



RADIAČNÁ OCHRANA

**Doc. RNDr. Denisa Nikodemová, PhD.
RNDr. Helena Cabánková, PhD.**

Slovenská zdravotnícka univerzita v Bratislave

SNUS 2009

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 3 |
| 1. HISTORICKÉ POZADIE VZNIKU RADIAČNEJ OCHRANY | 3 |
| 1.1. Kľúčové etapy vývoja radiačnej ochrany | 4 |
| 2. PRINCÍPY A METÓDY KONTROLY V RADIAČNEJ OCHRANE | 6 |
| 3. MONITOROVANIE IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA V RADIAČNEJ OCHRANE | 8 |
| 3.1. Monitorovanie pracoviska so zdrojmi IŽ | 9 |
| 3.1.1. Monitorovanie okolia pracoviska | 11 |
| 3.1.2. Metódy monitorovania pracovného prostredia | 11 |
| 4. ZÁKLADNÉ VELIČINY POUŽÍVANÉ V DOZIMETRII A V OCHRANE PRED IONIZUJÚCIM ŽIARENÍM | 12 |
| 4.1. Veličiny charakterizujúce zdroje ionizujúceho žiarenia | 12 |
| 4.2. Veličiny charakterizujúce pole ionizujúceho žiarenia | 13 |
| 4.3 Veličiny charakterizujúce interakciu ionizujúceho žiarenia s hmotou | 13 |
| 5 . OSOBNÁ DOZIMETRIA | 16 |
| 5.1. Základné veličiny v osobnom monitorovaní | 17 |
| 5.2. Metódy osobnej dozimetrie | 18 |
| 5.3. Charakteristika najčastejšie používaných osobných dozimetrov | 19 |
| 5.4. Monitorovanie extrémít a očných šošoviek | 23 |
| 5.5. Radiačná ochrana v jadrovej energetike | 24 |
| 5.5.1. Ochrana pracovníkov JEZ | 24 |
| 5.5.2. Osobné monitorovanie v JE | 25 |
| 5.5.3. Ochrana obyvateľov v okolí JEZ | 25 |
| LITERATÚRA | 26 |

ÚVOD

Ionizujúce žiarenie, ako sprevádzajúci fenomén života na zemi, vrátane rozmanitých ľudských činností, môže okrem všeobecného spoločenského prínosu, spôsobovať tiež zdravotnú ujmu jednotlivca či populácie. Činnosti spojené s expozíciou ionizujúcemu žiareniu sú dnes vo všetkých oblastiach života. Zahrňujú prirodzené i umelé zdroje žiarenia. Ochrana zdravia človeka pred žiarením je komplexným problémom, ktorý sa týka profesionálneho a lekárskeho ožiarenia a ožiarenia obyvateľstva prírodnými zdrojmi žiarenia. Hlavným cieľom ochrany pred žiarením je zabezpečiť dostatočnú úroveň ochrany zdravia pri plnom využití aplikácie zdrojov žiarenia a jadrovej energie.

Ochrana pred ionizujúcim žiarením vychádza:

- z poznatkov o biologických účinkoch žiarenia, najmä z poznatkov o jeho vplyve na zdravie človeka,
- z rozboru podmienok ovplyvňujúcich veľkosť ožiarenia v rôznych skupinách obyvateľstva,
- zo spoločenských princípov, organizačných a právnych zásad, ktorými sa ochrana zdravia v spoločnosti riadi.

1. HISTORICKÉ POZADIE VZNIKU RADIAČNEJ OCHRANY

Prvá zmienka o poškodení spôsobenom rtg. žiarením bola správa o poškodení kože, ktorú popísal Grubbé už mesiac po publikovaní objavenia rtg. žiarenia a prvé správy o poškodení zdravia po ožiarení ionizujúcim žiarením (IŽ) boli publikované už rok po objavení röntgenového žiarenia. Po Marcusovej správe (Marcus, 1896) o zápalových zmenách na silne ožiarenej koži nasledoval Friebeňov popis (Friebeň, 1902) rakoviny kože na ruke výrobcu a demonštrátora röntgenových trubíc. Počet rakovinových ochorení, obvykle na koži, postupne narastal. Vzhľadom na nespoľahlivosť vtedajších dozimetrických metód však neboli získané presvedčivé dôkazy o veľkosti ožiarenia, ktoré by ešte nespôsobilo poškodenie zdravia. Bolo však už zrejmé, že závažnosť poškodenia môže úzko súvisieť s počtom iónových párov vznikajúcich v molekulách vody ožarovaného tkaniva. Táto predstava sa neskoršie stala základom pre meranie absorbovanej energie ionizujúceho žiarenia pomocou ionizačného prúdu. Absorbovaná dávka sa začala vyjadrovať v jednotkách energie na jednotku hmotnosti látky. Postupne narastal význam zavádzania spoľahlivých dozimetrických metód. O rakovinovom ochorení sa ešte stále predpokladalo, že vzniká mikroskopickým poškodením masívne ožiarového tkaniva, ako následok silných zápalov a fibrózných zmien.

V roku 1928 na Rádiologickom kongrese v Štokholme boli založené medzinárodné organizácie International Commission on Radiological Units (ICRU) a International Commission on Radiological Protection (ICRP), ktoré už v roku 1934 dosiahli medzinárodné uznanie tolerančnej dávky. Bola ňou hodnota 0,2 R za deň. Výbor pre jednotky rtg. žiarenia (predchodca ICRU) bol zriadený už v roku 1925 na kongrese v Londýne a na kongrese v Štokholme v roku 1928 bol prijatý jeho prvý návrh na zavedenie jednotky rtg. žiarenia – Röntgen. Odvodenie tejto hraničnej dávky bolo s ohľadom na neznalosť biologických účinkov žiarenia viac sociálnym a politickým rozhodnutím (ICRU, 1934).

Uvedené Medzinárodné organizácie zohrávajú kľúčovú úlohu v ochrane pred žiarením až do súčasnosti a ich cieľom je:

- zabudovať pokrok a výsledky výskumu rôznych odvetví vedy do medzinárodných odporúčaní,
- neustále zvyšovať kvalitu ochrany ľudí a životného prostredia pred nepriaznivými účinkami IŽ,
- prostredníctvom medzinárodných kontaktov a úzkou spoluprácou s nadnárodnými a národnými spoločnosťami prenášať odporúčania do legislatívnych úprav a štandardov radiačnej ochrany.

1.1. Kľúčové etapy vývoja radiačnej ochrany

Počiatočná fáza(1928-1955)

Túto fázu charakterizuje ochrana zameraná na udržanie dávok ionizujúceho žiarenia (IŽ) pod úrovňou deterministických účinkov, s veľkou benevolenciou pri nízkych dávkach žiarenia.

V priebehu štyridsiatich rokov boli publikované správy, dokumentujúce určité zvýšenie úmrtnosti na rôzne druhy zhubných nádorových ochorení u bývalých rádiológov (Weiss, 1942). Bolo zrejmé, že takéto ochorenia môžu vyvolať aj nižšie dávky. Údaje o expozícii rádiológov síce neboli známe, avšak zdalo sa málo pravdepodobné, aby absorbovaná dávka mohla spôsobiť štrukturálne poškodenia ožiareného tkaniva.

V priebehu päťdesiatich rokov sa postupne objavilo päť epidemiologických štúdií, na základe ktorých bolo možné uviesť do vzájomného vzťahu nárast úmrtnosti na zhubné nádorové ochorenia s veľkosťou absorbovanej dávky (Holthusen, 1959). Tieto štúdie v rozhodujúcej miere prispeli k objasneniu niekoľkých otázok a umožnili:

- kvantifikovať nárast úmrtnosti na zhubné nádorové ochorenia pri známej absorbovanej dávke,
- popísať všeobecný tvar závislosti „absorbovaná dávka - účinok“,
- naznačiť, že zhubné nádorové ochorenia môžu byť vyvolané aj pri nízkych dávkach a zrejme neexistuje žiadna „prahová dávka“, pod ktorou nemôže dôjsť k ochoreniu.

Potvrdilo sa, že závažné účinky IŽ, pred ktorými je potrebné sa chrániť, nezahrňujú len prahové deterministické formy poškodenia funkcie alebo štruktúry tkaniva, ale aj výskyt bezprahových (stochastických) foriem, hlavne karcinogénnych a genetických poškodení.

Spolu s rozvojom mierového využívania atómovej energie a napredovaním jadrového priemyslu, sa začali diskutovať o potrebnej ochrane a o vhodných tieniacich materiáloch. Systematickejšie hodnotenie rizikovosti práce s ionizujúcim žiarením sa začalo vyžadovať predovšetkým vo väčších jadrovo-výskumných centrách, kde sa grupovali prvé generácie profesionálnych zdravotných fyzikov. Začiatkom 50-tych rokov možno hovoriť o založení odboru, pôvodne zameraného viac na odhad profesionálnej expozície, ako na usmerňovanie ožiarovania prírodnými zdrojmi IŽ, alebo pri lekárskejších expozíciách. Postupne sa zväčšujúce znalosti podstaty fyzikálnych procesov ovplyvnili plánovanie nových pracovísk tak, aby sa stupeň ožiarovania zredukoval na najnižšiu možnú mieru.

Už od prvých krokov bolo zrejmé, že profesia radiačnej ochrany vyžaduje dynamický multidisciplinárny výskum, podporovaný rozvojom prístrojovej vybavenosti, metód monitorovania a doplnený vhodnými legislatívnymi úpravami. Do popredia začína vystupovať vedecké hodnotenie rizika a úrovne ochrany zdravia. Bolo potrebné zodpovedať na otázku,

čo je „primerane bezpečné“ ak vychádzame z toho, že žiadna ľudská činnosť alebo prostredie nie sú bezpečné. Predpokladalo sa, že spoločným rysom škodlivých účinkov na zdravie je strata dĺžky a kvality normálneho spôsobu života.

Stredná fáza (1955-1990)

Obdobie presadenia tzv. etickej stratégie s klasickou „cost-benefit“ analýzou, ktorej cieľom je odpoveď na otázku, koľko nás ochrana stojí a koľko ľudských životov je možné zachrániť. Táto filozofia zdôrazňuje ochranu spoločnosti.

ICRP sa pokúsila kvantifikovať úroveň ochrany zdravia pre rôzne škodlivé účinky v pracovnom a životnom prostredí (ICRP 1977, ICRP 1986). Ukázalo sa, že priemerné ožiarenie jednotlivca v pracovnom procese sa udržiava na hodnotách okolo 5 mSv za rok. Vznik prahového poškodenia pri týchto expozíciách je vylúčený.

Dnes možno povedať, že primeranosť kritérií pre ochranu zdravia pred ionizujúcim žiarením v tom období predstihli prístupy využívané v ochrane pred väčšinou iných karcinogénov v životnom prostredí. K dispozícii sú celosvetové prehľady experimentálnych, rádiobiologických a epidemiologických štúdií s potrebnými dozimetrickými údajmi (BEIR-III, 1980, UNSCEAR, 1985).

Problémom však naďalej ostáva objasnenie závažnosti poškodenia zdravia veľmi nízkymi dávkami. Pre štatistické preukázanie zvýšeného výskytu nádorových ochorení pri dávkach menších ako 10 mSv by bolo potrebné v epidemiologických štúdiách sledovať rádovo miliónové populácie. Takéto štúdie však nie sú k dispozícii. Ak sa nepotvrdí, že zhubné nádorové ochorenia vyvolané ionizujúcim žiarením, majú odlišné charakteristiky ako rovnaké ochorenia objavujúce sa spontánne, nemôžeme očakávať, že riziko poškodenia zdravia pri veľmi nízkych dávkach ožiarenia bude možné určiť priamo.

Hypotéza o lineárnom bezprahovom vzťahu medzi dávkou a účinkom (ICRP, 1985), bola dôsledkom domnienky, že žiadna dávka nie je bezpečná a akékoľvek ožiarenie môže spôsobiť zdravotnú ujmu. V 80-tych rokoch vznikol ucelený systém obmedzenia dávok pre plánované činnosti, ktorý sa opiera o kvantifikáciu rizika z ožiarenia. Boli zavedené základné princípy radiačnej ochrany : zdôvodnenie, optimalizácia a limitovanie.

Súčasná fáza (od 1990)

Prijateľnosť ožiarenia pracovníkov so zdrojmi ionizujúceho žiarenia i obyvateľstva sa posudzuje podľa toho, či zdroje IŽ sú pod kontrolou, alebo sa vymkli spod kontroly.

Nový komplex odporúčaní, počínajúc dokumentom ICRP 60 (ICRP, 1990) zavádza obmedzenia individuálnych dávok (vzťahujúcich sa k zdroju žiarenia), upravuje a zdôrazňuje princíp optimalizácie, stanovuje zásahové úrovne pre prípad havárie, odporúča nové limity pre pracovníkov, definuje odvodené zásahové úrovne pre radón v pobytových priestoroch a na pracoviskách, vytvára koncept obmedzení tzv. „constrains“ (ani najviac exponovaný jednotlivец nepodstupuje nadmerné riziko), ďalej definuje referenčné úrovne v diagnostickej rádiológii, stanovuje podmienené a nepodmienené úrovne uvoľňovania rádioaktívnych látok do životného prostredia.

Jednotlivé pojmy a definície budú podrobnejšie diskutované v nasledujúcich kapitolách.

2. PRINCÍPY A METÓDY KONTROLY V RADIÁČNEJ OCHRANE

Najvýznamnejšie tri princípy v radiačnej ochrane sú **odôvodnenie, optimalizácia a limitovanie**. Ich koncepty boli prvýkrát uvedené do života v Odporúčaní Medzinárodnej Komisie pre rádiologickú ochranu (ICRP 26, 1977). Vývoj prístupu ochrany čerpal aj z obecných princípov rozhodovania a z vývoja techniky, ktorá rozšírila uplatnenie aplikácie ionizujúceho žiarenia aj počet ožarovaných osôb.

Odôvodnenie činnosti

Každá činnosť, ktorá vedie k ožiareniu osôb musí byť zdôvodnená spoločenským prínosom, ktorý prevýši zdravotnú ujmu a náklady spojené s touto činnosťou. Pri odôvodňovaní sa postupuje v dvoch rovinách, „všeobecnej“ a „individuálnej“. V oboch prípadoch musí byť zodpovedaná zložitá otázka, akým spôsobom posúdiť prevýšenie prínosu nad ujmu. Pritom zdravotné poškodenie nie je jediným aspektom odôvodnenia, ale významnú úlohu zohrávajú aj potrebné náklady, rýchlosť, presnosť a prístupnosť vybranej činnosti vedúcej k ožiareniu. Ako príklad zvažovania odôvodnenosti môžu slúžiť požiarne hlásiče so zabudovanými zdrojmi ionizujúceho žiarenia doteraz hromadne používané, no v súčasnosti postupne nahrádzané inými alternatívnymi zariadeniami bez zdrojov žiarenia. Hľadisko ochrany pred žiarením musí byť v každom prípade kvalifikovane uplatnené a riadne dokumentované, najmä v posudzovaní alternatív v prípravnej fáze rozhodovania.

Pri lekárskom využívaní IŽ sú významnou oporou dodržiavania princípu odôvodnenia európske smernice tzv. „indikačné kritériá“, ktoré usmerňujú lekárov predpisujúcich rádiologické vyšetrenia. Smernice okrem obecného odôvodnenia uvádzajú ďalšie rozhodujúce faktory, ktoré vyjadrujú individuálny prístup (vek pacienta, možná gravidita a pod.).

Pri odôvodneniach činností so zdrojmi IŽ, od najjednoduchších po najzložitejšie, je správne rozhodnutie možné len na základe dostatočných informácií o charaktere činnosti podporených špeciálnou výchovou zainteresovaných fyzikov, rádiobiológov a lekárov. Na mieste je tiež pravidelné preverovanie, či výkon činností so zdrojmi IŽ je stále oprávnený (v zmysle nových poznatkov a pokroku v danej oblasti).

Optimalizácia

Vo vzťahu k ľubovoľnému zdroju IŽ pri danej činnosti, optimalizácia v radiačnej ochrane všeobecne znamená, že celkový rozsah ožiarenia (veľkosť osobných dávok, počet exponovaných osôb, atď.) musí byť udržiavaný na najnižšej možnej úrovni a v súlade s rozumne dosiahnuteľnými ekonomickými a spoločenskými faktormi (princíp ALARA). Takýto postup odzrkadľuje úsilie znížiť veľkosť odôvodneného ožiarenia (aj keď je jeho hodnota pod limitom) pomocou obmedzovania dávok jednotlivcov (dose constrains), resp. obmedzením rizika v prípade potenciálnej expozície (risk constrains). V posledných troch dekádach sa dosiahol významný pokrok v optimalizácii, najmä dôsledným dodržiavaním správnej technológie, kontrolou kvality, ale predovšetkým zvyšovaním požiadaviek na znalosti personálu, ktorý činnosti so zdrojmi IŽ vykonáva. Optimalizácia je úzko prepojená s procesom odhadu rizika.

Počas prevádzky sú možné zmeny stupňa ochrany pomocou zmeny počtu a kvalifikácie zúčastnených osôb, zmenou organizácie práce, úpravou monitorovania a pod.

Optimalizácia má viesť k zisteniu aké ožiarenie je prijateľné v daných podmienkach, musí sa teda nachádzať v oblasti dávok pod limitnými hodnotami individuálnych dávok.

Programy zabezpečenia kvality sú významnou metódou prispievajúcou ku optimálnej radiačnej ochrane, primeranej objektívnym možnostiam a potrebám .

Limitovanie

Ožiarenie jednotlivcov, ktoré je výsledkom kombinácie relevantných činností so zdrojmi IŽ , musí byť regulované limitmi dávok, resp. obmedzeniami rizika v prípade potenciálnej expozície. Cieľom limitovania je zabezpečiť, aby žiaden jednotliviec exponovaný ionizujúcemu žiareniu, za normálnych okolností nebol vystavený neakceptovateľnému riziku počas celého života. Limity dávok sú zvolené tak, aby ožiarenie pod týmito hodnotami zaručovalo, že nedôjde ku vzniku vážnych dlhodobých dôsledkov vo forme nádorového ochorenia, prípadne dedičných poškodení, t.j. k výskytu stochastických účinkov.

Odlíšné sú limity pre ochranu očných šošoviek, kože a extrémít voči poškodeniu žiarením, t.j. výskytu deterministických účinkov. Tieto limity sú podstatne vyššie ako pri stochastických účinkoch v dôsledku vedeckých poznatkov o prahových dávkach pre poškodenie jednotlivých orgánov.

Limity ročných dávok podľa platnej legislatívy SR sú uvedené v tab.č. 2.1 (Nariadenie vlády SR č. 345/2006 Z.z.) a členia sa na limity pre obyvateľstvo, pre pracovníkov ako aj pre študentov a praktikantov vo veku od 16 do 18 rokov. Sú stanovené pre celotelovú efektívnu dávku, ekvivalentnú dávku v očnej šošovke, v koži (priemerná dávka na ploche 1 cm² najviac ožiarenej kože, v horných končatinách od prstov až po predlaktie a v nohách od chodidiel až po členky.

Zvláštne limity sú stanovené pre ožiarenie dobrovoľníkov pri starostlivosti o pacientov, návštevníkov a pre ožiarenie plodu.

Odvodené limity pre vonkajšie ožiarenie sú:

- 500 mSv za kalendárny rok pre osobný dávkový ekvivalent v hĺbke 0,07 mm
- 20 mSv za kalendárny rok pre osobný dávkový ekvivalent v hĺbke 10 mm

Odvodené limity pre vnútorné ožiarenie sú:

- pre príjem rádionuklidov požitím hodnoty podielu 20 mSv a konverzného faktora pre príjem rádionuklidov požitím pracovníkmi so zdrojmi IŽ podľa Nariadenia vlády SR, č.345/2006 Z.z.
- pre príjem rádionuklidov vdýchnutím hodnoty podielu 20 mSv a konverzného faktora pre príjem rádionuklidov vdýchnutím pracovníkmi s IŽ, podľa NV SR č. 345/2006 Z.z.

Významné poznámky k limitom dávky:

- nepredstavujú hrubú demarkačnú čiaru medzi „bezpečnou“ a „nebezpečnou“ dávkou, keďže riziko dlhodobých účinkov ionizujúceho žiarenia je založené na pravdepodobnosti,
- rozdielne limity pre pracovníkov a pre jednotlivcov z populácie sa zdôvodňujú určitým čistým prínosom z ožiarenia u pracovníkov, najmä zo spoločenského hľadiska a ekonomického prínosu,

- udržiavať úroveň ožiarenia pod limitnými hodnotami nie je dostatočné, nadradenou požiadavkou je udržiavanie dávok na tak nízkej úrovni, ako je to možné (ALARA).

| Limit | Obyvatelia [mSv] | Pracovníci [mSv] | Študenti a praktikanti [mSv] |
|--|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| efektívna dávka | 1 | 100(50) * | 6 |
| ekvivalentná dávka v očnej šošovke | 15 | 150 | 50 |
| ekvivalentná dávka v koži | 50 | 500 | 150 |
| ekvivalentná dávka v rukách a v nohách | - | 500 | 150 |

* efektívna dávka 100 mSv počas piatich za sebou nasledujúcich rokoch pričom v žiadnom roku nesmie prekročiť 50 mSv.

Tab. č. 2.1.: Základné ročné limity dávok

3. MONITOROVANIE IONIZUJÚCEHO ŽIARENIA V RADIAČNEJ OCHRANE

Pod monitorovaním sa rozumie ciele meranie veličín charakterizujúcich ionizujúce žiarenie. Jeho účelom je zabezpečenie optimálnej úrovne ochrany osôb ako aj pracovného alebo životného prostredia pred škodlivými účinkami ionizujúceho žiarenia

Monitorovanie zahŕňa meranie veličín charakterizujúcich pole žiarenia, ako aj interpretáciu a hodnotenie ožiarenia profesionálnych pracovníkov a ďalších potenciálne ožiarovaných jednotlivcov z populácie. Rozsah monitorovania, hodnotenia a overovania príslušných veličín, parametrov a iných skutočností dôležitých z hľadiska radiačnej ochrany musí zodpovedať rozsahu a spôsobu výkonu činností vedúcich k ožiareniu. Uskutočňuje sa na pracoviskách s ionizujúcim žiarením ako aj v životnom prostredí.

Program monitorovania obecné pozostáva z:

- monitorovania pre bežnú prevádzku,
- pre predvídateľné odchýlky od bežnej prevádzky,
- pre prípady radiačných nehôd a radiačných havárií

Obsahom monitorovania je najmä:

- vymedzenie veličín, ktoré je potrebné monitorovať,
- spôsob vyhodnocovania výsledkov merania,
- hodnoty referenčných úrovní a prehľad príslušných opatrení pri ich prekročení,
- špecifikácia metodík detekcie žiarenia, spôsobu, rozsahu a frekvencie meraní, ako aj stanovenie neistôt,
- výber vhodných meracích zariadení a ich parametrov.

Monitorovanie sa všeobecne delí na **kontinuálne** (nepretržité), **periodické** a **operatívne** monitorovanie. Cieľom kontinuálneho monitorovania je preukázať, že pracovné podmienky zostávajú stále bezpečné. Úlohou pravidelného monitorovania je potvrdzovať bezpečnosť pracovných podmienok v stanovených časových intervaloch. Cieľom operatívneho monitorovania je zhodnotiť a zabezpečiť prijateľnosť určitej vybranej činnosti vedúcej k ožiareniu.

3.1. Monitorovanie pracoviska so zdrojmi IŽ

Monitorovaním pracovného prostredia sa získavajú podklady pre posúdenie optimalizácie radiačnej ochrany na danom pracovisku a overuje sa, či pracovné podmienky zodpovedajú podmienkam vydaného povolenia k nakladaniu so zdrojmi ionizujúceho žiarenia

Pri začatí prác, pri zmenách pracovných postupov a pri každej zmene, ktorá môže mať vplyv na radiačnú ochranu (RO) sa musí zabezpečiť meranie príkonu priestorového a smerového dávkového ekvivalentu, objemovej aktivity a ďalších veličín pri zdroji IŽ na všetkých miestach pracoviska, do ktorých má pracovník vykonávajúci činnosti vedúce k ožiareniu prístup. Monitorovanie povrchovej rádioaktívnej kontaminácie sa na pracoviskách s otvorenými zdrojmi IŽ vykonáva tak, aby signalizovalo odchýlky od bežnej prevádzky a nedostatočnú funkciu alebo zlyhanie ochranných bariér. Na základe vopred vypracovaného monitorovacieho plánu pracoviska je možné rozhodnúť o typoch a rozmiestnení monitorovacích zariadení, ktoré zabezpečia správne a dostatočne presné meranie veličín charakterizujúcich radiačné pole. Týmito veličinami sú operačné veličiny: príkon priestorového a smerového dávkového ekvivalentu a osobný dávkový ekvivalent, ktoré sú definované pre praktické merania, pre monitorovanie priestoru a osôb a musia umožňovať rozumný odhad veličín radiačnej ochrany, pre hodnoty ktorých sú stanovené limity a ktoré nie sú priamo merateľné (stredná dávka v tkanive, ekvivalentná dávka v orgáne alebo v tkanive, efektívna dávka).

Operačné veličiny sú odvodené z dávkového ekvivalentu v bode priestoru, fantómu alebo tela. Závisia od typu a energie žiarenia v bode a preto môžu byť vypočítané na základe známej fluencie častíc v bode. V zmysle definície musia operačné veličiny zachovať charakter bodových veličín a mať vlastnosť aditivity. To je možné dosiahnuť zavedením rozšírených a usmernených polí žiarenia. Rozšírené pole žiarenia je definované ako pole, v ktorom fluencia a jej smerové a energetické rozdelenie sú v celom objeme záujmu rovnaké ako v referenčnom bode. V rozšírenom a usmernenom poli sú fluencie a ich energetické rozdelenie rovnaké ako v rozšírenom poli, ale žiarenie sa šíri iba v jednom smere.

Priestorový dávkový ekvivalent $H^*(d)$ v danom bode poľa žiarenia je daný ako dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedajúcim rozšíreným a usmerneným poľom v hĺbke d ICRU gule na polomere, ktorý mieri proti pohybu častíc v usmernenom poli. Pritom sa musí špecifikovať hĺbka d , ktorá sa udáva v mm. Bežne používané hodnoty d sú rovnaké ako v prípade osobného dávkového ekvivalentu. K meraniu je potrebné, aby pole žiarenia bolo rovnomerné cez celý objem detektora a detektor mal izotropnú odozvu.

Smerový dávkový ekvivalent $H'(d, \Omega)$ v danom bode poľa žiarenia je dávkový ekvivalent vytvorený zodpovedným rozšíreným poľom v hĺbke d ICRU gule na polomere v smere Ω . Opäť je nutné špecifikovať hĺbku d a navyše udať smer Ω , čo vyžaduje voľbu referenčného systému súradníc, v ktorom sa príslušný uhol udáva. Pre meranie smerového dávkového ekvivalentu je potrebné, aby pole žiarenia bolo rovnomerné v celom objeme detektora a detektor mal požadovanú smerovú odozvu.

Osobný dávkový ekvivalent $H_p(d)$ je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodne určenej hĺbke d pod špecifickým bodom na povrchu tela.

Tieto operačné veličiny sú definované pre odhad parametrov radiačnej ochrany (H_{och})

- strednej dávky v orgáne alebo tkanive D_t ,

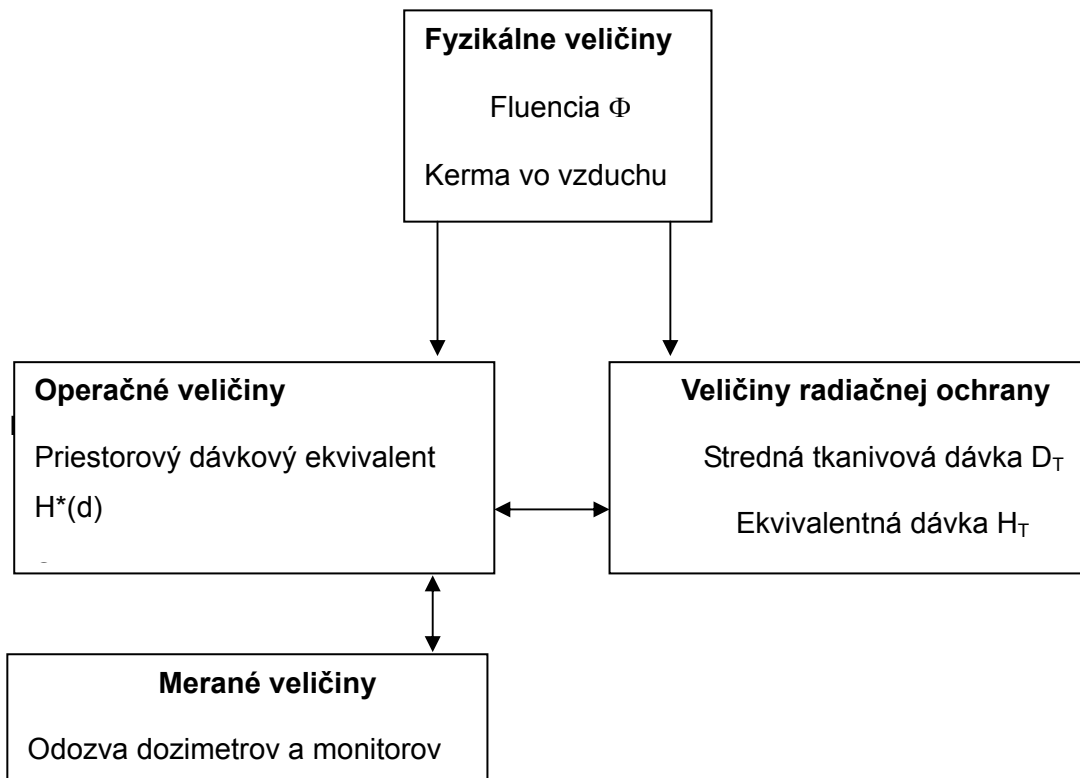
- ekvivalentnej dávke v orgáne alebo v tkanive H_t ,
- efektívnej dávky E .

Parametre radiačnej ochrany nie sú priamo merateľné, sú definované tak, aby odzrkadľovali zdravotné poškodenie a slúžia ako hodnoty základných limitov. Predpokladá sa pritom, aby pre jednotlivé hodnotenia expozície platilo, že $H_{och} \leq H_{op}$, pričom táto nerovnosť nesmie byť významná.

Na obrázku č. 3.1.1.. je uvedená schéma vzťahov medzi veličinami slúžiacimi k monitorovaniu externého ožiarenia.

Vo všeobecnosti, medzi opatrenia redukujúce externé ožiarenie patrí:

- ochrana časom – účinky žiarenia sú úmerné dávke, radiačné pole je charakterizované príkonovými veličinami (údaje v časovom intervale),
- ochrana vzdialenosťou – pri bodovom zdroji ionizujúceho žiarenia je znižovanie príkonových veličín priamo úmerné štvorcu vzdialenosti
- ochrana tienením – aktívna a pasívna



Obr. č.3.1.1.: Vzťahy medzi veličinami pre účely monitorovania externého ožiarenia.

Na základe monitorovania pracovného prostredia sa získavajú podklady pre posúdenie optimalizácie radiačnej ochrany na danom pracovisku a pre overenie pracovných podmienok požadovaných pri vydaní povolenia na pracovisko so zdrojmi IŽ a na činnosti vedúce k ožiareniu.

V závislosti na charaktere rizika ožiarenia sa na pracovisku zavádza:

- rutinné (pravidelné) monitorovanie, ktoré sa vykonáva trvale, alebo v pravidelných

intervaloch sa opakuje,

- havarijné monitorovanie, ktoré sa vykonáva pri radiačnej nehode, alebo mimoriadnej situácii.
- operačné monitorovanie, ktoré sa vykonáva v súvislosti s posúdením rizika a prijateľnosti určitej mimoriadnej práce.

Dozimetrické prístroje používané pre monitorovanie musia byť metrologicky overené, vykazovať rýchlu reakciu na zmenu príkonu dávky, necitlivosť na iné fyzikálne a chemické vplyvy. Musia mať vhodné technické parametre a relatívne jednoduché postupy vyhodnocovania.

3.1.1. Monitorovanie okolia pracoviska

Pracoviská so zdrojmi IŽ, ktoré vypúšťajú rádioaktívne látky (RA) do životného prostredia (ŽP) musia mať zabezpečené aj monitorovanie svojho okolia. Monitorovanie sa musí vykonávať v takom rozsahu, aby bola zabezpečená kontrola dodržiavania povolených hodnôt pre vypúšťanie RA látok do ŽP, včasné zistenie prípadných únikov RA látok do ŽP, a aby mohol byť zhodnotený vplyv úniku a jeho dôsledky na zdravotný stav obyvateľstva v okolí pracoviska a na životné prostredie.

Monitorovanie okolia pracoviska sa zabezpečuje sieťou vopred vybraných meracích bodov a trás, na ktorých sa realizujú merania priestorového dávkového ekvivalentu. Na základe odberu vzoriek a stanovení koncentrácie rádionuklidov v ovzduší, v povrchových vodách a vo vybraných zložkách životného prostredia sa stanovuje veľkosť a distribúcia efektívnych dávok žiarenia a úväzkov efektívnych dávok z rádionuklidov uvoľňovaných z pracoviska so zdrojmi IŽ. Monitorovanie vypúšťania RA látok do ovzdušia a povrchových vôd z pracovísk so zdrojmi IŽ obsahuje **sústavné (bilančné) merania** všetkých rádionuklidov, ktoré významne prispievajú k ožiareniu obyvateľstva a **nepretržité merania** reprezentatívnych rádionuklidov, ktoré umožňujú rýchlu signalizáciu odchýlok od bežnej prevádzky. Monitorovanie okolia pracoviska zabezpečuje pracovisko, ktoré RA látky do ŽP vypúšťa.

3.1.2. Metódy monitorovania pracovného prostredia

Monitory pracovného prostredia sa delia podľa účelu ich použitia na rádiometre, spektrometre, priemyselné meracie zariadenia a podľa druhu na kontinuálne (priebežná informácia o okamžitej hodnote meranej veličiny) a integrálne (signál rastie s dobou ožarovania). Podľa princípu detekcie a funkcie sa detektory IŽ delia na:

- elektrické detektory (ionizačné komory, G-M počítače, proporcionálne a polovodičové detektory),
- scintilačné detektory,
- pasívne detektory

Ionizačné komory

Uplatňujú sa pre všetky typy žiarenia a podľa predpokladanej úrovne dozimetrickej veličiny pracujú buď v impulznom, alebo prúdovom režime. Použitie vhodného materiálu

stien a náplne komory, optimalizácia tvaru a rozmerov, tlaku, kompenzácie odozvy pomocou absorbčných filtrov, umožňuje ich univerzálne využitie. Gama žiarenie možno detegovať od energie 40 keV v rozsahu dávkových príkonov od 10^{-7} až do $1 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. V zmiešaných poliach neutrónov a gama žiarenia sa využívajú kombinácie komôr, z ktorých jedna má steny a náplň z tkanivoekvivalentného materiálu bohatého na vodík a druhá grafitovú stenu a náplň CO_2 . Ionizačnými komorami je možné merať aj beta žiarenie a nízkoenergetické žiarenie, ak je komora vybavená okienkom a clonou. Meranie s clonou a bez clony umožňuje odlíšiť podiel silno a slabo ionizujúceho žiarenia v danom radiačnom poli.

G-M detektory a proporcionálne počítače

G-M detektory sa stále uplatňujú pre ich univerzálnosť a nízku výrobnú cenu. V poslednej dobe sa využíva miniaturizácia G-M detektor a automatizácia vyhodnocovania dát. Proporcionálne počítače sa využívajú najmä v dozimetrii a spektrometrii neutrónov. Medzi najznámejšie proporcionálne počítače patrí Rossiho detektor a tlakové detektory, ktoré dovoľujú získať informáciu o spektre intermediálnych a rýchlych neutrónov.

Scintilačné a polovodičové detektory

Tieto typy detektorov sa používajú ako integrálne detektory s využitím koincidencie a antikoincidencie, alebo ako spektrometrické zostavy umožňujúce stanoviť energetickú distribúciu žiarenia. Podobne ako u ionizačných komôr je možné, na základe vhodnej voľby scintilačného či polovodičového detektora monitorovať prakticky akékoľvek pole žiarenia. Pre svoju vysokú citlivosť sa stále používa NaI(Tl) detektor, uplatňujú sa však plastické aj kvapalné scintilátory. Pre dozimetriu zmiešaných polí beta a gama žiarenia sa využívajú veľmi tenké scintilačné detektory. V dozimetrii neutrónov sa uplatnili diferenciálne spektrometrické metódy s organickými scintilátormi. Pre polovodičové detektory platí to isté čo pre scintilačné detektory a ich význam spočíva najmä v laboratórnej praxi rozlíšenia aktivít rádionuklidov v meraných vzorkách

4. ZÁKLADNÉ VELIČINY POUŽÍVANÉ V DOZIMETRII A V OCHRANE PRED IONIZUJÚCIM ŽIARENÍM

Základné veličiny používané v dozimetrii a ochrane pred ionizujúcim žiarením delíme na fyzikálne veličiny, operačné veličiny, veličiny radiačnej ochrany a merané veličiny. Tieto veličiny charakterizujú zdroje ionizujúceho žiarenia, pole ionizujúceho žiarenia ako aj potreby ochrany pred žiarením.

4.1. Veličiny charakterizujúce zdroje ionizujúceho žiarenia

Základnou veličinou charakterizujúcou zdroj ionizujúceho žiarenia z hľadiska množstva rádioaktívnej látky, ktorú obsahuje je *aktivita* A . Je definovaná ako podiel stredného počtu samovoľných rádioaktívnych premien z daného energetického stavu v určitom množstve rádioaktívnej látky dN , ku ktorému dôjde za časový interval dt a tohto intervalu:

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

Jednotkou aktivity je *becquerel* [Bq] s rozmerom v sústave SI [s⁻¹] a predstavuje jednu rádioaktívnu premenu za jednu sekundu. Predtým sa používala jednotka *Curie* [Ci], ktorá zodpovedala aktivite 1g ²²⁶Ra. Medzi jednotkou Bq a Ci platí prevodový vzťah:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Odvodenými veličinami aktivity rádionuklidu sú hmotnostná aktivita, objemová aktivita a plošná aktivita. Hmotnostná aktivita sa vzťahuje na jednotku hmotnosti rádioaktívnej látky a jej jednotkou je [Bq.kg⁻¹]. Objemová aktivita sa vzťahuje na jednotku objemu rádioaktívnej látky. Jej jednotkou je [Bq.m⁻³]. U plošných zdrojov žiarenia sa hovorí o plošnej aktivite. Jednotkou plošnej aktivity je [Bq.m⁻²] (Hušák a Filip, 1998, Musílek, 2000).

4.2. Veličiny charakterizujúce pole ionizujúceho žiarenia

V okolí zdrojov ionizujúceho žiarenia existuje určité pole žiarenia, ktoré je charakterizované veličinou fluencia častíc (hustota prechádzajúcich častíc). Fluencia častíc je definovaná ako podiel počtu častíc dN , ktoré vstúpili do gule s plošným obsahom dS hlavného rezu:

$$\phi = \frac{dN}{dS}$$

Jednotkou fluencie častíc je [m⁻²]. Hustotu prechádzajúcich častíc za časový interval vyjadruje príkon fluencie častíc (hustota toku častíc), ktorého jednotkou je [m⁻².s⁻¹].

Ďalšími veličinami charakterizujúcimi pole ionizujúceho žiarenia sú fluencia energie (hustota prechádzajúcej energie), ktorej jednotkou je [J.m⁻²] a príkon fluencie energie (hustota toku energie), ktorej jednotkou je [W.m⁻²] (Hušák a Filip, 1998, Musílek, 2000, Stadtman, 2001).

4.3 Veličiny charakterizujúce interakciu ionizujúceho žiarenia s hmotou

Základnou veličinou charakterizujúcou interakciu ionizujúceho žiarenia s hmotou je absorbovaná dávka D . Je definovaná ako podiel strednej energie odovzdanej ionizujúcim žiarením látke $d\varepsilon$ a hmotnosti látky, ktorej bola energia odovzdaná dm :

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

Jednotkou absorbovanej dávky je gray [Gy], ktorý sa rovná energii 1 joule absorbovanej v 1 kg látky. Staršou jednotkou absorbovanej dávky bol *rad*, ktorého vzťah k terajšej jednotke gray je 1 rad = 10⁻² Gy.

Absorbovaná dávka popisuje fyzikálne efekty v danej látke, nemožno ju preto oddeliť od látky, v ktorej je stanovovaná. Nemôžeme hovoriť o absorbovanej dávke ako takej, musí byť uvedená spoločne s materiálom, napr. absorbovaná dávka v mäkkom tkanive a pod. Absorbovaná dávka popisuje odovzdávanie energie za určité časové obdobie.

Okamžitú situáciu vyjadruje príkon absorbovanej dávky \dot{D} (dávkový príkon). Je to prírastok absorbovanej dávky dD za určitý časový interval dt :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednotkou je [Gy.s⁻¹].

Absorbovaná dávka sa vzťahuje k odovzdávaniu energie v danom mieste (t.j. z nabitých častíc na častice látky). Ak sú primárne častice nenabité, prvým krokom ich interakcie s látkou je odovzdanie energie na nabitú časticu.

Tento krok popisuje veličina kerma K (z anglického „Kinetic Energy Released in Matter“ – kinetická energia uvoľnená v látke). Táto veličina bola navrhnutá na opis účinkov nepriamo ionizujúceho žiarenia, medzi ktoré patrí aj röntgenové žiarenie využívané pri rádiologických vyšetreniach. Kerma je definovaná v danom bode ako podiel súčtu počiatkových kinetických energií E_K všetkých nabitých častíc uvoľnených nenabitými ionizujúcimi časticami (nepriamo ionizujúcim žiarením) v elemente látky s hmotnosťou dm a tejto hmotnosti:

$$K = \frac{\Sigma E_K}{dm}$$

Kerma je tiež definovaná vo vzťahu k danej látke, napr. kerma vo vzduchu, tkanive a pod. Z definície je zrejmé, že je použiteľná len pre nenabité častice. Jednotkou je rovnako ako u dávky [Gy]. Za podmienok rovnováhy nabitých častíc sa kerma rovná absorbovanej dávke. Podobne ako dávkový príkon je definovaný aj kermový príkon \dot{K} .

Historicky najstaršou dozimetrickou veličinou je expozičia X . Jej podstatným obmedzením je skutočnosť, že je definovaná len pre fotónové žiarenie vo vzduchu. Je to podiel absolútnej hodnoty celkového elektrického náboja dQ iónov rovnakého znamienka, vytvorených vo vzduchu pri úplnom zabrzdení všetkých elektrónov a pozitronov, ktoré boli uvoľnené vo vzduchu s hmotnosťou dm a tejto hmotnosti, určený v danom bode:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Expozícia je definovaná výlučne pre vzduch. Jednotkou je [C.kg⁻¹]. V staršej literatúre sa môžeme stretnúť tiež s jednotkou röntgen (R), odvodenou od náboja o veľkosti jednej elektrostatickej jednotky. Nepraktický prevodný vzťah $1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} C.kg^{-1}$ a hlavne skutočnosť, že zavedením jednotiek SI prestal platiť pre fotóny vo vzduchu síce približný, ale užitočný vzťah $1 rad = 1 R$, viedli k nahradeniu expoziície z radiačnej ochrany veličinou kerma (ICRU, 1993, Hušák a Filip, 1998, Musílek, 2000, Stadtmann, 2001).

Pri rozbere účinkov ionizujúceho žiarenia na živú hmotu je základnou veličinou absorbovaná dávka v skúmanej hmote. Absorbovaná dávka je však makroskopickou veličinou a nezahrňuje okamžité lokálne rozloženie energie odovzdanej hmote, ktoré môže ovplyvniť výsledné účinky žiarenia. Mnoho účinkov vyvolaných ionizujúcim žiarením (chemické zmeny, genetické mutácie, smrť buniek a pod.), závisia od priestorového rozloženia jednotlivých prenosov energie ionizujúcich častíc na ožarovanú hmotu. Z toho dôvodu bola zavedená veličina lineárny prenos energie (LET). Je definovaná ako podiel strednej energie prenesenej v danom mieste nabitou časticou na elektróny dE , pri jej pohybe po dráhe $d\ell$, ktorú ionizujúca častica prešla:

$$L = \frac{dE}{d\ell}$$

Jednotkou lineárneho prenosu energie je $[J.m^{-1}]$. Často sa používa aj jednotka $[keV.\mu m^{-1}]$, pričom platí prevodový vzťah $1keV.\mu m^{-1} = 1,602.10^{-10} J.m^{-1}$ (ICRU, 1993, Hušák a Filip, 1998, Musílek, 2000).

Veličiny používané v ochrane pred ionizujúcim žiarením

Absorbovaná dávka, kerma a fluencia častíc nemôžu byť použité priamo na limitovanie radiačnej záťaže z dvoch hlavných dôvodov:

- rôzne druhy žiarenia majú pri rovnakej dávke rôzny biologický účinok,
- rôzne tkanivá a orgány majú odlišnú radiosenzitivitu.

Z toho dôvodu museli byť zavedené ďalšie veličiny použiteľné v ochrane pred žiarením. Na charakterizovanie rôznej biologickej účinnosti jednotlivých typov žiarenia bola zavedená veličina dávkový ekvivalent H . Dávkový ekvivalent je definovaný ako súčin absorbovanej dávky D v tkanive a faktora kvality žiarenia Q :

$$H = D.Q$$

Faktor kvality žiarenia Q vyjadruje rozdielnu biologickú účinnosť rôznych druhov žiarenia a má preto rôzne číselné hodnoty pre jednotlivé druhy žiarenia (pre fotóny röntgenového a γ žiarenia a pre β žiarenie $Q = 1$, pre neutróny a protóny $Q = 10$ a pre α žiarenie $Q = 20$). Pretože Q nemá rozmer, jednotkou dávkového ekvivalentu je $[J.kg^{-1}]$. Aby sa táto jednotka odlišila od jednotky absorbovanej dávky, používa sa pre ňu špeciálny názov *sievert* [Sv]. Pre röntgenové, γ a β žiarenie platí, že 1 Sv sa rovná 1 Gy (ICRU, 1993, IAEA, 1996, Hušák a Filip, 1998, Musílek, 2000).

V roku 1990 nahradila ICRP vo svojich odporúčaní č. 60 dávkový ekvivalent veličinou ekvivalentná dávka (H_T). Ekvivalentná dávka sa využíva v ochrane pred žiarením pri ožiarení jednotlivých tkanív alebo orgánov. Je definovaná ako súčin strednej absorbovanej dávky v tkanive alebo orgáne D_T a príslušného radiačného váhového faktora w_R :

$$H_T = w_R D_T$$

Radiačný váhový faktor w_R slúži, podobne ako faktor kvality žiarenia, na vyjadrenie rôznej biologickej účinnosti rôznych druhov žiarenia. Radiačný váhový faktor sa vzťahuje hlavne k miere neskorých účinkov ionizujúceho žiarenia, ktoré majú stochastický charakter.

Ekvivalentná dávka nereprezentuje účinky ionizujúceho žiarenia na človeka pri veľkých absorbovaných dávkach a nemožno ju teda použiť k určaniu pravdepodobných včasných následkov pri radiačných nehodách. Preto sa používa na vyjadrenie radiačnej záťaže len v oblasti radiačných limitov a nižších dávok. Jednotkou ekvivalentnej dávky je sievert, ktorého hodnoty sa používajú v ochrane pred žiarením na porovnávanie hodnôt H_T s príslušnými hodnotami limitov. Odvedenou veličinou je príkion ekvivalentnej dávky \dot{H}_T , ktorý je definovaný ako podiel prírastku ekvivalentnej dávky v určitom časovom intervale a tohto časového intervalu. Jednotkou je $[Sv.s^{-1}]$.

Ďalšou zavedenou veličinou bola *efektívna dávka* E , ktorá sa využíva v ochrane pred žiarením pri celotelovom ožiarení. Vznikla z potreby rovnakou mierou vyjadriť ožiarenie rôznych častí tela pri celotelovom ožiarení. Je to súčet stredných hodnôt ekvivalentných

dávok v jednotlivých tkanivách alebo orgánoch H_T , vynásobených tkanivovým váhovým faktorom w_T :

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Tkanivový váhový faktor w_R vyjadruje relatívnu zdravotnú ujmu spojenú so stochastickými účinkami žiarenia v tkanive alebo orgáne pri rovnomernom ožiarení celého tela, pričom platí:

$$\sum_T w_T = 1$$

Váhové faktory ukazujú, aký podiel z celkového rizika celotelového ožiarenia pripadá na každú jednotlivú časť organizmu. Jednotkou efektívnej dávky je sievert [Sv].

Keďže ekvivalentná dávka a efektívna dávka nie sú merateľnými veličinami, odporúčania ICRU č. 51 z roku 1993 opäť považujú za základnú veličinu v ochrane pred žiarením dávkový ekvivalent.

Súčasný systém veličín a limitov v radiačnej ochrane je kompromisným riešením a delí veličiny používané v ochrane pred žiarením na tie, ktoré sú určené pre meranie a výpočty a tie, ktoré slúžia k limitovaniu ožiarenia obyvateľstva, pracovníkov a pacientov. Prvé sú založené na dávkovom ekvivalente, druhé z časti na ekvivalentnej dávke a z časti na efektívnej dávke (Obr.č.3.1.1.).

Na ekvivalentnej a efektívnej dávke sú založené napr. veličiny úväzok ekvivalentnej dávky a úväzok efektívnej dávky, ktoré slúžia na limitovanie ožiarenia pri vnútorných žiaričoch (rádionuklidoch). Dôležitými sú aj veličiny kolektívna ekvivalentná dávka a kolektívna efektívna dávka slúžiace na limitovanie ožiarenia určitých skupín populácie (pracovníci s ionizujúcim žiarením) alebo celej populácie. Uvedené kompromisné riešenie je len dočasným riešením a v budúcnosti určite dôjde k jeho ďalším úpravám (ICRU, 1993, Musílek, 2000, Stadtman, 2001).

V decembri 2007 vydala Medzinárodná Komisia pre Rádiologickú Ochranu (ICRP) nové Odporúčania č.103 (Anály ICRP 37 (2-4) Amsterdam, Elsevier 2007), ktoré nahrádzajú doterajšie Odporúčania ICRP 60 z roku 1990. Kľúčovou zmenou nových Odporúčaní je prehodnotenie hodnôt tkanivových váhových faktorov na základe výsledkov rádiobiologického výskumu a epidemiologických štúdií o incidencii nádorových ochorení v exponovaných skupinách obyvateľstva a zodpovedajúcich výpočtov rizika.

5 . OSOBNÁ DOZIMETRIA

Osobná dozimetria slúži k stanoveniu osobných dávok sledovaním, meraním a hodnotením vonkajšieho a vnútorného ožiarenia pracovníkov s ionizujúcim žiarením. Externé ožiarenie osôb je dôsledkom prítomnosti rádionuklidov v životnom a pracovnom prostredí. Tieto rádionuklidy sú prírodného charakteru (predovšetkým rádionuklidy uránovej premenovej rady, thoriovej premenovej rady, draslík), umelé rádionuklidy, ktoré sa v životnom prostredí nachádzajú v dôsledku ľudskej činnosti.

Pod vnútorným ožiarením sa vo všeobecnosti rozumie situácia, keď je osoba ožarovaná rádionuklidmi v organizme, pritom vnútorná kontaminácia môže vzniknúť v dôsledku príjmu rádionuklidov nasledovnými cestami:

- ingesciou, teda prechodom rádioaktívneho materiálu ústami do zažívacieho traktu,
- inhaláciou, t.j. vdýchnutím rádioaktívnej látky vo forme aerosólu, pary, plynu a pod. spolu so vzduchom,
- prestupom cez poranenie kože,
- absorpciou cez neporanenú kožu.

Na pracoviskách, kde môže prísť k vnútornému ožiareniu pracovníkov, sa príjmy rádionuklidov, resp. úväzky efektívnej dávky od vnútorného ožiarovania zisťujú meraním aktivity rádionuklidov v tele pracovníka, alebo v jeho exkretách a tieto sa prepočítavajú na príjem s využitím modelov dýchacieho traktu, zažívacieho traktu a kinetiky príslušných prvkov. Pri prepočte aktivít prijatých rádionuklidov na úväzok efektívnej dávky sa využívajú konverzné faktory podľa platnej legislatívy (NV SR č. 345/2006 Z.z.).

V programe osobného monitorovania sa vymedzujú tzv. referenčné úrovne, ktoré predstavujú hodnoty alebo kritéria rozhodujúce pre určité, vopred stanovené pracovné postupy. Referenčné úrovne sa odvodzujú od stanovených limitov pre profesionálnych pracovníkov a delia sa na:

- **Záznamová úroveň** - stanovuje *najnižšiu* hodnotu monitorovanej veličiny, od ktorej má význam ju hodnotiť a zaznamenávať v dokumentácii. Stanovuje sa ako 1/10 limitov, pričom metódy monitorovania sa volia tak, aby najmenšia detegovateľná hodnota meranej veličiny bola menšia, alebo rovná stanovenej záznamovej úrovni.
- **Vyšetrovaciu úroveň** - spravidla sa stanovuje ako horná medza obvykle sa vyskytujúcich hodnôt. Jej prekročenie je dôvodom pre následné vyšetrovanie príčin a možných dôsledkov zistenej odchýlky sledovanej veličiny od dlhodobého priemeru. Spravidla sa stanovuje ako 3/10 príslušného limitu.
- **Zásahová úroveň** - signalizuje *mimoriadnu udalosť* alebo *radiálnu nehodu* a je podnetom k okamžitému varovaniu a podniknutiu krokov k ochrane osôb a prostredia podľa havarijného poriadku pracoviska. Stanovuje sa spravidla na úrovni platného limitu.

5.1. Základné veličiny v osobnom monitorovaní

Pre monitorovanie osôb, ICRU Report 51 z roku 1993 uvádza koncept osobného dávkového ekvivalentu $H_p(d)$, ktorý je vhodný tak pre silne ako aj slabo prenikavé žiarenia v závislosti od hodnoty d . Osobný dávkový ekvivalent $H_p(d)$ je teda dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodne určenej hĺbke d pod špecifickým bodom na povrchu tela. Špecifický bod obvykle predstavuje umiestnenie osobného dozimetra. Hrúbka $d = 10$ mm sa používa na stanovenie celkovej efektívnej dávky. Hrúbka $d = 0,07$ mm a 3 mm sú hĺbky pre stanovenie ekvivalentnej dávky kože a očných šošoviek. Mäkkým tkanivom sa rozumie štvorprvkové tkanivo definované v ICRU 39. Definícia $H_p(d)$ je reálna, keďže zahrňuje ľudské telo a aktuálne polia žiarenia. Umiestnenie osobného dozimetra a špecifický bod na ľudskom tele už nie je tak jednoznačne odporúčaný, preto dochádza k rozdielnym hodnoteniam $H_p(d)$ aj v prípade rovnakého poľa žiarenia. Napriek tomu, že $H_p(d)$ je definované v tele, v praxi sa hodnotí detektor exponovaný na povrchu tela a prikrytý vhodnou hrúbkou tkanivo-ekvivalentného materiálu.

V praxi možno očakávať tri typy ožiarovania pracovníka, poprípade ich kontamináciu:

- dominantne v smere predozadnom (v prípade, že pracovník sa pri práci nachádza čelom k zdroju žiarenia).
- zo zadného polopriestoru (v prípade transportu rádioaktívnych látok),
- sféricky izotropným poľom (v poli rozptýleného žiarenia a zmenách orientácie pracovníka voči polohe zdroja)

Voľba osobného dozimetra závisí okrem charakteru radiačného poľa aj na tom, akú dozimetrickú informáciu má poskytnúť. V praxi sa najčastejšie používajú nasledujúce typy osobných dozimetrov:

- dozimetre fotónov (informujú o hodnote veličiny $H_p(10)$ v poliach gama a rtg. žiarenia),
- dozimetre gama a beta žiarenia (súčasne informujú o hodnotách $H_p(0,07)$ a $H_p(10)$ v radiačnom poli),
- komplexné dozimetre, ktoré pracujú na diskriminačnom princípe (informujú o $H_p(0,07)$, $H_p(10)$, type žiarenia, jeho efektívnej energii a o orientácii osoby v poli žiarenia),
- dozimetre neutrónov (informujú o $H_p(10)$ v poli neutrónového žiarenia),
- dozimetre extrémít (informujú o uhlovej distribúcii poľa žiarenia a veľkosti ožiarenia v oblasti extrémít a očných šošoviek).

5.2. Metódy osobnej dozimetrie

Pre monitorovanie osobných dávok IŽ boli vytvorené predpoklady v rámci rádiologického kongresu vo Frankfurtke už v roku 1950. Tieto všeobecné požiadavky vychádzajú zo skutočnosti, že osobný dozimeter je vždy umiestnený na ľudskom tele a jeho údaj je ovplyvnený spätným rozptylom, modifikáciou a absorpciou radiačného poľa ľudským telom.

Zásadné požiadavky na veličiny charakterizujúce *vonkajšie ožiarenie* osôb možno špecifikovať nasledovne. Veličina musí:

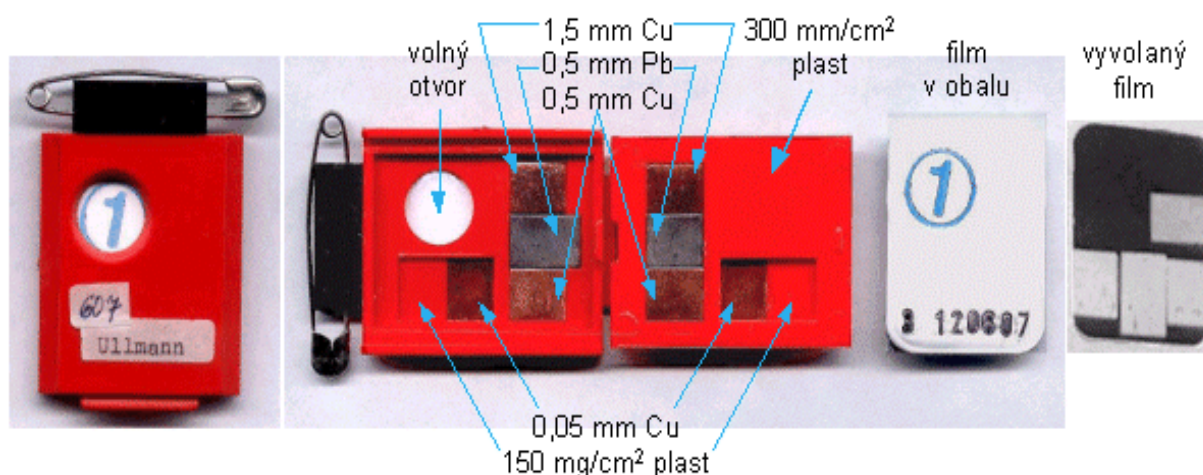
- byť definovaná v bode a jej hodnota musí zodpovedať poľu žiarenia v blízkosti umiestnenia dozimetra,
- predstavovať dozimetrickú veličinu, ktorá pokrýva široký rozsah rôznych typov žiarenia a rôznych energií,
- byť aditívna,
- umožniť odhad efektívnej dávky a dávky na kožu pre najviac exponované situácie (celotelová expozícia, ožiarenie dopadajúce z rôznych smerov a pod.),
- byť uhlovo závislá.

Správny odhad efektívnej dávky prostredníctvom $H_p(d)$ je možný iba v prípade rovnomerného ožiarenia tela, umiestnenia dozimetra na reprezentatívnom mieste pre konkrétne ožiarenie a zvolený dozimeter má vhodnú energetickú a uhlovú závislosť odozvy. Pre sledovanie veličín osobnej dozimetrie, používané osobné dozimetre musia byť kalibrované na fantóme v súlade s predošlými požiadavkami.

5.3. Charakteristika najčastejšie používaných osobných dozimetrov

Filmové osobné dozimetre

Filmové dozimetre sú založené na fotochemických účinkoch ionizujúceho žiarenia. Fotografické emulzie pozostávajú z mikroskopických zŕn bromidu striebra, rozptýlených v želatíne. Typický rozmer zŕn je (0,2 – 2,0) μm . Fotoemulzia je nanosená na fotografický film, zabalený do čierneho papiera. Ionizujúce žiarenie prechádzajúce obalom filmu vytvára vo fotoemulzii latentný obraz, ktorý sa zviditeľní vyvolaním. Mierou ožiarenia je optická hustota sčernenia filmu stanovená fotometricky a indikujúca dávku žiarenia, ktorá by bola absorbovaná v tkanive vystavenom expozícii. Filmový dozimeter (obr.č. 5.3.1.) sa umiestňuje do dozimetrickej kazety vybavenej kompenzačnými filtermi. Sada filtrov je väčšinou z Cu, Al, Pb, Sn a pod. V mnohých poliach žiarenia pre hodnotenie efektívnej dávky postačuje odozva filmového dozimetra pod Pb filtrom a bez filtra. Naopak, v poliach beta žiarenia a v nízkoenergetických poliach rŕg. žiarenia sa využívajú kombinácie odoziev netieneného filmu a filmu pod tenkými Cu filtermi. Vyššie energie fotónov (nad 100 keV) vyžadujú použitie filtrov s vysokým atómovým číslom. Vhodne zvolená kombinácia filtrov umožňuje diskrimináciu nízkoenergetických elektrónov od dopadajúcich fotónov a korekciu na odozvu vysokoenergetických fotónov. Prídavný kadmiový filter umožňuje detegovať tepelné a intermediálne neutróny v dôsledku (n-gama) reakcie v kadmiu.



Obr.č.5.3.1...: Filmový osobný dozimeter

Termoluminiscenčné dozimetre

Termoluminiscencia je fyzikálny jav vyskytujúci sa bežne v prírode. Látky schopné vykazovať túto vlastnosť sa po ožiarení IŽ dostávajú do excitovaného stavu, pričom sa energia preniesie na valenčné elektróny. Ak je táto energia dostatočná, dochádza k prechodu elektrónov na vyššiu úroveň a elektróny môžu prejsť do vodivostného pásu. Ak sa termoluminiscenčná látka použitá ako detektor zahrieva, energia zachytených elektrónov vzrastá a tým vzrastá aj možnosť ich uvoľnenia z pascí. Množstvo excitovaných elektrónov, ktoré sa z látky uvoľňujú, emitujú fotóny v závislosti od termoluminiscenčného materiálu. Emitované svetlo, označované ako TL signál je funkciou teploty a nazýva sa vyhrievacia krivka. Detekcia vyžarovanej energie sa uskutočňuje scintilačnými detektormi. Najznámejšie

TL materiály používané v osobnej dozimetrii sú lítium florid (LiF) aktivovaný titanom a magnéziom, ďalej CaF_2 , MgBeO_4 a podobne.

Prednosťami TL detektorov (obr.č.5.3.2.)je tkanivoekvivalentnosť, vysoká citlivosť a možnosť presného merania odozvy, široká oblasť lineárnej závislosti medzi dávkou a odozvou detektora, možnosť mnohonásobného použitia, malé rozmery, existencia sofistikovaných vyhodnocovacích systémov, ktoré umožňujú automatické vyhodnotenie.

Nevýhodou TL detektorov je citlivosť na svetlo (vyžaduje sa svetlotesný obal) a k odhadu energetickej distribúcie poľa žiarenia je potrebné použiť sadu absorbných filtrov.



Obr.č. 5.3.2.: Osobný termoluminiscenčný dozimeter

Opticky stimulované luminiscenčné dozimetre

Opticky stimulované luminiscenčné dozimetre tvoria významnú skupinu osobných dozimetrov založenú na tvorbe ionizujúcim žiarením indukovaných luminiscenčných centier v striebrom dopovaných fosfátových sklách. Luminiscencia je vybudená osvetlením ožiareného detektora UV svetlom. Podobne ako u termoluminiscenčných detektorov je vyžiarené svetlo úmerné dávke IŽ, ktoré bolo absorbované v detektore. Vyznačujú sa dlhodobou stabilitou odozvy, vysokou citlivosťou a nízkou energetickou závislosťou. V súčasnosti sa využívajú opticky stimulované rádioluminiscenčné dozimetre $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$, ktorých výhodou je možnosť rýchleho optického odčítavania dávky. V týchto stále častejšie používaných detektoroch sa pre stimuláciu prechodu elektrónov využívajú lasery.

Aktívne elektronické dozimetre

V modernej praxi radiačnej ochrany je nevyhnutné využívať aktívne (väčšinou elektronické) dozimetre (APD) ako operatívne nástroje pre dodržiavanie princípu ALARA (as low as reasonably achievable). APD sú veľmi užitočné pre personál pracujúci v prostredí premenných a vysokých dávkových príkonov, nakoľko umožňujú sledovať akumulovanú dávku a dávkový príkon, ako aj zvukovo signalizovať prekročenie nastavených úrovní. APD detegujú fotóny a elektróny pomocou polovodičových Si detektorov s využitím rôznych filtrov, alebo energeticky kompenzované G-M trubice. Jedným zo sľubných a rozšírených dozimetrov tejto skupiny sú tzv. pasívne elektronické dozimetre (Obr.č. 5.3.3.), označované

ako „Direct-Ion-storage“ (DIS), založené na princípe kombinácie IK s tkanivoekvivalentnými stenami, do ktorej je zabudovaná pamäťová jednotka (MOSFET tranzistor). Zmena elektrického náboja po ožiarení DIS zodpovedá veľkosti obdržanej dávky. Výhodou je možnosť archivácie zaznamenaných údajov, široký rozsah meraných dávok (10 μ Sv – 10Sv), linearita odozvy, nízka energetická závislosť. DIS je vhodný aj pre registráciu dávok z beta žiarenia, najmä v nukleárnej medicíne ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{85}Kr , ^{147}Pm).



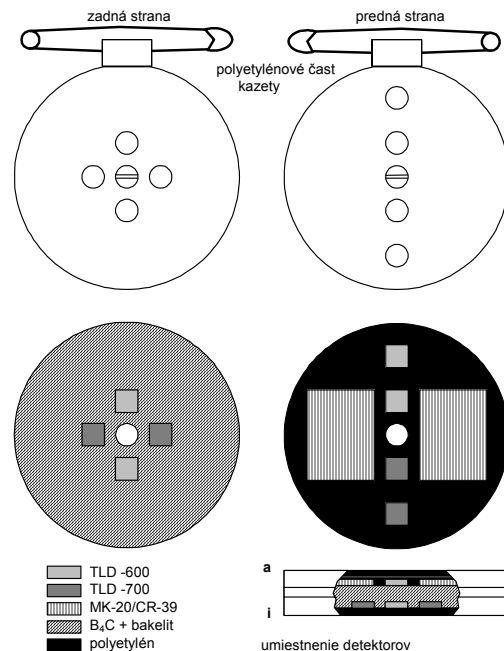
Obr.č.5.3.3.: Pasívny elektronický dozimeter DIS s vyhodnocovacím zariadením

Neutrónové celotelové dozimetre

S ohľadom na veľkú energetickú závislosť efektívnej dávky a $H_p(10)$ na jednotkovej fluencii neutrónov, vyžaduje osobná dozimetria neutrónov špeciálne metódy pre jednotlivé energetické oblasti. Pre tepelné a intermediálne neutróny prevládajú reakcie na vodíku a dusíku. Pri vyšších energiách od desiatok keV do 10 MeV je hlavnou interakciou pružný rozptyl na vodíku produkujúci odrazené fotóny. V súvislosti s tým sú najčastejšie používané detektory založené na princípe detektorov stôp v pevnej fáze, na albedo dozimetrii, na využívaní jadrových emulzií. V poslednom období sa do popredia dostávajú bublinkové detektory. V oblasti detektorov stôp v pevnej fáze sa obvykle využívajú tri typy detektorov, ktoré sa líšia materiálom radiátora pre vytvorenie sekundárne nabitých častíc. Pre detekciu tepelných a intermediálnych neutrónov sa využívajú uránové radiátory, obohatené o ^{235}U . Pre detekciu rýchlych neutrónov slúžia radiátory na báze ^{237}Np , ^{232}Th a ^{238}U . Kombinácia detektorov s dvoma radiátormi (^{235}U , ^{232}Th) je možné využiť k odhadu podielu rýchlych a intermediálnych neutrónov. Ako detektory rýchlych neutrónov, ktoré pracujú na báze odrazených protónov sa používajú látky bohaté na vodík (polykarbonáty, nitráty, celulózy, CR-39). Z merania parametrov stôp je možné odhadnúť aj energiu neutrónov.

Špecifickú skupinu osobných neutrónových dozimetrov tvoria albedo dozimetre. Sú založené na detekcii neutrónov rozptýlených a spätne odrazených v ľudskom tele a vstupujúcich do detektora zo zadného polopriestoru. Ako albedo dozimeter (Obr.č.5.3.4.) najčastejšie slúžia TL dozimetre, ale používajú sa aj detektory stôp v pevnej fáze, resp. štiepne detektory. Najznámejší je dozimeter tvorený dvojicou ^6LiF - ^7LiF s rozdielnou citlivosťou k neutrónom. Účinný prierez reakcie n-alfa na ^6LiF je o niekoľko rádov vyšší ako ^7LiF , ale citlivosť na gama žiarenie je v podstate rovnaká. Odozva albedo dozimetra je však silne energeticky závislá. Preto je možné používať albedo dozimetre len na základe kalibrácie v neutrónových poliach obdobných, aké sa vyskytujú v praxi. Dostatočne presný

odhad dávky od neutrónov v neznámych neutrónových poliach je možné pomocou albedo dozimetrov získať len vtedy, ak je k dispozícii informácia o podiele rýchlych neutrónov, resp. spektrálna distribúcia neutrónového žiarenia. Výhodou albedo dozimetra je, že umožňuje okrem odhadu dávky od neutrónov, získať aj odhad dávky od gama žiarenia.



Obr.č.5.3.4.: Konštrukcia univerzálneho albedo dozimetra

Bublínkové dozimetre sú založené na princípe interakcie neutrónov s elastickým polymérom, ktorý je zmiešaný s kvapkami prehriatej kvapaliny (napr. freón). Interakciou neutrónov s polymérom vznikajú protóny, ktoré po zrážke s kvapkami prehriatej kvapaliny vytvára viditeľné bubliny v polyméri. Počet vytvorených bublín je úmerný dávke neutrónov, absorbovanej v detektore. V súčasnosti sa vyrábajú priamo odčítateľné operatívne dozimetre s možnosťou automatického počítania bublín (Obr.č.5.3.5.), pre hromadné spracovávanie odoziev. Výhodou týchto dozimetrov je vysoká citlivosť k neutrónom a praktická necitlivosť ku gama žiareniu. Nevýhodou je vysoká citlivosť detektora k vonkajšej teplote a malý rozsah merateľných dávok neutrónov.



Obr.č. 5.3.5.: Bublínkový neutrónový dozimeter

5.4. Monitorovanie extrémít a očných šošoviek

Ideálny osobný dozimeter by mal obecné zaznamenávať dávky od všetkých typov žiarenia, ktoré sa významnou mierou podieľajú na vonkajšom ožiarení pracovníka. V prípade, ak radiačné pole obsahuje významný podiel slabo prenikavého žiarenia (žiarenie beta, elektróny a fotóny s energiou menšou ako 30 keV) sa vyššie uvedená podmienka nedá splniť použitím jediného dozimetra, nakoľko $H_p(0,07)$, resp. $H_p(0,03)$ môže vykazovať vyššiu hodnotu, ako referenčný dozimeter $H_p(10)$. Preto v odporúčaní ICRP ako aj v slovenskej legislatíve sú uvedené limity ekvivalentných dávok pre extrémity a očné šošovky. Pracovníka je potrebné vybaviť ďalšími dozimetrami na ruky, očné šošovky alebo iné miesta tela, ktoré sú pri danej praktickej činnosti vystavené ožiareniu v silne nehomogénnych radiačných poliach, v ktorých hodnoty $H_p(0,07)$ alebo $H_p(0,03)$ môžu významne prekračovať $H_p(10)$ alebo pracuje v okolí vymedzeného zväzku žiarenia a vo vzdialenosti menšej ako 0.1 m od zdroja žiarenia. Špecifickým prípadom je ožiarenie pracovníkov pri intervenčných rádiologických vyšetreniach, pri manipulácii s veľkým množstvom otvorených rádioaktívnych látok, resp. úzkym zväzkom urýchľovačov častíc.

Dozimetre pre stanovenie dávok extrémít a očných šošoviek vo väčšine prípadov využívajú TL materiály s ohľadom na energetickú závislosť a vhodné rozmery. Najčastejšie využívané sú TLD typu LiF a $Li_2B_4O_7$. Detektory musia spĺňať podmienku, aby neprišlo k zoslabeniu slaboprenikavého žiarenia dozimetrom a robustnosti voči manuálnym výkonom pracovníkov. Komerčne dostupné dozimetre pozostávajú preto z rovnomerne tenkej vrstvy TL materiálu o hrúbke (5 – 10) $mg.cm^{-2}$ sendvičovo umiestnenej v tenkom bakelitovom kryte o hrúbke (3-4) $mg.cm^{-2}$. Známe sú najmä prstové dozimetre (Obr.č.5.3.6).



Obr.č.5.3.6.: Prstové dozimetre pre monitorovanie extrémít

Pre odhad ekvivalentných dávok očných šošoviek v radiačných poliach s energiou väčšou ako 20keV sa využívajú hrubšie TLD materiály (cca 200 mg.cm⁻²). V súčasnosti sa zavádzajú elektronické monitorovacie systémy extrémít a očných šošoviek, ktorých výhodou je spojitý odčítavanie príkonu ekvivalentnej dávky v priebehu pracovného procesu.

Voľba umiestnenia dozimetra extrémít (pravá, ľavá ruka, prstenník, dlaň...) významne ovplyvňuje hodnotu ekvivalentnej dávky. Preto ekvivalentná dávka v koži sa určuje ako priemerná dávka na ploche 1 cm² najviac ožiarenej kože bez ohľadu na veľkosť ožiarenej plochy kože. To znamená, že je potrebné identifikovať s čo najväčšou presnosťou najvyššie hodnoty ekvivalentnej dávky, ktorá sa môže meniť v závislosti od zvoleného pracovného postupu až o 30% pri výkone rovnakej činnosti. Dozimetre extrémít a očných šošoviek sú veľmi dôležité v nukleárnej medicíne a to najmä pri zavádzaní nových pracovných metód k overeniu dodržiavania princípu ALARA (as low as reasonably achievable).

5.5. Radiačná ochrana v jadrovej energetike

Súvislosť medzi jadrovou bezpečnosťou jadrových elektrární a ich radiačnou ochranou je vyjadrená v definícii jadrovej bezpečnosti, podľa atómového zákona č.541/2004 Z.z. O mierovom využívaní jadrovej energie (Atómový zákon),. Ktorá znie: „jadrová bezpečnosť AE je schopnosť osôb obsluhujúcich jadrové zariadenie zabrániť nekontrolovanému rozvoju štiepnej reťazovej reakcii , alebo nekontrolovanému úniku rádioaktívnych látok, resp. ionizujúceho žiarenia do životného prostredia“. V podmienkach normálnej prevádzky sa riadne zabezpečenie jadrovej bezpečnosti prejavuje dodržiavaním predpísaných hodnôt plyných a kvapalných výpustí do životného prostredia, ako aj neprekročením stanovených limitov dávok pre pracovníkov. Preto sú sledované parametre radiačnej ochrany v podmienkach normálnej prevádzky významným indikátorom úrovne zabezpečenia jadrovej bezpečnosti a súčasne tiež indikátorom jej porušenia.

Neprekročenie limitov pre vypúšťanie, ktoré sú stanovené pre každé jadrové zariadenie zvlášť, sa preukazuje bilančným monitorovaním vypúšťaných izotopov a vzácnych plynov.

5.5.1.Ochrana pracovníkov JEZ.

Primárnym rizikom pre pracovníkov JEZ je riziko vonkajšieho ožiarovania. Pre radiačnú ochranu pracovníkov JEZ platia pritom rovnaké princípy ako na ostatných pracoviskách so zdrojmi žiarenia. Z hľadiska klasifikácie technologických priestorov JE sa tieto delia na priestory obsluhované , neobsluhované(za prevádzky neprístupné) a čiastočne obsluhované. V obsluhovaných priestoroch je možné priamo odvodiť z Nariadenia vlády SR č.345/2006 Z.z. rozumne dosiahnuteľnú úroveň ochrany pracovníkov. Ak sa totiž zvolí smerná hodnota 1 mSv a počet hodín odpracovaných za rok neprekročí 2000 h, potom efektívna dávka neprekročí nikdy smernú hodnotu. V takýchto priestoroch nie sú potrebné žiadne ďalšie opatrenia ani optimalizačné analýzy.

Zvláštny režim z hľadiska radiačnej ochrany vyžaduje manipulácia s vyhoretým jadrovým palivom. V tlakovodných reaktoroch sú palivové články po skončení kampane premiestňované pomocou zavážacieho stroja do bazénu vyhoreteho paliva. Bazén je v blízkosti šachty reaktora a transport palivových článkov sa uskutočňuje pod vodou. To znamená že riziko ožiarovania sa významne znižuje vrstvou vody a konštrukčnými materiálmi bazénu. Po niekoľkoročnom skladovaní v bazéne poklesne tepelný výkon palivových

súborov a dávkový príkon na povrchu obalov s palivovými článkami natoľko, že môžu byť premiestnené do špeciálnych transportných kontajnerov, ktoré majú plynutesnú izoláciu vnútorného obsahu a chránia palivové súbory pred vonkajším mechanickým poškodením.

Monitorovanie pracoviska JEZ poskytuje informáciu o príkone ekvivalentných dávok a o objemovej aktivite rádionuklidov v ovzduší, v rôznych častiach elektrárne. Tieto hodnoty sú podmienkou pre uplatnenie princípu optimalizácie radiačnej ochrany. Zároveň charakterizuje stav najvýznamnejších technologických komponentov, resp. prípadné odchýlky od normálnej prevádzky. Systém monitorovania vnútorných priestorov JE je najdôležitejšou súčasťou projektu elektrárne a musí obsahovať podrobné údaje o typoch používaných meradiel, ich rozmiestnenie, ako aj technické riešenie prenosu nameraných údajov a ich vyhodnotenie.

5.5.2. Osobné monitorovanie v JE

Osobné monitorovanie slúži predovšetkým na reguláciu osobných dávok a ich udržiavanie na rozumne dosiahnuteľnej nízkej úrovni. Musí poskytovať nielen informáciu o celkovej efektívnej dávke jednotlivca v sledovanom období, ale tiež distribúciu tejto dávky v závislosti od uskutočňovaných činností (pomocou operatívnych dozimetrov). Usmerňovať sa musia aj osobné dávky údržbárom pri dodávateľských prácach a špecifikovať všetky technické prostriedky a metodiky, ktoré budú používať.

Významný podiel údržbárskych prác na kolektívnej efektívnej dávke je zrejmy najmä pri odstávke reaktora z dôvodov generálnej opravy.

Priemerná efektívna dávka na jedného pracovníka a kolektívna efektívna dávka na jednotku vyrobenej elektrickej energie, sú merítkom pre úroveň radiačnej ochrany v JEZ a umožňuje vzájomné porovnanie bezpečnosti jednotlivých jadrovo-energetických zariadení.

Napriek skutočnosti, že príspevok úväzku kolektívnej efektívnej dávky z príjmu rádionuklidov je malý (zvyčajne menej ako 1%) musí sa venovať trvalá pozornosť kontrole vnútorného ožiarovania pracovníkov. Vybraní pracovníci sú pravidelne monitorovaní celotelovým počítačom a tiež sa sleduje aktivita trícia v ich moči.

Optimalizácia ochrany sa týka najmä rozhodovania o spôsobe používania vhodných ochranných pomôcok, ktoré znižujú riziko vonkajšej a vnútornej kontaminácie pracovníka.

5.5.3. Ochrana obyvateľov v okolí JEZ

Mierou kvality technologického zariadenia je ožiarenie jednotlivca z obyvateľov, resp. kritickú skupinu obyvateľov, v dôsledku rádioaktívnych výpustí do okolia elektrárne. Kritickou skupinou sa rozumie homogénne ožarovaná skupina ľudí, u ktorých je efektívna dávka, alebo ekvivalentná dávka jednotlivca vyššia ako u ktoréhokoľvek jednotlivca z ostatnej populácie.

Ochrana obyvateľov je legislatívne podchytená vo Vyhláske ÚJD SR č.245/1999 Z.z.

LITERATÚRA

- Marcus, 1896 : MARCUSE, V. 1896. Dermatitis and Alopecie nach Durchleuchtungsversuchen mit Röntgenstrahlen. In: Dtsch. Med. Wochenschr. Vol. 22, 1896, s.481
- Frieben, 1902: FRIEBEN, A. 1902. Canceroid des rechten Handrückens nach langdauernder Einwirkung von Röntgenstrahlen. In: Fortschr. Röntgenstr. 6, 1902, s.102
- ICRU, 1934: ICRU, 1934. International commission on radiological Units and Measurements, Washington D.C., 1934
- Weiss, 1942: WEISS, K. 1942. Röntgeschäden der letzten 20 Jahre in den gemeindlichen Krankenhäusern Deutschlands. Strahlentherapie, Vol.72, 1942. s. 307
- Holthusen, 1959: HOLTHUSEN, M., MEYER, H., MOLINEUS, W. 1959. Ehrenbuch der Röntgenologen und Radiologen aller Nationen. Sonderbände zur Strahlentherapie, Vol. 42, 1959, Mníchov
- ICRP 1977: ICRP, 1977. ICRP Publ. No. 26. Recommendation of the ICRP, Annals ICRP, 1, 1977, No. 3.
- ICRP 1986): ICRP, 1985. ICRP Publ. No. 43. Principles of Monitoring of the radiation Protection of the Population. Annals ICRP 15, 1985, No. 1.
- ICRP, 1990: ICRP, 1990. ICRP Publ. No. 60. Recommendations of the ICRP, Vol.21, No.3., 1991
- Nariadenie vlády SR č. 345/2006 Z.z.: NV SR č. 345/2006 Z.z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením.