

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



RADIAČNÍ OCHRANA II.

*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:

Uplatnění principu ALARA v praxi

Způsoby a podmínky uvolňování radionuklidů do životního prostředí.

Přírodní zdroje záření (klasifikace, závažnost, ochrana).

Systém hodnocení a evidence profesionálních expozic

Aplikace ionizujícího záření v medicíně

Radiační nehody a havárie

Radioaktivní odpady - vznik, manipulace, ukládání

Detekce ionizujícího záření

Cvičení:

Stochastické účinky a jejich odhad výpočtem.

Problematika jaderné energetiky.

Národní a mezinárodní legislativa v radiační ochraně.

Exkurze – Regionální centrum SÚJB resp. jiné obdobné pracoviště.

1 UPLATNĚNÍ PRINCIPU ALARA V PRAXI

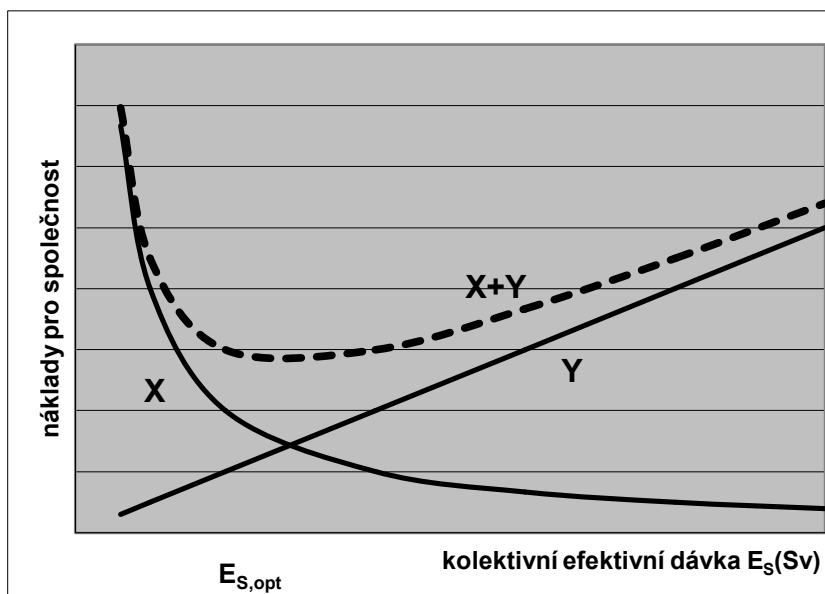
Klíčová slova: princip ALARA,

ALARA je zkratka slov „as low as reasonably achievable“ a znamená „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné“ ve vztahu k usměrňování expozice populace (pracovníků se zdroji i obyvatelstvo) nebo-li jedná se o optimalizaci radiační ochrany. Smyslem je, aby při provozování zdrojů záření velikosti individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek.

Od roku 1980 je princip ALARA obsažen v European Basic Safety Standards. Ve směrnici Euratomu 96-29 byl označen jako základní kámen systému radiační ochrany. Po celá osmdesátá léta a začátek let devadesátých byl integrován do mnoha národních předpisů a programů radiační ochrany, zejména v jaderném průmyslu.

Princip optimalizace vychází ze současných poznatků o pravděpodobnosti (riziku) stochastických účinků, které je vyjadřováno pravděpodobností účinku vztáženou na jednotku kolektivní efektivní dávky v jednotkách (10^{-2} Sv⁻¹). Pro praxi to znamená, že pravděpodobnost vyjádřená v těchto jednotkách se číselně rovná procentuálnímu počtu případů ve skupině, z nichž každý jedinec je ozářen efektivní dávkou 1 Sv.

Názorně princip optimalizace můžeme vysvětlit na tomto grafu:



X - náklady na ochranu

Y - náklady (škody) ze zdravotní újmy v důsledku ozáření

Ochrana je optimalizována, pokud celkové náklady pro společnost ($X+Y$) jsou minimální.

Čistý společenský přínos činnosti spojené s ozářením lze vyjádřit

$$B = V - (P + X + Y),$$

kde V je hrubý společenský přínos, P jsou náklady na činnost (V a P nejsou, na rozdíl od X a Y , funkcí kolektivní efektivní dávky). Optimalizovaná kolektivní efektivní dávka $E_{s,opt}$ je pak nalezena z podmínky, že pro $E_{s,opt}$ musí platit

$$(dX/dS) + (dY/dS) = 0$$

K vyjádření finanční ztráty pro společnost v důsledku ozáření je třeba znát tzv. finanční ekvivalent jednotky kolektivní efektivní dávky („cena jednoho Sv kolektivní dávky“). Stanovuje se obvykle jako společenská finanční ztráta vyplývající z rizika stochastických účinků a důsledku předčasné smrti. V ČR je současně stanoven (vyhl. č. 307/2002 Sb., § 17 odst. 3) pro různé způsoby ozáření:

- 0,5 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce nepřesáhne jednu desetinu příslušných limitů ozáření,
- 1 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne jednu desetinu, ale nikoliv tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- 2,5 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- 1 mil. Kč/Sv pro lékařské ozáření,
- 0,5 mil. Kč/Sv pro ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření, které nejsou záměrně využívány,
- 2,5 mil. Kč/Sv pro havarijní ozáření.

Jako průkaz rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany lze použít tzv. směrné hodnoty uvedené pro řadu činností ve vyhl. č. 307/2002 Sb. Nejsou-li směrné hodnoty překročeny, lze považovat radiační ochranu za optimalizovanou a není nutné provádět optimalizační analýzu.

Pro lékařské ozáření při radiodiagnostice plní funkci směrných hodnot tzv. diagnostické referenční úrovně, které jsou uvedeny v Příloze č. 9 vyhl. č. 307/2002 Sb. pro skiografii, skiaskopii, tomografii, mamografii a pro nukleární medicínu.

Otázky:

- Co znamená princip ALARA a jaké je jeho využití
- Jaké společenské hledisko se uplatňuje při využívání principu ALARA
- Kde všude je možné princip ALARA uplatnit

2 ZPŮSOB A PODMÍNKY UVOLŇOVÁNÍ RADIONUKLIDŮ DO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Klíčová slova: uvolňování radionuklidů do životního prostředí, autorizované limity, modely výpočtů IED.

2.1 Podmínky uvolňování radionuklidů do ŽP

Radionuklidy se smí uvádět do životního prostředí, jen pokud je to odůvodněné podle § 4 odst. 2 zákona. Musí přitom být voleny takové způsoby, aby nehrozilo, že předtím, než se přirozeně sníží aktivita samovolným radioaktivním rozpadem na úroveň spojené s nevýznamně malým ozářením, dojde v životním prostředí k nahromadění radionuklidů, které by mohlo ohrozit zdraví nebo životní prostředí.

Pokud by při uvádění radionuklidů do životního prostředí mohla kolektivní efektivní dávka přesáhnout 1 Sv nebo u kritické skupiny obyvatel mohlo dojít k ozáření převyšujícímu jednu dvacetinu obecných limitů, prokazuje se optimalizace radiační ochrany kvantitativní studií, ve které se zhodnotí přínosy a rizika zvoleného postupu a provede se jeho srovnání s možnými alternativními přístupy.

Optimalizační meze pro celkové vypuštění radioaktivních látek z pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, je průměrná efektivní dávka 250 μSv za kalendářní rok u příslušné kritické skupiny obyvatel, u jaderných energetických zařízení z toho 200 μSv pro vypuštění do ovzduší a 50 μSv pro vypuštění do vodotečí.

Látky, materiály a předměty, jejichž obsah radionuklidů nebo jejichž povrchové znečištění radionuklidy překračuje uvolňovací úroveň, lze uvést do životního prostředí jen na základě, v rozsahu a za podmínek stanovených v povolení Úřadu k uvádění radionuklidů do životního prostředí podle § 9 odst. 1 písm. h) zákona, případně dalších povolení vydávaných se souhlasem Úřadu podle zvláštních právních předpisů.

2.2 Situace u tlakovodních jaderných elektráren

2.2.1 Výpustě do ovzduší

- Jsou to především radioaktivní vzácné plyny, především radioizotopy Kr (celkem 9) a Xe (celkem 11). Tyto jsou vedeny přes filtry a zpoždovací linky, takže aktivity výpustí ve ventilačním komíně se značně sníží o aktivitu krátkodobých radionuklidů.
- Významnou část tvoří ^{41}Ar , který vzniká reakcí (n, gama) na stabilním ^{40}Ar .
- Tritium, v tlakovodních reaktorech je dominantní jeho tvorba z aktivace boru v aktivní zóně reaktoru.
- ^{14}C , vzniká např. reakcí (n, alfa) na ^{17}O , nebo (n, p) na jádrech ^{14}N .
- Radioizotopy jódu – vznikají při procesu štěpení

- Celá řada dalších radionuklidů

2.2.2 Výpustě do vodotečí

- Tritium je hlavní složkou směsi radionuklidů vypouštěných do vodotečí.

2.3 Autorizované limity

SÚJB svými rozhodnutími stanovuje pro každou JE autorizované limity, což konkrétně pro JE Temelín znamená:

2.3.1 Autorizovaný limit pro uvolňování radionuklidů do ŽP ve formě plynných výpustí

Autorizovaný limit je splněn, pokud součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů a příslušných převodních koeficientů uvedených v příslušném Rozhodnutí SÚJB není vyšší než hodnota **40 μSv** . Do součtu příspěvků od jednotlivých radionuklidů se nezapočítávají hodnoty od radionuklidů, jejichž příspěvek do celkové sumy efektivní dávky a 50-ti ročního úvazku efektivní dávky E(50) je nižší než 1%. Počet takových příspěvků musí být omezen tak, aby chyba podcenění efektivní dávky a 50-ti ročního úvazku efektivní dávky E(50) v důsledku nezapočtení radionuklidů byla menší než 10%.

2.3.2 Autorizovaný limit pro uvolňování radionuklidů do ŽP ve formě kapalných výpustí

SÚJB rovněž stanovil svým Rozhodnutím autorizovaný limit pro uvolňování radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výpustí z Jaderné elektrárny Temelín do řeky Vltavy v profilu Kořensko, a to v míře, která nepřesáhne za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva hodnotu **3 μSv** , která se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření.

2.4 Matematické modely

Protože v okolí jaderných elektráren je velmi obtížné naměřit aktivity vypouštěných radionuklidů (s výjimkou tritia ve vodách), k výpočtům IED u kritických skupin obyvatelstva a tím i potvrzení nepřekročení autorizovaných limitů matematické modely. Tyto respektují zdrojové členy (množství uvolněných radionuklidů do ŽP oběma způsoby), průměrnou meteorologickou situaci v dané lokalitě za daný rok a možné cesty radionuklidů do lidského organismu.

2.5 Uvolňování přírodních radionuklidů z pracovišť, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů

Při uvolňování přírodních radionuklidů z pracovišť, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů, se zejména sledují

- usazeniny a kaly v potrubních a skladovacích systémech, například v čerpadlech, armaturách, ventilech, kolektorech a separátorech,
- filtry a separované materiály z odlučovačů instalované v elektrárnách, vodárnách, v chemickém a petrochemickém průmyslu,
- odpady z technologických celků vznikající při jejich rekonstrukci, demolici nebo likvidaci,
- odpady a druhotné suroviny z výrob, například vedlejší energetické produkty, fosfosádra,
- odpadní voda.

Pro přiblížení problematiky je dále nutné prostudovat příslušné pasáže z Vyhlášky o radiační ochraně.

Otázky:

- Jak jsou zákonně ošetřeny podmínky uvolňování radionuklidů do ŽP

- Jaké radionuklidy můžeme očekávat v plynných a kapalných výpustecích z jaderných elektráren
- Co jsou to autorizované limity a jak se zjišťuje jejich plnění držitelem povolení (JE)
- Jaké údaje je nutné sledovat při uvolňování přírodních radionuklidů z příslušných pracovišť.

3 PŘÍRODNÍ ZDROJE ZÁŘENÍ (KLASIFIKACE, ZÁVAŽNOST, OCHRANA)

Klíčová slova: kosmické záření, přírodní radionuklidy.

3.1 Přírodní zdroje záření

Zdaleka největší ozáření obyvatelstva je způsobeno přírodními zdroji. Přitom je zajímavé, že vůbec největšímu ozáření obyvatelstva, způsobenému radonem v ovzduší budov, začala být věnována pozornost až na přelomu 70. a 80. let minulého století.

Přírodnímu ozáření byly organizmy vystaveny již při jejich vzniku na Zemi, při čemž toto ozáření je do značné míry nerovnoměrné. Některé skupiny osob jsou ozářeny dávkami, které někdy až o dva řády převyšují světový průměr a v některých případech jsou na samé hranici dávek pro deterministické účinky záření.

Přírodní ozáření je způsobeno dvěma odlišnými zdroji:

- Kosmickým zářením dopadajícím na Zemi z vesmíru.
- Přírodními radionuklidy, které se vyskytují v našem životním prostředí.

Přírodní radionuklidy dělíme do tří skupin:

- kosmogenní radionuklidy, které vznikají jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky, např. ^{14}C vznikající reakcí $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$,
- původní primordiální radionuklidy, které vznikly v ranných stádiích vývoje vesmíru (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb aj.)
- radionuklidy které vznikají sekundárně z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady.

Poslední dvě skupiny označujeme jako terestrální.

Většina prvků v zemské kůře je směsí několika izotopů. Například přírodní draslík má tři izotopy: ^{39}K (tvoří 93,2581% veškeré hmoty K), ^{40}K (0,0117%) a ^{41}K (6,7302%). Poměr mezi těmito izotopy draslíku je v různých minerálech a horninách v podstatě stejný. Draslík je v horninách zemské kůry vázán především na draselné živce, biotit, muskovit a illit. Radioaktivní izotop ^{40}K má poločas rotpadu $T_{1/2} = 1,31 \times 10^9$ roků.

Uran tvoří samostatné minerály (např. uranit, coffinit) nebo je jako příměs přítomen v jiných, obvykle akcesorických minerálech (ve značném množství může být např. v allanitu, zirkonu, apatitu, titanitu, monazitu a xenotimu), případně může být vázán na organickou hmotu. Přírodní uran je tvořen směsí tří izotopů: ^{234}U (tvoří jen 0,005% veškeré hmoty uranu), ^{235}U (0,72%) a ^{238}U (99,275%). Žádný z těchto izotopů není stabilní. Izotopy ^{235}U ($T_{1/2} = 0,702 \times 10^9$ roků) a ^{238}U ($T_{1/2} = 4,51 \times 10^9$ roků) jsou mateřskými nuklidy dvou různých přeměnových (rozpadových) řad, jejichž konečnými produkty jsou stabilní izotopy ^{207}Pb a ^{206}Pb . Izotop ^{234}U je přechodným členem přeměnové řady ^{238}U . Uran a dceřinné produkty v obou přeměnových řadách jsou zdrojem záření alfa, beta a gama. 1 g přírodního uranu spolu s produkty přeměny emituje cca 50 000 kvant gama za sekundu (z toho více než 90% je generováno přeměnovou řadou ^{238}U).

Podobně jako uran se i thorium může v horninách vyskytovat v podobě samostatných minerálů (thorit, thorianit - jde však o nerosty relativně vzácné) nebo může být jako příměs přítomno v minerálech jiných (např. v allanitu, zirkonu, apatitu, titanitu, monazitu a xenotimu, ale také v jílových minerálech). Thorium má šest přírodních izotopů, ale jen ^{232}Th je izotopem s dlouhým poločasem přeměny ($T_{1/2} = 1,41 \times 10^{10}$ roků). Tento izotop je mateřským nuklidem thoriové přeměnové řady, která končí stabilním ^{208}Pb . Členy této přeměnové řady jsou zdrojem záření alfa, beta a gama. 1 g thoria je spolu s produkty přeměny zdrojem cca 15 000 kvant gama za

sekundu. Zbývajících pět izotopů thoria (^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Th , ^{234}Th) jsou přechodnými členy přeměnových řad ^{235}U , ^{238}U a ^{232}Th a vyznačují se velmi krátkými poločasy přeměny (proto je zastoupení těchto pěti izotopů thoria v zemské kůře zcela minimální).

3.2 Ochrana před účinky přírodních zdrojů záření

Při některých průmyslových činnostech se do prostředí uvolňují látky s vyššími aktivitami přírodních radionuklidů. Kromě známého případu těžby uranových rud a zpracování uranu se jedná i o materiály, které nejsou považovány za radioaktivní, ale obsahují stopy přírodních radionuklidů (rudy vzácných zemin, rudy obsahující zirkon, horniny obsahující fosforečnany atd). Pak to mohou být případy dlouhodobé kumulace radionuklidů při některých procesech jako usazování v potrubích a armaturách v dolech, v rafineriích minerálních olejů, hromadění ve vodárenských kalech aj. Tyto činnosti mohou být z hlediska expozice pracovníků závažné. Z hlediska expozice obyvatelstva je třeba sledovat problematiku hospodaření s odpady.

Při uvedených činnostech se v některých látkách mohou objevit přírodní radionuklidy v koncentracích $10^3 - 10^4$ Bq/kg, případně i vyšších.

Známé jsou problémy při spalování uhlí v tepelných elektrárnách, kdy průměrná roční KED se uvádí kolem 0,5 Sv/GW pro elektrárny s odlučovači popílku a 6 Sv/GW pro elektrárny bez odlučovačů. Pro lokální spalování uhlí se IED odhadují na 0,4 – 8 $\mu\text{Sv/rok}$.

V souladu s právem Evropských společenství byla upravena i Vyhláška o radiační ochraně o podrobnosti k vykonávání činností v souvislosti s výkonem práce, které jsou spojeny se zvýšenou přítomností přírodních radionuklidů nebo se zvýšeným vlivem kosmického záření a vedou nebo by mohly vést k významnému zvýšení ozáření fyzických osob (dále jen "pracovní činnosti se zvýšeným ozářením z přírodních zdrojů"), tím, že stanoví dotčená pracoviště a osoby, rozsah měření a směrné hodnoty pro zásahy ke snížení zvýšeného ozáření z přírodních zdrojů.

Vyhláškou o radiační ochraně jsou stanoveny vyšetřovací úrovně a směrné hodnoty pro ozáření z přírodních zdrojů.

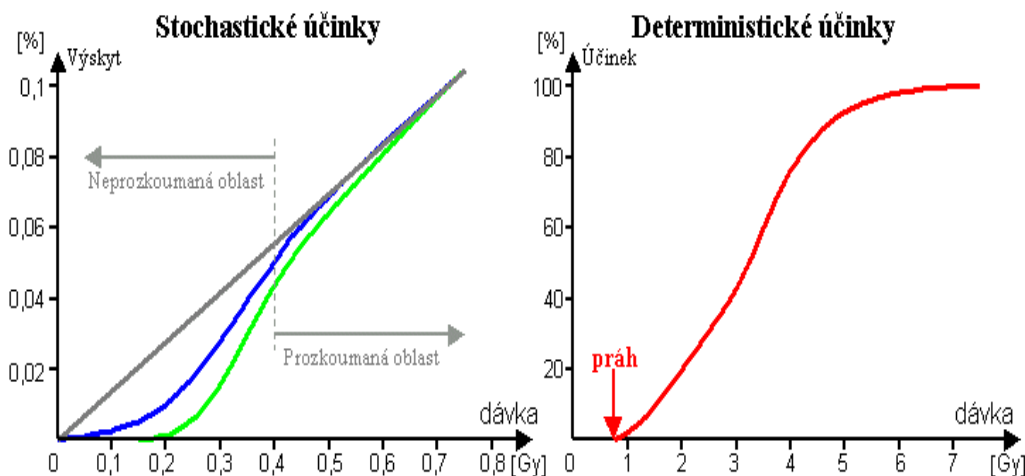
Otázky:

- Co jsou přírodní zdroje záření
- Jak se zabezpečuje ochrana pracovníků pracujících se zvýšeným rizikem z oáření z přírodních zdrojů.

4 STOCHASTICKÉ A DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Klíčová slova: stochastické účinky, deterministické účinky.

Položme si otázku, co znamená dostatečná úroveň ochrany zdraví? Z pohledu vztahu dávky záření a přístupy radiační ochrany je nutné vzít v úvahu, že ozáření může vést k deterministickým účinkům. Toto může vést k zániku buněk a následné ztrátě funkce tkání a orgánů. Tyto změny mohou nastat až po překročení určité dávky záření (prahu) v příslušných tkáních a orgánech. S růstem dávky dochází k nárůstu ztráty buněk a od kritické ztráty buněk k zhoršování funkce orgánu či tkáně až případně k smrti organismu. Z hlediska deterministických účinků tedy existují podprahové dávky, které nemají žádný účinek. Ochrana proti deterministickým účinkům je jejich úplné vyloučení, to znamená zamezení dosažení prahových dávek pro jednotlivé tkáně a orgány. Zde je na místě stanovení závazných limitů pro tkáňové dávky.



Druhým typem významných biologických změn v důsledku ozáření jsou stochastické účinky, které jsou důsledkem změn v ozářených buňkách, které přežily. Změněná buňka se může, po velkém časovém odstupu, vyvinout v nádor. Organismus má obranné a reparační schopnosti, nicméně nejsou známy žádné nízké dávky, pod nimiž by ke vzniku nádoru nemohlo dojít. Z hlediska jednotlivce roste s dávkou záření pravděpodobnost vzniku nádoru, nikoliv intenzita nebo stupeň účinku. Nemůžeme tedy vznik těchto poškození po ozáření zcela vyloučit; můžeme pouze omezit pravděpodobnost jejich vzniku na míru pokládanou za přijatelnou pro jednotlivce a společnost.

Obecně lidé vykonávají nějakou činnost, pokud jim přináší větší výhody a přínos, než jaké jsou náklady a s nimi spojené nevýhody. Jde tedy o dostatečný čistý přínos. Výhody a nevýhody při tom nemusí mít nevyhnutně materiální podobu.

Aplikujeme-li tento přístup na oblast radiační ochrany, budeme usilovat o to, aby všechny dávky byly tak nízké, jak je rozumně dosažitelné při uvážení ekonomických a sociálních hledisek. Hovoříme o optimalizaci ochrany před zářením.

Přínos a újma zapříčiněné dávkami záření mohou být i při zdůvodněné činnosti a použití optimalizačních metod nestejně rozděleny mezi dotčené osoby. Dokonce by mohli jednotlivci obdržet vysoké dávky. Proto je nezbytné pro takové druhy ozáření, jako je ozáření obyvatel a při práci (nikoliv lékařské ozáření, kde se většinou přínos i újma týkají stejných osob) které se vyznačují nestejnou distribucí přínosu a dávek, zabránit závažným nerovnostem a stanovit garanci nejvýše přijatelného individuálního rizika stochastických poškození, jimiž jsou obecné limity individuálních efektivních dávek.

Pojem újma je rovněž výsledkem vývoje ve filozofii radiační ochrany.

Každá dávka je spojená s určitým rizikem, jež nezávisí na dávkách obdržených dříve nebo později (pokud zůstáváme pod prahem deterministických účinků). Dávky lze u jednotlivce sčítat a takto kumulovaná dávka je mírou rizika či újmy pro jednotlivce. Dávky lze sčítat i přes ozáření jedince a kolektivní efektivní dávka může sloužit jako míra společenské zdravotní újmy. Takové přístupy jsou výsledkem zřejmého existenci stochastických účinků a znalostí koeficientů rizika ozáření jednotlivých tkání. Toto právě umožnilo zavedení veličiny efektivní dávky jako míry celkové újmy, a to i při nehomogenním ozáření více orgánů a tkání, jež je typické pro většinu ozáření.

Otázky:

- Vysvětlete stochastické účinky ionizujícího záření

- Vysvětlíte deterministické účinky ionizujícího záření
- Odvodíte základní cíl ochrany před ionizujícím zářením

5 SYSTÉM HODNOCENÍ A EVIDENCE PROFESNÍCH OZÁŘENÍ

Klíčová slova: Profesní ozáření, centrální registr profesních ozáření.

Vzhledem k novým doporučením v radiační ochraně jsou v mnoha zemích zavedeny nebo se vyvíjí nástroje pro komplexní hodnocení expozic obyvatel, kteří jsou vystaveni ozáření a to jak z přírodních zdrojů, tak i umělých zdrojů ionizujícího záření, se kterými mohou lidé přijít do styku. Řadu let statisticky hodnotí mezinárodní organizace UNSCEAR všechny druhy expozice. Vědecký výbor, který je tímto pověřen, oslovuje každým rokem členské země OSN se žádostí o poskytnutí příslušných dat. Jistě si můžeme představit, že tato data jsou různé kvality a proto jejich úplnost je problematická. Nicméně představu o velikosti ozáření lidí při různých činnostech poskytuje docela slušnou.

V České republice resp. bývalém Československu probíhalo hodnocení expozic převážně na úrovni jednotlivých dozimetrických služeb. Uceleně za období 1985 – 1990 byly údaje profesních expozic hodnoceny na celonárodní úrovni ve studii. Tyto údaje sloužily jako podklad dat, které byly předány UNSCEAR. V současné době SÚJB vede celostátní evidenci dávek ionizujícího záření pro profesní ozáření (Centrální registr profesních ozáření - CRPO).

Centrální registr profesních ozáření je zřízen na SÚJB od 1.9.1997. Tento registr slouží k registraci osobních dávek radiačních pracovníků kategorie A v souladu s § 84 odst. 5 výše uvedené vyhlášky (a pracovníků kategorie B, kteří jsou dobrovolně monitorováni). Držitel povolení je povinen oznamovat SÚJB do systému státní evidence ozáření radiačních pracovníků jednak jejich osobní údaje sloužící k jejich jednoznačné evidenci a jednak všechny výsledky osobního monitorování těchto pracovníků.

Zdrojem dat pro Registry SÚJB jsou jednak údaje poskytované na základě zákona jednotlivými držiteli povolení, jednak údaje z vlastní správní a kontrolní činnosti SÚJB.

V rámci CRPO je nakládáno s osobními údaji pracovníků se zdroji ionizujícího záření ve smyslu zákona č. 101/2000 Sb. o ochraně osobních údajů v informačních systémech a v souladu s tímto zákonem je s těmito daty nakládáno.

Na pracovištích držitele povolení se rovněž provádí hodnocení profesních dávek, protože zaměstnavatel nese zodpovědnost za to, že nedojde k překročení limitů ozáření.

5.1 Rentgenová vyšetření, radiodiagnostika

Roční efektivní dávka na hlavu z rentgenových vyšetření je celosvětově v rozmezí 0,3 – 2,2 mSv. V poslední době vykazují zvýšený zájem vyšetření CT. Průměrná efektivní dávka na jedno vyšetření je až 5 mSv. V mnoha případech je však rentgenové vyšetření zcela dostačující a tak vyšetření pomocí CT není odůvodněné.

Celosvětová kolektivní dávka z rentgenových vyšetření uvedená ve zprávě UNSCEAR (1993) je 1,6 mil. manSv (pro rok 1988 je toto číslo 1,76 mil. manSv).

Průměrná efektivní dávka na jednoho obyvatele v ČR je 0,72 mSv (1993). Kolektivní efektivní dávka byla ohodnocena na 7207 manSv za rok. Největší příspěvek ke kolektivní dávce bylo vyšetření bederní páteře (16%).

5.2 Nukleární medicína

Celosvětová průměrná roční frekvence vyšetření v nukleární medicíně je 16 vyšetření na 1000 obyvatel. Z celkového počtu vyšetření připadá 30% na vyšetření kostí, 20% na vyšetření plic atd. Celosvětová kolektivní efektivní dávka je ohodnocena (UNSCEAR 1993) na 156 tisíc manSv.

Průměrná efektivní dávka na jednoho obyvatele ČR je 0,09 mSv (1996). Kolektivní efektivní dávka byla ohodnocena na 860 manSv za rok.

5.3 Radioterapie

Na rozdíl od diagnostiky je aplikace určité dávky do těla pacienta cílem radioterapie. Proto terapeutické dávky jak individuální, tak kolektivní nelze srovnávat s dávkami z jiných zdrojů. Podle UNSCEAR 1993 byla průměrná dávka na obyvatele z radioterapie 0,3 mSv a kolektivní dávka 1,2 mil. manSv za rok.

V roce 1996 bylo v ČR léčeno 36193 osob terapií a 2831 brachyterapií. Dávky aplikované v terčových orgánech se pohybují od 10 do 60 Gy. Vzhledem v výše uvedeným problémům se v ČR kolektivní a efektivní dávka nehodnotí.

5.4 Profesionální expozice

Základem pro sledování a hodnocení expozic je individuální monitorování pracovníků kategorie A. U pracovníků kategorie B, kteří pracují ve sledovaných pásmech, je postačující monitorovat prostředí.

Na celosvětové úrovni je ohodnocena průměrná efektivní dávka na pracovníka při použití umělých zdrojů ionizujícího záření na 1,1 mSv a při využití přírodních zdrojů IZ na 1,7 mSv. Pro pracovníky v lékařství činí průměrná efektivní dávka 0,47 mSv. Celkem bylo sledováno 9,2 mil. Pracovníků, z toho 3% pracovníků překračují ročně dávku 15 mSv.

Průměrný efektivní dávkový ekvivalent na jednoho pracovníka v ČR v roce 1997 byl 0,93 mSv, kolektivní dávkový ekvivalent byl 15,12 manSv. V medicíně, oboru s největším zastoupením pracovníků (49%), se průměrný dávkový ekvivalent na pracovníka pohyboval kolem hodnoty 0,9 mSv a kolektivní efektivní dávkový ekvivalent byl 9,58 manSv.

V průměru je v ČR ročně prošetřováno 25-50 ozáření pracovníků s efektivními dávkami vyššími než 15 mSv. Velká část z nich jsou pracovníci v medicíně.

Otázky:

- Pro které pracovníky slouží Centrální registr profesionálních ozáření
- Jak vypadá srovnání profesionálních expozic v ČR se světovými průměrnými údaji.

6 APLIKACE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ V MEDICÍNĚ

Klíčová slova: individuálně indikovaná vyšetření, screeningová vyšetření, ochrana zdravotnického personálu, ochrana pacientů, směrné hodnoty.

6.1 Zvláštní podmínky užití zdrojů ionizujícího záření v lékařství

Víme dobře, že od prvního období objevu X paprsků W. Röntgenem byla hlavní pozornost věnována hlavně ochraně zdravotnických pracovníků. Postupem doby se pozornost odborníků soustředila na ochranu osob, léčených nebo vyšetřovaných ionizujícím zářením, protože tzv. lékařská expozice představuje nejvýznamnější podíl ozáření člověka z umělých zdrojů záření vůbec.

V současné době jsou základní pravidla k usměrňování ozáření v lékařství dána doporučením ICRP 60.

Lékařské ozáření může provádět pouze držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření a to pouze se zdroji typově schválenými SÚJB, popřípadě s použitím radiofarmak, registrovaných podle ustanovení zákona č. 79/1997 Sb., o léčivech, po kladném vyjádření SÚJB.

Lékařské ozáření nepodléhá limitům, důležitá je ale povinnost respektovat při lékařských ozářeních dva ze základních principů radiační ochrany – princip zdůvodnění a princip optimalizace. Příloha vyhlášky 307/2002 o radiační ochraně stanovuje směrné hodnoty, které jsou vodítkem pro posouzení, zda aplikované dávky jsou optimalizované. Nemají charakter závazných ukazatelů a jsou metodou prvního přiblížení k posouzení optimalizace. Jejich překračování je podnětem k přešetření příčin nepřiměřeně vysoké zátěže pacientů a k nápravným opatřením týkajícím se zpravidla techniky vyšetření. Tím, že na daném pracovišti je směrným

požadavkům vyhověno, není řečeno, že se nemá pokoušet o nalezení optimalizovaných hodnot, které tak mohou být ještě nižší než vyhlášené směrné hodnoty.

6.1.1 Individuálně indikovaná vyšetření

Vyšetření smí být provedeno pouze na základě lékařské indikace a má pomoci ke stanovení diagnózy nebo upřesnění léčby. Lékař má zvážit, zda přínos, který má pacient z vyšetření, převyšuje nad rizikem, které vyšetření přináší. Nositelem jak přínosu, tak rizika je v tomto případě vyšetřovaný pacient. Správná indikace k vyšetření by měla být v některých případech konzultována s lékařem, který bude uvedené vyšetření provádět.

V současnosti přetrvává řada sporných či nedostatečně oprávněných indikací, jako je např. indikace snímku lebky po každém úrazu hlavy při přijetí pacienta k hospitalizaci apod. Lékař indikuje rentgenový snímek mnohdy i z obavy před případným soudním sporem. Na druhé straně může dojít i k soudnímu sporu, kde si pacient může stěžovat na nezdůvodněné ozáření.

6.1.2 Skupinová (screeningová) vyšetření

U skupinových vyšetření je konečným nositelem přínosu společnost. Tato vyšetření jsou často zdůvodněna jen pro vymezené skupiny jednotlivců a mají být čas od času vyhodnocena, aby bylo ospravedlněno jejich pokračování.

Tak například byl přehodnocen význam radiofotografického vyšetření plic, které se dříve provádělo u všeho dospělého obyvatelstva v dvouletých intervalech. Ukázalo se, že tato vyšetření jsou zdůvodněna až ve věkové skupině nad 50 let.

Povinné preventivní snímkování hrudníku bylo upraveno směrnici č.1/1985 Věstníku MZ ČSR, které značně omezily okruh preventivních rentgenových vyšetření hrudníku. Nicméně ponechaly epidemiologům možnost nařídít povinné preventivní vyšetření hrudníku u obyvatelstva nebo jeho skupin, pokud by to vyžadovala opatření proti přenosným onemocněním (zejména riziko tuberkulózy).

Na tomto místě je třeba připomenout i vyšetření zdravých osob pro pracovní-lekářské, posudkové nebo pojišťovací účely a osob v rámci lékařského výzkumu.

6.2 Ochrana zdravotnického personálu a pacientů při rentgenových vyšetřeních

Rentgenová vyšetření rozdělujeme na skiografická (statické pozorování nálezů) a na skioskopická (dynamická pozorování). Speciální radiodiagnostické metody jsou potom mamografie a počítačová tomografie (CT).

6.2.1 Ochrana personálu ve vyšetřovacích místnostech

Při skioskopických vyšetřeních se musí zdravotnický personál zdržovat během expozice ve vyšetřovací místnosti. Hlavním zdrojem ozáření personálu je Comptonův rozptýl primárního záření v ozářené části těla pacienta. Množství rozptýleného záření je úměrné ozářované ploše, proto je třeba aby byl svazek vymezen jen na diagnosticky významnou oblast. Sníží se nejen radiační zátěž personálu a pracovníka, ale zvýší se i kvalita zobrazení. Proti rozptýlenému záření se chráníme časem, vzdáleností a stíněním, jak je to obvyklé u ochrany před externím ozáření.

6.2.2 Ochrana pacientů

Uplatňuje se princip zdůvodnění činnosti a princip optimalizace ochrany. Princip limitování dávek nelze použít, protože řešení zdůvodněných klinických problémů musí mít přednost před jakýmkoliv formálními pravidly.

Při optimalizaci expozice hraje klíčovou úlohu radiodiagnostický laborant.

Jedním z nejdůležitějších technických prostředků k omezení radiační zátěže pacienty je vymezení svazku záření na co nejmenší pole, které je ještě v souladu s oblastí zájmu.

Při skioskopii je radiační zátěž pacienta nejvíce ovlivněna kvalitou zesilovače obrazu. Přímá skioskopie bez použití zesilovače obrazu by se již neměla používat vůbec.

6.3 Radiační ochrana v nukleární medicíně.

Nukleární medicína je lékařským oborem, který se zabývá aplikacemi radioaktivních látek zejména pro diagnostiku a v menší míře pro léčbu.

6.3.1 Diagnostické metody

Tyto metody využívají zářiče gama a rozdělují se na zářiče in vivo a in vitro. Při vyšetřeních in vivo se aplikují radiofarmaka do těla; mohou se využívat pro studium fyziologických a biochemických procesů v těle, při lokalizaci a diferenciaci patologických změn. Vyšetření in vitro zahrnují metody využívající radioaktivních látek ke stanovení např. koncentrace hormonů nebo protilátek v krvi – pracuje se jen se vzorkem krve.

U pracovníků se přikládá značný význam ochraně před vnějším zářením. Z hlediska pacienta je důležité, aby mu byl pro diagnostiku aplikován zářič gama (beta záření zbytečně zvyšuje radiační zátěž pacienta).

6.3.2 Terapeutické metody

Pro terapii některých maligních onemocnění jsou důležité radionuklidy emitující beta záření, jako např. ^{131}I , ^{89}Sr , ^{186}Re a ^{153}Sm . Gama záření zde k dávce v cílovém orgánu přispívá jen málo a zbytečně zvyšuje radiační zátěž. Nicméně se zde přítomnosti záření gama nevyhneme, protože je přítomno jako doprovodné záření beta rozpadu.

Nejvíce je na odděleních nukleární medicíny v ČR využíváno $^{99\text{m}}\text{Tc}$, dále ^{201}Tl , ^{69}Ga , ^{51}Cr a jiné.

6.3.3 Některé zákonné úpravy

Léčebné aplikace radionuklidů, které jsou otevřenými zářiči, se provádějí jen v lůžkových částech zdravotnických zařízení, speciálně upravených a vybavených tak, aby splňovaly požadavky na pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči. Ambulantní léčebné aplikace radionuklidů se mohou uskutečňovat, jen pokud tak stanoví v podmínkách příslušného povolení SÚJB.

Propouštění pacientů do domácí péče po léčebné aplikaci radionuklidů se usměrňuje tak, aby nebyly překročeny limity podle § 23 odst. 1. Tyto limity se vztahují také na usměrňování ozáření pro návštěvníky pacientů po léčebné aplikaci radionuklidů. Údaje se zaznamenávají do zdravotnické dokumentace pacienta. V případě, že pacient podstupuje léčbu radionuklidy, poskytne držitel povolení pacientovi nebo jeho zákonnému zástupci před opuštěním zdravotnického zařízení písemnou informaci o rizicích ionizujícího záření a písemné pokyny, jak omezit dávky u osob, které přicházejí s pacientem do styku, na tak nízkou úroveň, jak lze rozumně dosáhnout. V případě, že by se ozáření osob v domácnosti mohlo blížit hodnotám obecných limitů, je třeba poskytnout písemné pokyny i pacientům, kteří podstupují vyšetření radionuklidy.

Otázky:

- Podmínky užití zdrojů IZ v lékařství
- Jak chráníme personál a pacienty při rentgenových vyšetřeních
- Jak chráníme personál a pacienty při aplikacích radionuklidů v nukleární medicíně.

7 RADIČNÍ NEHODY A HAVÁRIE

Klíčová slova: radiační nehody, radiační havárie, odezva na radiační havárie, INES.

Neplánované ozáření či rozptyl radioaktivních látek je mimořádnou situací, vznikající najednou nepředpokládanými mechanismy a končící velmi různorodými následky. Základní rozdělení mimořádných situací je rozdělení na radiační nehody a radiační havárie.

Radiační nehodou rozumíme událost, která má za následek nepřipustné uvolnění radioaktivních látek nebo ionizujícího záření nebo nepřipustné ozáření osob.

Radiační havárie je radiační nehoda, která vyžaduje opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí.

Důsledky radiačních nehod se obvykle omezují na prostory pracovišť se zdroji ionizujícího záření, radiační havárie pak ovlivňují i jeho okolí zejména únikem radioaktivních látek do životního prostředí.

7.1 Základní přístupy při nehodách a haváriích

7.1.1 Rozhodování o zásazích

Veličinou sloužící pro vyjádření rizika vzniku deterministických účinků v případě radiační havárie je předpokládaná celková dávka obdržena ze všech expozičních cest v průběhu méně, než dvou dnů od počátku havárie bez provedení jakýchkoliv ochranných opatření.

Pro většinu případů je důležitější omezení rizika vzniku stochastických účinků. V tomto případě se jako míra ozáření používá tzv. odvrácená (nebo odvrátitelná) dávka. Dávka, kterou je možno odvrátit ochrannými opatřeními je dána rozdílem mezi dávkou bez jakýchkoliv opatření a dávkou po provedení opatření.

Regulace ozáření při zásazích je založena na zásahových úrovních. To je rozdíl od regulace ozáření při činnostech, která se opírá o limity a horní meze dávek. Použití předem určených limitů jako východiska pro rozhodování o zásazích by mohlo vést k neúměrným opatřením ve vztahu k získanému přínosu a bylo by to v rozporu s principem zdůvodnění. Optimalizace zásahu je však omezena nutností zabránit všemi prostředky vzniku deterministických účinků. Existují tedy úrovně předpokládané dávky, při kterých se očekává, že zásah bude proveden za každých okolností.

Praktické přístupy jsou v jednotlivých zemích odlišné. Tyto rozdíly jsou dané mimo jiné z různé důležitosti přikládání společenským, etickým a politickým faktorům, které mají tedy méně konkrétní podobu. Každá země musí uvažovat i omezené finanční zdroje, které společnost chce nebo může vynaložit na zásah.

7.1.2 Analýza možných nehod a havárií

Vážné nehody na jaderných zařízeních mohou vést k vysokým úrovním ozáření pracovníků v areálu elektrárny, selhání ochranné obálky či hermetických prostor pak může vést k šíření radioaktivních látek do životního prostředí a ozáření obyvatelstva. Předpokládá se, že úniky radioaktivních látek do ovzduší představují z hlediska ozáření obyvatelstva větší riziko, než úniky do hydrosféry.

Další typy radiačních nehod a havárií se zdroji ionizujícího záření mohou nastat během jejich výroby, přepravy nebo použití v důsledku:

- neregulérního přístupu veřejnosti ke zdroji
- poškození obalu nebo stínění

Zhruba dvě třetiny vážných radiačních nehod a havárií v posledních 60 ti letech se týkaly zdrojů mimo jaderná zařízení (průmysl, medicína, výzkum). Prostorový a časový rozsah těchto nehod je ve srovnání s velkou havárií jaderného zařízení omezenější, ale i tyto události mohou vést k vysokým dávkám jednotlivcům z obyvatelstva.

Důležité cesty expozice lidí při nehodě nebo havárii jsou:

- zevní ozáření z poškozeného zařízení nebo zdroje mimo kontrolu
- zevní ozáření z mraku uvolněného radioaktivního materiálu
- zevní ozáření z depozitu radioaktivních látek na povrchu terénu
- kontaminace povrchu těla a oděvu
- použití potravy a vody kontaminované radioaktivními látkami

Neexistuje jediný vzorový sled událostí, které by mohly sloužit jako základ pro tvorbu havarijních plánů. Vždy se musí vycházet z konkrétního typu zařízení a potenciálu pro únik radioaktivních látek.

7.2 Odezva na radiační havárie

Odezva na radiační havárie má tři základní cíle:

- provedení opatření přímo u zdroje havárie, které jsou zaměřeny na zmírnění následků či snížení potenciálního rizika
- zajištění, aby lidé neobdrželi dávky vedoucí k onemocnění, či dokonce k úmrtí v důsledku ozáření v období několika týdnů až měsíců po havárii (deterministické účinky). Při havárii jaderného reaktoru zabrání časným úmrtím udržení dávek na červenou kostní dřev pod úrovní 1 Sv.
- provedení jakékoliv rozumné akce ke snížení pravděpodobnosti vyvolání zhoubného bujení (stochastických účinků) v důsledku ozáření. Není ale možné, ani rozumné, snižovat případné riziko vzniku nádoru v důsledku radiační havárie na nulu. Není například rozumné přesídlovat obyvatelstvo z oblastí, kde jsou dávkové příkony menší, než v oblastech havárií neovlivněných.

Průběh radiační havárie se často dělí do tří fází:

- předúnikové (několik hodin až dnů)
- únikové (několik hodin až dnů)
- poúnikové (týdny až roky).

Ochranná opatření přijímaná za účelem odvrácení ozáření se dělí na

- preventivní
- neodkladná
- následná

a zhruba odpovídají jednotlivým fázím havárie.

7.3 Závažnost jaderných událostí

Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES – The International Nuclear Event Scale) byla v březnu 1990 společně zavedena Mezinárodní agenturou pro jadernou energii (IAEA) a Agenturou pro jadernou energii Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD/NEA). Jejím primárním účelem je usnadnit komunikaci a dorozumění mezi odborným nukleárním společenstvím, sdělovacími prostředky a veřejností v případech výskytu událostí na jaderných zařízeních i jakékoliv události spojené s radioaktivním materiálem nebo s radiací, včetně přepravy radioaktivních materiálů.

Stupnice zařazuje události do sedmi stupňů: stupně 1 až 3 se označují jako nehody, stupně 4 až 7 se označují jako havárie. Události, které nemají žádný bezpečnostní význam a jsou klasifikovány stupněm 0 (pod stupnicí), se nazývají odchylky. Události, které vůbec nesouvisejí s bezpečností se označují jako události mimo stupnici.

Otázky:

- Definujte co je radiační nehoda a havárie
- Jaké jsou přístupy při radiačních nehodách a haváriích
- Jaké jsou cíle odezvy na radiační havárii

- Co je stupnice INES a proč byla zavedena

8 RADIOAKTIVNÍ ODPADY – VZNIK, MANIPULACE, UKLÁDÁNÍ

Klíčová slova: radioaktivní odpady, institucionální odpady, třídění radioaktivních odpadů, ukládání radioaktivních odpadů.

8.1 Zdroje radioaktivních odpadů

Radioaktivní odpady lze třídit podle různých kritérií. Jsou to např. skupenství, objemová či hmotnostní aktivita, nebo i podle místa původu. Podle posledně uvedeného kritéria rozdělujeme radioaktivní odpady na odpady z jaderněenergetického palivového cyklu a na odpady institucionální.

8.1.1 Institucionální odpady

Jsou to odpady z výzkumných pracovišť, zdravotnictví a průmyslu, kde jsou využívány radioaktivní zářiče k různým účelům. Jsou v současnosti ukládány na dvou lokalitách: Úložiště radioaktivních odpadů Richard (nachází se nedaleko Litoměřic, v komplexu bývalého vápencového dolu Richard II) a Úložiště Bratrství Jáchymov (je určeno výhradně k umístování odpadů s přírodními radionuklidy, toto úložiště je vybudováno v části opuštěných podzemních prostor bývalého uranového dolu Bratrství). Tyto odpady se před jejich uložením musí zpracovat do sudů z betonem.

8.1.2 Radioaktivní odpady vzniklé v jaderněenergetickém palivovém cyklu

Jaderněenergetický palivový cyklus zahrnuje činnosti které vedou k využití štěpitelných radionuklidů v jaderném reaktoru, při čemž se do tohoto cyklu počítá i těžba uranové nebo thoriové rudy, její úprava, výroba palivových článků, skladování vyhořelého jaderného paliva a nakládání s radioaktivními odpady vzniklými při provozu jaderného reaktoru.

Pro nevyužitelné pozůstatky po těžbě a zpracování uranových nebo thoriových rud se nepoužívá označení jako radioaktivní odpad. Rovněž pro vyhořelé palivo se pojem radioaktivní odpad nepoužívá, protože se považuje za druhotnou surovinu.

V jaderné elektrárně vznikají odpady jak plynné, tak kapalné a pevné. Ve všech typech těchto odpadů se vyskytují jak štěpné, tak i korozní produkty v množství závislém na použitém typu jaderné elektrárny a použité technologii zpracování provozních médií.

8.2 Shromažďování a třídění radioaktivních odpadů

8.2.1 Kapalné radioaktivní odpady

Kapalné radioaktivní odpady jsou shromažďovány do nádrží, případně vhodných nádob. Pravidlem je, že nádrže nebo nádoby jsou umístěny do dalších nádob, které by byly schopny pojmout obsah nádrže nebo nádoby v případě jejich poruchy či poškození (způsobené např. korozí).

8.2.2 Pevné radioaktivní odpady

Tyto odpady se obvykle třídí na stlačitelné a nestlačitelné (pro případ, že chceme jejich objem zmenšit lisováním), hořlavé a nehořlavé (buď pro zabezpečení jejich dalšího uložení nebo pro případ, že bychom je chtěli spalovat ve speciálních spalovnách).

8.3 Vznik radioaktivních odpadů v JE

Radioaktivní odpady vznikající při provozu jaderné elektrárny se dělí na tři kategorie - plynné, kapalné a pevné.

Plynné radioaktivní odpady vznikají především z odvětrávání pracovního prostředí, nádrží s aktivní vodou a podobně. Jsou čištěny ve filtrech a zadržovány v absorpčních komorách, v nichž se jejich radioaktivita snižuje pod úroveň limitů pro vypouštění do ovzduší.

Hlavními kapalnými radioaktivními odpady jsou radioaktivní chladicí voda a náplně většiny filtrů, kterými jsou čištěny aktivní kapaliny. Platí přitom, že jak v chladicí vodě, tak v ostatních chladicích tekutinách není radioaktivní sama voda, ale také v ní obsažené soli a korozní částice. Při zpracování jsou všechny kapalné odpady nejprve zahuštěny částečným odpařením vody, tento koncentrát je smíchán s asfaltem a uložen do sudů. Zbylá voda má zanedbatelnou aktivitu a je vypuštěna do životního prostředí.

Pevné radioaktivní odpady vznikají nejčastěji při údržbářských pracích - třeba při výměnách některého zařízení nebo jeho součástí. Patří mezi ně jak vyměněné součásti (např. těsnění čerpadla nebo čidla z reaktoru), tak údržbářské pomůcky (nástroje, pracovní oděvy, rukavice aj.). I pevné radioaktivní odpady se ukládají do sudů.

Sudy naplněné radioaktivními odpady se umísťují do tzv. úložiště radioaktivních odpadů. Je to povrchový, od vnějšího prostředí odizolovaný, betonový objekt s jímkami, do kterých se ukládají ocelové sudy s bitumenovanými slisovanými nebo jinak upravenými nízkoaktivními odpady. V České republice se takové úložiště nachází v JE Dukovany a budou se sem svážet radioaktivní odpady i z Temelína.

8.4 Ukládání radioaktivních odpadů (některé zákonné požadavky)

Na úložiště radioaktivních odpadů, kromě obecných požadavků pro jaderná zařízení a pracoviště IV. kategorie, jsou kladeny takové požadavky, aby

- úložné prostory úložiště byly chráněny proti obousměrnému průsaku vod a do uzavření úložiště byl vyloučen dlouhodobý kontakt uložených radioaktivních odpadů s vodou,
- úložiště bylo chráněno proti záplavě a zatopení vodami, zejména srážkovými nebo důlními.

Systém sledování úložiště a jeho okolí musí, kromě požadavků pro monitorování, poskytovat dostatečný přehled o případném vniknutí vody do úložiště při jeho zaplňování a úniku radionuklidů z úložiště do okolního prostředí; přitom tento systém nesmí snižovat těsnost a celistvost úložiště.

Splnění požadavků na radiační ochranu při uložení radioaktivních odpadů musí být prokázáno v bezpečnostních rozborech možných následků uložení radioaktivních odpadů. Bezpečnostní rozbor musí prokazatelně a věrohodně na základě znalostí o místě, kde má být úložiště postaveno, zhodnotit rizika přicházející v úvahu v provozním období a v období po uzavření úložiště. Z bezpečnostních rozborů jsou odvozeny podmínky přijatelnosti k ukládání radioaktivních odpadů.

Optimalizační mezí pro bezpečné uložení radioaktivních odpadů je efektivní dávka 0,25 mSv za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel.

Otázky

Co jsou institucionální odpady

Kde institucionální odpady ukládáme

Jaké odpady vznikají při provozu jaderných elektráren

Vysvětlete rozdíl mezi skladováním radioaktivních odpadů a ukládáním radioaktivních odpadů

Vyjmenujte některé zákonné požadavky na ukládání radioaktivních odpadů.

9 DETEKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Klíčová slova: kalorimetrie, filmová dozimetrie, detekce s využitím ionizačních vlastností záření, polovodičový a scintilační princip detekce, detekce neutronů.

9.1 Kalorimetrie

Pomocí kalorimetrů lze měřit tepelné efekty různých fyzikálních, chemických nebo biologických pochodů. V oblasti ionizujícího záření je známo, že téměř všechna kinetická energie ionizujícího záření částic se přemění v teplo.

Podstata stanovení aktivity pomocí kalorimetrů spočívá v tom, že energie, uvolněná při radioaktivním rozpadu, se plně nebo částečně pohltí v absorbátoru kalorimetru. Na základě měření tepelné energie Q_T lze potom určit aktivitu. Často se místo tepelné energie měří tepelný výkon.

Kalorimetrické metody se málo rozšířily a to zejména pro jejich nízkou citlivost. Metoda umožňuje měření aktivity radionuklidů o aktivitě vyšší než 10 MBq.

9.2 Fotografické metody

9.2.1 Filmová dozimetrie

Nejjednodušším využitím fotografické detekce ionizujícího záření jsou filmové dozimetry. Základem filmového dozimetru je fotografický film, světlotěsně zabalený do černého papíru. Ionizující záření prochází obalem filmu a ve fotoemulzi vytváří latentní obraz, který se vyvoláním zviditelní. Optická hustota zčernání filmu, kterou lze vyhodnocovat fotometricky, je pak mírou integrálního množství záření, které se ve vrstvě filmu absorbovalo během expozice; indikuje tím i dávku záření.

9.2.2 Jaderné fotoemulze pro detekci stop částic

Pro studium vlastností částic je užitečné zachytit fotograficky dráhu jejich pohybu v látce. Pro detekci stop částic je na film nebo skleněnou destičku nanášena fotografická emulze o relativně velké tloušťce (cca 0,1-1 mm) a vysokém obsahu halogenidu stříbra v želatině. Vnikne-li do této emulze rychlá nabitá částice, zanechává podél dráhy svého pohybu ionizační stopu.

9.3 Termoluminiscence

Ozáření dielektrické pevné látky ionizujícím zářením může vést k zachycení uvolněných elektronů nebo děr v lokálních poruchách mřížky, které mají povahu elektronových nebo děrových pastí. Pokud je hloubka těchto pastí (tj. energetický rozdíl mezi vodivostním pásmem a pastí) dostatečná, zachycené nosiče náboje v nich setrvávají po takovou dobu, dokud není nějakým vnějším působením zvýšena pravděpodobnost jejich úniku. Jednou z možností jak jim dodat dostatečnou energii k opuštění pastí, je ohřev dané látky.

9.4 Ionizační princip detekce

Využívá se ionizačních účinků záření v plynech. Vnikne-li částice záření do detektoru, ionizuje podél své dráhy plynovou náplň a vzniká mnoho kladných iontů a elektronů. Ty se rychle pohybují k příslušné elektrodě a plynová náplň se na okamžik stane vodivá. Každá částice tak vyvolá krátký proudový impuls. Ten je ještě v samotném detektoru zesílen, protože nesymetrická konstrukce elektrod vytváří v blízkosti anody velmi intenzivní elektrické pole. V něm se elektrony urychlí natolik, že samy vyvolávají další ionizaci plynu.

9.5 Polovodičový princip detekce

Funkce polovodičových detektorů je založena na elektrických vlastnostech p/n rozhraní. Detektor je tvořen křemíkem nebo germaniem typu p nebo n, na němž je vytvořena vrstva polovodičového materiálu opačného typu. Vloží-li se na detektor vysoké napětí tak, že záporná polarita je připojena k materiálu p a kladná k n, migrují volné nosiče náboje vlivem elektrického proudu k příslušným elektrodám. Na rozhraní p/n tím vzniká určitý prostor s vysokým odporem, protože je v něm velmi malá koncentrace volných nosičů náboje. Vnikne-li částice záření do citlivé oblasti, vytvoří ionizaci podél své dráhy páry elektron-díra. Takto vzniklé nosiče migrují k příslušným elektrodám, což se projeví, podobně jako u plynových detektorů, vznikem krátkého proudového impulsu, který se opět převádí na puls napěťový.

9.6 Scintilační princip detekce

Scintilační detektory ionizujícího záření jsou založeny na vlastnosti některých látek reagovat světelnými záblesky (scintilacemi) na pohlcení kvant ionizujícího záření. Ty se pak elektronicky registrují pomocí fotonásobičů. Velikost výstupního impulzu je přímo úměrná energii dopadajícího záření. Látky vykazující takovou vlastnost se nazývají scintilátory. Nejstarším používaným scintilátorem je sirič zinečnatý aktivovaný stříbrem ZnS(Ag), který byl používán do stínítek skiaskopických rentgenových přístrojů. Pro účely detekce záření se však nejčastěji používá jodid sodný aktivovaný thaliem – NaI(Tl), ve formě monokrystalu.

Přesné změření aktivity beta-radioaktivního preparátu, zvláště pak nízkenergetického záření beta, je velice obtížné. V tomto případě se využívá metoda kapalných scintilátorů. Při práci s kapalnými scintilátory se měřená radioaktivní látka přidává přímo do roztoku scintilátoru. Energie záření beta je předávána nejprve molekulám rozpouštědla. Excitační energie těchto molekul se pak přenáší na molekuly vlastní scintilační látky, které při deexcitaci emitují fotony viditelného světla. Úlohu registrace a zesílení signálu pak opět přebírá fotonásobič.

9.7 Metody detekce neutronů

Pro detekci neutronů se využívají především následující metody:

- Metoda odražených jader: využívá srážek (pružných interakcí) rychlých neutronů s lehkými jádry, především jádry vodíku (protony), které jsou při srážkách urychlovány a vyvolávají pak v látce ionizaci – mohou být pak detekovány obvyklými detektory.
- Metoda jaderných reakcí: neutrony při vstupu do určitých jader vyvolávají jaderné reakce, při nichž je emitováno ionizující záření, jež se detekuje. Nejčastěji se používají reakce: $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^4\text{He}(n, p)^3\text{H}$, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$. Při praktické realizaci se příslušné "terčikové" materiály implantují přímo do detektorů, aby vznikající sekundární ionizující záření mohlo být bezprostředně detekováno.
- Metoda štěpení: využívá toho, že neutrony způsobují při vstupu do těžkých jader (urany a transurany) jejich rozštěpení, přičemž vznikají silně ionizující fragmenty. Štěpný materiál se např. nanáší v tenké vrstvě na elektrody ionizační komory.
- Metoda aktivace: je založena na tom, že zachycení neutronu neaktivním jádrem může vést ke vzniku radioaktivního jádra. Toto jádro pak při své radioaktivní přeměně vysílá ionizující záření (beta a gama, které se detekuje).

Otázky:

- Kalorimetrické metody.
- Princip detekce pomocí filmů.
- Ionizační metody.
- Polovodičové a scintilační metody detekce.
- Způsoby detekce neutronů.

10 LITERATURA

10.1 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

10.2 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