitů pro pracovníky se zdroji, pokud nejde o případ záchrany lidských životů, či zabránění rozvoje radiální nehody s možnými rozsáhlými společenskými a hospodářskými důsledky.

Do čerpání limitů ozáření se na pracovištích se zdroji ionizujícího záření nezapočítává ozáření z přírodních zdrojů, kromě ozáření z těch přírodních zdrojů, které jsou vědomě a záměrně využívány, a kromě případů, kdy ani po provedení nápravných opatření nebylo možné objemovou aktivitu radonu v ovzduší snížit v době výkonu práce pod hodnotu 1000 Bq/m<sup>3</sup>.

Základní limity obecné jsou:

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 1 mSv za kalendářní rok nebo za podmínek stanovených v povolení k provozu pracoviště s významnými nebo velmi významnými zdroji ionizujícího záření výjimečně hodnota 5 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 15 mSv za kalendářní rok,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm<sup>2</sup> kůže hodnota 50 mSv za kalendářní rok.

Základní limity obecné se pro obyvatelstvo v okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření vztahují na průměrné vypočtené ozáření v kritické skupině obyvatel, a to pro všechny cesty ozáření ze všech zdrojů ionizujícího záření a všechny činnosti vedoucích k ozáření, které přicházejí do úvahy. Nejsou-li přímé podklady pro výpočet, použijí se konzervativní odhady variací faktorů ovlivňujících šíření radionuklidů nebo ozáření jednotlivců v kritické skupině podle § 47.

Základní limity pro pracovníky se zdroji jsou:

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 100 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků,
- b) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 50 mSv za kalendářní rok,
- c) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 150 mSv za kalendářní rok,
- d) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm<sup>2</sup> kůže hodnota 500 mSv za kalendářní rok,
- e) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za kalendářní rok.

Základní limity pro pracovníky se zdroji se vztahují na součet dávek ze všech cest ozáření a při všech pracovních činnostech, které pracovník kategorie A nebo B vykonává u jednoho nebo souběžně u více držitelů povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření, popř. které vykonává jako samostatný držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření.

Základní limity pro učně a studenty jsou od roku v němž tyto osoby dovrší 16. rok věku do roku v němž dovrší 18. rok věku:

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 6 mSv za kalendářní rok,

- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 50 mSv za kalendářní rok,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm<sup>2</sup> kůže hodnota 150 mSv za kalendářní rok,
- d) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky hodnota 150 mSv za kalendářní rok.

Základní limity pro učně a studenty jsou pro osoby mladší než 16 let, stejné jako základní limity obecné a pro osoby starší než 18 let, stejné jako základní limity pro pracovníky se zdroji.

Ozáření osob, které dobrovolně, mimo rámec svých pracovních povinností vyplývajících z výkonu povolání nebo pracovního poměru, pečují o pacienty vystavené lékařskému ozáření nebo tyto pacienty navštěvují nebo žijí v jedné domácnosti s pacienty, kteří byli po aplikaci radionuklidů propuštěni ze zdravotnického zařízení, se omezuje tak, aby za dobu vyšetřování nebo léčení pacienta nepřesáhlo 1 mSv u osob mladších 18 let a 5 mSv u ostatních osob.

Ozáření plodu u těhotných žen pracujících na pracovištích se zdroji ionizujícího záření se, neprodleně poté co žena těhotenství zjistí a oznámí zaměstnavateli, omezuje úpravou podmínek práce tak, aby bylo nepravděpodobné, že součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření plodu, alespoň po zbývajících dobu těhotenství, překročí 1 mSv.

Ozáření pracovníků se zdroji při mimořádných, jednorázových nebo krátkodobých pracích se zdroji ionizujícího záření, omezených pouze na malý počet osob a na vymezené prostory (dále jen „výjimečné ozáření“) se omezuje tak, aby efektivní dávka z opakovaných výjimečných ozáření nepřekročila 500 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků. Tato výjimečná ozáření se mohou uskutečnit jen v rozsahu a za podmínek povolení k takovému způsobu nakládání se zdroji ionizujícího záření. Výjimečné ozáření může podstoupit jen pracovník kategorie A, a to dobrovolně a po předchozím poučení o rizicích s tím spojených. Toto výjimečné ozáření není přípustné u těhotných a kojících žen ani osob, u nichž by efektivní dávka obdržená při zásazích v případě radiační nehody překročila 500 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků.

Protože veličiny, v nichž jsou vyjádřeny základní limity nelze přímo měřit, je možné prokázat nepřekročení těchto limitů pomocí měřitelných veličin, jejichž vztah k základním limitům je přesně určen. Těmito veličinami jsou **osobní dávkový ekvivalent** v hloubce 0,07 mm, značený  $H_p(0,07)$  a **osobní dávkový ekvivalent** v hloubce 10 mm značený  $H_p(10)$ .

Tyto veličiny se nazývají **odvozené limity** a jejich hodnoty jsou stanoveny:

- a) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm na 500 mSv za kalendářní rok,
- b) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm na 20 mSv za kalendářní rok.

Jak již bylo shora uvedeno základní limity se nevztahují na ozáření pacienta při lékařských výkonech a ozáření z přirozeného pozadí a k regulaci ozáření osob slouží **směrné hodnoty**. Ozáření při lékařských výkonech musí být zdůvodněno očekávaným zdravotním prospěchem pacienta při uvážení možné volby jiných vyšetřovacích postupů nebo zobrazovacích metod a ochrana osob prováděna tak, aby ozáření pacienta bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout. Směrné hodnoty pro rentgenové vyšetření zubů byly stanoveny pro:

**panoramatický snímek** - vstupní dávka  $D_v = 7$  mGy,

**intraorální snímek** - vstupní dávka  $D_v = 5$  mGy.

Ozáření obyvatelstva přírodními zdroji podléhá usměrnění v podmínkách, kdy se lidskou činností může měnit, a kdy je možné je omezit vhodnými opatřeními. V posledních letech v souvislosti s bydlením byla přijata regulace ozáření stanovením směrných hodnot hmotnostních a objemových aktivit radonu s vymezením kritérií pro určení nápravných opatření v bytech a výběru stavebních materiálů. tyto směrné hodnoty jsou uvedeny ve vyhlášce 184/1997 Sb. Přírodní zdroje ionizujícího záření mohou způsobovat ozáření osob též při průmyslové nebo jiné hospodářské činnosti (např. dobývání radioaktivních hornin). V těchto případech se ochrana řídí limitováním dávek v plném rozsahu.

## Kapitola 6

### OCHRANA PACIENTŮ PŘI RADIODIAGNOSTICKÝCH VÝKONECH

Ochrana pacienta tak, jak ji chápeme, není jen stanovení a dodržování optimálních podmínek, za kterých je pacient podrobován diagnostickému vyšetření, ale i rozhodnutí ke **zdůvodnění indikace** rentgenového vyšetření. Vždy by měla existovat dobrá spolupráce mezi lékařem, který provádí radiodiagnostické vyšetření a lékařem, který toto vyšetření indikuje. Je-li dostatečný důvod k rentgenovému vyšetření, je třeba jej provést a význam individuálního rizika plynoucího z ozáření ustupuje do pozadí. Naproti tomu indikace z rozpaků, nebo podle nekriticky přijímaných šablon, je chybná. Do této kategorie patří zejména vyšetření plic a srdce při přijímání k hospitalizaci, v rámci předoperačních vyšetření, zbytečně opakované kontrolní snímky apod. V této kategorii chybného rozhodování převládají subjektivní nikoliv objektivní příčiny. Naproti tomu při uplatnění fyzikálně technického hlediska na způsob a provedení vyšetření je možné navrhnout řadu poměrně jednoduchých opatření organizačního nebo technického charakteru vedoucí k podstatnému snížení ozáření.

Vezmeme-li v úvahu fyzikální povahu zdroje rentgenového záření (bodový zdroj, široké rozložení energie ve spektru) a nehomogenní složení těla pacienta, je míra střední dávky v těle charakterizována poměrem mezi výstupní a vstupní dávkou a ozářené plochy těla. Poměr mezi výstupní a vstupní dávkou, který se nazývá **poměrem přenosu**, závisí na volbě spektra, vzdálenosti těla od zdroje, tloušťce a složení ozářeného objektu. Vzrůst poměru přenosu udává snížení absorbované dávky pacienta.

Souhrnně řečeno, optimální volbou napětí na rentgence, filtrace rentgenového svazku, vzdálenosti zdroj záření - pacient, velikosti ozářeného pole a dobou ozáření se rozhoduje o zátěži pacienta a i o kvalitě či dostatečnosti informačního záznamu (snímku).

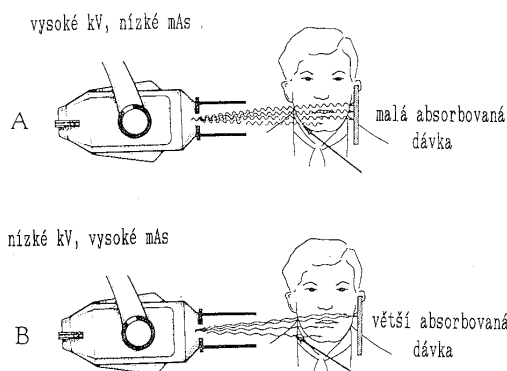
Se **vzrůstajícím napětím** na rentgence stoupá pronikavost záření a tím se příznivě mění poměr přenosu. V níže uvedené tabulce je ukázáno, jak se mění (je redukována) povrchová dávka na kůži při vzrůstu napětí, při dodržení konstantní výstupní dávky.

u [kV]	40	50	60	70	80	90
dávka %	100	81	41	25	16	13

Obdobný průběh, avšak s nižším poklesem, mají i dávky v jiných orgánech a tkáních. Je vidět, že při napětích nad 70 kV jsou dávky silně redukovány.

Samotný údaj o napětí na rentgence ve vztahu k pronikání záření je nepostačující. Protože zdroj vysokého napětí je obvykle generátor střídavého proudu, použité napětí na rentgence není konstantní ale pulsující. Jestliže je použito např. jednocestného usměrnění, kde usměrňující jednotkou je sama rentgenka, mění se napětí na anodě rentgenky od nuly do maxima napětí. Prakticky to znamená, že ve spektru rentgenového záření je velký příspěvek nízkých energií, který se při průchodu hmotou silně absorbuje. Tím přispívají k neúměrnému zatížení kůže na straně vstupu. Energetické poměry a tím i pronikavost záření se podstatně změní s používáním jiných způsobů usměrnění a napájení jako jsou např. dvanácti nebo multipulzní zdroje napětí, u nichž průběh napětí na rentgence je téměř konstantní.

#### REDUKCE DÁVKY NAPĚTÍM NA RENTGENCE



Odstranit nízkoenergetickou složku spektra lze provést vložení vhodného materiálu o určité tloušťce do svazku záření. Rentgenový svazek při průchodu rentgenkou a krytem rentgenky je již filtrován sklem a chladicím olejem. Takováto filtrace svazku se nazývá **vlastní filtrace** zářiče. Každá jiná filtrace se nazývá **přídavná**. Vlastní a přídavná filtrace tvoří **celkovou filtraci** svazku. Nejběžnějším materiálem používaným pro filtraci je hliník a měď. Použitím filtrů se redukuje nejen hustota toku částic, ale svazek se stává pronikavější. Se **stoupající filtrací významně klesá zátěž kůže**. Dávka v orgánech a tkáních je redukována méně. Efekt filtrace na pokles vstupní dávky je uveden v tabulce, a to pro napětí 80 kV a konstantní výstupní dávku.

filtr [mm Al]	1	2	3	4
pokles [%]	100	70	54	44

Nadměrná filtrace vede však ke snížení toku částic (snížení dávkového příkonu) a proto je nutné prodlužovat časovou expozici, aby byl film dostatečně exponován. Ideální by bylo zvolit pro každé vyšetření a tloušťku pacienta vhodnou kombinaci napětí rentgenky a celkové filtrace. Praxe ukázala, že je pro běžnou radiodiagnostiku vyhovující používat následující filtraci rentgenového svazku.

napětí na rentgence [kV]	50	do 70	do 80	do 100	do 125
celková filtrace [mm Al]	1	1.5	2,5	3	4-5

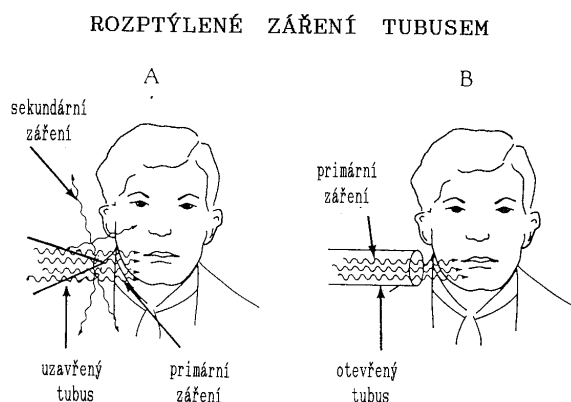
Je nutné poznamenat, že se **vzrůstající filtrací a napětím klesá skiagrafický kontrast**. Snížení je patrné obzvláště u kostí. Vysoké napětí a filtrace je vhodná pro případ, že kontrast kostí není důležitý, např. plynové studie, snímek plic nebo porodnická radiodiagnostika. Jde o tzv. "tvrdou techniku".

Významnou roli ve snížení zátěže hraje **vzdálenost mezi zdrojem a objektem**, kdy velikost poměru přenosu je určena poměrem čtverců jejich vzdáleností. Je-li např. objekt tlustý 10 cm při ozařování ve vzdálenosti 10 cm a 100 cm od zdroje, změní se poměr přenosu z 0,25 na 0,8. Vliv vzdálenosti na zátěž kůže je patrný z následující tabulky.

vzdálenost OK [cm]	20	23	26	30	40	53	100
dávka %	400	350	300	250	200	150	100

Výchozí hodnota je vztažena ke vzdálenosti OK = 100 cm.

Ve vzdálenostech nad 100 cm není již z hlediska úspory dávky dodržování vzdálenosti tak kritické, jako pro malé vzdálenosti, kde dochází se změnou vzdálenosti k prudké změně dávky. Normou ČSN EN 60601-1-3 jsou doporučeny minimální vzdálenosti, které by měly být dodržovány při různých druzích vyšetření. Pro zubní radiodiagnostiku je předepsána vzdálenost mezi ohniskem rentgenky a povrchem kůže 10 cm pro rentgeny s napětím do 60 kV a 20 cm pro rentgeny s napětím nad 60 kV určených pro intraorální snímkování. Pro panoramatické rentgenové přístroje se požaduje minimální vzdálenost OK = 15 cm, která je zaručena konstrukcí otočného ramena a fixací hlavy pacienta v ose otáčení ramene. Vzdálenost je měřena vždy v ose užitečného záření. U rentgenů pro intraorální snímkování je dodržení předepsané vzdálenosti zajištěno kuželovým, pravoúhlým nebo válcovým tubusem. Výhodou kuželových tubusů je snadná centrace svazku, nevýhodou je vznik rozptýleného záření ze stěn tubusu.



U válcového, nebo pravoúhlého tubusu je tomu naopak. Velkou předností tubusů s otevřeným koncem je, že může být vyroben ze stínícího materiálu, např. olovnatého skla, nebo bývá opatřen ještě další clonou, čímž je velice omezen vznik rozptýleného

záření. U pravouhlých tubusů je potřeba používat při snímkování fixační pomůcku pro přesné vymezení rentgenového pole na film.

Mezi **nejdůležitější** metody omezení ozáření pacienta je použití **nejmenšího** možného **průřezu** užitečného svazku rentgenového záření (dále svazku) a jeho přesné **nasměrování** na orgán zájmu. Je třeba zdůraznit, že zmenšení svazku na minimum možné velikosti je vždy přínosem pro pacienta. Dodržování této zásady snižuje střední dávku v těle a také snižuje množství rozptýleného záření dopadajícího na film a přispívá ke zlepšení kvality obrazu. Je velmi důležité rozhodnout o minimální velikosti svazku ve vztahu k oblasti zájmu bez ohledu na velikost použitého filmu nebo stínítka. Z toho plyne, že se musí velmi pečlivě nastavit přiměřené pole před každou expozicí a tím se vyhnout novému snímkování. Obecně, při správně nastavené velikosti pole a centraci svazku **jsou vidět na snímku okraje svazku**. Velikost svazku může být omezena v kterémkoliv vhodném místě mezi ohniskem rentgenky a pacientem. Ideální by bylo použít pro clonění systému clon, z nichž jedna je umístěna co nejbližší k ohnisku rentgenky a druhá co nejbližší k pacientovi, což je sice technicky proveditelné, ale v radiodiagnostické praxi nepoužitelné. Vyhovujícím kompromisem je používání systému dvou i více clon umístěných za sebou u výstupu užitečného svazku ze zářiče. U jednoduchých přístrojů bývá umístěna jedna pevná clona ve výstupním okénku zářiče a druhá, proměnná, souose v jisté, nepříliš velké vzdálenosti od ní. U modernějších nebo dražších zařízení se používá systému několika proměnných clon, který umožňuje velice dobré vyclonění svazku rentgenového záření. Většina clon má světelné zaměření, pomocí něhož lze předem určit zaměření a zvolit velikost ozářeného pole. U většiny přístrojů jsou clony umožňující pravouhlé clonění. Existují i clony (irisové), které umožňují nastavení různých tvarů. Jsou i clony, které automaticky mění velikost pole se změnou ohniskové vzdálenosti.

U zubních rentgenů jsou ve většině případů používány clony pevné a kruhové. Použití **kruhového pole** o něco většího průměru než je úhlopříčka používaného filmu je zdůvodněné tím, že umožňuje **snazší orientaci** a nastavení svazku ve všech žádaných směrech bez velké pravděpodobnosti nutného opakování snímku. Používána je většinou jedna clona umístěná ve výstupním okénku krytu rentgenky (zářiče), výjimečně u některých přístrojů s válcovým tubusem je někdy použito ještě další kruhové nebo kuželové clony uložené do tubusu. U zubních rentgenů pro intraorální snímkování je požadována velikost pole o průměru 6 cm na konci distančního tubusu. U přístrojů pro panoramatické snímkování je předepsáno používání clon pravouhlých (štěrbinových) s možností omezování velikosti pole v několika stupních (oddělené snímkování horní a dolní čelisti, snímky chrupu dětí a pod.)

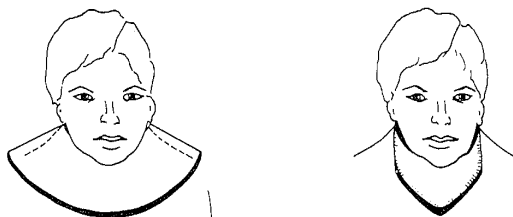
V kapitole 1 a 3 byl stručně zmíněn nový způsob hodnocení zátěže populace a jednotlivce s uvažováním velikosti střední dávky  $D$  v jednotlivých orgánech těla a relativní zdravotní újmou spojenou se stochastickými biologickými účinky na tkáně nebo orgány. Z tohoto pohledu je snaha, aby i v orgánech a tkáních ležících mimo orgán zájmu, byla střední dávka minimální nebo nulová. Uvážíme-li, že tyto orgány a tkáně jsou ozařovány jednak rozptýleným zářením z vnějšku (rozptyl ve vzduchu, tubusu a prozařování krytu rentgenky) a jednak zářením z vyšetřovaného objemu těla, pak je možné **vnější složku záření odstranit použitím vhodných ochranných pomůcek** a účinek „vnitřního“ rozptýleného záření minimalizovat pouze **zvětšením vzdálenosti** mezi zdrojem sekundárního záření a ostatními orgány. Toto je realizovatelné pouze zmenšením rozměrů ozářeného pole a pečlivou centrací svazku. V tom spočívá jejich význam. Právě v zubní radiodiagnostice poloha těla pacienta vůči zdroji - směru primárního svazku hraje důležitou roli. Snahou obsluhy rentgenu by mělo být, aby svazek směřoval kolmo na podélnou osu těla. Je tedy vhodné provádět snímky pacienta v poloze šikmé nebo vodorovné. Spolu s užitím ochranné zástěry pro tělo a ochranného límce pro štítnou žlázu lze výrazně omezit ozáření. Dávka na štítnou žlázu může být v závislosti na směru projekce poměrně vysoká, řádově až několik mGy. Ochranný límec může tuto dávku snížit až o 80%, u dětí až o 90%. Proto používání ochranného límce je velmi nutné. Typy a použití ochranných límců jsou uvedeny na obrázku:

Při panoramatickém snímkování se používá ochranná zástěra, která chrání celou horní část těla pacienta. Délka této ochranné zástěry může být kratší, ale musí chránit oblast pánve. Ochranné límce a zástěry by měly být na pracovišti k dispozici alespoň ve dvou velikostních rozměrech.

K ochraně pacienta během vyšetření pomáhá i navození dobré atmosféry. Vzájemná komunikace mezi lékařem a pacientem, během které je pacient informován o průběhu a cíli radiodiagnostického vyšetření, odstraní nedůvěru a strach. Jestliže vyšetření může vyvolat neobvyklý pocit, omezení nebo nepohodlí, je třeba pacienta v tomto směru informovat. Při vyšetření je důležité předejít neočekávanému pohybu pacienta např. V důsledku úleku. Výsledkem může být špatný snímek a opakování expozice. Pravděpodobnost pohybu pacienta je snížena používáním **opěrek pro hlavu** nebo speciálních **fixačních zařízení**.

K tomu, aby byla zvolena správné nastavení a centrace rentgenového svazku pro každou expozici pacienta, je zapotřebí jistě vysokého stupně vlastního úsudku, dovednosti a praxe. Správně zvolenou a reprodukovatelnou expozici zajišťuje časový spínač. U intraorálních rentgenů musí umožnit časovou volbu od desetiny vteřiny po jednotky vteřin. Moderní zubní rentgeny mají orgánový časový volič, u kterého se expoziční čas volí stisknutím tlačítka pro příslušné vyšetření (řezáky, moláry). Čas je možné upravit pomocí korekce citlivosti filmu. Nejdelší doba expozice je omezena na 5 sekund.

## TYPY OCHRANNÝCH LÍMCŮ



## Požadované technické parametry zubních rentgenů pro intraorální snímkování:

napětí na rentgence	50 - 90 kV
expoziční doba	do 5 s
velikost ozářeného pole na konci tubusu	průměr 6 cm
vzdálenost ohnisko - konec tubusu	10 cm pro napětí do 60 kV 20 cm pro napětí nad 60 kV
délka kabelu expozičního spínače	> 2,5 m
centrace pole a tubusu max.	2% z OK
stínění zářiče proti neužitečnému záření	0,1 mGy/h v 1m od povrchu
indikace zapnutí vysokého napětí	akustická, optická
filtrace svazku	U [kV]      filtr [mm Al]
	50                      1
	do 70                    1,5
	nad 70                   2,5

### Nejčastější závady:

- špatná centrace pole a podélné osy tubusu
- neodpovídající filtrace svazku rentgenky
- vadný nebo nespolehlivý expoziční spínač
- stará rentgenka - změna expozičního příkonu by neměla poklesnout o 30% oproti původní hodnotě.



# ZOBRAZOVACÍ PROCES

Jako záznamové zařízení je ve skiografii používán film a méně často xerokopie. Film a xero mají nejmenší zobrazovací znehodnocení. Pro vytvoření přijatelného zobrazení je však potřeba relativně vysoké expozice. Zejména při xero, které má nejvyšší rozlišovací schopnost, je potřeba pečlivě volit parametry vyšetření, aby bylo dosaženo přijatelného ozáření. Naštěstí xero pro svoje velké finanční nároky je používáno velice omezeně, a to jen ve speciálních případech vyšetření kostí a prsu.

Hlavním **zobrazovacím médiem** je tedy **film**. Snaha zachovat dostatečnou diagnostickou informaci a snížit expozici vedla k vývoji řady systémů, které našly uplatnění ve skiografii.

Především jde o vývoj vysoce citlivých emulzí na rentgenové záření, zavedení technologie oboustranné emulze filmu, zlepšení podložky a vývoj emulzí citlivých na světelné záření v o b l a s t i m o d r é h o a z e l e n é h o s v ě t l a, které jsou používány pro záznam obrazu systémem film-luminiscenční fólie. Fólie, kterou tvoří podložka s naneseným luminoforem na bázi sloučenin wolframu nebo prvků vzácných zemin, absorbuje rentgenové záření a emituje viditelné světlo v uvedené spektrální oblasti. Je třeba mít na paměti, že filmy určené pro kombinaci film-fólie, jsou méně citlivé na rentgenové záření, než jsou filmy bez fólií. Filmy pro foliovou techniku se nesmí používat pro přímý záznam rentgenovým zářením, také není přípustné provádět vzájemnou záměnu mezi filmem citlivým na zelené a modré světlo.

Tam, kde není požadována velká rozlišovací schopnost, používají se pro záznam vysoce citlivé filmy a fólie (např. kontrastní technika s použitím barya, porodnická radiografie). Tam, kde jsou požadovány jemné detaily, např. některá vyšetření končetin, zubní radiodiagnostika a mamografie, se až donedávna používaly jen filmy určené pro bezfóliovou techniku. V současné době i zde, díky moderní technologii při výrobě zesilujících fólií, se používají fólie sice s nižším zesilovacím činitelem, ale vysokou rozlišovací schopností. Takže i zde je možné dosáhnout 5 až 10ti násobné snížení expozice. V zubní radiodiagnostice se používá kombinace film-fólie při panoramatickém snímkování. Citlivé bezfóliové filmy se používají jen při intraorálním snímkování zubů.

Pro získání kvalitního snímku je jednak třeba používat citlivé kontrastní filmy, dobře skladované, s neprošlou dobou použitelnosti a jednak provádět správné vyvolávání filmů. Z hlediska ochrany pacienta je **vyvolávací technika velmi důležitá** ze dvou důvodů. Za prvé nesprávné vyvolávání může zapříčinit nevyhnutelné o p a k o v á n í snímku a za druhé správná vyvolávací technika dává reprodukovatelný výsledek s optimální diagnostickou informací a minimální zátěží pacienta. Zkušenost ukázala, že nesprávné vyvolávání může snadno vést k dvou až trojnásobné dávce. Filmy mohou být poškozeny nesprávným zacházením ve kterémkoliv stádiu vyvolávání. Při zpracování filmů je třeba dodržovat postup předepsaný výrobcem filmů. Vyvolávací proces by měl být optimalizován. Právě nedodržení správného postupu při vyvolávání je příčinou rozdílné kvality snímků a často nepřiměřené, vysoké dávky pacientovy. Předpokladem je ovšem správně exponovaný film. Častou a známou chybou je prodlužování expoziční doby a zkracování doby vyvolávání, což vede k větší zátěži pacienta a poklesu kontrastu snímku.

Obvykle je při ručním **vyvolávání** vyvolávací doba 5 minut, při teplotě vývojky 20°C. Pokud je teplota vyšší, vyvolávací doba se zkracuje, je-li nižší, doba se prodlužuje. Při nízké teplotě ztrácí vývojka účinnost, při vysoké teplotě roste závoj filmu. Při vyvolávání by měla být dodržována teplota doporučená výrobcem filmů, rozdíl indikované teploty lázně a měřené hodnoty musí být menší než 0,5°C. Teplota vývojky by proto měla být trvale kontrolována.

Důležitým faktorem při vyvolávání je kvalita zpracovatelských lázní. Lázně je třeba měnit nejméně 1x za měsíc bez ohledu na počet vyvolaných snímků. (Na většině zubních oddělení nebylo příčinou ztráty účinnosti roztoků počet vyvolaných snímků, ale zejména jejich oxidace.) Výměna chemikálií by měla být prováděna v pravidelných intervalech, dle doporučení výrobce, či na základě dlouhodobých sensitomet-

rických sledování. Na pracovišti má být k dispozici harmonogram výměny chemikálií a písemný záznam o jejím provádění.

Před ustalováním obrazu je třeba vyvolaný film opláchnout ve vodě (nejlépe tekoucí). Praní snímku musí probíhat stále při pracovním osvětlení. Doba oplachu trvá asi 30 s.

**Ustalování** probíhá obvykle 10 minut. Prohlédnout snímek při denním světle a pak vrátit zpět do ustalovače lze asi po 3 minutách ustalování. Při kratší době může vlivem denního světla dojít ke zvýšení závoje filmu.

**Praní** po ustálení má být cca 30 minut. V tekoucí vodě lze dobu praní zkrátit asi na 10 minut. Je důležité, aby se teplota vody nelišila od teploty lázně o více než 3 °C. **Sušení** filmu probíhá v bezprašném prostředí s teplotou do 35 °C.

Vyvolávací proces výrazně usnadní a zkvalitní používání **vyvolávacích automatů**. I zde je nutné dodržovat dobu vyvolávání a teplotu lázně doporučenou výrobcem vyvolávacího automatu a filmového materiálu.

**Temná komora** musí být vybavena pracovním osvětlením, tanky na zpracovatelské lázně, teploměrem k měření teploty lázně, signálním budíkem, žebříčky k vyvolání filmů. Příkon žárovky pracovního osvětlení nesmí být vyšší než 25 W. Lampa musí být vybavena ochranným filtrem. Nejvhodnější jsou filtry barvy olivové, červenohnědé nebo matové žlutozelené. Lze použít i tmavě červené filtry. Při nich je však nižší viditelnost. Vzdálenost pracovního místa od lampy má být větší než 1 m. Světlost a správné pracovní osvětlení jsou nezbytnou podmínkou pro kvalitní zpracování filmů.

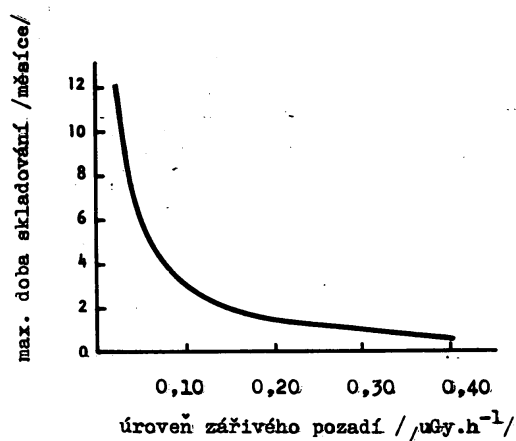
Vyvolaný film by měl být **prohlížen vždy na negatoskopu** s maskovacím rámečkem pro vykrytí okolí snímku a s pomocí zvětšovací lupy. Jas negatoskopu by neměl být menší než 2000 cd/m<sup>2</sup> s možností plynulého nastavení.

Ke zhoršování vlastností fotografických materiálů dochází **nevhodným skladováním**. Nepříznivé jsou zvýšená teplota, vysoká vlhkost, chemikálie a jejich výpary a ionizující záření.

Filmové materiály by neměly být nikdy skladovány při teplotě vyšší než 25 °C. Optimální teplota pro skladování je 10-20 °C. Mohou být skladovány i v ledničce, je však nutné je před použitím ponechat alespoň 24 hodin při pokojové teplotě. Chemikálie je vhodné skladovat též při teplotách 10 - 20 °C, nikdy však při teplotách nižších. Musí být skladovány odděleně od rentgenových filmů.

Optimální relativní vlhkost pro skladování filmů je 50 - 60%. Vyšší vlhkost zhoršuje vlastnosti emulze. Při malé vlhkosti dochází při vybalování filmů častěji k elektrostatickým výbojům, a tím ke vzniku artefaktů na vyvolaném snímku.

Filmové materiály nesmí být skladovány v místech se zvýšenou úrovní ionizujícího záření. Na obrázku je znázorněna závislost maximální doby skladování na úrovni kermového příkonu pozadí tak, aby se hustota zčernání filmů nezvýšila o více než 0,05.



## Kapitola 8

### OCHRANA PRACOVNÍKŮ PŘI RADIODIAGNOSTICKÝCH VÝKONECH

Ochrana pracovníků v radiodiagnostice je jedním ze specifík ochrany pracovníků se zdroji ionizujícího záření. Řídí se tedy v plné míře pravidly a požadavky, které jsou uvedeny v kapitolách č. 5 a 10. Vedle organizačních opatření a administrativních pravidel zakotvených v legislativních předpisech, jedním z hlavních nástrojů k zabezpečení ochrany v praxi je využití stavebně technické prostředků, osobních ochranných prostředků a ochrana vzdáleností.

Na radiodiagnostických pracovištích jsou pracovníci vystavováni zevnímu ozáření. Míra jejich ozáření je určována konkrétní pracovní náplní a druhem používaných zdrojů ionizujícího záření. Podle těchto charakterizujících znaků lze s velkou pravděpodobností určit, zda na pracovišti bude vyhlášeno kontrolované pásmo či nikoliv.

Při radiodiagnostice chrupu zpravidla pracovníci při snímkování pobývají mimo rentgenovou vyšetřovnu (v obsluhovně nebo chodbě). Jsou odděleni od zdroje ionizujícího záření stínicí stěnou, popřípadě dveřmi s Pb vložkou a okénkem z olovnatého skla. Na těchto pracovištích s největší pravděpodobností nebudou vyhlášována kontrolovaná pásma. Může ovšem nastat situace, kdy stavebně technické podmínky zubního pracoviště nebo povaha radiodiagnostického výkonu nedovolí uplatnit všechny jednoduché technické prostředky ochrany. V takovém případě je potřeba zvážit jednotlivé kroky, které musíme uplatnit tak, aby ochrana před zářením byla optimalizována. Především je třeba stanovit **časový faktor** ozáření, zvolit co možno největší **vzdálenost obsluhy** od zdroje ionizujícího záření a použít **osobních ochranných prostředků**.

Časový faktor je dán délkou expozice. Ta je určována druhem vyšetření, volbou pracovních parametrů vyšetření a použitým filmovým materiálem. U zubních rentgenů, u kterých je ve většině případů napětí a proud rentgenky stabilně nastaven, odpadá volba těchto parametrů a lze volit pouze délku expozice nastavením časového spínače. Při volbě expozice musíme vzít v úvahu především **citlivost používaných filmů** a **část chrupu**, která má být snímkována. Pro daný rentgenový přístroj a druh filmu je třeba provést ověření a určení správné expoziční doby pomocí standardního fantomu. Expozice pak s minimálními korekcemi, odpovídající změně citlivosti filmu, provádět podle takto ověřených časů. Tímto postupem zajistíme správnou expozici a jen nejnižší ozáření pacienta a obsluhy.

Dalším pravidlem, ze kterého není výjimky, je, aby v ordinaci, ve které se provádí rentgenový snímek, nebyl **kromě pacienta a eventuálně i obsluhy rentgenu**, nikdo ze zaměstnanců přítomen. Případná fixace pacienta (malé děti) musí být zajištěna fixační pomůckou nebo osobou, která pacienta doprovází. Tato osoba musí použít na svou ochranu ochrannou zástěru z Pb gumy.

Nejlacinějším, přitom ale velice účinným prostředkem pro snížení ozáření, je **ochrana vzdáleností**. Je založena na poklesu dávkového příkonu s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Platí vztah:

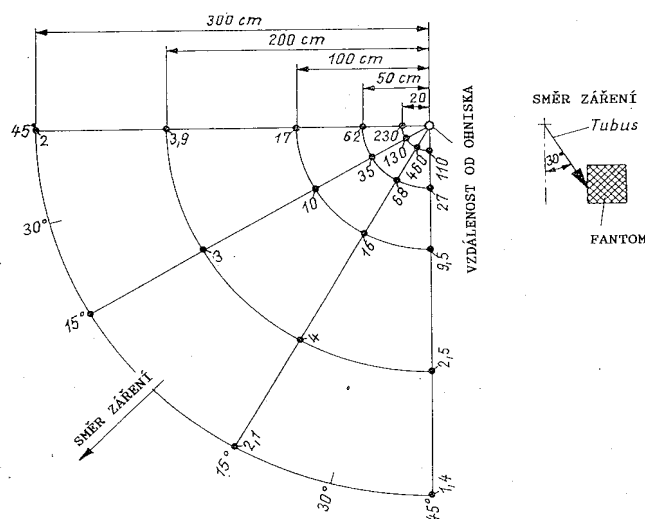
$$D_1 \cdot r_1^2 = D_2 \cdot r_2^2,$$

kde  $D_1$  a  $D_2$  jsou dávkové příkony ve vzdálenosti  $r_1$  a  $r_2$ .

Zákon čtverce, jak je někdy tento vztah nazýván, platí pro plošné zdroje asi od vzdálenosti, která je rovna cca desetinásobku lineárního rozměru ohniska vyzářování. Pokles dávkového příkonu se vzdáleností od zdroje je zobrazen v horizontální rovině na následujícím obrázku. Proveden byl snímek horního moláru přístrojem Stomax 3 na heterogenním fantomu člověka.

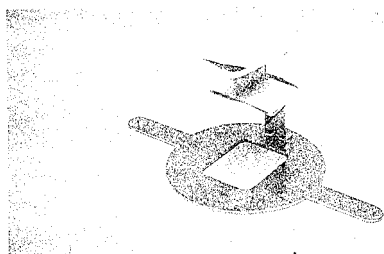
Z průběhu poklesu dávkového příkonu (mGy/h) je vidět, že výrazný pokles je zaznamenán ve vzdálenosti 2 až 3 m od zdroje. Proto je nutné dodržovat odstup od zdroje alespoň na vzdálenost 2,5 m. Při odstupu odcházíme pokud možno **na odvrácenou stranu** směru primárního svazku.

### ROZLOŽENÍ DÁVKOVÉHO PŘÍKONU PŘI SNÍMKU PŘÍSTROJEM STOMAX 3



K ochraně obsluhy přispívá i to, že film při snímku musí být držen samotným pacientem nebo k uchycení filmu je použita fixační pomůcka. Jedna z používaných fixačních pomůcek je na dalším obrázku.

### DRŽÁK FILMU



Jestliže v zubní ordinaci s rentgenem není umožněno obsluze odstoupit od zdroje záření na požadovanou minimální vzdálenost, je nutné instalovat do ordinace ochrannou zástěnu, eventuálně prodloužit kabel spínače tak, aby bylo možné odexponovat snímek z požadované vzdálenosti nebo i mimo ordinaci. V každém případě musíme při plánování ochrany osob vycházet ze **směrných hodnot** pro prokazování rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany, které jsou uvedeny v kapitole č. 5.

Stavební stínění lze realizovat různým materiálem. Pro oblast energií, které jsou při zubní radiodiagnostice používány, platí, že lineární součinitel zeslabení  $\mu$  stoupá s protonovým číslem stínicího materiálu. Účinnost stínění pro obvykle používané materiály roste v následujícím pořadí:

cihla, beton, barytová omítka, barytový beton, olovo, wolfram, uran.

Často je výhodné použít z ekonomických důvodů větší tloušťky materiálu s nižší schopností stínění. Na většině stomatologických pracovištích vystačíme s běžným stavebním materiálem – cihlou.

# MONITOROVÁNÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Na pracovištích, kde je možné očekávat vyšší úroveň individuálních dávek nebo tam, kde existuje pravděpodobnost dosažení nebo překročení limitů, jsou vyhlášována kontrolovaná pásma. V těch jsou pracovníci podrobováni individuálnímu monitorování, aby, bude-li to nezbytné, mohly být jejich expozice omezeny. Zdravotní stav těchto pracovníků (pracovníci kategorie A) je kontrolován formou periodických zdravotních prohlídek. Pro celou řadu prací je možné odhadnout pravděpodobnou úroveň individuálních dávek za předpokladu, že budou dodržovány správné pracovní postupy a pravidla bezpečnosti ochrany. Z výsledku sledování individuálních dávek a po ověření, že podmínky ochrany jsou uspokojivé, lze stanovit meze dávek pro daný typ práce, které jsou vzaty za základ pro regulování expozice pracovníků a provádění nápravných opatření.

K ověřování stavu radiační ochrany na pracovištích a jeho okolí a splnění požadavků systémů limitování dávek slouží zjišťování osobních dávek pracovníků, sledování provozního stavu používaných zdrojů záření a proměrování příkonů dávkového ekvivalentu na jednotlivých místech v prostorech pracoviště a jeho okolí. Pro tuto činnost se vžil název **monitorování ochrany před zářením**. Monitorování se provádí podle určitého plánu předem navrženého držitelem povolení k používání zdrojů ionizujícího záření a schváleného Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Monitorovací plán zahrnuje zejména vymezení veličin, které budou monitorovány, program potřebných měření (způsob, rozsah a frekvence měření), návod na vyhodnocování výsledků měření, hodnoty referenčních úrovní a přehled příslušných opatření při jejich překročení. Monitorování bývá zpravidla zaměřeno na stanovení osobních dávkových ekvivalentů pracovníků (**monitorování osobní**) nebo na podmínky ozáření v prostorech pracoviště (směrový nebo prostorový dávkový ekvivalent), z nichž lze odvodit pravděpodobnost nepřekročení určité úrovně ozáření u jednotlivců (**monitorování pracovního prostředí**). Pravidelným monitorováním zevního záření v pracovním prostředí se za provozu získávají podklady pro odhad horní meze limitů.

**Individuální monitorování osob** se musí provádět v kontrolovaných pásmech radiodiagnostických pracovišť. Toto zjišťování osobních dávkových ekvivalentů pracovníků se provádí nošením osobního dozimetru (nejčastěji filmového a termoluminiscenčního) na referenčním místě těla, které je na přední levé horní straně hrudníku. Při používání ochranné stínící zástěry se nosí na tomto referenčním místě, vně zástěry.

Na pracovištích se zdroji záření, kde se nepředpokládá vyhlášení kontrolovaného pásma, je účelné provést **monitorování pracovního prostředí**, z jehož výsledků lze určit odhadem horní meze dávkového ekvivalentu. Někdy bývá účelné monitorování pracovního prostředí doplnit nebo nahradit měřením osobních dávek, jejichž vzrůst nebo pokles může signalizovat případnou změnu pracovních podmínek.

K řízení a kontrole ochrany před ionizujícím zářením jsou zaváděny referenční úrovně, které v číselně vyjádřených hodnotách odvozených limitů vymezují kritéria rozhodné pro určité předem stanovené postupy nebo opatření. Jako referenční meze pro operativního hodnocení ochrany byly zvoleny **záznamová, vyšetřovací a zásahová úroveň**. Tyto referenční meze v operačním zjišťování a hodnocení zátěže pracovníků sledují rozdílné cíle.

**Záznamová úroveň** má za úkol oddělovat bezvýznamné hodnoty dávkových ekvivalentů od těch, které je třeba uchovat v dokumentaci jako doklad pro předepsaná šetření, v praxi byla přijata záznamová úroveň s hodnotou zpravidla rovné 1/10 základního limitu. Podmínkou však je, aby byly metody monitorování byly zvoleny tak, aby nejmenší detekovatelná hodnota měřené veličiny byla menší než takto stanovená záznamová úroveň.

**Vyšetřovací úroveň** se nazývá referenční úroveň, jejíž překročení dává podnět k prošetření příčin a důsledku výkyvu sledované veličiny, neboť se ukazuje možnost překročení limitů. Výše vyšetřovací úrovně má být stanovena na základě zhodnocení dosahovaných úrovní osobních dávek pracovníků tak, aby za podmínek optimalizované ochrany nedocházelo k nadměrnému ozáření u jednotlivců. Vyšetřovací úroveň je zpravidla stanovena hodnotou rovnající se 3/10 základních limitů. Při monitorování prostředí je často účelné zvolit vyšetřovací úroveň jako horní mez hodnot obvykle se vyskytujících na daném pracovišti.

Referenční úrovně, jejichž překročení je podnětem k zahájení určité činnosti nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany se označují jako **zásahové úrovně**. U zásahových úrovní vymezených v programu monitorování se uvádí také přesně o jaký zásah se jedná a jakým postupem se o něm rozhoduje. Pro jednotlivou měřenou veličinu nebo parametr může být stanoveno i několik, zpravidla na sebe navazujících zásahových úrovní, odpovídajících navazujícím zásahům postupně významnějším, podle toho jak roste význam zjištěného výkyvu sledované veličiny.

Individuální monitorování se provádí **osobními dozimetry**. Osobní dozimetr musí měřit všechny druhy záření podílející se na zevním ozáření pracovníka při nakládání se zdroji. Když tuto podmínku nesplní jeden dozimetr, pracovník se vybavuje dalšími dozimetry pokud není v programu monitorování povolen jiný způsob monitorování.

Nejnámějším osobním dosimetrem je **filmový dozimetr**. Ten se skládá z umělohmotné kazety, na jejíž vnitřní straně jsou umístěny filtry z mědi, olova a plastiku o různých tloušťkách. Do kazety se vkládá film v jehož citlivé vrstvě působením ionizujícího záření vzniká latentní obraz. Film je v důsledku filtrů pod jednotlivými poli různě exponován. Porovnáním zčernání pod jednotlivými filtry lze zjistit energii fotonového záření a pomocí kalibrovaného standardu i velikost ozáření filmů. Udávaná změřená veličina je kerma ve vzduchu. Pomocí převodních koeficientů lze tento údaj převést na osobní dávkový ekvivalent  $H_p(d)$ . Filmový dozimetr poskytuje též informaci o tom, zda došlo k ozáření zepředu, zezadu, ze strany a zda bylo ozáření jednorázové či nikoliv. Také lze rozeznat, zda-li šlo o ozáření rentgenovým, gama nebo beta zářením. Je možné určit, zda šlo i o ozáření smíšené. Filmový detektor je integrálního typu umožňující měřit celkové ozáření za delší časové období. Použitím přídatného filmu s nízkou citlivostí umožňuje dozimetr zaznamenat i případné nadexpozice při mimořádných situacích. Nevýhodou je poměrně pracná procedura vyvolávání a vyhodnocování ozáření. Je nutné kompenzovat pokles údajů po ozáření.

K detekci záření je v monitorování velmi rozšířeno používání **termoluminiscenčních detektorů TLD** (např. LiF, CaSO<sub>4</sub>). Pro malé rozměry detektorů, velký rozsah měřitelných expozičních (až několik řádů) a automatizaci vyhodnocovacího procesu, jsou TLD předurčeny pro široké použití. Vedle používání v osobní dozimetrii se uplatňují v radioterapii, radiodiagnostice a i v životním prostředí. Pro monitorování pracovního prostředí se nejčastěji používá dozimetrických přístrojů s ionizačními komorami. Tyto typy přístrojů bývají konstruovány pro universální použití k měření rozptýleného i primárního záření. Lze s nimi změřit dávkový ekvivalent i příkon dávkového ekvivalentu v rozsahu několika řádů.

Dozimetrické přístroje používané k monitorování musí být metrologicky ověřeny .

Na pracovištích, kde nelze při ztrátě kontroly nad zdrojem ionizujícího záření vyloučit radiační neohodu v důsledku jednorázového zevního ozáření, jsou pracovníci se zdroji vybavováni **operativními dozimetry**, které překročení nastavené úrovně mohou přímo signalizovat. Může-li zdroj ionizujícího záření způsobit jednorázovým ozářením překročení pětinasobku základních limitů pro pracovníky se zdroji musí monitorování umožnit stanovení dávek a jejich distribuce v těle pracovníků, včetně rekonstrukce nehody.

V případě podezření, že došlo k neplánovanému jednorázovému ozáření pracovníka, provádí se **okamžitě vyhodnocení osobních dozimetrů** a dozimetrické hodnocení dané události.

## Kapitola 10

### ZÁKLADNÍ PODMÍNKY BEZPEČNÉHO PROVOZU PRACOVÍŠŤ SE ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

**Lékařské ozáření může provádět pouze držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření podle § 9 písm. i) zákona č. 18/1997 Sb.**

**K lékařskému ozáření mohou být používány pouze zdroje ionizujícího záření typově schválené Úřadem.**

#### Podrobnosti podmínek lékařského ozáření (§ 34 vyhlášky č.184/97 Sb.)

- 1) K lékařskému ozáření se používá zdrojů ionizujícího záření jen na základě lékařské indikace. Po odpovídajícím výcviku v technice používané při těchto ozářeních se lékařské ozáření uskutečňuje pod odpovědností:
  - a) lékařů, kteří mají specializaci v oboru radiodiagnostika, radioterapie nebo nukleární medicína<sup>1)</sup>,
  - b) lékařů, kteří mají specializaci v oboru stomatologie<sup>1)</sup>, pokud se jedná o stomatologická rentgenová vyšetření,
  - c) jiných lékařů, pokud se jedná o lékařské ozáření v rámci výkonu, pokud k provedení je lékař oprávněn dosaženým vzděláním ve své příslušné specializaci<sup>1)</sup>,
  - d) radiologických laborantů nebo asistentů<sup>1)</sup> podle předpisu daného lékařem s kvalifikací podle písm. a) až c).
- 2) Lékařské ozáření jednotlivých osob se odůvodňuje (§ 4 odst. 2 zákona) očekávaným individuálním zdravotním prospěchem pacienta při uvážení možné volby jiných vyšetřovacích postupů nebo zobrazovacích metod popř. jiných léčebných postupů.
- 3) Směrné hodnoty pro lékařská ozáření jsou stanoveny v příloze č. 9 vyhlášky č.184/97 Sb. a pro stomatologická vyšetření jsou uvedeny v kapitole 5. Tyto směrné hodnoty se vztahují na vyšetření u typického dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg. Pro jiné osoby se zohlední jejich hmotnost a tělesná konstituce.
- 4) Optimalizace radiační ochrany při lékařském ozáření se dosahuje zejména volbou vhodného radiodiagnostického postupu, přitom při radiodiagnostice zevním ozářením je třeba používat doporučených provozních parametrů ozařovacích zařízení s uvážením požadavků na kritéria správného zobrazení a s použitím správné zobrazovací techniky tak, aby dávky ve tkáních ve vyšetřované části těla byly co nejnižší, aniž by to zabránilo získání nezbytných radiodiagnostických informací.
- 4) Zdravotnické pracoviště, na kterém se provádí lékařské ozáření, musí být vybaveno osobními ochrannými prostředky a pomůckami i pro radiační ochranu pacientů a osob dobrovolně o ně pečujících a tyto prostředky musí být přiměřeně charakteru vyšetření používány. Přístrojová technika používaná k diagnostickému nebo léčebnému výkonu při lékařském ozáření podléhá také schválení podle zvláštních předpisů.<sup>2)</sup>
- 5) Před každým použitím zdroje ionizujícího záření k vyšetřování nebo léčení osob je nutno zjistit u pacienta předchozí významné aplikace radionuklidů a ionizujícího záření, které by mohly mít význam pro uvažované vyšetřování nebo léčení. Zjišťuje se případné užívání kardiostimulátoru, kloubních

<sup>1)</sup> Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 77/1981 Sb., o zdravotnických pracovnících a jiných odborných pracovnících ve zdravotnictví.

<sup>2)</sup> § 62 zákona č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu, ve znění pozdějších předpisů.

náhrad a u žen fertilního věku možnost těhotenství. Tyto anamnestické údaje se zaznamenají do zdravotnické dokumentace.

- 6) O každém lékařském výkonu s použitím ionizujícího záření se pořídí záznam, umožňující posouzení velikosti ozáření vyšetřované nebo ošetřované osoby. U radiodiagnostických postupů se zaznamenávají vstupní dávky (pro osobu střední konstituce, objemu, hmotnosti) nebo alespoň podklady pro jejich odhad.
- 7) U těhotných žen lze provádět radiodiagnostické úkony spojené s ozářením pouze v neodkladných případech nebo z důvodů porodnické indikace. Přitom se vždy zvláště bedlivě zvažuje nezbytnost získání specifické informace s použitím zdrojů ionizujícího záření a volí se šetrná technika zaměřená na ochranu plodu.

## Používání zdrojů ionizujícího záření

1. Pracoviště se zdroji ionizujícího záření se navrhuje, staví a uvádí do provozu způsobem, který umožní při provozu bezpečné nakládání se zdroji ionizujícího záření a dostatečné zajištění radiační ochrany jak osob na pracovišti i tak osob pobývajících v jeho okolí. Zejména se zajišťuje, aby stavební materiál použitý k výstavbě pracoviště a konstrukce stěn, stínění a kryty zdrojů, vybavení a vnitřní členění pracoviště byly voleny tak, aby při všech činnostech na tomto pracovišti vedoucích k ozáření a při případných radiačních nehodách byla zajištěna taková radiační ochrana, která odpovídá podmínkám očekávaným při provozu pracoviště (§ 30 vyhlášky č.184/97 Sb.).
2. K bezpečnému provozu musí být na každém pracovišti se zdroji ionizujícího záření, kromě zdrojů nevýznamných a drobných, (§ 6 vyhlášky č.184/97 Sb.) nejpozději před zahájením vlastního nakládání zajištěno:
  - a) **vykonávání soustavného dohledu** nad dodržováním radiační ochrany se zdroji ionizujícího záření: na pracovišti (§ 18 odst. 1 písm. i) zákona) alespoň jednou osobou se zvláštní odbornou způsobilostí v radiační ochraně. Zvláštní odbornou způsobilostí se rozumí odborná schopnost fyzických osob ověřená odbornou zkušební komisí Úřadu vyžadovaná pro řízení práce se zdroji ionizujícího záření a vykonávání dalších činností zvláště důležitých z hlediska radiační ochrany stanovených prováděcím předpisem (vyhláška č. 184/97 Sb.),
  - b) **vymezení a označení kontrolovaného pásma** v souladu s ustanoveními § 35 vyhlášky č.184/97 Sb. a zajištění podmínek pro regulaci pohybu osob v tomto pásmu v souladu s ustanoveními § 36 vyhlášky č.184/97 Sb.,
  - c) **vybavení pracoviště přístroji**, zařízeními a pomůckami v množství a kvalitě dostatečných k zabezpečení všech měření uvedených v programu monitorování, vnitřním havarijním plánem, protokolu o přejímací zkoušce, případně Úřadem stanovených v podmínkách povolení k nakládání, a jejich udržování v řádném technickém stavu,
  - d) **vybavení pracovníků** se zdroji osobními ochrannými prostředky (např. pláště, zástěry, brýle, rukavice s odpovídajícím stínícím účinkem) a odpovídajícími ochrannými pracovními pomůckami (např. pinzety, kleště, stínící ochranné obaly, kontejnery).
3. Zvláštní zdravotní způsobilost pracovníků kategorie A musí být pravidelně, **nejméně jednou za dva roky**, ověřována Úřadem určeným zdravotnickým zařízením **preventivními lékařskými prohlídkami** v rozsahu odpovídajícím posuzování zdravotní způsobilosti na rizikových pracovištích. Záznamy o lékařských prohlídkách se na pověřeném zdravotnickém zařízení uchovávají po dobu nejméně 30 let od ukončení práce v kontrolovaném pásmu, a současně alespoň do dosažení věku 90 let, nebo 10 let po úmrtí daného pracovníka. S výsledky a závěry lékařských prohlídek je pracovník seznamován a na vyžádání se zasílají také příslušným držitelům povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření.



4. U pracovníků kategorie A je nutno zajistit
  - a) pravidelné výměny a vyhodnocení osobních dozimetřů,
  - b) okamžité výměny a vyhodnocení osobních dozimetřů v případě podezření nebo vzniku radiační nehody,
  - c) informovanost pracovníků o výsledcích vyhodnocení jejich osobních dozimetřů.

Nutnou podmínkou pro to, aby provoz pracoviště se zdroji mohl být považován za bezpečný, je

- a) aby v prostorách přilehlých k radioterapeutickým ozařováním roční efektivní dávky nepřekročily 250  $\mu\text{Sv}$ ,
  - b) aby v prostorách přilehlých k radiodiagnostickým vyšetřováním roční efektivní dávky nepřekročily 100  $\mu\text{Sv}$ .
5. Generátor záření smí být zapínán a používán pouze po nezbytnou dobu. Po skončení práce se musí zkontrolovat, že generátor záření byl vypnut (§ 38 vyhlášky č.184/97 Sb.).
  6. Stacionární rentgenová zařízení a jiné stacionární generátory záření se umísťují do samostatných ozařoven nebo vyšetřoven a obsluhují se z chráněných obsluhoven s výjimkou rentgenových přístrojů jejichž konstrukce nebo účel použití vylučují překročení limitů ozáření. V případě rentgenových zařízení pro radiodiagnostiku, které je nutno ovládat přímo z vyšetřovny, se pro tento účel instalují pevné nebo posuvné ochranné zástěny zajišťující nepřekročení limitů ozáření (§ 38 vyhlášky č.184/97 Sb.).
  7. Generátor záření nesmí být používán dokud neprošel přijímací zkouškou (§ 43, vyhlášky č. 184/97 Sb.) ani pokud od poslední zkoušky dlouhodobé stability (§ 44, vyhlášky č. 184/97 Sb.) již uplynula lhůta pro její periodické provádění nebo nastaly jiné důvody k jejímu provedení.

### Všeobecné povinnosti držitelů povolení podle § 17a 18 zákona č.18/1997:

1. Držitel povolení podle § 9 zákona č. 18/97 Sb., je povinen, kromě ostatních povinností stanovených zákonem,
  - a) zajistit radiační ochranu, včetně jejího ověřování, v rozsahu odpovídajícím pro jednotlivá povolení,
  - b) soustavně a komplexně hodnotit naplňování podmínek stanovených v § 4 zákona č. 18/97 Sb., z hlediska stávající úrovně vědy a techniky a zajišťovat uplatnění výsledků hodnocení v praxi,
  - c) dodržovat podmínky povolení vydané Úřadem, postupovat v souladu se schválenou dokumentací a vyšetřit bezodkladně každé porušení těchto podmínek nebo postupů a přijmout opatření k nápravě a zabránění opakování takové situace. Všechny případy, kdy byl některý z limitů ozáření překročen nebo porušen, bezodkladně oznámit Úřadu,
  - d) dodržovat schválený program zabezpečování jakosti a dodržovat zvláštní požadavky na jednotnost a správnost měření a měřidel v rozsahu stanoveném prováděcím předpisem,
  - e) poskytovat potřebnou součinnost zejména pro výkon kontrolní činnosti Úřadu podle § 39 zákona č. 18/97 Sb. a poskytnout součinnost osobám příbráným Úřadem za účelem posouzení odborných otázek souvisejících s výkonem kontroly,
  - f) umožnit nakládání zdroji ionizujícího záření pouze osobám oprávněným a nakládat s nimi podle zákona č. 18/97 Sb.,
  - g) zajistit výkon stanovených činností pouze osobami splňujícími podmínky zvláštní odborné způsobilosti a splňujícími požadavky ověřené způsobem stanoveným zvláštním předpisem, (vyhláška č. 146/97 Sb), zdravotně a psychicky způsobilými,

- h) řídit práce se zdroji ionizujícího záření a vykonávat další činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany stanovené vyhláškou 184/97 Sb., mohou pouze fyzické osoby, jejichž znalost zásad a postupů radiační ochrany byla ověřena odbornou zkušební komisí Úřadu a kterým bylo Úřadem vydáno oprávnění k dané činnosti. Činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci, odbornou přípravu, způsob jejich ověřování a udělování oprávnění pro osoby oprávněné vykonávat tyto činnosti („vybraní pracovníci“) stanoví prováděcí předpis (vyhláška č. 146/97 Sb.),
- i) oznamovat bezodkladně Úřadu každou změnu nebo událost důležitou z hlediska radiační ochrany, a změnu všech skutečností rozhodných pro vydání povolení.

2. Držitel povolení je povinen předložit Úřadu ke schválení zejména:

- dokumentaci uvedenou v příloze I, zákona č. 18/97 Sb. a programy zabezpečení jakosti podle § 4 odst. 7, zákona č. 18/97 Sb.,
- vnitřní havarijní plán a havarijní řád,
- změny dokumentace podle písm. a) až f)

a dále je dále povinen:

- a) sledovat, měřit, hodnotit, ověřovat a zaznamenávat veličiny, parametry a skutečnosti důležité z hlediska, radiační ochrany, v rozsahu stanoveném prováděcími předpisy,
- b) vést a uchovávat evidenci zdrojů ionizujícího záření, objektů, materiálů, činností, veličin a parametrů a dalších skutečností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany a havarijní připravenosti a evidované údaje předávat Úřadu způsobem stanoveným prováděcím předpisem,
- c) zajistit soustavný dohled nad dodržováním radiační ochrany,
- d) zajistit pro všechny zaměstnance, kteří jsou pracovníky se zdroji, zdravotní prohlídky,
- e) zajistit těhotným ženám pracujícím v kontrolovaném pásmu podmínky, zajišťující pro plod stejný stupeň radiační ochrany jako pro každého jednotlivce z obyvatelstva,
- f) zajistit systém vzdělávání a ověřování způsobilosti a zvláštní odborné způsobilosti zaměstnanců podle významu jimi vykonávané práce.

## Podrobnosti k používání zdrojů ionizujícího záření při zubní radiodiagnostice

Ing. Jan Matzner, Ing. Otto Kodl, RNDr. Zdeněk Rozlívka

1. Zubní rentgen je obecně generátorem záření (§ 2 písm. f) vyhlášky č.184/97 Sb.), konkrétně jednoduchým zdrojem ionizujícího záření (§ 2 písm. c) bod 4. zákona č.18/97 Sb., § 6 odst. 6 vyhlášky č.184/97 Sb.). Nakládání s ním vyžaduje povolení [§ 9 odst. 1 písm. i) zákona č.18/97 Sb. a § 14 odst. 1 písm. e) vyhlášky č.184/97 Sb.]. Držitelem povolení může být právnická osoba (nemocnice nebo jiné zdravotnické zařízení) nebo fyzická osoba (soukromý stomatolog) splňuje-li podmínky § 10 zákona č.18/97 Sb..
2. Žádost o povolení (§ 13 zákona č.18/97 Sb. ) obsahuje :
  - identifikace žadatele, (viz bod č. 1. přílohy č.2),
  - předmět a rozsah činnosti [§ 9 odst. 1 písm. i) zákona č.18/97 Sb. a § 14 odst. 1 písm. e) vyhlášky č.184/97 Sb.], (viz bod č. 2. přílohy č.2),
  - výpis z Rejstříku trestů fyzické osoby, výpis z Rejstříku trestů a z obchodního rejstříku je-li žadatelem právnická osoba, (viz bod č. 3. přílohy č.2),
  - doklad o odborné způsobilosti, viz ad 3 a 4, (viz bod č. 3. přílohy č.2),
  - požadovaná dokumentace (příloha písm. I zákona č.18/97 Sb.), (viz ad 9).

Podmínkou vydání povolení je **schválení programu zabezpečování jakosti** pro povolovanou činnost (§ 13 odst. 5 zákona č.18/97 Sb.), viz ad 10.

3. Odbornou způsobilostí (§ 12 zákona č.18/97 Sb. ) pro činnosti vedoucí k ozáření je **ukončené vysokoškolské studium a tři roky praxe v oboru** nebo **úplné střední odborné vzdělání příslušného směru s maturitou a šest let praxe.**
4. Řídit práci se zdroji záření a vykonávat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany mohou pouze fyzické osoby se zvláštní odbornou způsobilostí, tj. jejichž odborná schopnost byla ověřená zkušební komisí (§ 18 odst. 4 zákona č.18/97 Sb.). Držitel povolení je mj. povinen zajistit soustavný dohled nad dodržováním požadavků radiační ochrany (§ 18 odst. 1 písm. i) zákona č.18/97 Sb.). Vykonávání soustavného dohledu je činností zvláště důležitou z hlediska radiační ochrany (§ 3 odst. 2 V146), proto osoba vykonávající tento dohled, tzv. dohlížející pracovník, musí být zvláště odborně způsobilá. Na zubním rtg pracovišti tedy musí být zajištěna funkce pracovníka, který práce přímo řídí a pracovníka, který na tyto práce dohlíží, (tyto obě funkce může vykonávat jedna fyzická osoba, u níž byla ověřena zvláštní odborná způsobilost pro výkon obou funkcí).
5. Pracovník s rtg přístrojem **bude ve většině případů pracovníkem kategorie B** (§ 2 písm. j) a písm. k) vyhlášky č.184/97 Sb.), u kterého není povinné sledování a evidování osobních dávek a není povinná preventivní lékařská péče, a na pracovišti nebude nutné vymezovat kontrolované pásmo (§ 35 vyhlášky č.184/97 Sb.). Je však pravděpodobná i existence pracovišť se specifickými podmínkami, které budou vyžadovat vyhlášení kontrolovaného pásma a na nichž budou prováděny práce kategorie A (např. při speciálních rtg vyšetřeních pro čelistní chirurgii nebo při velkém počtu expozičních na rtg pracovištích sloužících velkému počtu stomatologů).
6. **Používat lze jen rtg přístroj typově schválený úřadem** (§ 7 odst. 1 zákona č.18/97 Sb.), u kterého byla před zahájením používání provedena přijímací zkouška (§ 38

odst. 5 a § 43 vyhlášky č.184/97 Sb.). V protokolu přijímací zkoušky bude uveden rozsah zkoušek dlouhodobé stability (§ 38 odst. 5 a § 44 vyhlášky č.184/97 Sb.) a rozsah a interval provádění zkoušek provozní stálosti (§ 45 V184). Přijímací zkoušky a zkoušky dlouhodobé stability smí provádět jen subjekt mající k této činnosti povolení úřadu (časově aktuální seznam firem vzdává dvakrát ročně SÚJB). Zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti zajišťuje ten držitel povolení k nakládání se zdrojem, který má daný zdroj v držení. U zubních rtg přístrojů je třeba zkoušku dlouhodobé stability provádět 1krát ročně. (§ 44 odst. 1 písm. d) bod 2. vyhlášky č.184/97 Sb.). Je-li více držitelů povolení k nakládání s daným zdrojem (jeden zubní rentgen používá více soukromých stomatologů), obdrží protokol zkoušky dlouhodobé stability každý držitel povolení (§ 44 odst. 3 vyhlášky č.184/97 Sb.), a to na základě smluvních ekonomických vztahů, které však nejsou předmětem vyhlášky č.184/97 Sb.

7. **Zkoušku provozní stálosti provádí (nebo zajišťuje)** ten držitel povolení k nakládání se zdrojem, který má daný zdroj v držení a zkouška se provádí v intervalech navržených v přijímací zkoušce a schválených v povolení k nakládání se zdrojem. Stanovenou zkouškou provozní stálosti u zubního rtg přístroje může být např. zhotovení a vyhodnocení snímku vhodného fantomu za přesně definovaných podmínek expozice i zpracování snímku. Je-li více držitelů povolení k nakládání s daným zdrojem (jeden zubní rentgen používá více soukromých stomatologů), musí být ostatním držitelům povolení umožněno seznámit se s výsledkem zkoušky provozní stálosti (§ 45 odst. 4 vyhlášky č.184/97 Sb.), a to na základě smluvních ekonomických vztahů, které nejsou předmětem vyhlášky č.184/97 Sb. (Pro informaci držitele zdroje jsou rozsahy přijímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability a provozní stálosti uvedeny v příloze č.1, tohoto materiálu).
8. Místnost se zubním rtg přístrojem (ordinace nebo samostatná místnost) **musí být chráněna tak**, aby v prostorách zdravotnického zařízení k ní přilehlých nebyla překročena roční hodnota **efektivní dávky 100  $\mu$ Sv** (§ 37 odst. 5 písm. d) vyhlášky č.184/97 Sb.) a v prostorách mimo zdravotnické zařízení (např. v bytech či kancelářích sousedících s místností s rtg přístrojem) nebyla překročena **roční hodnota efektivní dávky 50  $\mu$ Sv** (§ 7 odst. 2 vyhlášky č.184/97 Sb.). Pracovník zhotovující expozici musí být chráněn (vzdáleností, ochrannou zástěnou nebo obojím) tak, aby jeho roční efektivní dávka nepřekročila směrnou hodnotu 1 mSv (§ 7 odst. 2 vyhlášky č.184/97 Sb.). Splnění výše uvedených podmínek (okolí 50  $\mu$ Sv, pracovník 1 mSv) je průkazem optimalizace radiační ochrany a dokladuje se dozimetrickým měřením a výpočtem roční efektivní dávky pro předpokládaný počet expozic. Podmínky bezpečného provozu pracovišť s generátory záření jsou uvedeny v (§ 38 vyhlášky č.184/97 Sb.).

Dokumentace pro povolení nakládání se zubním rentgenem podle písm. I přílohy zákona č. 18/97 Sb.:

- Zdůvodnění činností vedoucích k ozáření,  
(*uvést za jakým účelem je rentgen používán, zda lze diagnostickou informaci získat jiným způsobem*),
- specifikace používaných zdrojů záření, jejich typy a příslušenství, (viz bod č. 5, přílohy č.2),  
(*včetně zařízení pro vyvolávání a pro prohlížení snímků a ochranných pomůcek*),
- popis pracoviště a přilehlého okolí (schematický plánec pracoviště) doplněný o informace o stínění a ochranných zařízeních a vybavení pracovních míst,
- průkaz optimalizace radiační ochrany na pracovišti (*viz ad 8*),

- vymezení kontrolovaného pásma, předpokládaný počet osob pracujících v něm a způsob zábrany vstupu nepovolaných osob do tohoto pásma, *(obvykle nebude – s odvoláním na (§ 35 odst. 2 vyhlášky č.184/97 Sb.) – vymezováno),*
- provozní pokyny pro bezpečné nakládání se zdroji ionizujícího záření (viz příloh č.3), *(v případě více osob nakládajících se zdrojem uvést kdo a jakým způsobem zhotovuje expozice, pokud se jedná o přístroj s časovým expozičním relé, uvést expoziční tabulku pro jednotlivé druhy zubů),*
- vnitřní havarijný plán (viz bod č. 6, přílohy č.2), *(pouze uvést, jak je přístroj zajištěn proti zneužití; při používání přístroje podle provozních pokynů je radiační nehoda (§ 2 písm. k) zákona č.18/97 Sb.) vyloučena),*
- rozsah a způsob měření (program monitorování) a hodnocení ozáření zaměstnanců a osob a znečištění pracoviště a jeho okolí radionuklidy a ionizujícím zářením (viz bod č. 7, přílohy č.2), *(pokud nebude vymezeno kontrolované pásmo není třeba monitorovat a hodnotit ozáření pracovníků a osob, tato skutečnost bude potvrzována výsledky zkoušek dlouhodobé stability a provozní stálosti),*
- doklad o zvláštní odborné způsobilosti pracovníků přímo řídících práce se zdroji ionizujícího záření a vykonávajících další činnosti významné z hlediska radiační ochrany stanovené prováděcím předpisem (viz ad 4).

#### **Obsah programu zabezpečení jakosti** (§ 32 vyhlášky č.214/97 Sb.) pro zubní rentgen:

- identifikace (jméno, sídlo, forma) právnické nebo fyzické osoby držitele povolení,
- předmět, místo a rozsah činnosti držitele povolení,
- stanovení odpovědností a postupů (odvolávka na provozní řád) při používání rentgenu,
- identifikace používaného rentgenu a příslušenství (ochranné pomůcky – ochranný límec a ochranná zástěra, zařízení pro vyvolávání a prohlížení snímků),
- popis vyvolávacího procesu a podmínky kontroly tohoto procesu (druh filmového a chemického materiálu, kontrola teploty lázní a doby vyvolávání),
- interval a způsob provedení a hodnocení zkoušek provozní stálosti,
- interval, obsah a způsob zajištění zkoušek dlouhodobé stability.

**Kontrolní činnost úřadu, povinnosti a práva** inspektorů včetně opatření k nápravě a uložení pokuty jsou uvedeny v (§ 39 až § 42 zákona č. 18/97 Sb.).

### **Závěrem**

Platnost oprávnění k používání zubního rentgenu vydaná podle zákona č. 20/1966 Sb. a vyhlášky č. 59/1972 Sb. platí do doby, na kterou byla vydána, nejpozději však do 1.7.2002 (§ 47 odst. 4 zákona č.18/97 Sb.), totéž se týká vydaných osvědčení o odborné zkoušce. **Povinnosti a ustanovení uvedená v zákoně č.18/97 Sb.** a jeho prováděcích předpisech však již platí **od 1.7.1997!** (Z toho např. vyplývá, že u všech provozovaných zubních rentgenů musí být zkouška dlouhodobé stability provedena nejdéle do 1.7.1998.)

Ti, kteří si hodlají zřídit nové zubní rentgenové pracoviště nebo např. si chtějí pořídit nový rtg přístroj, musí postupovat zcela v souladu se zákonem č.18/97 Sb. a jeho prováděcími předpisy. (Pro usnadnění vypracování žádosti pro povolení k nakládání se zdrojem ionizujícího záření jsou v příloze č. 2. shrnuty požadované náležitosti žádosti).

## Příloha č.1.

### Zubní rentgeny pro intraorální snímkování - kontrolované komponenty a parametry pro řízení jakosti provozu

#### ⌘ A) Přejímací zkoušky

- 1 Rentgenové zařízení
  - 1.1 Celistvost, vybavení a funkčnost ovládacích prvků a signalizace
  - 1.2 Přesnost a reprodukovatelnost vysokého napětí
  - 1.3 Přesnost a reprodukovatelnost expoziční doby
  - 1.4 Výtěžek záření, linearita, reprodukovatelnost
  - 1.5 Celková filtrace rtg svazku
  - 1.6 Velikost ohniska
  - 1.7 Velikost pole na konci tubusu
  - 1.8 Vzdálenost ohnisko - konec tubusu
  - 1.9 Shoda radiačního pole s osou tubusu
  - 1.10 Únikové záření krytu rentgenky (indikační měření.)
- 2 Zpracování filmu
  - 2.1 Světlotěsnost temné komory a její pracovní osvětlení
  - 2.1 Čistota vyvolávacího automatu, jeho světlotěsnost.
  - 2.2 Teplota vyvolávacích lázní
  - 2.3 Doba vyvolávání.
  - 2.4 Výměna chemikálií
  - 2.5 Senzitometrie
    - 2.5.1 Závoj
    - 2.5.2 Index citlivosti
    - 2.5.3 Index kontrastu
  - 2.6 Skladování filmů
- 3 Zobrazovací systém
  - 3.1 Kontrast zobrazení zubního fantomu
  - 3.1 Referenční zčernání zubního fantomu
  - 3.2 Rozlišení při vysokém kontrastu
  - 3.3 Kerma ve vzduchu  $K_a$  pro jmenovité zčernání filmu
  - 3.4 Kerma ve vzduchu na konci tubusu
- 4 Čtení snímku (uplatní se jen na pracovištích s panoramatickým rentgenem)
  - 4.1 Jas negatoskopů
  - 4.2 Homogenita světelného pole
  - 4.3 Vyclonění světelného pole na velikost filmu
  - 4.4 Osvětlení místnosti
- 5 Osobní ochranné pomůcky.
  - 5.1 Ochranné pomůcky pro pacienty
  - 5.2 Ochranné pomůcky pro personál

## **B) Zkoušky dlouhodobé stability a provozní stálosti**

### **Zkoušky dlouhodobé stability**

Na základě získaných poznatků při provádění programů řízení jakosti ve stomatologii a v souladu s požadavky IEC doporučení byl rozsah zkoušek dlouhodobé stability stanoven takto:

#### 1.1.6 dokumentace

- návod k obsluze
- protokol přejímacího testu, nebo
- protokol výchozího testu dlouhodobé stability, (přichází v úvahu u dříve instalovaných nebo starších zařízení)
- protokol zkoušky dlouhodobé stability
- záznam zkoušky provozní stálosti

#### 1.1.4 funkční test ovládacích prvků a signalizace

#### 1.2 napětí rentgenky

##### 1.2.1 přesnost napětí

##### 1.2.2 reprodukovatelnost napětí

#### 1.4 výtěžek záření a jeho reprodukovatelnost; měřeno za standardních podmínek na konci tubusu (v případě odchylky od specifikované hodnoty překontrolovat celkovou filtraci)

#### 1.7 velikost pole na konci tubusu

#### 1.8 vzdálenost ohnisko–konec tubusu

#### 1.9 sousost a kongruence radiačního pole

#### 2.6 senzimetrie (Provádí se před zkouškou dlouhodobé stability)

##### 3.1 kontrast zobrazení snímku zubního fantomu

##### 3.2 referenční zčernání filmu pro standardní podmínky (snímek horního moláru dospělého člověka, fantom 6 mm Al)

##### 3.3 rozlišení při vysokém kontrastu

##### 3.4 kerma ve vzduchu pro jmenovité zčernání a její reprodukovatelnost

##### 3.5 kerma ve vzduchu na konci tubusu

Kontrola parametrů po opravě, na něž má vliv opravovaný komponent. Výsledky zkoušek se zaznamenávají do protokolu podle schváleného vzoru SÚJB a jsou uloženy na pracovišti. Frekvence zkoušek je stanovena § 44 odst. 2 vyhlášky č. 184/1997 Sb.

### **Zkoušky provozní stálosti**

Na základě získaných poznatků při provádění programů řízení jakosti ve stomatologii a v souladu s požadavky IEC doporučení byl rozsah zkoušek provozní stálosti stanoven takto:

Při zkouškách provozní stálosti se kontroluje kvalita zobrazovacího řetězce (procesu) pomocí vyvolání kontrolního snímku.

#### 3.1 kontrast zobrazení snímku zubního fantomu, vyhodnocení se provede denzitometricky nebo vizuálně

#### 3.2 referenční zčernání snímku zubního fantomu, vyhodnocení se provede denzitometricky nebo vizuálně

V případě odchylek optické hustoty zčernání od referenční hodnoty nebo požadované hodnoty kontrastu zobrazení je nutno provést korekci expozičního času, eventuálně překontrolovat proces zpracování filmu. Frekvence zkoušky: jednou za 14 dní, vždy při výměně chemikálií nebo změně emulsního čísla (citlivosti, typu) filmů, před zahájením práce po delší přestávce a po opravě a při vyskytnutých se problémech. Výsledky zkoušek provozní stálosti se zaznamenávají do protokolu o této zkoušce a jsou součástí dokumentace pracoviště (držitele povolení).

Jsou možné i jiné alternativní postupy.

## Příloha č. 2

### Podrobnosti dokumentace

V žádosti je třeba specifikovat následující skutečnosti:

#### **Bod č. 1 Identifikace žadatele**

1. jméno, právní forma a sídlo organizace (u právnických osob), resp. Jméno a příjmení, adresa trvalého bydliště (u fyzických osob) – **povinné**,
2. IČO (u právnických osob), resp. rodné číslo (u fyzických osob) – **povinné**,
3. evidenční číslo držitele povolení (pokud již bylo přiděleno) – **povinné**,
4. statutární zástupce / ředitel, prezident atd. / celé jméno, rodné číslo a adresa trvalého bydliště - doloženo kopií výpisu z obchodního rejstříku (jen u právnických osob) –**povinné**,
5. případný zodpovědný zástupce (u fyzických osob) včetně jeho trvalého bydliště a rodného čísla - **povinné**, byl-li zodpovědný zástupce ustanoven.

#### **Bod č. 2 Předmět a rozsah činnosti**

Specifikovat činnost na níž je žádáno povolení - provozování zubního rtg přístroje + umístění, k tomu uvést jednu z následujících možností:

1. povolení nakládání s novým rtg.zdrojem,
2. změna povolení zn. ze dne,
3. prodloužení povolení zn. ze dne.

#### **Bod č. 3**

1. výpis z Rejstříku trestů ne starší tří měsíců (s přihlédnutím k odst. 8) § 13 zákona č.18/97 Sb.), a to všech členů statutárního orgánu nebo jednatelů (u právnických osob), resp. žadatele a (případně) jeho zodpovědného zástupce (u fyzických osob) - § 10 odst.1 a § 11 zákona č.18/97 Sb. – **povinné**,
2. výpis z obchodního rejstříku, je-li žadatelem právnická osoba zapisující se do obchodního rejstříku – **povinné**.

#### **Bod č. 4 Doklad o odborné způsobilosti**

alespoň jednoho z členů statutárního orgánu nebo jednatelů (u právnických osob), resp. žadatele či jeho zodpovědného zástupce (u fyzických osob) - § 10 odst. 1 a § 12 zákona č.18/97 Sb. – **povinné**.

#### **Bod č. 5 Přístrojové vybavení**

1. typ rtg zařízení, doklad o typovém schválení a výrobní číslo,
2. výrobce, dodavatel,
3. předpokládané týdenní zatížení zdroje (počet expozic),
4. datum instalace rtg. zařízení, firma,
5. zajištění servisu - odborná firma,
6. vyvolávací zařízení, zařízení pro čtení snímků,
7. ochranné pomůcky.

#### **Bod č. 6 Vnitřní havarijný plán - vzor osnovy (doporučuje se přiložit jako zvláštní přílohu)**

1. postup v případě podezření na špatnou funkci přístroje či expozičního relé je obsluhující pracovník povinen:
  - a) okamžitě ukončit expozici, případně i vypnutím přístroje a přístroj odpojit ze sítě,
  - b) informovat dohlížejícího pracovníka a vedoucího pracoviště,
  - c) přerušit provoz zařízení do doby, kdy bude přístroj opraven,
2. postup v případě požáru - rozvést, opět je hlavní odpojit přístroj ze sítě
3. mimořádné události spojené s nadexpozicí pracovníků nebo pacientů (= nehoda) budou oznámeny: příslušnému Regionální centrum. SÚJB,
4. o nehodě je proveden záznam, kopie je zaslána příslušnému Regionální centrum. SÚJB. Kontaktní adresy odpovědných osob: (uvést telefonické spojení a adresu dohlížejícího pracovníka případně provozovatele).



**Bod č. 7 Program monitorování - vzor osnovy** (doporučuje se přiložit jako zvláštní přílohu)

1. Monitorování pracoviště:

Součástí monitorování pracoviště se zubním rentgenem a k němu přilehlých místností je průkaz nepřekročení směrných hodnot ozáření uvedených v § 7 odst. 2) a § 33 odst.5 písm. d) vyhlášky č. 184/97/Sb., pro pracovníky (obvykle kategorie B, výjimečně kategorie A) a pro ostatní osoby. Provádí se při instalaci, změně rentgenového zařízení nebo pokud došlo ke změně dispozice nebo stavebním úpravám pracoviště.

2. Osobní monitorování:

U pracovníků kategorie B (obvyklá varianta u zubních rtg) není osobní monitorování požadováno. U pracovníků kategorie A (výjimečná varianta) je třeba zajistit osobní monitorování a uvést způsob monitorování (typ osobního dozimetru), frekvenci (monitorovací interval), referenční úroveň a způsob vedení evidence. Tuto výjimečnou variantu doporučujeme předem konzultovat s příslušným Regionálním centrem SÚJB.

## **Příloha č.3**

### **Provozní pokyny pro bezpečné nakládání se zdroji ionizujícího záření - vzor osnovy**

pro pracoviště se zubním rtg přístrojem (název, adresa, telefonické spojení, IČO (RČ))

#### **I. Všeobecná ustanovení - povinnosti provozovatele**

1. Jména odpovědných osob
  - a) provozovatel (resp. statutární zástupce u právnické osoby),
  - b) dohlížející pracovník.
2. Na pracovišti je uložena a vedena tato dokumentace:
  - a) povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření SÚJB ze dne.....,
  - b) schválená dokumentace SÚJB, tj. Program monitorování, Vnitřní havarijný plán, Program zabezpečování jakosti pro SÚJB povolené činnosti, o vstupních, případně preventivních lékařských prohlídkách pracovníků.
3. Rtg. přístroj- uložené doklady a vedení evidence:
  - a) popis zdroje umožňující jednoznačnou identifikaci (typ., výrobní číslo, výrobce, )
  - b) účel použití,
  - c) doklad o typovém schválení,
  - d) datum instalace zdroje a jeho umístění,
  - e) zajištění systému jakosti rtg. zdroje - evidence protokolů:
    - o přejímací zkoušce,
    - o zkouškách dlouhodobé stability,
    - o testech provozní stálosti,
  - f) způsob vedení dokumentace při provozu zdroje (provozní deník),
  - g) Servis a pravidelnou technickou kontrolu zajišťuje firma:..... .
4. Zařízení na pracovišti, které může ovlivnit radiační ochranu resp zajišťování jakosti :
  - a) vyvolávací automat, filmy (používání v exp. době) a chemikálie (frekvence výměn), případně i kazety a zesilovací folie,
  - b) kontrolní pomůcky pro provádění zkoušek provozní stability,
  - c) ochranné pomůcky pro pracovníky,
  - d) ochranné pomůcky pro pacienty,
  - e) negatoskop.
5. Jakákoliv změna, týkající se zdrojů záření (např. výměny a opravy hlavních funkčních částí rtg přístroje) bude následována zkouškou dlouhodobé stability.

#### **II. Povinnosti pracovníků**

1. Seznámit se všemi platnými předpisy, souvisejícími s provozem rentgenového pracoviště, tyto předpisy dodržovat a pravidelně se podrobovat přezkoušení odborné způsobilosti pracovníkem provádějícím soustavný dohled.
2. Provádět (zajišťovat) zkoušky provozní stálosti a zajišťovat zkoušky dlouhodobé stability dle programu řízení jakosti.
3. Dodržovat požadavky ochrany před ionizujícím zářením (správné vyclonění, nastavení parametrů - vzdálenost, filtrace atd.).
4. Vést evidenci provedených vyšetření (údaje o pacientovi, typ vyšetření a parametry nastavení expozice).
5. Využívat všech ochranných prostředků, které jsou na pracovišti (zástěry, límce z olovnaté gumy).

6. Je-li na pracovišti zajištěno měření expozice pracovníků filmovou dozimetrií, jsou pracovníci povinni nosit filmový dozimetr předepsaným způsobem (na levé straně hrudníku, vně ochranné zástěry). Pracovníci jsou povinni se podrobit vstupní lékařské prohlídce. *(Vztahuje se jen na pracovníky kategorie A a nebude pravděpodobně uplatňováno na stomatologických pracovištích).*

### **III. Ochrana pacientů**

1. Jsou dodržovány požadavky ochrany před zářením tj. zdůvodněná expozice a správné nastavení vstupních parametrů.
2. Jsou používány prostředky pro vykrytí nevyšetřovaných částí těla, (ochranná zástěra a límec).
3. Fixace vyšetřované části těla.
4. U těhotných žen rozhodne lékař, zda a jakým způsobem bude požadované rtg. vyšetření provedeno.
5. V místnosti s rtg. přístrojem je pouze jeden vyšetřovaný pacient.

Místo, datum:

Podpisy:     vedení pracoviště (provozovatel)  
              dohlížejícího pracovníka

## OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM PŘI RTG VYŠETŘENÍ VE STOMATOLOGII (STOMATOLOGICKÝ DODATEK)

Stomatologická rentgenologie zaujímá výjimečné postavení, které snad nemá v obecné radiodiagnostice obdoby. Situaci lze charakterizovat slovy, že stomatolog je ve většině případů sám sobě i rentgenologem. To znamená, že obsluha dentálních či panoramatických rtg přístrojů, manipulace s citlivým materiálem i mokřý proces v temné komoře je svěřován osobám s malou nebo nedostatečnou rentgenologickou erudicí. Individuální dávky ionizujícího záření, produkované dentálními rtg přístroji jsou bagatelizovány a způsob provedení i stupeň ochrany pacienta je prakticky nekontrolovatelný. Častý argument, že „několik snímků navíc ještě žádnému pacientovi neublížilo“ pramení z neznalosti mechanismu poškození nejen vyšetřovaného jedince, ale i celé populace. Pro tzv. stochastické účinky tj. pozdní vznik nádorů a genetického poškození, neexistuje prahová, bezpečná dávka. Každá dávka je tedy spojena s určitou pravděpodobností výskytu poškození v ozářené populaci. I velmi malá dávka může vyvolat změny v buňce, případně mutace, které jsou u jedince recesivní, ale s počtem ozářených osob v populaci se zvyšuje pravděpodobnost styku dvou mutant a expresivity znaku v příštích generacích. Proto z pohledu radiační hygieny, zjednodušeně řečeno, je ozáření malého počtu osob velkou dávkou spojeno s obdobným rizikem jako ozáření velkého počtu pacientů, byť i dávkami velmi malými. A to je právě případ rentgenologie stomatologické.

Problém ochrany před ionizujícím zářením lze rozdělit na dvě části. **Ochranou vyšetřujícího** se podrobně zabývají pracovníci ochrany (Úřad pro jadernou bezpečnost) a v tomto směru nás též pečlivě kontrolují. Mám tím na mysli všechny stavební a organizační podmínky, které musíme splnit při zřizování zubní ordinace nebo samostatné vyšetřovací místnosti. **Ochranou vyšetřovaného**, tedy našeho pacienta bychom se mohli aktivněji zabývat i my sami. Mnozí pacienti jsou poměrně dobře poučeni a vědí, že kvalita poskytované zubní péče nemusí být vždy přímo úměrná počtu provedených rtg snímků. Začínají si všimnout typů rtg přístrojů, vyžadují ochranné zástěry pro sebe či pro své děti, někdy chtějí vědět, je-li právě prováděný snímek nutný.

Pokud se týká ochrany pacienta, dávku lze snížit v zásadě dvěma způsoby.

1. **Snížit počet rentgenových vyšetření** tj. klást důraz na správnou indikaci vyšetření a předejít zbytečnému opakování snímků ať už z důvodů administrativních či technických (nastavení projekce, chyba při expozici, chyby v temné komoře atd.).
2. Snížit dávku záření, připadající na jedno vyšetření. Množství záření můžeme omezit:
  - a) používáním moderních, **technicky dokonalých rtg přístrojů**, které vyhovují současným požadavkům (vyšší kilovoltáž, válcový tubus s otevřeným koncem, úzký průměr primárního svazku, vhodná filtrace, expoziční automatika ...), používáním kvalitních, citlivých rtg filmů a dodržováním předepsaných zpracovatelských postupů. Novější zesilovací fólie, používané u větších formátů filmů, umožňují podstatně zkrátit expoziční dobu. Dalším, finančně náročným řešením, je nahrazení nejslabšího článku zobrazovacího řetězce (rtg filmu) jiným typem detektoru s možností digitalizace obrazu (ccd snímač, aktivní fosfory atd.)
  - b) **pasivní ochranou pacienta** tj. používáním vhodných ochranných (stínících) pomůcek.

Tuto pasivní ochranu můžeme našim pacientům poskytnout i bez větších finančních nároků na vybavení. V ochraně před ionizujícím zářením je třeba věnovat pozornost zejména dětem a mladé generaci vůbec, dále těhotným (především v prvé třetině těhotenství) a ženám v reprodukčním věku. Z orgánů se

potom věnuje pozornost dětské štítné žláze a thymu, oční čočce a gonádám. Ačkoliv gonády jsou poměrně vzdálené od vyšetřované oblasti, mohou být zasaženy i přímým svazkem záření, například při snímkování horních řezáků nebo špičáků, kdy rtg zářič směřuje do klína. Ke tkáním, citlivým na ozáření, patří dále aktivní kostní dřev a to nejen ve sternu, jak je obecně známo, ale také v kostech kalvy.

Funkcí stomatologických ochranných pomůcek není ve všech případech a za každou cenu chránit pacienta jen před působením užitečného svazku záření. Jak již bylo řečeno, konstrukce dentálních rtg přístrojů i technika snímkování je, nebo by měla být propracována tak, aby ozářené pole bylo minimální a užitečný svazek zasahoval pokud možno pouze vyšetřovanou oblast.

Ochranné zástěry mohou spíše chránit před zářením sekundárním, rozptýleným. Není tedy nutné dále zvyšovat jejich ekvivalent Pb a tím zvyšovat i jejich váhu a nepohodlí pro pacienta i obsluhu. Názor většiny odborníků se ustálil na optimální vrstvě ochranného materiálu v síle 0,25 mm ekvivalentu Pb. Z praxe víme, že své poslání plní pouze ochranná pomůcka, která je jednoduchá, lehká a její upevnění i sejmутí je snadné a rychlé. V opačném případě zůstává zástěra viset na věšáku a je připravena pouze pro případnou kontrolu.

Dříve doporučená tuzemská ochranná zástěra (Optimit Odry) nebyla navržena pro stomatologickou potřebu a pro rutinní rtg vyšetřování se zejména pro svou hmotnost (7 kg) a neformnost nehodí. U dětských pacientů, kde je potřeba ochrany zvláště naléhavá, je nepoužitelná.

Dále se používaly ochranné pomůcky pevně spojené s vyšetřovacím křeslem nebo s jeho podhlavníkem. Nevyžadovaly sice spolupráci pacienta, ale jejich adjustace na pacienty různých velikostí a proporcí byla nepřesná, pomůcky často nepřiléhaly a tím svojí funkci neplnily.

Pro použití ve stomatologické radiodiagnostice je doporučena:

1. lehká ochranná zástěra samostatná,
2. ochranný límec,
3. zástěra spojená s límcem,
4. **horizontální ochranná deska** (není uvedena v českých vyhláškách)

Při vyšetřování dětí, kde je ochrana krku nutná, je nejvhodnější lehká ochranná zástěra a ochranný límec nebo zástěra pevně spojená s límcem v podobě „stojáčku“. Horizontální ochranná deska v tomto případě příliš nevyhovuje, protože její použití vyžaduje dobrou spolupráci pacienta a také její rozměry (výřez pro krk) jsou konstantní a nelze je přizpůsobovat dětskému pacientovi. Pro dospělé pacienty, kde předpokládáme spolupráci, vyhovuje nejlépe horizontální deska, kterou si vyšetřovaný sám přidržuje pod bradou. Deska chrání zároveň krk i dolní partii těla a zástěra v tomto případě již není nutná.

Problematická je ochrana při ortopantomografii. Nelze použít zástěr nebo límců, které vzadu na krku vystupují výše než k vertebra prominens (C 7), protože jejich stín se promítá do oblasti brady a dolních frontálních zubů. Někdy se setkáváme s oboustrannou zástěrou, respektující směr ozařování (ze zadu a ze stran), která v podobě ornátu kryje též ramena a záda. Připouští se i možnost provádět OP snímky bez ochrany. Téměř horizontální směr rtg paprsků, velmi dobrá kolimace svazku a konstantní postavení hlavy pacienta vzhledem k rtg zářiči zaručuje minimální ozáření nevyšetřovaných oblastí těla. Problém ochrany se v tomto případě přenáší hlavně na uvážlivě volené indikace. Zejména u dětí a mládeže do 16 let by počet OP snímků neměl být vyšší než jeden za rok. Připomínám v této souvislosti starší citát, že v ochranně před ionizujícím zářením má 1 g mozku větší význam než 1 kg olova.

### Na závěr několik zásad, kterými bychom se měli ve své denní praxi řídit:

Před každým rtg vyšetřením odebrat cílenou anamnézu a podrobně pacienta klinicky vyšetřit. V anamnéze se zaměřit nejen na chorobný stav, ale i na počet, frekvenci a typ dřívějších rtg vyšetření. Nedopustit nikdy, aby třeba z nedostatku času jsme situaci řešili způsobem „zajděte si nejdříve na rentgen a potom uvidíme“ nebo aby rtg indikovala bez našeho vědomí sestra.

Zvážit pečlivě indikaci k rtg vyšetření a očekávaný diagnostický přínos uvažovat vždy ve vztahu k možnému riziku poškození zářením. Klinické indikace musí být vždy nadřazeny jiným zájmům včetně zájmů výukových, finančních, administrativních, ale i vědeckých, které neslouží k prospěchu pacienta.

Každý dřívější rentgenogram je součástí pacientovy dokumentace. Nový rtg indikovat a hodnotit vždy s přihlédnutím ke starému nálezu; je třeba posoudit dynamiku onemocnění apod. Pokusit se vyčíst potřebné údaje třeba již z dřívějšího rentgenogramu. Sem patří i otázka zapůjčování rtg snímků a zbytečné duplicity vyšetření.

Zamezit opakování snímků z administrativních důvodů, zejména pro chybné označení, špatnou registraci a archivaci.

Chránit nevyšetřované partie těla pacienta vhodnými ochrannými pomůckami. Komplikovanější a těžší neznamená vždy nejlepší.

Prohlížet vždy celý rentgenogram bez zřetele k očekávanému nálezu. To platí zejména pro větší formáty filmů a OPG. Neposuzovat jej pouze z pohledu své užší specializace.

Hodnocením kvality každého snímku průběžně kontrolovat všechny fáze procesu jeho zhotovení. Pouze indikující lékař rozhodne, zda nekvalitní snímek obsahuje dostatečnou diagnostickou informaci, nebo zda je nutné jej opakovat s vyloučením technických chyb.

Nepřeceňovat význam rtg. Je to přece jen vyšetření pomocné, často podléhající i subjektivnímu hodnocení. Jsou prokázány nejen interpersonální, ale i intrapersonální rozdíly v hodnocení rentgenogramů. To znamená, že různí pozorovatelé mohou interpretovat stejný rtg různě, ale i jedna a tatáž osoba může vyhodnotit stejný rtg s odstupem času různě. Rtg má svůj význam pouze ve spojení s klinickým vyšetřením.

Uvědomme si, že množství provedených rtg dnes již nemusí být považováno za měřítko úrovně poskytované léčebné péče. Blíží se doba, kdy kvalifikace lékaře, indikujícího rtg vyšetření bude posuzována nejen podle toho, kdy a jaká vyšetření indikuje, ale také podle toho, kdy a jaká vyšetření neindikuj

## Otázky ke zkouškám zvláštní odborné způsobilosti. SOUBOR 1

(zpracováno Státním ústavem radiální ochrany na základě podkladů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Praha)

- Brzdné záření vzniká:
  - průchodem urychlených elektronů látkou
  - dopadem neutronů na látku
  - přechodem elektronů z nižší do vyšší sféry obalu atomu
- Co přispívá významně k ozáření obsluhy
  - positrony
  - elektrony
  - Comptonovsky rozptýlené fotony
- Která ze současně platných jednotek vyjadřuje velikost expozice:
  - sievert
  - rentgen
  - gray
  - jiná
- Rentgenové záření, které vzniká v rentgence na anodě dopadem urychlených elektronů, je po vypnutí vysokého napětí:
  - nulové
  - časově zpožděné
  - nenulové, způsobené aktivací rentgenky a blízkého okolí
- Když urychlující napětí na rentgence je 75 kV, pak maximální energie ve spektru je:
  - 70 keV
  - 37,5 keV
  - 75 keV
- Základní veličinou charakterizující působení ionizujícího záření na látku je dávka, jednotkou je:
  - rentgen (R)
  - coulomb na kilogram ( $Q \cdot \text{kg}^{-1}$ )
  - sievert (Sv)
  - gray (Gy)
- Provozní záznamy o monitorování na pracovišti se zdroji ionizujícího záření (mimo osobních dávek) musí být archivovány nejméně po dobu:
  - 30 let
  - 50 let
  - 10 let
- Efektivní dávka E:
  - se vypočítává jako suma součinů ekvivalentní dávky  $H_T$  a tkáňových váhových faktorů  $w_T$  pro ozářené orgány a tkáně T
  - neumožňuje sčítat několik dílčích ozáření různých částí těla
  - je definována ve vztahu k účinkům stochastickým i nestochastickým
- Individuální monitorování osob se provádí osobním dozimetrem, který je nošen:
  - na nejvíce ozařovaném místě těla
  - na referenčním místě těla
  - vyžaduje-li to charakter práce dosimetr není nošen
- Při používání osobní ochranné zástěry je osobní dozimetr nošen:
  - vně ochranné zástěry
  - pod ochrannou zástěrou
  - nemusí být nošen
- Které z uvedených biologických účinků ozáření lze považovat za stochastické?
  - změny v krvetvorbě
  - genetické účinky u potomstva
  - akutní zánět kůže
- Podle molekulárně biologické teorie poškození buňky ionizujícím zářením nastává zejména:
  - vznikem zlomů a působením reparačních dějů na dvojlátknech nukleové kyseliny
  - poškozením mitochondrií
  - ovlivněním metabolických dějů
- Který z následujících orgánů a tkání je nejcitlivější k indukci rakoviny z ozáření?
  - centrální nervový systém
  - ledviny
  - plíce
- Je-li hodnota orgánového koeficientu rizika smrti  $20 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Sv}^{-1}$ , pak činí individuální "šance" smrti na nádor při ozáření orgánu dávkou 1 Sv:
  - 1 : 50
  - 1 : 500
  - 4 : 2
- Pro stochastické účinky záření se předpokládá:
  - bezprahový lineární vztah mezi dávkou a účinkem
  - závislost na frekvenci ozáření po dosažení prahové dávky

- c) pravděpodobnost vzniku prahu při jednorázovém ozáření
16. Jaké onemocnění ze záření nelze u pracovníků se zářením vyloučit, když nejsou překročeny limity dávky?
- změny v krvevorbě
  - dědičné poškození
  - zákal oční čočky
17. Deterministické účinky se projevují:
- až po dosažení určitého dávkového prahu
  - zvýšenou pravděpodobností nádorových a dědičných onemocnění
  - při zvýšené frekvenci ozáření i když není dosaženo prahové dávky
18. Časným nálezem v periferní krvi při akutní nemoci z ozáření je:
- lymfocytóza
  - lymfopenie
  - anemie
19. Rakovina z ozáření vzniká:
- překročí - li dávka u jednotlivce určitý práh
  - jen u oslabených jedinců
  - u kohokoli s pravděpodobností úměrně se zvyšující s dávkou
20. Roční průměrná efektivní dávka u obyvatele z lékařské expozice je u nás asi:
- 0,6 mSv
  - 8,0 mSv
  - 23,0 mSv
21. Nejvýznamnějším přírodním zdrojem ozáření obyvatel je:
- kosmické záření
  - radionuklidy přítomné v potravinách
  - radon v ovzduší budov
22. Lékařskou expozicí se rozumí:
- ozáření lékařů, používající zdroje ionizujícího záření
  - vystavení pacientů ionizujícímu záření jako součást diagnostiky nebo léčení
  - ozáření osob, doprovázejících pacienta na rtg vyšetření
23. Základní limit pro ekvivalentní dávku v kůži pro pracovníka se zdroji ionizujícího záření za kalendářní rok je:
- 500 mSv
  - 150 mSv
  - 50 mSv
24. Základní limity pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření se nevztahují na:
- na ženy v reprodukčním věku
  - pracující důchodce
  - pracovníky se zdroji ionizujícího záření při mimořádných událostech
25. Omezování ozáření pracovníků se zdroji ionizujícího záření i ostatních osob, které jsou vystaveny účinkům ionizujícího záření, je zajišťováno:
- kratší pracovní dobou
  - optimalizací radiační ochrany při dodržování soustavy kvantitativních ukazatelů charakterizujících míru ozáření
  - pravidelným monitorováním pracovníků se zdroji ionizujícího záření
26. Profesionálním ozářením rozumíme expozici, které jsou vystaveni:
- pracovníci při nakládání se zdroji ionizujícího záření
  - pacienti při vysoce specializovaném léčebném ozařovacím postupu
  - učňové v přípravě na své budoucí povolání
27. Patří rentgenový přístroj mezi zdroje záření:
- ano
  - ano a ne (ano- pokud je zapnutý, ne- pokud je přístroj vypnutý)
  - ne, protože při jeho provozu nevznikají radionuklidy
28. Pracovištěm se zdrojem ionizujícího záření:
- jsou prostory, ve kterých jsou využívány zdroje ionizujícího záření, nebo je jinak s nimi vědomě či nevědomě nakládáno
  - jsou pouze prostory kontrolovaného pásma
  - jsou vymezená pracovní místa, kam je zakázán vstup nepovolaných osob
29. Odvozené limity jsou:
- limity ozáření jako závazné kvantitativní ukazatele, vztahující se na stejné případy ozáření jako základní limity pro pracovníky, vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách
  - zvláštní limity vztahující se na ozáření ve zvláštních případech
  - zvláštní limity určené pro nakládání se zdroji ionizujícího záření ve zdravotnictví a jsou totožné se směrnými hodnotami
30. Překročení směrných hodnot ozáření:
- indikuje podezření, že činnost není optimalizována
  - je dostatečným důvodem k jednání o odebrání povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření



- c) je třeba oznámit příslušnému regionálnímu centru SÚJB
31. Držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření:
- Je povinen zajistit pro všechny zaměstnance, kteří jsou pracovníky se zdroji ionizujícího záření, zdravotní prohlídky
  - Není povinen zajišťovat zdravotní prohlídky, prohlídku si musí zajistit každý pracovník se zdroji ionizujícího záření sám
  - Je povinen zajistit pro ty zaměstnance, kteří jsou pracovníky s významnými a velmi významnými zdroji ionizujícího záření, zdravotní prohlídky
32. Povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření není třeba při používání:
- nevýznamných zdrojů
  - drobných zdrojů typově neschválených úřadem
  - jednoduchých zdrojů typově schválených úřadem
33. Zkoušku dlouhodobé stability zajišťuje:
- držitel povolení k nakládání, který má zdroj v držení
  - vlastník zdroje, popř. uživatel zdroje
  - Dodavatel zdroje
34. K zahájení provozu stomatologického pracoviště se zubním rentgenem je potřeba:
- předchozí souhlas orgánu státního dozoru k provozování činnosti a zahájení činnosti vedoucí ke zvýšenému ozáření osob
  - není třeba souhlasu k provozu
  - není třeba souhlasu k provozu, je však třeba povolení orgánu státního dozoru k používání zdroje ionizujícího záření
35. Který z uvedených stavebních materiálů má největší stínící účinky pro fotonové záření:
- cihla
  - beton
  - barytová omítka
36. Účelem filtrace rentgenového svazku přidávaným materiálem např. Al je:
- snížení pronikavosti svazku, a tím snížení dávky na kůži
  - eliminace nízkých energií spektra, a tím snížení dávky pacientu
  - zvýšením pronikavosti svazku, a tím snížení dávky pacientu
37. Správnou expoziční dobu filmového materiálu určují:
- opakovaným snímkem pacienta
  - snímkem standardního fantomu
  - sensitometrickou kontrolou vyvolávacího procesu
38. Vyvolaný film musí být prohlédnut:
- ještě mokrá, na speciálním negatoskopu s vykrývacím rámečkem
  - suchý, proti dennímu světlu nebo lampě
  - suchý na negatoskopu
39. Povrchové zatížení kůže se při zachování konstantní výstupní dávky zmenší:
- se snížením napětí na rentgence
  - zvýšením celkové filtrace svazku
  - se zmenšením ohniskové vzdálenosti
40. Pacienti se při rtg vyšetřeních chrání:
- ochranou zástěrou z Pb gumy
  - ochrannými pomůckami uzpůsobenými k ochraně nevyšetřovaných oblastí
  - nemusí se chránit
41. Účinnost vyvolávacích roztoků se snižuje:
- nízkou teplotou vyvolávací lázně
  - strojovým vyvoláváním
  - nízkou skladovací teplotou
42. Zkoušky provozní stálosti se provádějí:
- periodicky nejlépe dle doporučení výrobce a schváleného programu zabezpečování jakosti
  - při předání zdroje uživateli a pak po každém servisu
  - nejméně jedenkrát za měsíc
43. Teplotu vývojky u vyvolávacího automatu kontrolujeme:
- jednou denně
  - každou hodinu
  - po každém zapnutí vyvolávacího automatu a po ustálení teploty a dále tak jak je specifikováno ve zkouškách provozní stálosti
44. Rentgenový přístroj pro intraorální snímkování s napětím 55 kV má mít distanční tubus, který zaručí vzdálenost ohnisko-kůže:
- 10 cm
  - 15 cm
  - 20 cm
45. Výměnu vyvolávacích lázní provádíme:
- po vyvolání 200 snímků
  - dle doporučení výrobce a okamžitě, zjistíme-li snižující se účinnost vyvolávání
  - nejméně jedenkrát za týden a okamžitě, zjistíme-li snižující se účinnost vyvolávání

## Otázky ke zkouškám zvláštní odborné způsobilosti. SOUBOR 2

(zpracováno Státním ústavem radiční ochrany na základě podkladů Státního úřadu pro jadernou bezpečnost Praha)

1. Maximální energie spektra rentgenového záření je určována:
  - a) urychlujícím napětím na rentgence
  - b) materiálem anody rentgenky
  - c) filtrací spektra přidávným filtrem?
2. Nejvýznamnějším způsobem interakce rentgenového záření s energií 0,50 MeV ve tkáni je:
  - a) tvorba párů
  - b) Comptonův rozptyl
  - c) fotoefekt
3. Tkáňový váhový součinitel  $w_T$  používaný pro výpočet efektivní dávky vyjadřuje:
  - a) jen genetické riziko
  - b) jen relativní riziko stochastických účinků
  - c) jen riziko fatální rakoviny orgánů a tkání
4. Při používání osobní ochranné zástěry je osobní dozimetr nošen:
  - a) vně ochranné zástěry
  - b) pod ochrannou zástěrou
  - c) nemusí být nošen
5. Provozní záznamy o monitorování na pracovišti se zdroji ionizujícího záření (mimo osobních dávek) musí být archivovány nejméně po dobu:
  - a) 30 let
  - b) 50 let
  - c) 10 let
6. Při interakci fotonu s atomem prostředí vzniká elektron a rozptýlený foton s nižší energií. Jde o:
  - a) fotoefekt
  - b) Comptonův rozptyl
  - c) tvorbu párů
7. Expozice je definována pro materiál
  - a) voda
  - b) vzduch
  - c) tkáň
  - d) jiná látka
8. Pro dlouhodobé sledování osob v kontrolovaných pásmech se jako osobního dozimetru používá:
  - a) filmových dozimetrů
  - b) tužkových dozimetrů
  - c) ionizačních komor
9. Tkáňový váhový faktor  $w_T$ :
  - a) představuje frakci stochastických účinků v tkáni T ze všech stochastických účinků vyvolaných homogenním celotělovým ozářením
  - b) je nezbytný pro výpočet dávkového ekvivalentu v tkáni T
  - c) součet všech váhových faktorů je 10
10. Individuální monitorování osob se provádí osobním dozimetrem, který je nošen:
  - a) na nejvíce ozařovaném místě těla
  - b) na referenčním místě těla
  - c) vyžaduje-li to charakter práce dosimetr není nošen
11. Stochastické účinky se projevují:
  - a) až po dosažení určitého dávkového prahu
  - b) zvýšením pravděpodobnosti výskytu rakoviny a dědičných účinků
  - c) těžším průběhem rakovinových a dědičných onemocnění
12. Rozložení dávky v čase u ozářeného jedince:
  - a) zvýší časný účinek ozáření
  - b) sníží časný účinek ozáření
  - c) neprojevuje se
13. K teratogenním účinkům dochází u plodu ozářeného vyšší dávkou nejčastěji:
  - a) po 15. týdnu po početí
  - b) mezi 3. - 8. týdnem po početí
  - c) vždy
14. Nádory, vyvolané ozářením jsou:
  - a) klinicky neodlišitelné od případů "spontánních"
  - b) zcela specifické pro ozáření
  - c) závislé na dosažení určitého dávkového prahu
15. Mezi nenádorová pozdní poškození patří i zákal oční čočky, který může vzniknout po jednorázovém ozáření dávkou minimálně:
  - a) 3 Gy
  - b) 8 mGy
  - c) 15 mGy
16. Které z uvedených orgánů a tkání nejsou vnímavé pro vznik nádorů po ozáření?
  - a) oční čočka
  - b) červená kostní dřeň
  - c) plíce

17. Mutace, které jsou vyvolány účinkem ionizujícího záření, způsobují změnu:
- buněčných stěn
  - cytogenetické informace uložené v jádře buňky
  - mitotického dělení
18. Akutní poškození kůže rtg zářením se rozvíjí již při dávce:
- 2,7 Gy
  - 0,2 Gy
  - 0,05 Gy
19. Které z následujících orgánů a tkání jsou nejcitlivější k ozáření (z hlediska destrukce):
- střevní výstelka
  - aktivní kostní dřev
  - centrální nervový systém
20. V průmyslově vyspělých zemích je největší radiační zátěž obyvatel z umělých zdrojů záření dána:
- běžným provozem jaderné - energetických zařízení
  - používáním zdrojů záření v průmyslu
  - používáním zdrojů záření ve zdravotnictví
21. Největší radiační zátěž pro běžně vyšetřované jednotlivce je spojena se:
- skiagrafiickým vyšetřením hlavy a krku
  - rtg vyšetřením žaludku a střev
  - radiofografií plic
22. Optimalizace radiační ochrany:
- znamená, že při plánovaných činnostech se zdroji ionizujícího záření nedojde u jednotlivců k překročení 1/10 základních limitů
  - znamená, že úroveň radiační ochrany je taková, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek
  - znamená, že efektivní dávky z ozáření z uměle vytvořených zdrojů mohou být maximálně rovné 1/3 hodnoty efektivní dávky z ozáření z přírodního pozadí v dané lokalitě
23. Základní limit pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazku efektivních dávek z vnitřního ozáření za dobu 5ti po sobě jdoucích kalendářních roků je pro pracovníka se zdroji ionizujícího záření:
- 50 mSv
  - 20 mSv
  - 100 mSv
24. Základní limit obecný pro jednotlivce z obyvatelstva za kalendářní rok je pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazku efektivních dávek z vnitřního ozáření:
- 10 mSv
  - 5 mSv
  - 1 mSv
25. Základní limit pro ekvivalentní dávku v oční čočce pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření za kalendářní rok je:
- 50 mSv
  - 15 mSv
  - 150 mSv
26. Profesionálním ozářením rozumíme expozici, které jsou vystaveni:
- pracovníci při nakládání se zdroji ionizujícího záření
  - pacienti při vysoce specializovaném léčebném ozařovacím postupu
  - učňové při přípravě na své budoucí povolání
27. Patří rentgenový přístroj mezi zdroje záření:
- ano
  - ano a ne (ano - pokud je zapnutý, ne - pokud je přístroj vypnutý)
  - ne, protože při jeho provozu nevznikají radionuklidy
28. Zubní rentgenové přístroje patří mezi zdroje:
- drobné
  - jednoduché
  - nevýznamné
29. Zdroj ionizujícího záření je:
- jakýkoliv předmět, výrobek, zařízení, obsahující radionuklidy, nebo při jehož provozu vznikají radionuklidy nebo ionizující záření
  - předmět, výrobek, zařízení jehož provoz nebo užívání je doprovázeno alfa, beta, gama nebo neutronové zářením
  - látka, předmět nebo zařízení, které obsahuje radionuklidy v míře vyšší než je uvedeno v prováděcím předpise a zařízení při jehož provozu vznikají radionuklidy nebo ionizující záření o energii vyšší než 5 keV.
30. Směrné hodnoty:
- Jsou odvozenými limity pro zevní ozáření
  - Jsou odvozenými limity pro vnitřní ozáření
  - Jsou hodnoty, které odpovídají rozumně dosažitelné úrovni radiační ochrany
31. Kontrolované pásmo:
- je ta část pracoviště, kde by mohlo dojít k vnitřní kontaminaci pracovníků radionuklidy

- b) jsou ty prostory pracoviště, kde se vyžadují specifická ochranná a bezpečnostní opatření pro nakládání se zdroji ionizujícího záření  
c) je ta část pracoviště, kam nelze vstoupit bez ochrany dýchacích cest
32. Povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost se vyžaduje:  
a) k nakládání se všemi zdroji ionizujícího záření bez rozdílu  
b) k nakládání s jednoduchými, významnými a velmi významnými zdroji ionizujícího záření  
c) jen k nakládání s významnými a velmi významnými zdroji ionizujícího záření
33. Zkoušky provozní stálosti se provádějí:  
a) periodicky, nejlépe dle doporučení výrobce a schváleného programu zabezpečování jakosti  
b) při předání zdroje uživateli a pak po každém servisu  
c) nejméně jedenkrát za měsíc
34. Zkoušku dlouhodobé stability provádí  
a) uživatel zdroje  
b) oprávněná osoba  
c) odborník nebo servisní firma
35. Minimální vzdálenost obsluhy od zdroje rozptýleného rentgenového záření by měla být:  
a) 2 m  
b) 2,5 m  
c) co nejdále
36. Která z následujících kombinací provozních parametrů rentgenového zařízení snižuje ozáření pacienta:  
a) nižší napětí rentgenky, vyšší mAs, snížení filtrace  
b) zvýšení napětí na rentgence, snížení mAs, zvýšení filtrace  
c) zvýšení napětí rentgenky, snížení mAs, snížení filtrace
37. Osobní ochranné pomůcky pro pacienta s ekvivalentem nejméně 0,25 mm Pb by měly být k dispozici na pracovišti:  
a) ve dvou velikostních rozměrech, event. podle provozu pracoviště  
b) ve třech velikostních rozměrech  
c) ve čtyřech velikostních rozměrech
38. Nízký kontrast snímku je dán:  
a) volbou příliš vysokého napětí rentgenky  
b) přeexponováním filmu a zkrácením doby vyvolávání  
c) vysokou teplotou vývojky  
d) platí současně a) b) c)
39. Celkovou filtrací záříče se rozumí:  
a) vlastní filtrace rentgenky a pevný přídavný filtr v krytu rentgenky a ekvivalentní filtrace clon a přídavný filtr v nich  
b) vlastní filtrace rentgenky a pevný přídavný filtr v krytu rentgenky a ekvivalentní filtrace clon  
c) vlastní filtrace rentgenky a pevný přídavný filtr v krytu rentgenky
40. Jestliže dávkový příkon je nepřímě úměrný čtverci vzdálenosti, pak ve dvojnásobné vzdálenosti od zdroje dávkový příkon:  
a) se zvětší 2x  
b) se zvětší 4x  
c) se sníží 4x  
d) se sníží 2x
41. Parametry pro expozici volí obsluha:  
a) na základě vlastního odhadu, podle tělesných proporcí pacienta  
b) podle ověřené expoziční tabulky, vlastní pro každý rtg přístroj  
c) podle zavedené praxe na pracovišti
42. Závoj filmu nemůže být způsoben:  
a) špatnou světlotěsností temné komory  
b) prošlou dobou použitelnosti filmu  
c) osvětlením filmu předpisovým pracovním světlem
43. Rentgenový svazek pro intraorální snímkování by měl být kolimován tak, aby:  
a) byl nepatrně menší než lineární rozměr filmu  
b) nebyl větší než obrazový detektor  
c) byl nepatrně větší než úhlopříčka filmu
44. Napětí na rentgence rentgenů pro intraorální snímkování je:  
a) 50 kV až 90 kV  
b) 50 kV až 125 kV  
c) 60 kV až 90 kV
45. Požadovaná velikost ozářeného pole na konci distančního tubusu pro intraorální snímkování je:  
a) kruhové pole průměr 6 cm  
b) kruhové pole průměr 5 cm  
c) pravoúhlé pole rozměr 4,5 x 3 cm

## OTÁZKY KE KAPITOLÁM URČENÉ PRO OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ Z JEDNOTLIVÝCH KAPITOL.

### Otázky ke kapitole 1

- Pod pojmem ionizující záření rozumíme takové druhy záření, které při průchodu prostředím vytváří:
  - fotony
  - iontové páry
  - umělou radioaktivitu
- Prvním dokumentovaným případem poškození ionizujícím zářením byly:
  - kožní změny na rukou
  - leukémie
  - genetické účinky
- Zkoumání účinků záření u populačních skupin se provádí z důvodu ověření:
  - zvýšeného výskytu nádorů po ozáření malými dávkami
  - genetických účinků záření na člověka
  - vzniku akutních účinků záření u člověka
- Ze kterých uvedených zdrojů ionizujícího záření obdrží lidé nejvyšší ozáření:
  - radioaktivních výpustí jaderných elektráren
  - lékařské expozice
  - přírodních zdrojů
- Nejvýznamnější podíl na ozáření populace mají:
  - umělé zdroje
  - vdechování dceřiných produktů radonu
  - kosmické záření
- Příkon dávky z kosmického záření je nejvyšší:
  - ve švýcarských Alpách
  - v Dánsku
  - při dálkovém letu z Evropy do Ameriky
- Kolektivní efektivní dávka ze zubní radiodiagnostiky v ČR je srovnatelná s rtg vyšetřením:
  - plic
  - hlavy, krční páteře
  - žlučníku
- Profesionálním ozářením rozumíme expozici, které jsou vystaveni pracovníci:
  - při práci, kromě expozice z přírodních zdrojů
  - z přírodních zdrojů při jejich průmyslovém zpracování
  - při práci, kde je překročena hodnota ozáření 15 mSv za rok
- Které z následujících zdrojů ionizujícího záření lidstvo nemůže regulovat:
  - záření kolem jaderných reaktorů
  - zdroje přírodního záření
  - radioaktivní spad z nukleárních pokusů
  - ozáření ze zdrojů užívaných v lékařství
- Jako zdroje vnitřního záření označujeme:
  - přírodní draslík  $^{40}\text{K}$ , obsažený v pitné vodě a potravinách
  - radon a jeho dceřiné produkty v ovzduší budov
  - aplikátor se zářičem  $^{226}\text{Ra}$  používaný intravaginálně při brachyterapii rakoviny čípku.

### Otázky ke kapitole 2

- Radioaktivita je schopnost:
  - některých atomových jader se samovolně rozpadat a vysílat přitom ionizující záření
  - některých atomových jader přijímat elektron z obalu jádra, přejít do excitovaného nestabilního stavu a začít se samovolně rozpadat
  - molekul se chemicky rozkládat za současného uvolňování fotonů
- Pokles aktivity radioaktivního zářiče s časem je charakterizován:
  - přeměnnou konstantou " $\lambda$ "
  - poločasem rozpadu **T**
  - vyjádřením počtu částic alfa a beta
- Aktivita charakterizuje:
  - tvorbu párů
  - radioaktivní přeměnu beta
  - množství radioaktivního nuklidu
- Dosah částic alfa ve vodě je pravděpodobně:
  - větší než u částic beta
  - je rovnocenný s částicemi beta
  - je menší než u částic beta
- Záření alfa a beta při průchodu prostředím:
  - způsobuje ionizaci atomů a molekul

- b) vytváří elektricky nabitě částice, které sekundárně ionizují a excitují atomy a molekuly  
c) silně se pohlcují a vytváří brzdné záření
6. Záření alfa a gama se rozlišuje:  
a) původem vzniku  
b) charakterem spektra  
c) způsobem průběhu interakce s hmotou
7. Brzdné záření vzniká:  
a) dopadem urychlených elektronů na látku  
b) dopadem beta částic na látku  
c) a) a b) je správné
8. Rentgenové záření, které vzniká v rentgence na anodě dopadem urychlených elektronů je po vypnutí vysokého napětí:  
a) nulové  
b) časově zpožděné  
c) časově zpožděné, způsobující aktivaci rentgenky a blízkého okolí
9. Maximální energie spektra rentgenového záření je určována:  
a) urychlujícím napětím na rentgence  
b) materiálem anody rentgenky  
c) filtrací spektra přídatným filtrem
10. Při interakci fotonu s atomem prostředí vzniká elektron a rozptýlený foton s nižší energií, jde o:  
a) fotoefekt  
b) Comptonův rozptyl  
c) tvorbu párů
11. Nejvýznamnějším způsobem interakce rentgenového záření s energií 0,50 MeV je:  
a) tvorba párů  
b) Comptonův rozptyl  
c) fotoefekt
12. Zeslabení fotonového záření je závislé na lineárním součiniteli zeslabení  $\mu$ , zeslabujícím materiálu a jeho tloušťce. Velikost součinitele  $\mu$ , je závislá:  
a) na energii záření  
b) na zeslabujícím materiálu  
c) na druhu interakce  
d) a) a b) je správné
13. Která z následujících částic významně přispívá k ozáření k ozáření obsluhy rentgenového zařízení:  
a) pozitrony  
b) elektrony  
c) "Comptonovy" rozptýlené fotony  
d) "Comptonovy" rozptýlené elektrony
14. Když urychlující napětí na rentgence je 75 kV, pak maximální energie ve spektru je:  
a) 70 keV  
b) 37,5 keV  
c) 75 keV
15. Spektrum rentgenového záření je charakterizováno napětím na rentgence, filtrací a polotloušťkou, která vyjadřuje:  
a) pokles kermového příkonu záření na polovinu původní hodnoty  
b) tloušťku materiálu, která zeslabí kermový příkon záření na polovinu původní hodnoty  
c) maximální energii spektra záření.

### Otázky ke kapitole 3

1. Základní veličinou charakterizující působení ionizujícího záření na látku je dávka, jednotkou je:  
a) rentgen (R)  
b) coulomb na kilogram ( $\text{C kg}^{-1}$ )  
c) sievert (Sv)  
d) gray (Gy)
2. Výchozí veličinou pro stanovení dávkového ekvivalentu je:  
a) jakostní faktor  
b) kerma ve tkáni  
c) dávka  
d) ionizace ve vzduchu
3. Ionizující záření, které vyvolává stejný biologický účinek na kůži odpovídající jednotkové dávce, jsou:  
a) záření X, gama, pozitrony  
b) záření X, gama, alfa záření  
c) záření X, gama, elektrony  
d) neutrony, gama, alfa záření
4. Která z následujících stávajících jednotek vyjadřuje velikost expozice:  
a) sievert  
b) rentgen  
c) gray  
d) jiná

5. Váhový součinitel  $w_T$  používaný pro výpočet efektivní dávky vyjadřuje:
  - a) jen genetické riziko
  - b) jen relativní riziko stochastických účinků orgánů a tkání
  - c) jen riziko fatální rakoviny orgánů tkání
6. Expozice je definována pro dávku ve:
  - a) vodě
  - b) vzduchu
  - c) ve tkáni
  - d) jiné
7. Efektivní dávka E:
  - a) se vypočítává jako suma součinů ekvivalentní dávky a tkáňových váhových faktorů pro ozářené orgány a tkáň
  - b) umožňuje sčítat několik dílčích ozáření různých částí těla
  - c) je definován ve vztahu k účinkům stochastickým i nestochastickým
8. Váhový faktor  $w_T$  pro tkáň:
  - a) představuje fraksi stochastických účinků vycházejících jících z tkáně T ze všech stochastických účinků vyvolaných celotělovým ozářením
  - b) je nezbytný pro výpočet ekvivalentní dávky v tkáni T
  - c) součet všech váhových faktorů je 10

#### Otázky ke kapitole 4

1. Které uvedených biologických účinků ozáření lze považovat za stochastické?
  - a) změny v krevtvorbě
  - b) genetické účinky u potomstva
  - c) akutní zánět kůže
2. Podle molekulárně biologické teorie poškození buňky ionizujícím zářením nastává zejména:
  - a) vznikem zlomů a působením reparačních dějů na dvojvláknech nukleové kyseliny
  - b) poškozením mitochondrií
  - c) ovlivněním metabolických dějů
3. Který z následujících orgánů a tkání je nejcitlivější k indukci rakoviny z ozáření?
  - a) centrální nervový systém
  - b) ledviny
  - c) plíce
4. Je-li hodnota orgánového koeficientu rizika smrti  $20 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$ , pak činí individuální "šance" smrti na nádor při ozáření orgánu dávkou 1 Sv:
  - a) 1 : 50
  - b) 1 : 500
  - c) 4 : 2
5. Pro stochastické účinky záření se předpokládá:
  - a) bezprahový lineární vztah mezi dávkou a účinkem
  - b) závislost na frekvenci ozáření po dosažení prahové dávky
  - c) pravděpodobnost vzniku prahu při jednorázovém ozáření
6. Jaké onemocnění ze záření nelze u pracovníků se zářením vyloučit, když nejsou překročeny limity dávky?
  - a) změny v krevtvorbě
  - b) dědičné poškození
  - c) zákal oční čočky
7. Deterministické účinky se projevují:
  - a) až po dosažení určitého dávkového prahu
  - b) zvýšenou pravděpodobností nádorových a dědičných onemocnění
  - c) při zvýšené frekvenci ozáření i když není dosaženo prahové dávky
8. Časným nálezem v periferní krvi při akutní nemoci z ozáření je:
  - a) lymfocytóza
  - b) lymfopenie
  - c) anemie
9. Rakovina z ozáření vzniká:
  - a) překročí - li dávka u jednotlivce určitý práh
  - b) jen u oslabených jedinců
  - c) u kohokoli s pravděpodobností úměrně se zvyšující s dávkou
10. Stochastické účinky se projevují:
  - a) až po dosažení určitého dávkového prahu
  - b) zvýšením pravděpodobnosti výskytu rakoviny a dědičných účinků
  - c) těžším průběhem rakovinových a dědičných onemocnění
11. Které z následujících orgánů a tkání jsou nejcitlivější k ozáření (z hlediska destrukce):
  - a) střevní výstelka
  - b) aktivní kostní dřev
  - c) centrální nervový systém

12. Rozložení dávky v čase u ozářeného jedince:
- zvýší časný účinek ozáření
  - sníží časný účinek ozáření
  - neprojeví se
13. K teratogenním účinkům dochází u plodu ozářeného vyšší dávkou nejčastěji:
- po 15. týdnu po početí
  - mezi 3. - 8. týdnem po početí
  - vždy
14. Nádory, vyvolané ozářením jsou:
- klinicky neodlišitelné od případů "spontánních"
  - zcela specifické pro ozáření
  - závislé na dosažení určitého dávkového prahu
15. Mezi nenádorová pozdní poškození patří i zákal oční čočky, který může vzniknout po jednorázovém ozáření dávkou minimálně:
- 3 Gy
  - 8 mGy
  - 15 mGy
16. Které z uvedených orgánů a tkání nejsou vnímavé pro vznik nádorů po ozáření?
- oční čočka
  - červená kostní dřeň
  - plíce
17. Mutace, které jsou vyvolány účinkem ionizujícího záření, způsobují změnu:
- buněčných stěn
  - cytogenetické informace uložené v jádře buňky
  - mitotického dělení
18. Akutní poškození kůže rtg zářením se rozvíjí již při dávce:
- 2,7 Gy
  - 0,2 Gy
  - 0,05 Gy

### Otázky ke kapitole 5

- Cílem ochrany před zářením je usměrňování ozáření lidí tak, aby:
  - zdravotní důsledky ozáření byly přijatelné pro jednotlivce i společnost
  - byly vyloučeny nežádoucí nestochastické účinky a výskyt stochastických účinků omezen na tak nízkou úroveň, aby byla přijatelná pro společnost a jednotlivce
  - byly vyloučeny všechny biologické účinky záření u člověka
- Systémem limitování dávek se zajišťuje:
  - aby využití zdrojů záření při každé činnosti bylo zdůvodněno
  - aby výsledné dávky u pracovníků a obyvatelstva byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout
  - aby nebyly překročeny základní limity doporučené pro příslušné podmínky
  - vše je správné
- Optimalizace ochrany před zářením:
  - znamená, že dávky mají dosáhnout úrovně tak nízké, že další vynakládání prostředků na zvyšování ochranných opatření by nebylo pro společnost efektivní
  - předpokládá stanovení peněžního ekvivalentu jednotky kolektivní dávky
  - ozáření osob musí být tak nízké, jak lze z hledisek ekonomických a společenských dosáhnout
- Pod pojmem základní limity rozumíme hodnoty efektivní dávky:
  - které nesmí být u jednotlivce v ve stanoveném období překročeny
  - které zahrnují základní a odvozené limity
  - zahrnují ozáření ze všech činností a zdrojů včetně ozáření z přírodního pozadí
- Základní limity pro pracovníky jsou stanoveny vzhledem ke stochastickým účinkům ve vyšší efektivní dávky:
  - 50 mSv ročně
  - 20 mSv ročně
  - 1 mSv ročně
  - jinak
- Základní limity obecné jsou stanoveny vzhledem ke stochastickým účinkům ve vyšší efektivní dávky:
  - 5 mSv ročně
  - 1 mSv ročně
  - 15 mSv ročně
  - jinak
- Odvozený limit pro zevní ozáření osobní dávkový ekvivalent H prokazuje nepřekročení limitu pro:
  - stochastické účinky
  - kůži
  - oční čočku



8. Základní limity jsou pro nestochastické účinky stanoveny ve veličině:  
a)  $H_E$  - efektivní dávkový ekvivalent

- b)  $H_T$  - ekvivalentní dávka ve tkáni  
c)  $K_T$  - kerma ve tkáni

### Otázky ke kapitole 6.

- Střední dávka v těle je závislá na:
  - velikosti ozářeného pole
  - poměru přenosu
  - výstupní dávce
  - a) a b) je správné
- Povrchové zatížení kůže se při zachování konstantní výstupní dávky zmenší:
  - se snížením napětí na rentgence
  - zvýšením celkové filtrace svazku
  - se zmenšením ohniskové vzdálenosti
- Která z následujících kombinací provozních parametrů rentgenového zařízení snižuje ozáření pacienta:
  - nižší napětí rentgenky, vyšší mAs, snížení filtrace
  - zvýšení napětí na rentgence, snížení mAs, zvýšení filtrace
  - zvýšení napětí rentgenky, snížení mAs, snížení filtrace
- U rentgenového přístroje s napětím 75 kV je požadována celková filtrace rentgenového svazku:
  - 1,0 mm Al
  - 1,5 mm Al
  - 2,0 mm Al
  - 2,5 mm Al
- Rentgenový přístroj pro intraorální snímkování s napětím 55 kV má mít distanční tubus, který zaručí vzdálenost ohnisko-kůže:
  - 10 cm
  - 15 cm
  - 20 cm
- Válcový distanční tubus má oproti kuželovému tubusu následující výhody:
  - snazší centraci svazku
  - nižší rozptýlené záření ze stěn tubusu
  - použitím vhodného materiálu na jeho konstrukci je
  - možné docílit podstatného snížení rozptýleného záření
  - b) a c) je správné
- Účelem filtrace rentgenového svazku přídavným materiálem např. Al je:
  - snížení pronikavosti svazku, a tím snížení dávky na kůži
  - eliminace nízkých energií spektra, a tím snížení dávky pacientu
  - zvýšením pronikavosti svazku, a tím zvýšení dávky pacientu
- U zubního rentgenového přístroje pro intraorální snímkování se nejčastěji používá pro vyčlenění rentgenového svazku systém:
  - dvou kruhových clon
  - jedné kruhové clony
  - štěrbinových pravoúhlých clon
- Rentgenový svazek pro intraorální snímkování by měl být kolimován tak, aby:
  - byl nepatrně větší než lineární rozměr filmu
  - byl nepatrně větší než úhlopříčka filmu
  - nebyl větší než obrazový detektor
- Požadovaná velikost ozářeného pole na konci distančního tubusu pro intraorální snímkování je:
  - kruhové pole průměr 6 cm
  - kruhové pole průměr 5 cm
  - pravoúhlé pole rozměr 4,5 x 3 cm
- Ochranný límec je používán ke stínění těchto částí lidského těla:
  - štítné žlázy
  - krku
  - gonád
  - i jiných orgánů a tkání
- Počet opakovaných snímků lze redukovat:
  - pečlivým a správným výběrem parametrů ovlivňující expozici
  - použitím citlivých filmů s neprošlou dobou použitelnosti
  - navozením dobré atmosféry při vyšetření
  - vyločením náhlého pohybu pacienta, jeho přiměřenou fixací
  - vše je správně
- Osobní ochranné pomůcky s ekvivalentem nejméně 0,25 mm Pb mají být k dispozici na pracovišti alespoň:
  - ve dvou velikostních rozměrech
  - ve třech velikostních rozměrech
  - postačující je jen jeden velikostní rozměr

## Otázky ke kapitole 7

- Který z následujících přístupů zvyšuje zátěž pacienta při radiodiagnostice:
  - používání citlivých filmů s prošlou dobou použitelnosti
  - nesprávné vyvolávání filmů
  - výjimečné použití filmů určených pro fóliovou techniku k přímému záznamu rentgenového záření
  - použití filmu citlivého na modré světlo v kombinaci se zesilující fólií emitující zelené světlo
  - vše je správné
- Vyšší rozlišovací schopnost mají:
  - xero fólie
  - jemnozrný film
  - systém vysoce citlivých filmů v kombinaci s vysoce citlivou zesilující fólií
- Nízký kontrast snímku je dán:
  - volbou příliš vysokého napětí rentgenky
  - přeexponováním filmu a zkrácením doby vyvolávání
  - vysoce teplotou vývojků
  - vše je správné
- Účinnost vyvolávacích roztoků se snižuje:
  - nízkou teplotou vyvolávací lázně
  - oxidací lázně
  - nízkou skladovací teplotou
  - vše je správné
- Vyvolaný film může být prohlédnut:
  - ještě mokrá
  - suchý, proti dennímu světlu nebo lampě
  - na negatoskopu s vykrývacím rámečkem
- Závoj filmu může být způsoben:
  - špatnou světlotěsností temné komory
  - prošlou dobou použitelnosti filmu
  - osvětlením filmu předpisovým pracovním světlem
- Teplotu vývojků kontrolujeme:
  - jednou denně
  - každou hodinu
  - nejlépe trvale
- Výměnu vyvolávacích lázní provádíme:
  - nejméně jedenkrát za měsíc
  - po vyvolání 200 snímků
  - okamžitě, zjistíme-li snižující se účinnost vyvolávání

## Otázky ke kapitole 8

- Časový faktor, kterým je určována doba ozáření obsluhy je dán:
  - expoziční dobou snímku
  - dobou pobytu obsluhy ve vyšetřovně
  - citlivosti filmu
- Minimální vzdálenost obsluhy od zdroje roztýleného rentgenového záření je:
  - 2 m
  - 2,5 m
  - co nejdále
- Které z následujících tvrzení je správné:
  - rentgenujícímu je dovoleno, vyžaduje-li to stav pacienta, přidržovat pacienta při snímku a zamezit tak nežádoucímu pohybu pacienta; musí přitom používat osobní ochranné prostředky
  - osoba doprovázející pacienta, vyžaduje-li to jeho stav, ho smí přidržovat při snímku a zamezit tak nežádoucímu pohybu pacienta; musí přitom používat osobní ochranné prostředky
  - kdokoli může přidržovat pacienta při snímku
- V zubní ordinaci s rentgenem se před ozářením nejnáze ochráníte:
  - snížením času stráveného u zdroje radiace
  - použitím osobních ochranných pomůcek
  - odstoupením co nejdále od zdroje, a to na odvrácenou stranu směru primárního záření
  - odstoupením za ochrannou zástěnu
- Jestliže dávkový příkon je nepřímo úměrný čtverci vzdálenosti, pak ve dvojnásobné vzdálenosti od zdroje dávkový příkon:
  - se zvětší 2x
  - se zvětší 4x
  - se sníží 4x
  - se sníží 2x
- Fixace filmu při snímku je prováděna:
  - samotným pacientem
  - pomocí fixační pomůcky
  - v nejnútnejších případech obsluhou rentgenistu
  - a) a b) je správné

7. Který z uvedených stavebních materiálů má největší stínící účinky:
- cihla
  - beton
  - barytová omítka
8. Jestliže v ordinaci nelze odstoupit při rentgenovém snímku na požadovanou vzdálenost od

- zdroje, musí být k ochraně obsluhy použito ochranné zástěny, stěny apod., přitom nemá být překročena týdenní ekvivalent dávka:
- 1  $\mu\text{Sv}$
  - 2  $\mu\text{Sv}$
  - 1 mSv

### Otázky ke kapitole 9

- Pod pojmem osobní monitorování rozumíme:
  - sledování osobních dávek pracovníků radiodiagnostického pracoviště
  - sledování osobních dávek pracovníků v sousedství radiodiagnostického pracoviště
  - sledování podmínek ozáření v prostorech radiodiagnostického pracoviště
- Individuální monitorování osob se provádí osobním dozimetrem, který je nošen:
  - na nejvíce ozařovaném místě těla
  - na referenčním místě těla
  - na referenčním místě těla pod zástěrou
- Při používání osobní ochranné zástěry je osobní dozimetr nošen:
  - vně ochranné zástěry
  - pod ochrannou zástěrou
  - nemusí být nošen
- Překročení vyšetřovací úrovně při osobním monitorování dává podnět k:
  - prošetření příčin vedoucích k překročení vyšetřovací úrovně

- dočasné vyřazení pracovníka z prací v kontrolovaných pásmech
  - nenosení osobních dozimetrů
- Pro dlouhodobé sledování osob v kontrolovaných pásmech se jako osobního dozimetru používá:
    - filmových dozimetrů
    - elektretových dozimetrů
    - ionizačních komor
  - Filmový dozimetr poskytuje informaci o tom, zda-li ozáření bylo:
    - jednorázové
    - kumulované
    - z různých směrů
  - Pro monitorování pracovního prostředí se používají:
    - termoluminiscenční dozimetry
    - dozimetrické přístroje s ionizačními komorami
    - speciální dozimetry citlivé na záření z přírodního pozadí

### Otázky ke kapitole 10.

- K bezpečnému provozu musí být na pracovišti s jednoduchými zdroji ionizujícího záření, nejpozději před zahájením vlastního nakládání se zdroji ionizujícího záření, zajištěno:
  - vykonávání soustavného dohledu nad dodržováním radiační ochrany
  - vymezení a označení kontrolovaného pásma
  - vybavení pracovníků se zdroji osobními ochrannými prostředky
  - vše je správné
- Vykonávat činnosti spojené s ozáření osob smí:
  - odborně způsobilí, bezúhonní a způsobilí k právním ikonům starší 21 let
  - odborně a zdravotně způsobilé osoby starší 18 let

- těhotné ženy
- K obecným povinnostem pracovníků patří:
    - při poruše rentgenu provést jeho opravu
    - zajistit radiační ochranu, včetně jejího ověřování, v rozsahu odpovídajícím pro jednotlivá povolení
    - postupovat při práci tak, aby oni sami, byli jen v nejmenší možné míře vystaveni ionizujícímu záření
  - K povinnostem fyzických a právnických osob patří:
    - používat zdroje záření podle vlastního uvážení
    - poskytovat pracovníkům a pacientům osobní ochranné prostředky proti ionizujícímu záření

- c) provádět zkoušky dlouhodobé stability dle programu řízení jakosti
5. Povolení k užívání zdrojů ionizujícího záření vydává:
- Státní úřad pro jadernou bezpečnost
  - místně příslušný živnostenský úřad
  - hlavní hygienik ČR nebo SZU Praha
6. Tloušťky ochranných stínících vrstev, kterými se dosahuje nízké úrovně ozáření pro zubní ordinace s rentgenem s počtem snímků do 100 za týden, jsou:
- cihlové stěny z dutých cihel silné 15 cm
  - cihlové stěny z plných cihel silné 15 cm
  - dveře s vložkou olověného plechu 1 mm silným a pozorovacím okénkem o ekvivalentu olova 1 mm
  - tloušťku určíme na základě optimalizovaného výpočtu
7. Týdenní ekvivalentní dávka, kterou je na základě principu optimalizace účelné dosáhnout, se diferencuje v závislosti na:
- napětí rentgenky
  - tloušťce ochranné zdi
  - dávkového příkonu v 1 m od zdroje
  - nediferencuje se
8. Plošná výměra zubní ordinace s rentgenem činí:
- 18 m<sup>2</sup> za předpokladu, že v místnosti je 1 zubní křeslo
  - 24 m<sup>2</sup> za předpokladu, že v místnosti není více než 2 zubní křesla
  - 15 m<sup>2</sup> za předpokladu, že rentgen je od stěny nebo jiné překážky vzdálen 1,5 m
  - je určena jinak
9. Povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření není třeba při používání:
- nevýznamných zdrojů
  - drobných zdrojů typově neschválených úřadem
  - jednoduchých zdrojů typově schválených úřadem
10. K zahájení provozu stomatologického pracoviště se zubním rentgenem je potřeba:
- předchozí souhlas orgánu státního dozoru k provozování činnosti a zahájení činnosti vedoucí ke zvýšenému ozáření osob
  - není třeba souhlasu k provozu
  - není třeba souhlasu k provozu, je však třeba povolení orgánu státního dozoru k používání zdroje ionizujícího záření
11. Zkoušky provozní stálosti se provádějí:
- periodicky, nejlépe dle doporučení výrobce a schváleného programu zabezpečování jakosti
  - při předání zdroje uživateli a pak po každém servisu
  - nejméně jedenkrát za měsíc
12. Zkoušku dlouhodobé stability provádí
- uživatel zdroje
  - oprávněná osoba
  - odborník nebo servisní firma
13. Na pracovišti je uložena a vedena tato dokumentace:
- povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření SÚJB ze dne.....,
  - schválená dokumentace SÚJB, tj. Program monitorování, Vnitřní havarijný plán, Program zabezpečování jakosti pro SÚJB povolované činnosti, o vstupních, případně preventivních lékařských prohlídkách pracovníků
  - dokumentace o používání zdroje včetně záznamů o vyšetření
  - vše je správné