

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zdravotně sociální fakulta**



RADIAČNÍ OCHRANA I.

*doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia
studijního programu "Ochrana obyvatelstva"*

studijního oboru „Ochrana obyvatelstva se zaměřením na CBRNE“

Ing. Jiří Konečný, CSc.

ČESKÉ BUDĚJOVICE 2007

Cíl předmětu

Cílem je seznámit studenty s postupy v radiační ochraně, principy optimalizace dávek a monitorování okolí a personálu a kontrole ZIZ.

Obsah předmětu

Přednášky:

Historický vývoj, začlenění oboru, zdroje ionizujícího záření z pohledu radiační ochrany.

Definice používaných veličin a jednotek, příklady praktického uplatnění.

Zevní ozáření, jeho hodnocení a ochrana před ním

Vnitřní ozáření, jeho hodnocení a ochrana před ním

Cíle a základní principy radiační ochrany, význam limitů ozáření.

Účinky ionizujícího záření na organismus, riziko

Monitorování v radiační ochraně, referenční úrovně

Cvičení:

Monitorování na pracovištích se zdroji záření (metody monitorování, monitorovací programy, referenční úrovně).

Limitování a regulace expozic ionizujícího záření

Zásady připravenosti na radiační události

Principy radiační ochrany v jaderných elektrárnách

Vnitřní ozáření, podstata, modelové výpočty, použití tabulek a dat ICRP pro odhad dávky, možnosti ochrany.

1 HISTORICKÝ VÝVOJ, ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ Z POHLEDU RADIAČNÍ OCHRANY

Klíčová slova: radiační ochrana, zdroje ionizujícího záření, klasifikace zdrojů.

1.1 Předmět radiační ochrany

Pro účely tohoto kurzu použijeme následující definici předmětu radiační ochrana:

- Radiační ochrana je obor, zabývající se způsobem, jak se efektivně chránit před přírodním i umělým ionizujícím zářením.

Radiační ochrana je v porovnání s ostatními přírodními a technickými vědami poměrně nová disciplína. Je vědou hraniční, protože v sobě obsahuje prvky fyziky, chemie, biologie, elektroniky aj. Zárodek jejího vzniku lze datovat počátkem rozvoje měřících metod v prostředí ionizujícího záření tj. ve 20tých letech 20tého století.

Radiační ochrana se ve své podstatě řídí filosofií – zabránit zdravotní újmě při práci se zdroji ionizujícího záření. Zdravotní újmu se podle legislativy myslí „pravděpodobnost poškození zdraví způsobené somatickými účinky ionizujícího záření (včetně rakoviny) a vážnými genetickými poruchami, které se mohou projevit u fyzických osob po ozáření ionizujícím zářením a které stanoví odhadem rizika snížení délky a kvality života“.

1.2 Historie radiační ochrany

První období po objevu záření X bylo charakterisováno rychlým technickým a hospodářským vývojem. Zejména však v lékařství došlo k široké aplikaci zdrojů Rentgenova záření. Velmi brzy ale byly zjištěny poškození uživatelů nebo i pacientů. Za pomoci pokusů na zvířatech byly již kolem roku 1910 známy všechny typy poškození s výjimkou genetického. Hlubší poznatky o mechanismech účinků a jejich vztahů k ozáření však dochází až po 2. světové válce.

Na poznatky o poškození rychle reagovaly návrhy ochranných opatření a to především technického charakteru. Byla formulována řada mezinárodních doporučení, zejména šlo o vyloučení vstupu do primárního svazku, využití vzdáleností k ochraně a dostatečné dimenzování olověné ochrany. Tyto požadavky byly akcentovány i v doporučeních ICRP z roku 1928.

Návrhy na limity ozáření se ale objevují až ke konci třicátých let. Tak například z pozorování skupiny nanášeček radioaktivních barev na ručičky hodinek byla odvozena hodnota dávky na kost, která nezpůsobí žádné poškození. Dále šlo o sledování zdravotního stavu skupiny osob, užívající zdroje gama v lékařství. Protože u nich nebyly pozorovány žádné klinické příznaky poškození, byly odvozeny nejvýše přípustné dávky pro ozáření celého těla.

Po 2. světové válce dochází k růstu významu jaderné energie a intenzivně se pokračuje ve zkouškách jaderných zbraní. Výzkum účinků záření na organizmy nabývá na intenzitě. Identifikují se poškození, kterým je třeba zabránit. Je to poškození krvetvorby, zánětlivá poškození kůže, posléze i maligní procesy (zprvu šlo o leukémii) a i o účinky genetické.

Představa o prahovosti poškození záření převalovala ještě dost dlouho. Dodržování limitů ozáření bylo tedy určující a zaručující přijatelnost úrovně radiační ochrany. Dokonce ještě v roce 1956, kdy se přešlo z limitu ozáření 15 na 5 rem roční dávky, byla tato dávka považována za bezpečnou.

Prakticky realizovatelný a biologicky i sociálně odůvodnitelný přístup byl formulován až v sedmdesátých letech, kdy bylo přijato doporučení ICRP o optimalizaci radiační ochrany (1973) a systém limitování dávek v doporučení ICRP 26 (1977). V základních rysech tento přístup trvá až do dnešní doby.

1.3 Zdroje ionizujícího záření z pohledu radiační ochrany

Pohled radiační ochrany na zdroje ionizujícího záření je poněkud jiný, než obecný pohled fyzikální. Samotná Vyhláška 307/2002 říká, že se nevztahuje na ozáření z přírodního pozadí, to je na radionuklidy obsažené přirozeně v lidském těle, na kosmické záření, které je běžně na zemském povrchu, nebo na záření způsobené radionuklidy přítomnými v lidskou činností neporušené zemské kůře a na jiná ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření nemodifikovaná lidskou činností.

Vyhláška tedy eliminuje ochranu od těch zdrojů záření, před kterými nemá smysl zavádět ochranná opatření. Všimněte si, že kosmické záření jako zdroj zde má dvojí polohu: jednak jako zdroj ozáření na zemském povrchu, proti kterému se samozřejmě nechráníme a jako zdroj ozáření mimo zemský povrch, tedy při letech ve větších výškách dopravními letadly nebo v kosmických lodích – tam má radiační ochrana již své úkoly.

1.3.1 Radionuklidové zdroje alfa, beta a gama

1.3.1.1 Zářiče alfa

V různých aplikacích nejsou zářiče alfa příliš časté. Konstrukce uzavřených zářičů je obtížná, je třeba používat velmi tenké vrstvy zářiče a materiálu pouzdra. Výrazně se uplatňuje samoabsorpce. Tam, kde deformace energetického spektra není tolik na závadu, je alfa nuklid rozptýlen do stříbrné nebo zlaté matrice.

Nejčastěji užívanými zdroji jsou: ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{210}Po , někdy ^{226}Ra , přírodní uran, ^{232}Th . U prvních tří radionuklidů je doprovodné záření gama poměrně nízkoenergetické a málo zastoupené.

1.3.1.2 Zářiče beta

Výroba uzavřených zářičů beta je jednodušší než zářičů alfa v tom smyslu, že nejsou kladeny tak velké nároky na tenké okénko nebo na malou tloušťku vrstvy zářiče. Přistupuje však komplikace se vznikem brzdného záření, které je podstatně pronikavější než samotné záření beta.

Příkladem beta zářičů může být $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$.

Komplikace přináší zdroj s ^3H . Obvykle je ^3H absorbováno na tenké vrstvičce Ti nebo Zr. Zdroje jsou to choulostivé, musí se skladovat v suchu a inertní atmosféře, teplota nesmí překročit 200°C .

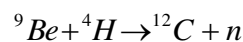
1.3.1.3 Zářiče gama

U uzavřených zdrojů se nesetkáváme s vážnějšími potížemi. Naopak někdy je žádoucí, aby silnější pouzdro pohltilo i doprovodné záření beta.

1.3.2 Radionuklidové zdroje neutronů

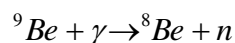
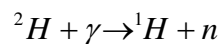
Nejstarší a nejrozšířenější radionuklidové zdroje neutronů jsou založeny na reakci (alfa, n). Jako terčík se používají lehké prvky.

Příklad:



Jako zdroje záření se používají ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , v poslední době i ^{252}Cf .

Dalším typem mohou být zdroje založené na fotojaderných reakcích (gama, n). Prakticky připadají do úvahy pouze dvě reakce:



Jako zdroje gama připadají do úvahy ^{88}Y , ^{226}Ra a ^{124}Sb .

1.3.3 Rentgenky a urychlovače nabitých částic

Rentgenky jsou zdrojem rentgenova záření, které vzniká zabrzděním urychlených elektronů v katodě (brzdné záření) a excitací elektronů v elektronovém obalu a následného jejich návratu na původní dráhu (charakteristické záření).

Urychlovače jsou speciálním zdrojem záření, které vzniká jednak vlastním urychlením nabitých částic a jednak interakcí těchto částic s okolním materiálem a materiálem terčíku.

1.3.4 Jaderné reaktory

Jaderné reaktory jsou zdrojem různých druhů záření, které vznikají v důsledku probíhající štěpné reakce v jaderném reaktoru. Vznikají tak štěpné produkty, ke kterým se přidružují i korozní produkty vznikající aktivací produktů koroze neutrony.

1.4 Klasifikace zdrojů ionizujícího záření

Klasifikace zdrojů ionizujícího záření je definovaná Vyhláškou 307/2002 ve znění platných předpisů.

1.4.1 Kritéria pro klasifikaci zdrojů

Zdroje ionizujícího záření se podle vzestupného ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením klasifikují jako nevýznamné, drobné, jednoduché, významné a velmi významné. Při tom se berou do úvahy tyto faktory:

- Příkon dávkového ekvivalentu
- Technická úprava a způsob provedení zdroje
- Aktivita a hmotnostní aktivita radionuklidových zářičů, zpravidla ve vztahu ke zprošťovacím úrovním
- Možnosti úniku radionuklidů z radionuklidových zářičů
- Možnosti vzniku radioaktivních odpadů a náročnost jejich zneškodnění
- Typický způsob nakládání a související míry možného ozáření
- Potenciální ohrožení plynoucí z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu
- Riziko vzniku radiační nehody nebo havárie, závažnost následků takové události a možnost zásahů.

Podle těchto kritérií se zdroje dělí na:

- Nevýznamné
- Drobné
- Jednoduché
- Významné
- Velmi významné

Otázky:

- Definujte předmět radiační ochrany
- Popište hlavní historické mezníky vývoje radiační ochrany
- Popište zdroje ionizujícího záření
- Jaká jsou hlavní kritéria pro klasifikaci zdrojů.

2 DEFINICE POUŽÍVANÝCH VELIČIN A JEDNOTEK

Klíčová slova: aktivita, fyzikální, biologický a efektivní poločas rozpadu, absorbovaná dávka, lineární přenos energie, ekvivalentní dávka, efektivní dávka.

2.1 Základní veličiny a jednotky ochrany před ionizujícím zářením

2.1.1 Rychlost radioaktivní přeměny a aktivita

U radionuklidových zdrojů se množství radioaktivní látky charakterizuje aktivitou A ; touto veličinou se rozumí poměr dN/dt , kde dN je střední počet samovolných jaderných přeměn z daného energetického stavu v určitém

množství radioaktivní látky, k nimž dojde za časový interval dt (N označuje počet radioaktivních atomů, t označuje čas, d znamená nekonečně malý přírůstek uvažované veličiny).

Aktivitu tedy můžeme vyjádřit vztahem

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Jednodušeji můžeme říci, že aktivita radioaktivní látky je počet radioaktivních přeměn v této látce vztažený na jednotku času.

Jednotkou aktivity je s^{-1} , pro níž se používá název becquerel (Bq). Násobnými jednotkami jsou např. kBq, MBq, GBq. Vztáhneme-li aktivitu na jednotkovou hmotnost zářiče, dostaneme měrnou aktivitu (jednotka $Bq \cdot kg^{-1}$). U plošných zdrojů se používá plošná aktivita (jednotka $Bq \cdot m^{-2}$), u objemových zdrojů objemová aktivita ($Bq \cdot m^{-3}$).

Aktivita A radionuklidu klesá exponenciálně s časem t podle vztahu

$$A = A_0 \exp(-\lambda t)$$

kde

A_0 aktivita radionuklidu v čase $t = 0$
 λ přeměnová konstanta

2.1.2 Fyzikální poločas radionuklidu

Lze odvodit, že

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

kde

$T_{1/2}$ (T_f) je fyzikální poločas radionuklidu

Za dobu jednoho fyzikálního poločasu rozpadu se rozpadne polovina radioaktivních nuklidů v radioaktivní látce. Za další fyzikální poločas rozpadu se rozpadne polovina z původní poloviny radioaktivních nuklidů a tak dále.

2.1.3 Biologický poločas rozpadu

Biologický poločas je doba, za kterou se z organismu vyloučí polovina nějakého prvku, nebo sloučeniny. Můžeme ho označit jako T_b .

2.1.4 Efektivní poločas rozpadu

Efektivní poločas rozpadu je doba, za kterou se radionuklid nejen vyloučí z organismu, ale zároveň se i rozpadá.

Jde tedy o součet přeměnové konstanty

$$\lambda_{ef} = \lambda_f + \lambda_b$$

Zároveň platí, že

$$T_{ef} = \frac{T_f * T_b}{T_f + T_b}$$

2.1.5 Absorbovaná dávka

Zde je vhodné vycházet z pojmu sdělená energie ε , co je energie, kterou předalo ionizující záření látce v určitém objemu:

$$\varepsilon = R_{in} + R_{out} + \sum Q$$

kde

R_{in} zářivá energie, která vstoupila do objemu
 R_{out} suma energií částic, které objem opustily
 $\sum Q$ součet všech změn klidových energií jader a elementárních částic v jakýchkoliv jaderných přeměnách, ke kterým v objemu došlo

Sdělenou energii můžeme vztáhnout na jednotku hmotnosti látky a dostaneme měrnou sdělenou energii z:

$$z = \frac{\varepsilon}{m}$$

Jednotka se jmenuje gray (Gy) a má rozměr $J.kg^{-1}$.

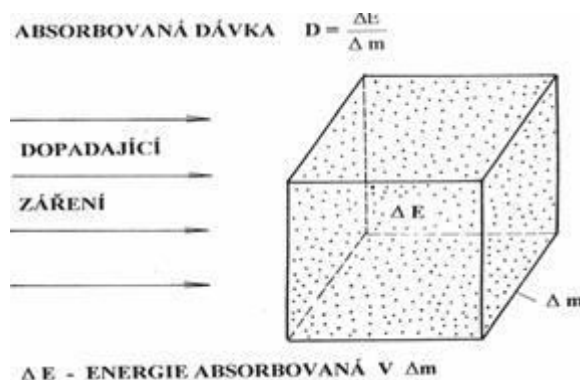
Uvažujeme-li střední měrnou energii a zmenšujeme objem, dostaneme v limitě jednu z nejužívanějších dozimetrických veličin, a to absorbovanou dávku (častěji nazývanou jen dávka).

$$D = \lim_{m \rightarrow 0} \bar{z}$$

Dávku je také možné definovat jako podíl střední sdělené energie a hmotnosti objemového elementu v daném bodě, kterému byla energie předána:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Tato veličina je základem popisů fyzikálních efektů v látce a nelze ji tedy od látky oddělit. Dávka musí být vždy uváděna společně s materiálem, např. dávka v měkké tkáni, dávka ve vzduchu atd.



Dávkový příkon je poměr přírůstku dávky dD za čas dt . Jednotkou je $Gy.s^{-1}$, často se dávkový příkon vyjadřuje v $mGy.h^{-1}$ nebo v $\mu Gy.h^{-1}$.

2.1.6 Kerma

Jsou-li primární částice nenabitě, prvním krokem jejich interakce s látkou je předání energie na nabitou částici. Tento fakt popisuje jednotka zvaná kerma (Kinetic Energy Released in MAtter). Kerma K je definována poměrem dEk/dm , kde dEk je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných

nenabitými ionizujícími částicemi v určitém objemu látky o hmotnosti dm . Jednotkou kermy je, stejně jako jednotkou absorbované dávky, 1 Gy.

$$K = \frac{dE_K}{dm}$$

2.1.7 Expozice

Expozice X , definovaná výhradně jen pro vzduch, je dána poměrem dQ/dm , kde dQ je absolutní hodnota celkového elektrického náboje iontů jednoho znaménka vzniklých ve vzduchu při úplném zabrzdění všech elektronů a pozitronů, které byly uvolněny fotony v objemovém elementu vzduchu o hmotnosti dm . Jednotkou je coulomb na kilogram ($C \cdot kg^{-1}$). Dřívější jednotkou expozice byl 1 R = 0,258 $mC \cdot kg^{-1}$. Expoziční příkon X je přírůstek expozice dX za časový interval dt ; jednotkou expozičního příkonu je $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$. Veličina expozice se dnes v dozimetrické praxi určena jen pro etalonáž ionizujícího záření – místo ní se doporučuje používat kermu (dávku) ve vzduchu nebo ve tkáni.

2.1.8 Lineární přenos energie

Lineární přenos energie (nebo také LET, co je z anglického „Linear Energy Transfer“) vyjadřuje střední energii lokálně předanou látce prolétající částicí, vztaženou na jednotkovou dráhu částice:

$$L = \frac{dE}{dx}$$

kde

dE je energie odevzdaná elektronům a iontům nabitou částicí při jejím průchodu po dráze dx .

Základní jednotkou lineárního přenosu energie by sice byl $1J/m [J \cdot m^{-1}]$, v praxi se však používá $keV/\mu m$ ($1 keV/\mu m = 1,602 \cdot 10^{-10} J \cdot m^{-1}$). Má-li záření krátký dosah (záření alfa), je absorbovaná energie rozložena podél krátké dráhy, lineární přenos energie je vysoký, takže ionty jsou podél dráhy částice rozloženy velmi hustě.

Někdy se zavádí i veličina lineární ionizace, což je počet iontových párů vztažený na jednotkovou dráhu částice (např. na mikrometr délky).

2.1.9 Jakostní faktor

Jelikož biologická účinnost různých druhů záření se může značně lišit (v závislosti právě na hustotě ionizace), pro účely radiobiologie a radiační ochrany se pro každý druh záření zavádí tzv. jakostní faktor Q (nazývaný též "radiační váhový faktor" nebo "relativní biologická účinnost"), který udává, kolikrát je daný druh záření biologicky účinnější než záření fotonové - X nebo gama (za základ se bere rentgenové záření o energii 200 keV).

Hodnota jakostního faktoru Q závisí na druhu a energii záření. Pro záření X , gama a beta je jakostní faktor $Q=1$, pro pomalé neutrony $Q=2$ (pomalé neutrony) až 10 (rychlé neutrony), pro protony $Q=10$, pro záření alfa je dokonce $Q=20$.

2.1.10 Dávkový ekvivalent

Pro objektivnější posouzení účinku záření se s pomocí jakostního faktoru Q pro účely radiobiologie a radiační ochrany zavádí "korigovaná" dávková veličina, která již zohledňuje i rozdílnou biologickou účinnost jednotlivých druhů záření:

Dávkový ekvivalent (H) je součin absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q (tabelované) vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření:

$$H = Q * D$$

Jednotkou dávkového ekvivalentu je 1 Sievert [Sv]. Dávka 1 Sv jakéhokoli záření má stejné biologické účinky jako dávka 1 Gy rentgenového nebo gama záření (pro které je jakostní faktor stanoven 1).

Stejně jako u dávky, i zde se zavádí ekvivalentní dávkový příkon (příkon dávkového ekvivalentu), jakožto přírůstek dávkového ekvivalentu za jednotku času - jednotka je Sievert za sekundu [$\text{Sv}\cdot\text{s}^{-1}$].

2.1.11 Ekvivalentní dávka H_T

je součin radiačního váhového faktoru w_R a střední absorbované dávky D_{TR} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření typu R, tj. $H_T = w_R \cdot D_{TR}$. Hodnota radiačního váhového faktoru w_R je pro fotony a elektrony 1, pro neutrony 5 až 20 v závislosti na jejich energii, pro protony 5, pro částice alfa, těžká jádra a štěpné fragmenty 20.

2.1.12 Efektivní dávka E

se stanoví ze vztahu $E = \sum w_T H_T$ jako součet součinů ekvivalentních dávek H_T v jednotlivých orgánech a tkáních a příslušných tkáňových váhových faktorů w_T , jež vyjadřují rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (zhoubných nádorů a genetických změn). Tkáňový váhový faktor má následující hodnoty: 0,20 pro gonády, 0,12 pro střevo, plíce, červenou kostní dřeň a žaludek, 0,05 pro močový měchýř, prs, játra, jícen, štítnou žlázu a ostatní orgány, 0,01 pro povrchy kostí a kůže. Vyšší hodnota w_T znamená vyšší radiosenzitivitu z hlediska stochastických účinků. Součet všech váhových faktorů příslušných jednotlivým orgánům a tkáním je roven 1,0. Jinými slovy, tkáňové váhové faktory vyjadřují podíl jednotlivých orgánů a tkání na celkovém riziku stochastických poškození při celotělovém ozáření. Zásadní výhodou efektivní dávky je možnost vyjádřit – při nerovnoměrném ozáření - radiační zátěž těla jediným číslem; značně nerovnoměrné ozáření těla pacienta je typické pro všechna lékařská vyšetření pomocí ionizujícího záření i pro expozici profesionální.

Otázky:

- Co je to aktivita a jak je definovaná
- Popište poločasy rozpadu fyzikální, biologický a efektivní
- Co je absorbovaná dávka a jaký má význam
- Co je jakostní faktor
- Co je ekvivalentní a efektivní dávka

3 ZEVNÍ OZÁŘENÍ, JEHO HODNOCENÍ A OCHRANA PŘED NÍM

Klíčová slova: zevní ozáření, stínění, další prvky ochrany.

3.1 Definice vnějšího ozáření

Zevní ozáření je ozáření osoby ionizujícím zářením zdroji ionizujícího záření, které se nacházejí mimo ni. Je to důležitá expoziční cesta, na celkové efektivní dávce obyvatel se podílí asi jednou polovinou. Jde hlavně o přírodní záření a zdravotnické expozice. U pracovníků se zdroji ionizujícího záření je podíl zevního ozáření na kolektivní dávce ještě vyšší.

3.2 Problémy výpočtu dávek z vnějšího ozáření

Při výpočtech orgánových nebo tkáňových dávek musí uvažovaný receptor představovat anatomické poměry těla, orgánů a tkání i jejich prvkové složení. Jde o tzv. MIRD fantomy a ve spojení obvykle s výpočtovými metodami Monte Carlo umožňuje počítat střední hodnoty dávek i charakteristiky vztahující se k lineárnímu přenosu energie v jednotlivých tkáních či orgánech a jejich elementech.

Veličiny ochrany jsou kalkulovány a prezentovány (také v mnohých výpočtových programech) pro následující geometrie ozařování širokými svazky:

- Předozadní
- Zadopřední
- Boční zleva
- Boční zprava
- Rotační (2 pí izotropní)
- Izotropní z celého prostorového úhlu

Zásadní způsoby ochrany před zevním ozářením jsou

- Čas
- Vzdálenost
- Stínění

Stručně popíšeme problematiku stínění, protože ta je vzhledem k ostatním faktorům náročnější na pochopení.

3.3 Stínění ionizujícího záření

Při řadě aplikací ionizujícího záření je třeba zabránit tomu, aby do určitých míst, nebo z určitých směrů, ionizující záření vnikalo - je tedy třeba určitou část záření odstínit. Tato potřeba vzniká např. při ochraně před ionizujícím zářením, při detekci ionizujícího záření (kde je detektor potřeba stínit vůči pozadí, popř. detekovat jen záření z určitých směrů, při zobrazovacích metodách jako je scintigrafie (kde pomocí kolimace detekujeme jen záření z přesně vymezených směrů, při radioterapii kde kolimací vymežeme úzký svazek záření, atd.

3.3.1 Stínění záření gama

Pro záření gama a X jsou nejvhodnějšími stínícími materiály látky s velkou měrnou hmotností (hustotou) – především olovo, ze stavebních materiálů pak beton s příp. příměsí barytu a pod. Používají se olovené kontejnery pro přepravu a skladování zářičů, zástěny z oloveného plechu, tvarované olovené cihly atd. Pro účinné odstínění záření gama o energii cca 100 keV stačí vrstva olova tloušťky 2 mm; čím vyšší je energie fotonů záření gama, tím silnější vrstvu stínění je nutno použít. Pokud je potřeba zachovat optickou viditelnost, používá se olovnaté sklo s vysokým obsahem kyslíčnicku olova v tavenině.

3.3.2 Stínění záření beta

K odstínění záření beta⁻ stačí lehké materiály (jako je plexisklo) tloušťky cca 5-10 mm, nejlépe v kombinaci s následnou tenkou vrstvou olova k odstínění brzděného elektromagnetického záření vzniklého zabrzděním elektronů v lehkém stínícím materiálu. Olovo samotné není vhodným stínícím materiálem pro záření beta, neboť v něm vzniká tvrdé a intenzivní brzděné záření, k jehož odstínění by bylo nutno použít zbytečně silnou další vrstvu olova.

3.3.3 Stínění záření alfa

Záření alfa vzhledem k jeho malé pronikavosti, lze odstínit velmi snadno. Stačí tenká vrstva (milimetrová) lehkého materiálu, třeba plastu. Často není proti záření alfa potřeba stínit vůbec, protože i ve vzduchu je dolet částic alfa jen několik centimetrů, při vyšších energiích max. desítky centimetrů.

3.3.4 Stínění neutronového záření

Stínění proti neutronům je obecně složitějším problémem než proti záření beta či gama. Jedná-li se o rychlé neutrony, je třeba je nejprve zpomalit, aby mohly být účinně pohlceny vhodným absorbatorem. Neutrony se nejúčinněji zpomalují průchodem látkami bohatými na vodík, kde ztrácejí energii při pružném rozptylu na jádrech vodíku (protonech). K asi 10-násobnému zmenšení počtu rychlých neutronů je zapotřebí vrstva cca 20cm parafinu či plastu. Pro absorpci takto zpomalených neutronů se pak využívá jejich záchyt vhodnými jádry atomů. Nejúčinnější absorpce probíhá v kadmii, bóru, či indiu. Absorpce neutronů v jádrech kadmia nebo boru je doprovázena emisí záření gama (jedná se o reakce (n, gama) radiačního záchytu neutronu), které je potřeba rovněž odstínit, a to těžkým materiálem - olovem. Stínění proti neutronům tedy obecně musí sestávat ze tří vrstev: vrstva lehkého materiálu bohatého na vodík (např. polyetylén), vrstva kadmia nebo bóru, a nakonec vrstva olova.

Otázky:

- Co je to vnější ozáření, jak k němu dochází
- Jaké jsou hlavní způsoby ochrany před vnějším ozářením
- Stínící materiály pro jednotlivé druhy záření

4 VNITŘNÍ OZÁŘENÍ, JEHO HODNOCENÍ A OCHRANA PŘED NÍM

Klíčová slova: vnitřní ozáření, úvazek ekvivalentní a efektivní dávky,

4.1 Definice vnitřního ozáření

Vnitřním ozářením se nazývá situace, kdy je živý organismus ozařován ionizujícím zářením, vysílaném radionuklidy, přítomnými v organismu. Může se tedy jednat o vnitřní kontaminaci, vzniklou po příjmu umělých nebo přírodních radionuklidů v organismu, nebo o přítomnost přírodních radionuklidů v organismu.

Radionuklidy se dostávají do organismu několika cestami:

- ingescí
- inhalací
- přestupem poraněním přes kůži (sem lze zařadit i injekční aplikaci při lékařském použití)
- absorpcí přes neporaněnou kůži (např. tritium)

Jakmile je radionuklid přítomen v těle, jeho biokinetika je velmi složitá a k jejímu popisu je třeba zavést zjednodušující předpoklady. Kinetika radionuklidu je vždy určována jeho chemickou formou a fyzikálně chemickými vlastnostmi. Pro odhad dávek z vnitřní kontaminace jsou nejdůležitějšími cestami inhalace a ingesce, a to jak pro obyvatele, tak pro pracovníky.

Složení lidského těla: kyslík, uhlík, vodík a velké množství ostatních prvků (viz obr.). Souvisí s definicí standardního člověka (ICRP 23, 1975). Téměř všechny tyto prvky mají radioaktivní izotopy, které, když se dostanou do těla, sledují stejné biokinetické cesty jako jejich neradioaktivní izotopy. Některé prvky (např. fosfor, jód, draslík) se podílejí na zcela specifických metabolických procesech, čímž je též řízena jejich distribuce a transport v těle.

4.2 Problémy výpočtu dávek z vnitřního ozáření

Odhad dávek z vnitřního ozáření je poněkud složitější než odhad při externím ozářením. Jde zejména o následující důvody:

- dávky z vnitřního ozáření nelze měřit přímo
- distribuce radionuklidu v těle může být velmi nehomogenní
- dávky z vnitřního ozáření se realizují v delším časovém období
- každý prvek se chová jinak
- chování radionuklidu v organismu závisí na jeho fyzikální a chemické formě a cestě vstupu do organismu
- distribuce radionuklidu se může časem měnit; jsou-li přítomny nebo vznikají-li dceřiné radionuklidy, jejich kinetika v organismu se může lišit od kinetiky radionuklidu mateřského

Tyto problémy se řeší matematickým modelováním chování radionuklidů v organismu.

4.3 Obecný výpočetní postup úvazku ekvivalentní dávky

Při výpočtu se rozlišují orgány a tkáně terčové a zdrojové.

Jednotlivé příspěvky k úvazku ekvivalentní dávky v uvažovaném terčovém orgánu i od zdrojového orgánu j se dají vypočítat jako součin měrné sdělené energie v i- tém terčovém orgánu od jedné přeměny radionuklidu obsaženém v j- tém zdrojovém orgánu a počtu přeměn radionuklidu obsaženém v j- tém orgánu po příjmu 1 Bq za (50) let.

Chování radionuklidu v organismu lze popsat systémem lineárních diferenciálních rovnic. Využívá se celé řady modelů, jakými jsou mapř. Plicní modely, modely zažívacího traktu, kostní modely atd.

Otázky:

- Co je vnitřní ozáření a jak k němu dochází
- Popište hlavní problémy při výpočtech dávek z vnitřního ozáření
- Co je to úvazek ekvivalentní nebo efektivní dávky.

5 CÍLE A ZÁKLADNÍ PRINCIPY RADIAČNÍ OCHRANY, VÝZNAM LIMITŮ OZÁŘENÍ

Klíčová slova: cíle radiační ochrany, limity radiačních dávek, usměrňování ozáření,

5.1 Základní cíle radiační ochrany

Prokázané **škodlivé** deterministické účinky silného záření, jakož i **riziko** škodlivých stochastických účinků slabého záření (odhlédneme-li zde od shora zmíněných alternativních možností účinků nízkých dávek záření), vede k nutnosti **ochrany před ionizujícím zářením**. Základní **cíl radiační ochrany** můžeme tedy formulovat takto:

Cílem radiační ochrany je vyloučení deterministických účinků ionizujícího záření a snížení pravděpodobnosti stochastických účinků na rozumně dosažitelnou úroveň.

5.2 Limity radiačních dávek

Jakákoliv dávka ionizujícího záření může být spojena s určitým rizikem škodlivých účinků, takže je třeba dbát aby dávky byly co nejnižší. Pro účely hodnocení a usměrňování expozice záření byly stanoveny určité hraniční hodnoty dávek za čtvrtletí, rok a 5 let – **limity** (nejvyšší přípustné dávky) pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření, které jsou stále ještě spojeny s velmi malou pravděpodobností poškození zářením. Nynější hodnota

ročního limitu pro pracovníky činí 50 mSv, pětiletý limit 100 mSv. Základní limity pro **ostatní obyvatelstvo** jsou stanoveny ve výši 1 mSv/rok.

Řídí se dvěma konzervativními zásadami:

- zabránit vzniku časných radiačních poškození.
- omezit riziko pozdních účinků.

Radiační ochrana se v praxi řídí základními principy, které byly postulovány ICRP a posléze i legislativou ČR Jsou to:

- **Zdůvodnění činnosti:** Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.
- **Limitování ozáření:** Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity.
- **Optimalizace ochrany:** Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo provádí zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, je povinen dodržovat takovou úroveň jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany a havarijní připravenosti, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek.
- **Zajištění bezpečnosti zdrojů:** Bezpečnostní kultura musí usměrňovat přístupy a chování při používání zdrojů. Ochrana a bezpečnost zdrojů má být zajištěna řádným řízením, dobrou technikou, systémem zabezpečení jakosti a výcvikem a vzděláváním personálu.

5.3 Systém radiační ochrany

5.3.1 Vyloučení a výjimky ze systému radiační ochrany

Požadavky systému radiační ochrany nejsou uplatňovány na ozáření, jejichž regulace leží mimo lidské možnosti. Takovým je např. ozáření z ^{40}K v lidském organismu, protože tento nuklid je přítomen v přírodním draslíku který lidský organismus potřebuje. Za prakticky neovlivnitelné se považuje ozáření kosmickým zářením při pobytu na zemi; přesuny do různých nadmořských výšek jako metoda regulace ozáření nepřichází prakticky do úvahy.

Dále existují i činnosti vedoucí k ozáření a zdroje záření, které nestojí za to, aby byly regulovány. Tady je ale zapotřebí již určité dohody. Patří sem např. stanovení hranice, nad kterou obsah radionuklidů v látce činí tuto látku pozoruhodnou, nebo vymezení činnosti, způsobující při normálním průběhu jen velmi malé dávky a je tedy neúčelné požadavek ochrany uplatňovat.

Pro poskytnutí výjimek z požadavků systému radiační ochrany jsou obecnými kritérii:

- individuální radiační rizika z činnosti nebo zdroje musí být dostatečně nízké, aby nebylo třeba je usměrňovat: za očekávanou efektivní dávku se zanedbatelným rizikem pro kteréhokoliv člena veřejnosti se pokládá mezinárodně 10 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ a méně,
- kolektivní dávka z činnosti nebo zdroje musí být dostatečně nízká, aby neodůvodňovala usměrňování a kontrolu, za takovou se považuje hodnota 1 manSv/rok ,
- činnosti nebo zdroje musí být bezpečné bez znatelné pravděpodobnosti, že by mohla být výše uvedená kritéria překročena.

Vyjmuta z regulace mohou být činnosti i když kolektivní dávka převyšuje 1 manSv/rok, ale nepřevyšující kritérium pro individuální riziko, ukáže-li optimalizační analýza ochrany, že výjimka je optimálním řešením, tedy, že náklady na zavedení a pokračování regulace budou vyšší než odpovídá možné dávkové úspoře z regulace.

5.3.2 Usměrnování ozáření při práci a ozáření obyvatel

Podmínky a přístupy k usměrnování obou druhů ozáření se často i značně odlišují. Práce spojená s ozáření představuje pohyb pracovníků v poli záření. Dávka jednotlivým pracovníkům může být tedy předvídaná. U větší části prací je hodnocení dostatečnosti ochrany prováděno v delších časových odstupech. Jen některé druhy prací vyžadují průběžnou regulaci úkonů podle dosud kumulované dávky a často vyžadují podrobnou analýzu optimalizace ochrany.

Na počátku rozvoje využití zdrojů záření po 2. světové válce existovaly různé dávkové limity pro pracovníky, zvláštní pro pracovníky přímo pracující se zdroji, zvláštní pro pracující v sousedství a navštěvující místnosti, kde se se zdroji pracuje a zvláštní pro ostatní pracovníky. Tato praxe se opustila a platí jediný limit pro všechny pracovníky. Nicméně není důvod, aby pracovníci, kteří jsou vystaveni záření z umělých zdrojů, jež nemají přímý vztah k jejich práci, nebyli chráněni na stejné úrovni, jako kdyby byli obyvateli.

Požadavek zvýšené ochrany lze vymezit i prostorově, a proto se vyvinul pojem kontrolovaného pásma jako oblasti, kde jsou vyžadována zvláštní ochranná a bezpečnostní opatření k usměrnování ozáření nebo zábrany šíření kontaminace. Platí zde kritérium možnosti překročení 3/10 ročního dávkového limitu. Později byl přijat pojem sledované pásmo, jehož hranice tvořila možnost překročení 1/10 dávkového limitu.

Na rozdíl od pracujících, nemůže být u obyvatel jakkoliv definované pole záření, ve kterém se pohybuje. Veškerá dostatečná opatření musí být tedy zajištěna u zdroje samotného, omezením výpustí radioaktivních látek do prostředí a záření vycházejícího ze zdroje. Odhad dávek se provádí pomocí matematických modelů pohybu radioaktivních látek v prostředí, scénářů kontaktu obyvatel s prostředím a dat o vztahu příjmu radioaktivních látek nebo zevního ozáření s dávkami u obyvatel. Není reálně možné zjišťovat dávky u všech obyvatel a proto se dávkové limity, resp. optimalizační meze, vztahují na průměrnou dávku v tzv. kritické skupině obyvatel.

Historicky byl tento přístup vypracován při řešení ochrany obyvatel při provozu závodu na přepracování paliva ve Windscale (Anglie) v padesátých letech. Platnost kritičnosti skupin nutno ověřovat, dochází-li ke změnám ve zdroji, v prostředí i v chování a jiných charakteristikách obyvatel.

Náročnost nebo i obtíže při určení takovéto skupiny v reálných podmínkách vedou často k volbě přístupu hypotetického maximálního jedince, nadaného všemi nejvíce konzervativními předpoklady ve vztahu k ozáření ze zdroje.

5.3.3 Usměrnování lékařského ozáření

Vyšetření nebo léčení ionizujícím zářením je odpovědností indikujícího lékaře i lékaře provádějícího výkon vedoucí o ozáření. Optimalizace ochrany před zářením je uplatňována při projekci přístrojů, zařízení i pracovišť a při provozu volbou ověřených metod a důsledným zajištěním a kontrolou jakosti. U vyšetření je cílem „dosažení nejnižší expozice nezbytné k diagnostickému záměru, s uvážením standardu přijatelné kvality zobrazení, stanoveného profesionálním tělesem a příslušných vodítek lékařské expozice“.

Směrné hodnoty pro lékařská ozáření se opírají o dobrou a ověřenou praxi u typického pacienta; jsou vydávána po dohodě s odbornými lékařskými společnostmi.

Otázky:

- Jaký je základní cíl radiační ochrany
- Popište limitování dávek
- Kde se neuplatňují požadavky radiační ochrany
- Co jsou směrné hodnoty pro lékařská ozáření.

6 ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ORGANIZMUS, RIZIKO

Klíčová slova: mechanismy účinků na živou tkáň, zásahová teorie, radikálová teorie, reparační procesy.

6.1 Mechanismy účinku záření na živou tkáň

Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech význačných etapách lišících se svou rychlostí a druhem probíhajících procesů:

6.1.1 Fyzikální stádium

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace. Tento primární proces je velmi rychlý (prakticky okamžitý), trvá jen cca 10^{-16} - 10^{-14} sekundy.

6.1.2 Fyzikálně-chemické stádium

Zde nastávají sekundární fyzikálně-chemické procesy **interakce iontů** s molekulami, při nichž dochází k **disociaci molekul** a vzniku **volných radikálů** (např. z vody H_2O vznikají vodíkové kationty H^+ a hydroxylové anionty OH^- a nestabilní produkty schopné oxidace H_2O_2 , HO_2). I tento proces je velmi rychlý, netrvá déle než 10^{-14} - 10^{-10} sec.

6.1.3 Chemické stádium

Vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty **reagují** s biologicky důležitými organickými molekulami (s molekulami DNA, RNA, enzymů, proteinů) a mění jejich složení a funkci. Toto chemické stádium trvá řádově sekundy.

6.1.4 Biologické stádium

Molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzimech, proteinech) mohou vyústit ve **funkční a morfologické změny** v buňkách, orgánech i v organismu jako celku. Biologické stádium se u vysokých dávek záření může projevit již po několika desítkách minut (akutní poškození či nemoc z ozáření), může však zahrnovat dobu několika let nebo i desítek let (pozdní stochastické účinky).

6.2 Zásahová a radikálová teorie radiačního účinku

Snaha o vysvětlení účinků ionizujícího záření na živou tkáň vedla k vyslovení dvou základních teorií (či spíše představ) - starší zásahová a novější radikálová teorie:

Zásahová teorie "přímého účinku", podle níž poškození důležité části buňky, především jejího jádra, nastává při **přímém zásahu** kvantem záření, při němž dochází k lokální absorpci energie, ionizaci a následné chemické změně zasažené struktury. Nyní však víme, že tento mechanismus má pouze **druhořadý význam**, neboť pravděpodobnost takových "přímých zásahů" je poměrně nízká, takže citlivost živé tkáně k záření by byla podstatně menší než se pozoruje. K vysvětlení skutečně pozorované radiosenzitivity živé hmoty je proto třeba obrátit se k druhému mechanismu:

Radikálová teorie "nepřímého účinku" vychází z toho, že každý organismus je složen především z vody (tvoří téměř 80%), v níž jsou rozptýleny biologicky aktivní látky. Interakce záření s živou tkání bude proto probíhat především na **molekulách vody**. Vlivem ionizace bude docházet k **radiolýze vody**, přičemž vznikají i velmi **reaktivní volné radikály** H , OH a produkty schopné oxidace (H_2O_2 , HO_2). Tyto reaktivní zplodiny pak **napadají** organické molekuly biologicky důležitých látek a chemicky je **pozměňují** či **destruuují**. Výsledkem může být řada změn, které takto "nepřímě" ovlivňují metabolické děje. I v případě, že k primární interakci záření dojde ve vodě mimo buňku, mohou vzniklé zplodiny vniknout do buňky a tam vykonat svůj škodlivý účinek.

Radikálová teorie byla později dále zdokonalena a upřesněna na základě poznatků **molekulární biologie**. Mikrodozimetrockým rozbořením distribuce dávky záření a sledováním chromozomálních aberací se zjistilo, že radiační poškození buňky závisí na **hustotě ionizace** v kritickém místě. Ukázalo se, že k poškození buňky je zapotřebí dosažení určité kritické hodnoty lokální hustoty energie v daném místě a čase. K poškození buňky

dochází při kombinaci dvou primárních dějů odehrávajících se na dvojlátknech nukleové kyseliny DNA, tvořící jádro buňky, přičemž poškození je pravděpodobnostně závislé na počtu vzniklých zlomů a na působení reparačních procesů. Částice "řídce" ionizujícího záření, tj. beta a gama, vytvářejí při svém průchodu kritickým místem pouze po jednom primárním narušení (zlomu), takže k definitivnímu vzniku poškození je třeba průchodu **dvou** jednotlivých částic daným místem rychle po sobě - počet těchto poškození pak závisí převážně na druhé mocnině dávky. Částice "hustě" ionizujícího záření (alfa, neutrony, protony) jsou schopny při jediném průchodu kritickým místem vyvolat dvě a více primárních poruch, což stačí ke vzniku reálného poškození, takže počet poškození, tj. radiační účinek, je zde přímo úměrný dávce záření; poškození zde vzniká snadněji, tyto druhy záření mají **vyšší biologickou účinnost**.

6.3 Účinky záření na buňky

Základními stavebními jednotkami všech živých tkání jsou **buňky**. Pro pochopení biologických účinků ionizujícího záření jsou proto rozhodující mechanismy působení záření na buněčné úrovni. Při ozáření buňky příslušnou dávkou záření může dojít v zásadě ke dvěma významným typům poškození:

Smrt buňky

Při značně vysokých dávkách záření (stovky Gy) dochází vlivem výše zmíněných mechanismů k **destrukci** a **denaturaci** důležitých složek buněčného obsahu, což může vést k bezprostřednímu usmrcení buňky i v "klidovém" období, tzv. **interfázi** (intervalu mezi dvěma buněčnými děleními). Daleko častějším typem zániku buňky však je tzv. **mitotická smrt buňky**, k níž dochází v průběhu buněčného dělení - mitózy. Zde se poškození neprojeví okamžitě, ale až tím, že buňka není schopna se dále dělit. Mitotická smrt buňky nastává i při menších dávkách (jednotky Gy), které nestačí na vyvolání přímé smrti buňky v interfázi. Ukazuje se tedy, že buňky, které se rychle dělí, mají vyšší radiosenzitivitu.

Změny genetické informace buňky - mutace

Při menších dávkách záření nedochází bezprostředně k usmrcení buňky ani k zástavě buněčného dělení, avšak vzniklé radikály mohou vyvolat chemické změny v DNA (deoxyribonukleová kyselina) a tím i v chrozomech nesoucích zakódované genetické informace. Tyto změny - **mutace** - se pak při dělení mohou **přenášet** na další buněčné generace. Podle svého rozsahu se mutace rozdělují na bodové neboli **genové** a **chromozomové** (chromozomové aberace či změny počtu chromozomů). Z hlediska reprodukčního se mutace dělí na **somatické**, které se projevují jen u konkrétního ozářeného jedince v ozářené tkáni (kde mohou vést k pozdnímu somatickému poškození a vzniku zhoubných nádorů), a na **gametické** mutace u zárodečných buněk, které se mohou přenášet na další generace v potomstvu ozářených osob.

Ozáření buněk vede tedy k řadě škodlivých změn, z nichž sice značná část může být reparačními mechanismy organismu napravena, avšak některé změny (např. v kódu DNA) mohou být trvalé nebo se mohou reprodukovat. Na účinky ionizujícího záření jsou citlivé zejména tkáně s intenzívním dělením buněk, jako jsou např. krvetvorné nebo nádorové, vyvíjející se plod (zvláště v počátečních stádiích vývoje).

Radiační poškození - otrava organismu chemickým jedem

Z výše uvedeného popisu mechanismu škodlivého účinku ionizujícího záření na živou tkáň vyplývá, že radiační účinky nejsou žádnými "tajemnými" neobvyklými jevy vyvolanými neviditelným zářením. Konečný účinek je **chemický** či chemicko-biologický: záření pouze dodá do tkáně **energii** (ve specifické formě ionizace), která nakonec vede k **produkci "jedu"** (volných radikálů) a k vnitřní **chemické "otravě"** buněk. Je to konec konců podobné, jako kdybychom do tkáně difuzně aplikovali např. peroxid vodíku či jinou **vysoce reaktivní chemikálii**.

6.4 Reparační procesy

Při ozáření živé tkáně nedochází pouze k jednosměrným a nevratným změnám vedoucím k poškození buněčných struktur a jejich funkcí. V biologickém stádiu radiačního účinku probíhají též procesy protichůdné - procesy **reparace** a **regenerace**, které vedou k obnově schopnosti buněčného dělení a funkce tkání a orgánů. Probíhají v podstatě dva druhy reparačních procesů na dvou různých úrovních:

Na úrovni **postižené buňky**, která vlivem chromozomových reparačních mechanismů během několika hodin od ozáření může **obnovit** svou **schopnost dělení**.

Na úrovni **postižené tkáně** se reparace uskutečňuje **náhradou zničených buněk** pomocí dělení přežívajících buněk, které si zachovaly normální schopnost dělení; tento reparační proces trvá dny až týdny. V některých případech je zničená tkáň nahrazena afunkčním pojivem.

Reparační procesy vedou mimo jiné k tomu, že rozdělení dávky na menší dílčí dávky v dostatečných časových intervalech vede k menším biologickým účinkům ve srovnání s toutéž dávkou absorbovanou jednorázově.

Otázky:

- Jaké jsou mechanismy účinků záření
- Co je principem zásahové teorie poškození
- Co je principem radikálové teorie poškození
- Reparační procesy.

7 MONITOROVÁNÍ V RADIAČNÍ OCHRANĚ, REFERENČNÍ ÚROVNĚ

Klíčová slova: programy monitorování, referenční úrovně.

7.1 Program monitorování

Zajištění plnění všech požadavků na bezpečný provoz pracoviště s ionizujícím zářením se uskutečňuje pomocí radiačního monitorovacího programu. Tím se rozumí nejen měření všech potřebných dozimetrických veličin, ale i jejich interpretace a hodnocení ozáření pracovníků a dalších osob.

Program monitorování má podle způsobu a rozsahu nakládání se zdroji ionizujícího záření nebo s radioaktivními odpady zpravidla tyto části:

- monitorování pracoviště,
- osobní monitorování,
- monitorování výpustí,
- monitorování okolí.

Záleží na typu pracoviště, které z těchto částí musí vlastní program monitorování obsahovat.

Program monitorování musí zahrnovat monitorování pro běžný provoz pracoviště, pro předvídatelné odchylky, radiační nehody a havárie.

Monitorování můžeme rozdělit jednak podle typu praxe na: soustavné, pravidelné a operativní, jednak podle toho jestli očekáváme pouze signalizaci odchylek od běžného provozu, nebo jako průkaz dodržování limitů na signální a bilanční.

Samotná problematika monitorování je natolik široká, že při jejím studiu odkazují na příslušnou literaturu, a to především na Kolektiv autorů: *Principy a praxe radiační ochrany*, SÚJB Praha, 2000 a legislativní úpravy.

7.2 Referenční úrovně

Pro hodnocení výsledků měření při monitorování se stanovují učitě význačné hodnoty, jejichž dosažení signalizuje určitou radiační situaci a je příp. pokynem pro zahájení určitých opatření. Zavádějí se tři druhy referenčních úrovní:

7.2.1 Záznamová úroveň

Tato úroveň stanovuje **nejnižší** hodnotu monitorované veličiny, od které má význam ji hodnotit a zaznamenávat v dokumentaci. Jako záznamová úroveň se většinou bere nejmenší detekovatelné hodnota měřené veličiny, či hodnota pozadí. Tato hodnota je závislá na druhu měřené veličiny, konkrétních podmínkách měření a vlastnostech měřících přístrojů používaných k monitorování.

7.2.2 Vyšetřovací úroveň

Dosažení vyšetřovací úrovně je již příznakem ne zcela běžné radiační situace na pracovišti a mělo by být podnětem k **šetření** jeho příčin a důsledků. Vyšetřovací úroveň se zpravidla stanovuje jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot, u osobních radiačních dávek pak příp. jako 0,3-násobek příslušného limitu pro radiační pracovníky.

7.2.3 Zásahová úroveň

Dosažení této úrovně již signalizuje **mimořádnou událost** či radiační nehodu, spojenou se zvýšeným radiačním rizikem, a je podnětem k neprodlenému varování a podniknutím kroků k ochraně osob a prostředí podle havarijního řádu pracoviště.

Otázky:

- Popište možné součásti programu monitorování
- Pohovořte o monitorování pracoviště
- Pohovořte o osobním monitorování
- Pohovořte o monitorování výpustí
- Pohovořte o monitorování okolí
- Co jsou to referenční úrovně a k čemu slouží

8 LITERATURA

8.1 Knižní literatura

HÁLA, J.: *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*, Konvoj, Brno 1998

Kolektiv autorů: *Principy a praxe radiační ochrany*, SÚJB Praha, 2000, ISBN 80-238-3703-6

Konečný Jiří: *Radiační fyzika, skripta JČU*, ISBN 80-7040-846-X

ŠEDA, J. a kol.: *Dozimetrie ionizujícího záření*, SNTL, Praha 1983

ŠTOLL, I.: *Fyzika mikrosvěta*, Prometheus, Praha 2002

Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně v platném znění

Zákon č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů

8.2 Internetové odkazy

- [int1.] http://ec.europa.eu/energy/nuclear/index_en.html
- [int2.] http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- [int3.] <http://hps.org/>
- [int4.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- [int5.] <http://nuclearweaponarchive.org/>
- [int6.] <http://www.citycollegiate.com/index.htm>
- [int7.] <http://www.eu-alara.net/index.php>
- [int8.] <http://www.hpa.org.uk/radiation/>
- [int9.] <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull383/>
- [int10.] <http://www.icrp.org/>
- [int11.] <http://www.nrc.gov/>
- [int12.] <http://www.orau.org/ptp/infores.htm>
- [int13.] <http://www.sujb.cz/>
- [int14.] <http://www.surao.cz/>
- [int15.] http://www.suro.cz/cz/index_html