

# ZÁKLADY RADIAČNEJ OCHRANY

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.

## UČEBNÉ CIELE

Študent by mal poznať etapy vývoja radiačnej ochrany, a mal by vedieť určiť princípy a metódy kontroly v radiačnej ochrane.

## KLÚČOVÉ SLOVÁ

Odôvodnenie činnosti, optimalizácia, limitovanie

## ZÁKLADNÉ VÝCHODISKÁ RADIAČNEJ OCHRANY

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.

Táto kapitola nás oboznámi s fázami vývoja radiačnej ochrany (RO), základnými princípmi RO a základnými limitmi dávok.

## 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 nespôsobili 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 neskôr 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 ožiareného 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.

## *Kľúčové etapy vývoja radiačnej ochrany*

### **Počiatková 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 úmrtia na zhubné nádorové ochorenia s veľkosťou absorbovanej dávky (Holthusen, 1959). Tieto štúdie v rozhodujúcej miere prispeli k objasneniu niekoľkých otázok a umožnili:

- kvantifikovať nárast úmrtia 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 diskusie 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 ožiarenia prírodnými zdrojmi IŽ, alebo pri lekárskejších expozíciách. Postupne sa zväčšujúce znalosti podstaty fyzikálnych procesov ovplyvnili plánovanie nových pracovísk tak, aby sa stupeň ožiarenia 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. „constraints“ (ani najviac exponovaný jednotlivec 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.

## *Princípy a metódy kontroly v radiačnej ochrane*

Najvýznamnejšie tri princípy v radiačnej ochrane sú **odôvodnenie**, **optimalizácia** a **limitovanie** a predstavujú základ RO. Ich koncepty boli prvý krát uvedené do života v ICRP 77. Cieľom tejto kapitoly je vysvetliť uvedené princípy a demonštrovať ich využitie v každodennej praxi radiačnej ochrany.

Úvodom je potrebné vysvetliť niektoré pojmy špecifické pre súčasnú RO, t.j. rozlišovať činnosti, ktoré vedú k nárastu ožiarenia jednotlivca alebo skupiny jednotlivcov, a „potenciálne expozície“, ktoré berú do úvahy, že nie všetky činnosti vedúce k ožiareniu sa uskutočnia v súlade s predpoveďou. Pravdepodobnosť, že dôjde k ožiareniu, sa dá vyjadriť vypracovanými metódami odhadu rizika a nie je obmedzovaná limitmi dávok.

### **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 zváženia odôvodnenosti môžu slúžiť požiarné hlásiče so zabudovanými zdrojmi ionizujúceho žiarenia doteraz hromadne používané, no v súčasnosti postupne nahrádzané inými alternatívnymi zariadeniami bez zdrojov žiarenia.

Pri lekárskom využívaní IŽ sú významnou oporou dodržiavania princípu odôvodnenia európske smernice „indikácie kritériá“ (citácia gajdu), usmerňujúce lekárov indukujúcich 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 constraints), resp. obmedzením rizika v prípade potenciálnej expozície (risk constraints). 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.

## 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.

Odlišné 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 **tabuľke 1** (Nariadenie vlády SR č. 345/2006 Z.z.) a členia sa na limity pre obyvateľstvo, pre pracovníkov a 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 cm<sup>2</sup> najviac ožiarenej kože), v horných končatinách od prstov až po predlaktie a v nohách od chodidiel až po členky.

---

## 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. Röntgenschäden 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, Mnichov
- 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
- citácia gajdu: Referral Guidelines for Imaging. European Commission 2000 – Radiation Protection 118, Directorate – General for Energy and Transport, Directorate H-Nuclear Energy, Unit H.4, Radiation Protection, 2007
- 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.
-

## LIMITY ROČNÝCH DÁVOK

Limitovanie efektívnej dávky udržiava riziko stochastických účinkov na akceptovateľnej úrovni a dodatočné pre zabránenie vzniku deterministických účinkov, s výnimkou očí a kože, v ktorých môžu byť obdržané vysoké miestne dávky.

Limity dávok sa neaplikujú na jednotlivcov, ktorí sa podrobujú vyšetreniu, alebo liečbe s využitím IŽ. Nakoľko expozícia pacientov má obvykle priamy prínos pre pacienta, vyžaduje sa iba, aby lekárske ožiarenie bolo optimalizované a odôvodnené a aplikované dávky boli tak nízke, ako je možné v súlade s diagnostickými a terapeutickými požiadavkami.

**Tab. 1: Základné ročné limity dávok**

Limit	Obyvateli a [mSv]	Pracovníci [mSv]	Študenti a praktickani [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 rokov pričom v žiadnom roku nesmie prekročiť 50 mSv.

### 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).

## KONTROLNÉ OTÁZKY

1. Z akých princípov a poznatkov vychádza ochrana pred ionizujúcim žiarením?
2. Čo znamenajú skratky ICRU a IRP?
3. Čo je cieľom medzinárodných organizácií v radiačnej ochrane?
4. Čo predstavuje termín „etická stratégia“ v radiačnej ochrane?
5. Kedy vznikol ucelený systém obmedzenia dávok pre plánované činnosti?
6. Aké sú základné princípy radiačnej ochrany?

7. Aké aspekty sa berú do úvahy pri odôvodňovaní činností vedúcich k ožiareniu?
8. Čo znamená princíp ALARA?
9. Čo je to optimalizácia v radiačnej ochrane?
10. Čo je cieľom limitovania v radiačnej ochrane?
11. Pre akú populáciu sú určené ročné limity dávok?
12. Aký je ročný limit efektívnej dávky pre obyvateľstvo?
13. Aký je ročný limit efektívnej dávky pre pracovníkov s ionizujúcim žiarením?
14. Aký je ročný limit efektívnej dávky pre študentov?
15. Vysvetlite, prečo sú ročné limity efektívnej dávky odlišné pre pracovníkov s IŽ a pre jednotlivcov z populácie!
16. Aký je ročný limit ekvivalentnej dávky v očnej rohovke pre obyvateľstvo?
17. Aký je ročný limit ekvivalentnej dávky v očnej rohovke pre pracovníkov s IŽ?
18. Aký je ročný limit ekvivalentnej dávky v očnej rohovke pre študentov?
19. Aké sú ročné limity ekvivalentnej dávky v koži pre obyvateľstvo, pre pracovníkov s IŽ a pre študentov?
20. Aké sú ročné limity ekvivalentnej dávky v v končatinách pre pracovníkov s IŽ a pre študentov?

## SÚHRN

**Základné východiská RO** - poznatky o biologických účinkoch žiarenia, poznatky o veľkosti ožiarenia v rôznych skupinách obyvateľstva, spoločenské princípy

**ICRU** - International Commission on Radiological Units

**ICRP** - International Commission on Radiological Protection

**Odôvodnenie činnosti**, ktorá vedie k ožiareniu osôb musí byť zdôvodnená spoločenským prínosom, ktorý prevýši zdravotnú ujmu a náklady spojené s touto činnosťou.

**Optimalizácia** v RO - celkový rozsah ožiarenia musí byť udržiavaný na najnižšej možnej úrovni a v súlade s rozumne dosiahnuteľnými ekonomickými a spoločenskými faktormi (princíp ALARA).

**Cieľom limitovania** je zabezpečiť, aby žiaden jednotlivец exponovaný ionizujúcemu žiareniu, za normálnych okolností nebol vystavený neakceptovateľnému riziku počas celého života.

**Limity ročných dávok** sú zvolené tak, aby ožiarenie pod týmito hodnotami zaručovalo, že nedôjde k výskytu stochastických účinkov IŽ.



Návrat z acrobat readera -  (zatvorením okna)

---

