

Miloš Řehák – Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**MOŽNOSTI OCHRANY OSOB PŘED ÚČINKY ZE VNÍHO
OZÁŘENÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Miloš Řehák

Vedoucí práce: Kuna Pavel, prof., MUDr., DrSc.

2007

WAYS OF PROTECTION OF PERSONS FROM EFFECTS OF EXTERNAL IRRADIATION

Abstract:

The minimal radiation exposure is the main claim for the population protection. It is possible to reach it by the medium of economical and technical available methods.

This bachelor thesis deals with the ways of protection of persons from effects of external irradiation. There are described the sources of ionizing radiation, types of ionizing radiation and interactions of ionizing radiation with material. Then the attention is payed to the ways of protection of person from effects of external irradiation. This work contains recommendations for workers with sources of ionizing radiation and also for patients.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č.111/1998 Sb. souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích

.....

Podpis studenta

Poděkování: děkuji panu prof. MUDr. Pavlu Kunovi DrSc. za trpělivost, energii a čas, který mi při realizaci této práce věnoval a také za cenné podněty a připomínky.

OBSAH

1. ÚVOD

2. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY RADIAČNÍ OCHRANY

2.1 Zdroje ionizujícího záření

2.1.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

2.1.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

2.2 Druhy ionizujícího záření

2.3 Interakce ionizujícího záření s prostředím

2.3.1 Účinky ionizujícího záření

3. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

3.1 Základní principy pro ochranu před zářením

3.2 Systém limitování dávek

4. METODY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ PŘI PRÁCI SE ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

4.1 Ochrana před ionizujícím zářením v medicíně

4.1.1 Ochrana v radiodiagnostice

4.1.1.1 Ochrana pracovníků na oddělení radiodiagnostiky

4.1.1.2 Ochrana pacientů na oddělení radiodiagnostiky

4.1.2 Ochrana v nukleární medicíně

4.1.2.1 Ochrana pracovníků na oddělení nukleární medicíny

4.1.2.2 Ochrana pacientů na oddělení nukleární medicíny

4.1.3 Ochrana v radioterapii

4.2 Ochrana před ionizujícím zářením v jaderných elektrárnách a jejich okolí

4.2.1 Ochrana pracovníků v jaderných elektrárnách

4.2.2 Ochrana obyvatel v okolí jaderných elektráren

4.3 Ochrana před ionizujícím zářením v průmyslové defektoskopii

4.4 Ochrana před ionizující zářením z radionuklidových měřidel

4.5 Ochrana proti ionizujícímu záření při těžbě a zpracování uranu

4.5.1 Ochrana pracovníků při těžbě a zpracování uranu

4.5.2 Ochrana obyvatel v okolí těžby a zpracování uranu

5. DOPORUČENÍ PRO OCHRANU OBYVATELSTVA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM PŘI RADIACNÍ HAVÁRII

5.1 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením doma

5.2 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením v zaměstnání

5.3 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením venku

5.4 Co dělat při styku s radioaktivní látkou

5.5 Jak se chovat při nezbytném opuštění úkrytu

6. METODY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍM OZÁŘENÍM V PROSTORU NAPADENÍ JADERNOU NEBO RADIOLOGICKOU ZBRANÍ

6.1 Ochrana osob před ionizujícím zářením v prostoru radioaktivního zamoření

6.1.1 Ochrana před celotělovým ozářením

6.1.2 Ochrana před ozářením z povrchové kontaminace

6.2 Radiologická zbraň, špinavá bomba

7. OCHRANA OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ POMOCÍ RADIOPROTEKTIVNÍCH LÁTEK

7.1 Mechanismy radioprotekce

7.2 Požadavky na radioprotektivní látky

7.3 Druhy radioprotekce

7.3.1 Druhy chemické radioprotekce

7.3.1.1 Radioprotektiva s krátkodobým účinkem

7.3.1.2 Radioprotektiva s dlouhodobým účinkem

8. CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

9. METODIKA

10. VÝSLEDKY

11. DISKUSE

12. ZÁVĚR

13. SEZNAM LITERATURY

14. KLÍČOVÁ SLOVA

15. SEZNAM PŘÍLOH

16. PŘÍLOHA

1. ÚVOD

Téma mé bakalářské práce zní “Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření“.

Rozvoj radiobiologie začal po objevu X-záření v roce 1895 Wilhelmem Conradem Rentgenem. Rok na to byla popsána radioaktivita uranu Henri Bequerem a v roce 1898 byla objevena radioaktivita polonia a radia Marií Sklodowskou – Curie a Pierrem Curie.

Když na konci druhé světové války vybuchly první atomové zbraně svržené na Japonsko, začali se vědci a lékaři zabývat akutními a pozdními účinky ozáření.

Rozvoj mírového využití jaderné energie přinesl první oběti havárií v mírových podmínkách. Podle rozsahu byla největší havárie černobylského reaktoru na Ukrajině (1986). Dodnes jsou bilancovány následky ozáření a radioaktivní kontaminace a srovnávány s následky pokusných jaderných výbuchů v Tichomoří.

Radiační ochrana si klade za cíl zabránit radiačnímu poškození osob při využívání, pro lidstvo, prospěšných zdrojů ionizujícího záření.

Cílem mé práce je sumarizace stávajících možností ochrany osob před účinky zevního ozáření do přehledného celku.

2. FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY RADIAČNÍ OCHRANY

2.1 Zdroje ionizujícího záření

2.1.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

K přírodním zdrojům ionizujícího záření náleží kosmické záření a přírodní radionuklidy vyskytující se v přírodě, například ^{40}K , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{238}U a jiné.

Rozlišují se tři složky kosmického záření: galaktické záření, sluneční záření a záření radiačních (van Allenových) pásů Země. Galaktické kosmické záření pochází z hlubokých oblastí vesmíru a skládá se z protonů (85 %), jader helia (11 %), těžších jader prakticky všech prvků soustavy (1 %) a elektronů (3 %). Sluneční kosmické záření pochází především ze slunečních erupcí. Je tvořeno z 99% protony, těžší nabitě částice představují méně než 0,1 % celkové fluence. Radiační (van Allenovy) pásy jsou tvořeny protony a elektrony zachycenými magnetickým polem Země v určitých vzdálenostech od jejího povrchu; vnější pás je ve vzdálenosti 20 000 kilometrů, vnitřní ve vzdálenosti 3 000 kilometrů.

Po vstupu do atmosféry interagují částice kosmického záření s přítomnými atomy a molekulami. K zemskému povrchu pronikají hlavně částice vznikající interakcemi zejména primárních fotonů (sekundární složka kosmického záření). K dávkovému ekvivalentu člověka na zemském povrchu přispívají nejvíce muony, s rostoucí nadmořskou výškou roste příspěvek elektronů, ve vzdálenostech větších než desítky kilometrů nejvíce dominují protony. Na radiační zátěži člověka v obvyklých výškách letů letadel se podílí polovinou neutrony a polovinou nabitě částice.

Přírodní radionuklidy se podle původu rozdělují do tří skupin: radionuklidy kosmogenní, primordiální a radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady. Kosmogenní radionuklidy vznikají průběžně v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země. Je to například ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{22}Na .

Primordiální radionuklidy ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{87}Rb vznikly v raných stádiích vesmíru a díky velmi dlouhému poločasu přeměny většímu než 108 let se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství.

Z radionuklidů vznikajících v přeměnových řadách je nejvýznamnější ^{226}Ra (je v řadě počínající ^{238}U) a z něho vznikající plyn ^{222}Rn .⁽⁶⁾

2.1.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Umělé zdroje ionizujícího záření vytvořené člověkem zahrnují rentgenky, umělé radionuklidy, urychlovače, jaderné reaktory.

V rentgence jsou emitovány elektrony z katody, které jsou urychlovány k terčíku na anodě, v němž je dopadem elektronů buzeno elektromagnetické záření nazývané rentgenové. Rozlišuje se záření brzdné a charakteristické. Brzdné rentgenovo záření vzniká při změně rychlosti pohybu elektronu v elektromagnetickém poli atomů anody. Spektrum brzdného záření je spojité. Charakteristické rentgenovo záření s čárovým spektrem (tvořeno liniemi) je emitováno při přechodu elektronu v materiálu anody z excitovaného elektronového obalu atomu na nižší energetickou hladinu – energie fotonu je rovna energetickému rozdílu mezi hladinami. Rentgenky jsou jediným zdrojem záření pro radiodiagnostiku, ve kterých se využívá hlavně brzdného záření; jen mamografické vyšetření je založeno na charakteristickém záření.

Při přeměnách radionuklidů se uvolňuje ionizující záření různého druhu. Při přeměnách jádra atomů některých radionuklidů jsou emitovány částice α – heliová jádra sestávající ze dvou protonů a dvou neutronů.

Částice β jsou emitované při přeměnách protonů a neutronů v jádře a mají buď záporný náboj (elektrony) nebo kladný náboj (pozitrony). Zářiče β jsou například ^{90}Y , ^{89}Sr , ^{32}P , ^{131}I a nacházejí uplatnění v léčbě nádorových a dalších onemocnění v nukleární medicíně. Záření γ , které je elektromagnetické povahy, vzniká při přechodu nukleonů v atomovém jádře z vyšších energetických hladin na nižší. Zářiče γ jsou například $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{67}Ga a jsou používány jako otevřené zářiče k diagnostice v nukleární medicíně. ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir jsou používány ve formě uzavřených zářičů v radioterapii.

Podle tvaru dráhy urychlované nabitě částice se urychlovače dělí na kruhové a lineární.

K prvnímu druhu náleží betatron, v němž se elektrony urychlují po kruhové dráze uvnitř trubice prstencového tvaru. Dalším kruhovým urychlovačem je cyklotron, který slouží k získávání svazků nabitých částic o vysoké energii – protonů, deuteronů. Vložením kovového terčíku do svazku nabitých částic urychlených v cyklotronu lze získat neutrony s vysokou energií. Lineární urychlovač je pojmenován podle toho, že elektrony jsou v něm urychlovány elektromagnetickou vlnou po přímkové dráze. Urychlovače elektronů mohou sloužit také jako intenzivního brzdného rentgenového záření s energií podstatně vyšší než mohou poskytnout rentgenky. Kromě elektronových urychlovačů existují také urychlovače protonů a těžkých iontů.

Jaderné reaktory v nichž probíhá řízené štěpení jader, jsou mohutným zdrojem neutronů a záření gama. Podle toho, zda se jádra štěpí rychlými nebo tepelnými neutrony a štěpným materiálem je především ^{238}U nebo ^{235}U a Pu, se jaderné reaktory nazývají rychlé nebo tepelné. Tyto druhé jsou ve světě nejrozšířenější zejména k výrobě elektrické energie v jaderných elektrárnách.

V principu při štěpení vznikají rychlé neutrony a ty je nutno pro štěpení dalšího jádra v těchto typech reaktorů zpomalit neboli zmoderovat. Podle použitého moderátoru zejména rozeznáváme reaktory lehkovodní, těžkovodní, grafitové. Lehkovodní reaktory, jako tlakové nebo varné, jsou v jaderných elektrárnách používány nejčastěji. V jaderných reaktorech, zejména výzkumných, se také vyrábějí radionuklidy pro použití v lékařství a dalších oborech.⁽⁶⁾

2.2 Druhy ionizujícího záření

Záření α se vyskytuje pouze u nejtěžších jader v oblasti uranu a transuranů. Při rozpadu je emitována částice α , což je jádro helia $^4\text{He}_2$. Tato těžká částice α se dvěma kladnými elementárními náboji silně ionizuje látku, čímž se rychle brzdí a má proto v látkovém prostředí velmi krátký dolet. Částice alfa mají čárové spektrum.

Záření β je nejčastější druh záření. Při záření β z jádra vylétá částice β^- , což je elektron, který vznikl v jádře přeměnou neutronu na proton, elektron a neutrino.

Takto vzniklé záření β svými elektrickými účinky ionizuje látku, tím se brzdí a v látkovém prostředí má poměrně krátký dolet. Ve tkáni je to přibližně 3 – 4 mm. Spektrum částic beta je spojitě.

Při záření β^+ z jádra vylétá částice β^+ , což je pozitron, který vznikl v jádře při přeměně protonu na neutron, pozitron a neutrino. Ionizační účinky záření β^+ a dolet ve tkáni jsou podobné jako u záření β^- , ovšem po zabrzdění dochází k anihilaci pozitronu s elektronem a vznikají dva fotony o vysoké energii 511 keV, které vylétají z místa vzniku v opačných směrech pod úhlem 180° . Tohoto se využívá v pozitronové emisní tomografii (PET).

Záření γ vzniká při deexcitaci elektronu z vyšší energetické hladiny na nižší hladinu. Při tomto ději vzniká v atomovém jádře tvrdé elektromagnetické záření, které se nazývá gama záření. Spektrum záření γ je spojitě. Fotony tohoto záření nenesou žádný elektrický náboj, takže nevyvolávají přímou ionizaci, ale nepřímou a to interakcí s látkou pomocí fotoefektu, Comptonova rozptylu nebo vznikem elektron – pozitronových párů. Díky těmto interakcím vznikají rychlé elektrony, které již ionizují přímo. Čisté zářiče gama se v přírodě nevyskytují, avšak v případě metastabilní vzbuzené hladiny dceřinného jádra lze tato jádra ze směsi odseparovat a uměle tak vyrobit čistý zářič γ . Příkladem je radionuklid ^{99m}Tc , na němž stojí současná nukleární medicína.⁽¹²⁾

Dalším typem ionizujícího záření je rentgenové záření (X). Je to relativně tvrdé záření. Stejně jako záření γ má i rentgenovo záření elektromagnetický charakter. Vzniká jako brzdné záření v rentgence nebo jako charakteristické záření přeskokem elektronů na nižší energetickou hladinu v atomovém obalu.

Dalším druhem ionizujícího záření je neutronové záření, které vzniká například v jaderných reaktorech. Protonové záření vzniká v urychlovačích, nebo je složkou kosmického záření.

2.3 Interakce ionizujícího záření s prostředím

Interakce ionizujícího záření, nepostižitelného lidskými smysly, s prostředím je základem detekce a dozimetrie, radiobiologie, radiochemie a všech aplikací v různých oborech.⁽⁶⁾

Hlavní mechanismus účinku ionizujícího záření na organismus vysvětluje tzv. radikálová teorie. Vychází z toho, že každý organismus je složen především z vody, v níž jsou rozptýleny biologicky aktivní látky. Interakce záření s živou tkání bude proto probíhat především na molekulách vody. Vlivem ionizace bude docházet k radiolýze vody, přičemž vznikají i velmi reaktivní volné radikály H^+ a OH^- . Tyto volné radikály pak napadají molekuly biologicky aktivních látek a chemicky je ovlivňují či destruuji. Výsledkem je řada škodlivých změn, z nichž sice značná část může být reparačními mechanismy organismu napravena, avšak některé změny (například v kódu DNA) mohou být trvalé nebo se mohou reprodukovat. Na účinky ionizujícího záření jsou citlivé zejména tkáně s intenzivním dělením buněk, jako jsou například krvetvorné nebo nádorové buňky nebo vyvíjející se plod (zvláště v počátečních stádiích vývoje).⁽¹²⁾

Při průchodu záření α prostředím vytvářejí tyto částice při srážkách s atomy kladné ionty tím, že z elektronového obalu atomů vyrážejí elektrony a tím dochází k ionizaci. Vzhledem k tomu, že částice alfa ztrácejí při ionizacích velmi rychle svoji energii, jejich dosah v prostředí je velmi krátký. V plynech je to řádově několik centimetrů, ve tkáni mikrometry až desítky mikrometrů.

Částice β při průchodu prostředím ztrácejí svoji energii v ionizacích atomů a dále v důsledku brzdného záření. Jelikož elektrony jsou ve srovnání se zářením alfa relativně malé a lehké, jsou rozptylovány s malými ztrátami energie jejich dráha může být značně klikatá. Jejich dosah závisí na energii; záření beta s maximální energií 2 MeV má dolet ve vzduchu přibližně 8 metrů, ve vodě 1 centimetr a v hliníku 4 milimetry. Energie brzdného záření a výtěžek brzdného záření závisí na atomovém čísle absorbující látky – u těžkých látek jsou výrazně vyšší než u látek lehkých.

Při průchodu pozitronů prostředím dochází k anihilaci. Pozitron se spojí s elektronem, při čemž vzniknou dva fotony záření gama s energií 511 keV, jež z místa anihilace odlétnou opačnými směry.

Interakce záření γ s hmotným prostředím se výrazně odlišuje od interakce elektricky nabitých částic. Při průchodu prostředím uvolňují fotony elektricky nabitě částice (elektrony), které tím získají energii dostatečnou k tomu, aby byly schopné prostředí ionizovat a excitovat. Záření γ interaguje s prostředím fotoefektem, Comptonovým rozptylem a tvorbou párů elektron – pozitron.

Při fotoefektu předá foton záření γ veškerou svoji energii elektronu na některé z vnitřních slupek atomu. Tento elektron je z atomu uvolněn a jeho místo je zaplněno elektronem z vyšší slupky a přebytek energie je vyzářen v podobě fotonu charakteristického rentgenového záření. Pravděpodobnost fotoefektu se zmenšuje s rostoucí energií záření γ a roste s atomovým číslem materiálu; projevuje se tedy hlavně u fotonů s nižší energií a v látkách s vysokým atomovým číslem (například ve stínícím materiálu Pb).

Při Comptonově rozptýlu se jedná o interakci fotonů γ se slabě vázanými elektrony na vnějších slupkách atomů. Foton γ předá část své energie volnému elektronu a uvede jej do pohybu. Rozptýlený foton pak s nižší energií pokračuje v pohybu v odlišném směru. Comptonův rozptyl je převládajícím typem interakce záření gama středních energií s látkami o malém atomovém čísle (voda, tkáň)

Má-li foton γ větší energii než 1,02 MeV, může být zcela pohlcen v elektrickém poli atomového jádra, přičemž vzniká dvojice elektron a pozitron.

Neutrony jako nepřímo ionizující záření reagují z převážné části s jádry atomů. Pravděpodobnost této reakce závisí zejména na velikosti terčového jádra (protonové a nukleonové číslo) a energií neutronu.⁽⁶⁾

2.3.1 Účinky ionizujícího záření

Pokud dávka záření není velká, s naprostou většinou poškození biologicky aktivních látek se organismus úspěšně vyrovná svými reparačními mechanismy.

I při malých dávkách však existuje určitá pravděpodobnost, že některá poškození se opravit nepodaří a vzniknou pozdní trvalé následky genetického nebo nádorového charakteru. Jelikož takové následky jsou zcela náhodné, individuální a nepředvídatelné, nazývají se účinky stochastické.

Při vysokých dávkách záření je počet poškozených molekul biologicky aktivních látek již natolik vysoký, že organismus není schopen je zcela opravit – část buněk hyne, vzniká nemoc z ozáření. Poškození tkáně je zde přímo úměrné obdržené dávce záření, není již náhodné, je naopak předvídatelné – hovoříme o účincích deterministických. Základním cílem radiační ochrany tedy je vyloučit deterministické účinky záření a omezit výskyt stochastických účinků na minimum.⁽¹²⁾

Tab. 1 Odhad prahových dávek pro různé tkáně.⁽⁴⁾

Orgán	Účinek	Dávka (Gy)
Varle	Přechodná sterilita	0,1 – 0,5 ^{a)}
Kostní dřev	Přechodný pokles hodnot periferního krevního obrazu	0,5 – 1,0 ^{b)}
Oční čočka	Zákaly	5
Vaječníky	Trvalá sterilita	3 – 6 ^{c)}
Chrupavka	Zaostávání růstu u dětí	10 ^{d)}
Mozek	Morfologické změny	10 ^{e)}
Plíce	Pneumonitida, fibróza	20 ^{d)}
Ledviny	Chronický zánět	20 ^{c)}
Tenké střevo	Akutní zánět sliznice	30 ^{b)}
Játra	Funkční poruchy	30 ^{b)}
Kůže	Erytém, epilace	50 – 60 ^{f)}
Kost	Dispozice ke zlomenině	60 ^{g)}

Uvedené hodnoty prahových dávek jsou odvozeny z dat získaných při radioterapii. Jde o dávky aplikované zpravidla ve 30-ti frakcích v průběhu šesti týdnů.

Vysvětlivky k tabulce č.1 :

- a) trvalá spermie při 2 – 6 Gy
- b) v závislosti na ozářeném objemu
- c) v průběhu vývoje citlivost vyšší
- d) zralá chrupavka rezistentnější
- e) pro nekrózu malých okrsků 65 Gy
- f) v závislosti na ozářené ploše
- g) vyšší jsou hodnoty pro kostní nekrózu

3. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

3.1 Základní principy pro ochranu před zářením

Obdržená dávka záření je určena několika základními faktory: radioaktivitou, s níž pracujeme, druhem a energií emitovaného záření, dobou expozice a geometrickými podmínkami (vzdálenost, stínění). Máme 4 základní způsoby ochrany před zářením:

1) Čas - obdržená dávka je přímo úměrná době expozice, takže se zbytečně dlouho nezdržujeme v prostoru s ionizujícím zářením a práce s radioaktivními látkami je třeba promyšleně připravit a provádět je pokud možno rychle.

2) Vzdálenost - intenzita záření a tím i dávkový příkon jsou nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření (přesně platí pro bodový zdroj). Je proto třeba se zdržovat co nejdále od zdrojů záření (tedy i od pacientů s aplikovanou aktivitou), při práci se zářiči je užitečné držet je co nejdále od těla a případně používat vhodné manipulátory, pinzety.

3) Stínění - velmi efektivní ochranou je odstínění záření vhodným absorbujícím materiálem. Pro záření gama jsou to materiály s velkou měrnou hmotností – především olovo, ze stavebních materiálů pak beton s případnou příměsí barytu. Používají se olověné kontejnery pro přepravu a skladování zářičů, zástěny z olověného plechu, tvarované olověné cihly.

Tloušťka potřebného stínění závisí na hustotě (a nukleonovém čísle) stínícího materiálu, na energii záření γ a na požadovaném zeslabení. V tabulkách se někdy uvádí hodnoty tzv. polovrstvy absorbce, což je taková tloušťka vrstvy stínícího materiálu, která sníží intenzitu daného záření na polovinu (2 polovrstvy pak na $1/4$, 3 polovrstvy na $1/8$ – stínící účinek roste exponenciálně s tloušťkou stínění).

K odstínění záření β stačí lehké materiály jako je plexisklo, nejlépe v kombinaci s následnou tenkou vrstvou olova k odstínění brzdného elektromagnetického záření.⁽¹²⁾

Neutronové záření se nejprve zpomalí látkami obsahujícími velké množství vodíku například voda nebo parafín a zpomalené neutrony se pohltí látkami s výraznou absorpční schopností pro neutrony, například kadmíem nebo bórem.⁽⁴⁾

4) Zabránění kontaminace - k riziku vnějšího ozáření přistupuje na pracovištích s otevřenými zářiči dále riziko kontaminace radioaktivními látkami – může dojít jednak k povrchové kontaminaci těla, jednak k vnitřní kontaminaci. Vnitřní kontaminace je nejnebezpečnější, protože při ní je organismus zářením zatěžován dlouhodobě a “zevnitř” radionuklid vstoupí do metabolismu a podle své chemické povahy se může hromadit v určitých cílových orgánech, které jsou pak bezprostředně vystaveny účinkům záření. K vnitřní kontaminaci může docházet zažívacím ústrojím, dýchacím ústrojím nebo průnikem přes pokožku. Pro zabránění kontaminace je tedy nutno dodržovat pravidla hygieny, v kontrolovaném pásmu nejíst, nepít, používat ochranné rukavice, s těkavými radioaktivními látkami pracovat v digestoři.⁽¹²⁾

3.2 Systém limitování dávek

Jakákoliv dávka ionizujícího záření může být spojena s určitým rizikem škodlivých účinků, takže je třeba dbát aby dávky byly co nejnižší.

Cílem ochrany před ionizujícím zářením je zcela vyloučit nežádoucí deterministické účinky a omezit výskyt stochastických účinků na tak nízkou úroveň, aby byla přijatelná pro společnost i jedince.

Deterministickým účinkům lze zcela zabránit stanovením tak nízkých limitů dávkového ekvivalentu, aby nebyla dosažena prahová dávka pro jejich vznik ani po

celoživotním ozáření. Omezení účinků ionizujícího záření na přijatelnou úroveň se zajišťuje uplatněním systému limitování dávek. Ten je založen na těchto třech principech. Žádná činnost nesmí být zavedena, nepovede-li k pozitivnímu čistému přínosu (princip zdůvodnění). Všechny expozice musí být udržovány tak nízké, jak lze z hledisek ekonomických a sociálních rozumně dosáhnout (princip optimalizace ochrany před zářením). Dávkový ekvivalent žádného jednotlivce nesmí překročit limity doporučené pro příslušné podmínky (princip nepřekročení obecně platných limitů dávkového ekvivalentu).⁽⁹⁾

Limity jsou považovány nikoliv za hodnoty zaručující přijatelnost, ale za hranici mezi oblastí dávek zcela nepřijatelných a oblastí, kde je nutno určit skutečnou přijatelnost ozáření optimalizací ochrany před zářením. Vyhláška č. 307/2002 Sb. rozlišuje několik druhů základních limitů jako závazných kvantitativních ukazatelů, jejichž překročení není přípustné.

Limity pro radiační pracovníky, vztahující se na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci pracovníci kategorie A nebo B. Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 100 mSv za pět let po sobě jdoucích kalendářních roků a 50 mSv za kalendářní rok, pro ekvivalentní dávku v oční čočce 150 mSv za kalendářní rok, pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže 500 mSv za kalendářní rok, pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za kalendářní rok.

Limity pro učně a studenty, vztahující se na ozáření, kterému jsou vědomě, dobrovolně a po poučení o rizicích s tím spojených vystaveny osoby po dobu jejich specializované přípravy na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření. Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 6 mSv za kalendářní rok, pro ekvivalentní dávku v oční čočce 50 mSv za kalendářní rok, pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže 150 mSv za kalendářní rok, pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 150 mSv za kalendářní rok.

Obecné limity, vztahující se na ozáření ze všech radiačních činností, kromě ozáření výše uvedených, lékařského ozáření, ozáření osob podílejících se na zásazích v případě radiační nehody a případů ozáření, na které se vztahují limity zvláštní. Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv za kalendářní rok, výjimečně 5 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních roků, pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv za kalendářní rok, pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže 50 mSv za kalendářní rok.⁽⁶⁾

Tab. 2 Základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb.⁽⁶⁾

Veličina	limity pro radiační pracovníky		limity pro učně a studenty	Obecné limity
	za 5 za sebou jdoucích roků (mSv)	za rok (mSv)	za rok (mSv)	za rok (mSv)
$E + E_{(t)}$	100	50	6	1
H oční čočka	-	150	50	15
H kůže	-	500	150	50
H končetiny	-	500	150	-

Vysvětlivky k tabulce č. 2 :

$E + E_{(t)}$ - součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření

H oční čočka – ekvivalentní dávka pro oční čočku

H kůže - ekvivalentní dávka pro 1 cm² kůže

H končetiny - ekvivalentní dávka pro ruce od prstů až po předloktí a pro nohy od chodidel až po kotníky

4. METODY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

4.1 Ochrana před ionizujícím zářením v medicíně

4.1.1 Ochrana v radiodiagnostice

Radiodiagnostika v lékařské terminologii je ta část radiologie, která slouží diagnostickým účelům. Cílem radiodiagnostiky není pouze stanovení diagnózy, ale též získání obrazové informace po provedeném chirurgickém zákroku, či k průběžné kontrole v rámci prováděného intervenčního terapeutického výkonu. Rentgenová zařízení jsou konstruována tak, aby kromě zvýšení kvality diagnostické informace také významně přispívala ke snížení zátěže pacienta, například automatickým nastavením expozičních parametrů či automatickou výměnou přídavné filtrace primárního rentgenového svazku podle tloušťky pacienta nebo automatickým vykloněním primárního svazku na velikost kazety.⁽⁵⁾

4.1.1.1 Ochrana pracovníků na oddělení radiodiagnostiky

Při skiaskopických vyšetřeních se musí nezbytný zdravotnický personál zdržovat během expozice pacienta ve vyšetřovací místnosti. Potom je hlavním zdrojem expozice personálu Comptonův rozptyl primárního záření v ozářené části těla pacienta. Množství rozptýleného záření je úměrné ozařované ploše. Je proto důležité, aby byl svazek vymezen jen na diagnosticky významnou oblast.

Sníží se nejen radiační zátěž personálu a pacienta, ale zvýší se i kvalita zobrazení. Při ochraně proti rozptýlenému záření se uplatní všechny tři základní způsoby ochrany – ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Dávka je přímo úměrná času strávenému v blízkosti zdroje záření.

Velmi účinné je uchovávat si co největší odstup od zdroje záření. Monitorováním rozptýleného záření při konkrétním typu vyšetření simulovaném pomocí fantomu lze stanovit pracovní místa, která jsou pro přítomný zdravotní personál z hlediska dávky nejbezpečnější.

Ochrana časem a vzdáleností vhodně doplňuje ochrana stíněním. Používají se mobilní zástěny, ochranné závěsy upevněné na vyšetřujícím stole, stropní závěsy s olovnatým sklem, chránící zejména oči vyšetřujícího lékaře.

Velmi důležité jsou osobní ochranné pomůcky, zástěry, límce, rukavice, brýle. Ochranné zástěry a límce se vyrábějí se stínícím ekvivalentem 0,25, 0,35 nebo 0,50 milimetrů Pb. Rukavice se vyrábějí i s nižším stínícím ekvivalentem pro ta vyšetření, kdy musí být zachován cit v rukou, například při vyšetření kojenců. Zástěry, límce i rukavice musí být nejméně jednou za rok podrobeny skiaskopické kontrole, zda není narušena jejich celistvost.⁽⁵⁾

K ochraně personálu napomáhá také pořádání různých školení a vzdělávání personálu, monitorování dávek pomocí osobních dozimetrů.

Tab. 3 Množství prošlého rentgenového záření v závislosti na stínícím ekvivalentu a anodovém napětí.⁽⁵⁾

Napětí na rentgence [kV]	50	75	100	150
Ekvivalent olova [mm Pb]	Množství prošlého ionizujícího záření [%]			
0,13	2,0	10	20	40
0,25	0,35	3,0	10	20
0,35	0,05	1,5	5,5	11
0,40	0,03	1,0	4,5	8,0
0,50	0,01	0,7	3,0	5,5
1	-	0,05	0,5	1,0

4.1.1.2 Ochrana pacientů na oddělení radiodiagnostiky

Při ochraně pacientů se uplatní jak princip zdůvodnění činnosti, tak princip optimalizace ochrany. Princip limitování dávek nelze použít, neboť řešení zdůvodněných klinických problémů při různých radiodiagnostických výkonech musí mít přednost před jakýmkoliv formálními pravidly.

Při optimalizaci hraje klíčovou úlohu radiodiagnostický laborant. Jednak provádí pravidelnou kontrolu kvality zobrazení a jednak volí optimální podmínky expozice, aby

dávka byla co nejnižší bez ztráty nezbytné klinické informace. Volí také použití vhodných ochranných prostředků pro pacienta.

Jedním z nejvýznamnějších technických prostředků k omezení radiační zátěže pacienta je vymezení svazku záření na co nejmenší pole, které je ještě v souladu s oblastí zájmu. Přesné umístění pole je také velmi důležité, zejména leží-li oblast zájmu v blízkosti gonád nebo při vyšetření novorozenců, kdy jsou gonády vždy v blízkosti primárního svazku.

Při skiaskopii je radiační zátěž pacienta nejvíce ovlivněna kvalitou zesilovače obrazu a také celkovým skiaskopickým časem. Přímá skiaskopie bez použití zesilovače by se již neměla používat vůbec.

Výrazného snížení dávky lze dosáhnout použitím citlivějších zesilujících folií. Zesilující folie ze vzácných zemin umožňují až několikanásobné snížení dávky proti klasickým fóliím. Používáním folií s vysokým zesilujícím účinkem lze jednak snížit dávky například při nezbytných gynekologických a pediatrických vyšetřeních, ale také minimalizovat pohybovou neostrost, aby nedocházelo ke zbytečnému opakování snímků.

Z důvodů radiační ochrany se musí stínit radiosenzitivní orgány nebo tkáně, kdykoliv je to možné. Stínění testes či ovárií se u pacientů v reprodukčním věku musí použít vždy, jsou-li gonády blízko primárního svazku, nebo přímo ve svazku, pokud stínění nebrání v získání potřebné klinické informace.⁽⁵⁾

Tab. 4 Přibližná radiační zátěž pro nejčastější metody rentgenové⁽¹²⁾

Rentgenová diagnostika	
Druh vyšetření	Ef. dávka [mSv]
Snímek plic	0,05
Páteř	1,8
Břicho	3 – 8
Urografie	2,1
Mamografie	0,5
Angiografie	3 – 9
CT hlava	1,1
CT tělo	9,2

4.1.2 Ochrana v nukleární medicíně

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

Přípravky obsahující chemickou sloučeninu, jejíž účinnou složkou je radionuklid jako zdroj ionizujícího záření, se nazývají radiofarmaka. Jsou otevřenými zářiči, jež se aplikují jako roztoky, plyny případně pevné látky – želatinové kapsle.

V nukleární medicíně se uplatňují jen umělé radionuklidy, jež mají vhodné fyzikální charakteristiky: fyzikální poločas v rozmezí od několika hodin až několik desítek dnů, emise záření beta a gama (případně charakteristického rentgenového záření) a energie záření gama (případně charakteristického rentgenového záření) v rozmezí od 30 keV do 511 keV. ⁽⁵⁾

4.1.2.1 Ochrana pracovníků na oddělení nukleární medicíny

Práce s otevřenými zářiči na odděleních nukleární medicíny je spojena jak s rizikem vnějšího ozáření, tak i s rizikem vniknutí radioaktivních látek do organismu s následným vnitřním ozářením. Je tedy nutné dodržovat zásady ochrany před zářením (ochrana časem, vzdáleností a stíněním) i provádět opatření co nejvíce omezující vnitřní kontaminaci pracovníků. ⁽⁵⁾

Z hlediska ochrany proti zevnímu ozáření se klade důraz na některá opatření. Jedním z opatření je převlékání zaměstnanců po příchodu do pracovního oděvu. Dále pak používání ochranných pomůcek pro manipulaci se zářiči a používání laminárních boxů a digestoří při manipulaci s těkavými radioaktivními látkami.

I když jsou generátory ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dodávány ve stínícím olověném krytu, je vždy nutné dodatečné olověné stínění. Umisťují se proto do olověných schránek laminárních boxů a pokud laminární box není k dispozici, pak do vhodného stínícího krytu, v němž jsou po celou dobu jejich využívání na pracovišti (přibližně týden). Na povrchu lahviček s eluátem $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je vysoký dávkový příkon záření gama, proto nesmí pracovník brát lahvičky do ruky a musí při manipulaci s nimi používat speciální pinzety, u nichž je zajištěno, že lahvička při přenášení nevypadne. Při injekční aplikaci radioaktivních roztoků jsou stříkačky ve stínících krytech z olověného plechu.

Při vyšetřování a léčbě pacientů, kterým byla aplikována radiofarmaka, jsou neúčinnějšími metodami radiační ochrany pracovníků ochrana časem a ochrana vzdáleností. Čas strávený ošetřujícím personálem u pacienta a vzdálenost od něho jsou dány klinickým stavem pacienta – pacienti v horším stavu kladou z časového hlediska větší nároky, což má za následek vyšší radiační zátěž personálu než u pacientů v příznivějším klinickém stavu. Toto lze omezit střídáním pracovníků na nejvíce exponovaných místech. ⁽⁵⁾

Na odděleních nukleární medicíny, které mají k dispozici přístroje pro pozitronovou emisní tomografii jsou energie a tedy i obdržené dávky několikanásobně vyšší než na běžných odděleních nukleární medicíny, kde se nepoužívají pozitronové zářiče. Z tohoto důvodu je nutné větší stínění zářičů při manipulaci a aplikaci.

Řešením pro snížení obdržených dávek by byla mechanizace přípravy radiofarmaka a manipulace s nimi.

K ochraně personálu napomáhá také pořádání různých školení a vzdělávání personálu, monitorování dávek pomocí osobních dozimetrů.

4.1.2.2 Ochrana pacientů na oddělení nukleární medicíny

Radiofarmaka používaná k diagnostice a léčbě pacientů musejí být registrována Státním ústavem pro kontrolu léčiv v Praze. Při volbě aktivity aplikované nemocnému musí být splněn požadavek § 37 vyhlášky č. 184/1997 Sb.: při aplikacích radionuklidů (radiofarmak) pro diagnostické účely je nutné aplikovat nezbytné množství radioaktivní látky požadované čistoty a aktivity, které zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnížší radiační zátěži pacienta.

Snížení absorbované dávky u pacienta, jemuž byla podána optimálně volená aktivita radiofarmaka, se může dosáhnout ovlivněním biokinetiky této látky.

Často využívanou možností je urychlení její eliminace z těla; hydratace pacienta spolu s vyzváním k častému močení vede ke snížení radiační zátěže močového měchýře například při použití radiofarmak pro vyšetření kostí a ledvin. Jinou možností je zabránit případně omezit přísun radiofarmaka do určitého orgánu; běžně se blokuje štítná žláza podáváním preparátů, jako je KI nebo KClO_4 v případě, že se aplikují radiofarmaka značená ^{131}I nebo $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ (s výjimkou jejich použití pro zobrazení štítné žlázy).

Za chybnou aplikaci radiofarmaka se považuje podání podstatně vyšší nebo podstatně nižší aktivity, než je nutné pro příslušnou léčbu. Dojde-li k aplikaci radiofarmaka o aktivitě podstatně vyšší, než je požadovaná, musí lékař přistoupit okamžitě k opatřením, aby se radiační zátěž pacienta výrazně snížila, k okamžitému odstranění perorálně podaných radiofarmak zvracením, žaludečním výplachem, projímadly nebo klysmatem, k urychlení eliminace intravenózně podaných radiofarmak zavodněním, diurézou a ve vhodných případech podáním chalátů, k odstranění moče katetrizací u pacientů, kteří nemohou spontánně močit.

Ve vhodných případech k použití blokujících látek jako KI nebo $KClO_4$ ke snížení absorbované dávky ve štítné žláze.⁽⁵⁾

Tab. 5 Přibližná radiační zátěž pro nejčastější metody radioisotopové diagnostiky⁽¹²⁾

Radioisotopová diagnostika	
Druh vyšetření	Ef. dávka [mSv]
Statická scintigrafie ledvin	1,5
Dynamická scintigrafie ledvin	2,2
Dynamická choleoscintigrafie	2,3
Scintigrafie skeletu	3,4
Perfúzní scintigrafie plic	1,2
Scintigrafie štítné žlázy	2,2
Scintigrafie perfuze myokardu	7,5

4.1.3 Ochrana v radioterapii

Radioterapie je samostatný medicínský obor, který se zabývá využitím ionizujícího záření k léčbě pacientů. Od sedmdesátých let jsou procesy na všech úrovních radioterapie významně ovlivněny rozvojem výpočetní techniky. Ta umožňuje nejen zpřesňovat metody plánování léčby a stanovení dávky, ale přispívá ke zvyšování bezpečnosti provozu všech typů ozařovačů při současném rozšiřování možností jejich využití.

Radiační ochrana na radioterapeutickém pracovišti musí zahrnout všechny tři kategorie osob, které mohou být ozářeny v důsledku činnosti související s radioterapií. Těmito osobami jsou pracovníci na oddělení radioterapie, pacienti a další osoby, které mohou být na radioterapeutickém oddělení přítomny (nejčastěji se jedná o doprovod pacientů).

Pro zdravotnický personál a obyvatelstvo jsou stanoveny limity ozáření a jejich radiační ochrana při práci a pobytu na radioterapeutickém pracovišti musí být optimalizována podobně jako při každé jiné činnosti vedoucí k ozáření. Pro dosažení požadované úrovně ochrany se uplatňují obecné zásady vedoucí ke snížení ozáření (stínění, vzdálenost, časový faktor, případně administrativní opatření).

Ochrana pacientů před nežádoucím ozářením má v radioterapii své zvláštní rysy. Při léčbě nádorových onemocnění, která se nazývají kurativní (v případě, že cílem léčby je úplná eliminace nádoru), nebo paliativní terapie (kdy hlavním cílem je omezení nádorového bujení a tím zlepšení kvality života pacienta), se do nádorem postižené tkáně uvnitř těla pacienta, která se nazývá cílový objem, aplikuje určitý počet frakcí dávky v celkové výši několika desítek grayů (obvykle 20 – 60 Gy). Při tom mohou být i okolní zdravé tkáně ozářeny až na hranici své tolerance. Protože se často jedná o výkon záchraňující život pacienta, nelze pro ozáření pacientů uplatnit žádné limity dávek. K eliminaci nádorového bujení se využívají deterministické účinky ionizujícího záření, přičemž stochastické účinky se u této skupiny pacientů obvykle neuvažují. Úlohou lékaře je co nejpřesněji vymezit cílový objem, stanovit terapeutickou dávku a zmenšovat nežádoucí projevy deterministických účinků. Úlohou ostatních zdravotnických pracovníků (zejména fyziků a radiologických laborantů) je zajistit, aby dávka potřebná k odstranění nádoru byla dodána přesně do cílového objemu a aby současně bylo sníženo na co možná nejnížší úroveň ozáření okolních zdravých tkání (zejména kritických orgánů).⁽⁵⁾

K ochraně personálu napomáhá také pořádání různých školení a vzdělávání personálu, monitorování dávek pomocí osobních dozimetrů.

4.2 Ochrana před ionizujícím zářením v jaderných elektrárnách a jejich okolí

Zákon číslo 18/1997 Sb. definuje jadernou bezpečnost jaderného zařízení jako stav a schopnost jaderného zařízení a osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo nedovolenému úniku radioaktivních látek nebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezovat následky nehod. Jak naznačuje výše uvedená definice, potenciaální riziko jaderných elektráren spočívá v možnosti ztráty kontroly nad řízením štěpné řetězové reakce a v množství radioaktivních látek nahromaděných v aktivní zóně reaktoru během jeho provozu, zejména v souvislosti s jejich možnou disperzí do životního prostředí v důsledku nedovoleného úniku.⁽⁵⁾

4.2.1 Ochrana pracovníků v jaderných elektrárnách

Z charakteru pracovních činností a souvisejících zdrojů záření vyplývá, že primárním rizikem u pracovníků jaderné elektrárny je riziko vnějšího ozáření, druhotným rizikem je riziko vnitřního ozáření. Principy ochrany pracovníků v jaderné elektrárně jsou stejné jako na ostatních pracovištích se zdroji ionizujícího záření: osobní efektivní dávky pracovníků musí být udržovány na rozumně dosažitelné nízké úrovni.

Technologické prostory jaderné elektrárny jsou z hlediska rizika ozáření obvykle rozděleny na prostory neobsluhované (za provozu nepřístupné), částečně obsluhované (omezeně přístupné při dodržení určitých a stanovených podmínek režimu pobytu v těchto prostorách) a obsluhované (plně přístupné bez omezení).

Nutnost režimových opatření v těchto prostorách definuje tyto prostory – v souladu s legislativou – jako kontrolovaná pásma a zároveň určuje i ostatní části elektrárny, kde není nutné kontrolovaná pásma vymezovat, pokud tam není nakládáno s jinými zdroji ionizujícího záření, které režimová opatření vyžadují.

Monitorování pracoviště poskytuje trvalou a úplnou informaci o příkonu ekvivalentních dávek a o objemové aktivitě radionuklidů v ovzduší v různých částech elektrárny, znalost těchto údajů je nutnou podmínkou pro uplatňování principu optimalizace radiační ochrany.

Měření a vyhodnocování individuálního vnějšího i vnitřního slouží především k regulaci osobních dávek a jejich udržování na rozumně dosažitelné nízké úrovni. Musí poskytnout informaci nejen o celkové efektivní dávce jednotlivce za sledované období (zpravidla jeden měsíc), ale i o rozložení této dávky v závislosti na prováděných činnostech.⁽⁵⁾

4.2.2 Ochrana obyvatel v okolí jaderných elektráren

Vliv jaderné elektrárny na okolní obyvatelstvo a na životní prostředí je dán především úrovní kvality technologického zařízení a úrovní řízení technologických procesů. Mírou této kvality je ozáření jednotlivce z obyvatelstva respektive ozáření kritické skupiny obyvatelstva v důsledku radioaktivních výpustí do okolí.

Kritickou skupinou se rozumí na základě racionálních modelů identifikovaná homogenně ozařovaná skupina osob (z daného zdroje a danou expoziční cestou), a to tak, že efektivní nebo ekvivalentní dávky jednotlivce z této skupiny jsou vyšší než kteréhokoliv jednotlivce z ostatní populace.

Kritériem bezpečnosti provozu jaderně energetického zařízení jsou hodnoty ozáření kritické skupiny obyvatel. Průměrná efektivní dávka u této skupiny obyvatel nesmí v kalendářním roce překročit hodnotu 200 μSv v důsledku výpustí do ovzduší a 50 μSv v důsledku výpustí do vodotečí.

Další důležitou metodou pro ochranu obyvatelstva před zevním ozářením je monitorování okolí jaderné elektrárny. Za normálního provozu slouží monitorování okolí jaderné elektrárny k potvrzování bezpečného provozu ve vztahu k okolí, v případě mimořádného úniku radionuklidů do prostředí je základním východiskem ke zhodnocení rizika tohoto úniku a jeho dopadu na obyvatelstvo. Monitorování okolí se zahajuje 1 až 2 roky před zahájením provozu.

Cílem je jednak získat podklady o původním stavu okolí budoucího zdroje, jednak prakticky ověřit program monitorování.⁽⁵⁾

4.3 Ochrana před ionizujícím zářením v průmyslové defektoskopii

Základním preventivním bezpečnostním opatřením, které při nakládání s defektoskopickými zdroji záření musí být implementováno do systému zabezpečování jakosti, je pravidelná údržba a kontrola zařízení. Provádí se podle instrukcí stanovených výrobcem. Patří sem zejména pravidelná vizuální kontrola zařízení, testování opotřebovanosti spojovacích prvků, čištění funkčních prvků zařízení.

K dosažení co nejnižší expozice osob je zapotřebí správně vymezené kontrolované pásmo a jeho účinná ostraha v době expozice, použití stínících prostředků, optimální délka expozice, pravidelné monitorování pracoviště a pracovníků, důsledné používání kolimace svazku záření a co nejbezpečnější pracovní místo operátora a ostatních pracovníků při expozici.⁽⁵⁾

4.4 Ochrana před ionizující zářením z radionuklidových měřidel

Moderní automatizovaná výroba vyžaduje, aby výrobní proces byl průběžně kontrolován. Tato kontrola se velmi často provádí kontrolními přístroji obsahujícími radioaktivní zdroje. V češtině není pro tyto přístroje speciální název, obvykle se nazývají radionuklidová měřidla, v angličtině gauging devices. Jsou to kontrolní a měřicí přístroje využívající ionizující záření, emitované z jednoho nebo více uzavřených radionuklidových zářičů. Měřidla provádějí nedestruktivní ověřování některých vlastností materiálu. Obecně se využívají pro stanovení a kontrolu tloušťek materiálu, jeho hustoty, pro kontrolu dvou vrstev, kontrolu polohy daného objektu, úniku látky. Jejich výhodou je, že nezasahují do výrobního procesu, nejsou v přímém kontaktu se sledovaným materiálem, a přitom mohou kontrolovat nebo monitorovat takové procesy, které jinými prostředky lze jen velmi obtížně sledovat.

Jedná se zejména o kontrolu velmi rychlých změn ve výrobním procesu, kontrolu materiálů o extrémně vysokých teplotách, kontrolu agresivních, chemických látek, kontrolu materiálů, které by se kontaktem mohly poškodit, kontrolu zabalených materiálů nebo materiálů, ke kterým je velmi obtížný přístup.

Tab. 6 Radioizotopy běžně používané v radionuklidových měřidlech.⁽⁵⁾

Radioizotop	Poločas rozpadu [rok]	Typ záření	Energie záření [MeV]
²⁴¹ Am	458	gama	0,060
¹³⁷ Cs	30	gama	0,662
⁸⁵ Kr	10,3	beta	0,672
⁶⁰ Co	5,2	gama	1,17 a 1,33

V zařízení používané uzavřené zdroje ionizujícího záření a jejich kryty musí splňovat požadavky dané technickými normami. Jednotlivé typy přístrojů a zařízení podléhají schválení dle vyhlášky č. 142/1997 Sb. o typovém schvalování.

Základní pravidlo, které musí být dodrženo pro všechna instalovaná a přenosná zařízení, je zabránění neautorizovaného proniknutí do primárního svazku a jeho blízkosti. Přístup může být znemožněn například uzavřeným pracovním prostorem, blokováním vstupu při zdroji v pracovní poloze, automatickým stíněním záření při narušení chráněného prostoru. U přenosných zařízení je nezbytné dodržovat předepsané pracovní postup, případně vymežit kontrolované pásmo.⁽⁵⁾

4.5 Ochrana proti ionizujícímu záření při těžbě a zpracování uranu

Těžba uranové rudy na území České republiky začala v roce 1858 v Jáchymově. Důvodem nevelké těžby uranu byly především potřeby průmyslu barviv, sklářství a keramiky. Opravdový rozvoj uranového hornictví začal v Čechách až po roce 1945. Poznání, že štěpení atomového jádra uranu může být prostředkem ničivé síly a politická situace v tehdejší době vedly k výrobě obrovského arzenálu jaderných zbraní.

Surovinou se stal i československý uran. V průběhu půl století bylo na území České republiky prozkoumáno na 200 ložisek a 74 z nich bylo těženo.⁽⁵⁾

4.5.1 Ochrana pracovníků při těžbě a zpracování uranu

Pracovníci v podzemí uranových dolů jsou vystaveni třem možným způsobům ozáření. Je to zevní záření gama, ozáření z inhalace produktů přeměny radonu a ozáření z inhalace směsi dlouhodobých radionuklidů uran – radiové řady emitujících záření alfa. Díky používání ochranných a povinné hygienické očištění po vyfárání má minoritní význam depozice radionuklidů na kůži nechráněných částí těla horníků. Pracovníci jsou vybaveni osobními dozimetry všech tří složek ozáření. Pracovní prostředí v dole je z hlediska radiační ochrany monitorováno podle monitorovacího programu schváleného SÚJB.

V úpravách uranových rud je technologický proces uzavřen a automatizován tak, že vyžaduje malou personální obsluhu. Těmito technicko-organizačními opatřeními se výrazně snižuje riziko pro pracovníky. Nejvíce rizikovým pracovištěm je sušárna s plnírnou koncentrátu. Na tomto pracovišti jsou pracovníci povinně vybaveni osobními ochrannými pomůckami včetně respirátorů a osobními integrálními dozimetry. Jsou stanovena pravidla pro přístup pracovníků do jednotlivých částí technologického procesu a pracoviště jsou dobře odvětrávána.⁽⁵⁾

4.5.2 Ochrana obyvatel v okolí těžby a zpracování uranu

Těžba a zpracování uranových rud ovlivňuje obyvatele ve svém okolí plynnými, kapalnými a pevnými přírodními radioaktivními látkami. U provozovaných dolů to může být zejména vzduch odváděný výdušnými jámami z důlního pole, prašnost těženého a odvalového materiálu a možné účinky čerpané důlní vody. K minimalizaci těchto vlivů je nutné provádět monitorování a přijímat technická opatření k nápravě vzniklého stavu.⁽⁵⁾

5. DOPORUČENÍ PRO OCHRANU OBYVATELSTVA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM PŘI RADIAČNÍ HAVÁRII

Podstatou všech opatření ochrany osob před účinky a následky nadměrného ozáření je podstatné snížení kontaktu se zářením. Nejefektivnějším způsobem ochrany před radioaktivními látkami je ukrytí. Již pouhým pobytem v budovách za zavřenými okny se podstatně omezí účinky radioaktivního záření. Ukrytím však nesmí být omezena možnost poslechu stanovených rozhlasových, televizních a dalších informačních kanálů. Důležité je uzavřít okna, dveře, větrací otvory, vypnout větrání a klimatizaci, zabezpečit své potraviny a zásobu vody před možnou kontaminací zabalením do neprodyšných obalů a lahví, a uložením do chladničky, mrazničky či spíže, zabezpečit vodní zdroj (studnu) před kontaminací překrytím například polyetylenovou folií.

5.1 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením doma

Jestliže se v době vyhlášení varovného signálu nachází občan doma, měl by dodržovat následující doporučení. Pokud možno shromáždit rodinu. Nesnažit se však vyzvednout děti ze škol a školek, či příbuzné z jiných zařízení (například zdravotních, ústavů sociální péče apod.). Bude o ně personálem těchto zařízení postaráno a zbytečný pobyt v nechráněném prostoru není příliš prospěšný.

Vytvořit si možnost sledovat rozhlas, televizi i hlášení místního rozhlasu, připravit improvizované ochranné prostředky (ochrannou roušku, pokrývku hlavy, gumové holínky a rukavice nebo návleky na ruce a obuv z umělé hmoty a vhodné oblečení pro případ odchodu z budovy).

5.2 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením v zaměstnání

Zaměstnanec by měl postupovat podle pokynů svých nadřízených nebo podle havarijních plánů, pokud je má pracoviště zpracované. Ve zdravotnických, sociálních, kulturních, dopravních a jiných zařízeních dodržovat pokyny jejich personálu.

5.3 Doporučení pro ochranu před ionizujícím zářením venku

Pokud zastihne občana vyhlášení varovného signálu mimo budovu, na volném prostranství, je nejvhodnější odebrat se neprodleně do nejbližší budovy nebo automobilu alespoň k provizornímu ukrytí.

5.4 Co dělat při styku s radioaktivní látkou

Pokud jste mohli přijít do styku s radioaktivními látkami z radiační havárie, je zapotřebí před vstupem do místností určených pro ochranu odložit obuv a svrchní oděv i ochrannou roušku nejlépe do neprodyšného obalu a již je nepoužívat. Omýt důkladně ruce, obličej a vlasy, vypláchnout oči, ústa, vyčistit nos a uši. Ihned nebo při nejbližší příležitosti se osprchovat a vyměnit prádlo.

5.5 Jak se chovat při nezbytném opuštění úkrytu

Pokud musíte z jakéhokoli důvodu opustit byt či budovu, v níž se ukrýváte, měli byste si chránit nos a ústa improvizovanými ochrannými rouškami (stačí navlhčený kapesník, ručník, přeložená gáza, toaletní papír). Chránit povrch těla (pokrývkou hlavy, šálem, pláštěm do deště s kapucí, gumovými holínkami nebo návleky na obuv z umělé hmoty z budovy).

6. METODY OCHRANY OSOB PŘED ZEVNÍM OZÁŘENÍM V PROSTORU NAPADENÍ JADERNOU ZBRANÍ

V předpokládaných prostorech napadení jadernou zbraní je nutno obyvatelstvo chránit především pomocí kolektivní ochrany. Kolektivní ochrana je hromadná, společná ochrana obyvatelstva proti účinkům a následkům ozbrojených konfliktů, velkých provozních havárií a živelních pohrom. Nejdůležitějším ochranným opatřením v prostoru napadení jadernou zbraní je ukrytí obyvatelstva především ve stálých tlakově odolných úkrytech nebo v ochranném systému metra.⁽¹²⁾

6.1 Ochrana osob před ionizujícím zářením v prostoru radioaktivního zamoření

V prostoru radioaktivního zamoření po pozemním jaderném výbuchu může dojít k ozáření osob třemi cestami. Zevním celotělovým ozářením z kontaminovaného terénu, ozářením z vlastní povrchové kontaminace osob, ozářením z příjmu radionuklidů v důsledku inhalace (vdechování) nebo ingesce (pozření), popřípadě u zraněných osob též průnikem otevřeným poraněním.⁽¹²⁾

6.1.1 Ochrana před celotělovým ozářením

Před celotělovým ozářením je nutno se chránit ukrytím. K ukrytí lze využít stínících účinků budov, zejména sklepních prostor a stálých tlakově odolných úkrytů. Nejlepší ochranu poskytují stálé tlakově odolné úkryty, jejichž koeficient oslabení radiace dosahuje pro gama záření hodnoty i několika tisíc, zatímco ostatní ochranné prostory mají koeficient oslabení radiace cca 50 až 200.⁽¹²⁾

Tab. 7 Koeficienty zeslabení radiace.⁽¹⁴⁾

Způsob ukrytí osob	Koeficient zeslabení
Automobil	2
Lehká obrněná technika	1,5 – 3
Těžká obrněná technika	3 – 20
Přízemní budovy	10
Jednoposchod'ové budovy	20
Tříposchod'ové budovy	40
Víceposchod'ové budovy	70

6.1.2 Ochrana před ozářením z povrchové kontaminace

K ochraně před ozářením z povrchové kontaminace slouží ochranné oděvy a jejich průběžná dezaktivace, popřípadě častá obměna normálních oděvů či improvizovaných prostředků ochrany povrchu těla s následnou hygienickou očištěním osob a speciální očištěním oděvů. Vhodné je rovněž provádět co nejčastěji částečnou hygienickou očištěním osob v průběhu jejich činnosti v kontaminovaném prostoru.⁽¹²⁾

Nejzávažnější zdravotní újmu v důsledku radioaktivní kontaminace po pozemních jaderných výbuších bude způsobovat zevní ozáření osob a dále též jejich povrchová kontaminace. Teprve v dalším pořadí půjde o následky způsobované inhalací radioaktivních látek a teprve poté o důsledky z příjmu kontaminované stravy. Závažnost příjmu radionuklidů stravou se však bude relativně zvyšovat s dobou uplynulou od pozemních jaderných výbuchů.

6.2 Radiologická zbraň, špinavá bomba

V poslední době se objevují ve světě hrozby teroristů použít radiologickou zbraň.

Radioaktivní látky mohou být rozptýleny explozí pomocí výbušnin a munice, pomocí rozprašovačů, sprejů nebo cílenou činností, například kontaminací vodních zdrojů, útokem na jaderná zařízení, například jaderné reaktory, sklady a mezisklady jaderného materiálu nebo kontejnery jaderného paliva při přepravě. Zařízení umožňující rozptýl radioaktivních látek se nazývá radiologická zbraň. Takové zbraně mohou být jak miniaturní, tak i o velikosti nákladního automobilu. Jako radioaktivní komponentu je možno použít jaderné materiály nebo zdroje ionizujícího záření či zařízení z nich vyrobená a používaná v průmyslu, zdravotnictví, vědě a výzkumu nebo pro vojenské účely.⁽¹²⁾

Je pravděpodobné, že v případě radiologického útoku by se nejednalo pouze o jeden druh záření, ale o kombinaci různých druhů záření.

7. OCHRANA OSOB PŘED ZEVNÍMI ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ POMOCÍ RADIOPROTEKTIVNÍCH LÁTEK

Ovlivňování senzitivity v užším slova smyslu znamená navození změn v živém systému (buňkách, organismu), které mají za následek modifikaci odpovědi (reakce) na fyzikální a chemické podněty. Smyslem zvyšování rezistence je dočasně změnit citlivost organismu nebo určitých tkání v definovaném čase a v definované míře.⁽¹⁾

Potřeba individuální ochrany osob před účinky ionizujícího záření je v dnešní době nepochybná při mnoha lidských činnostech. Radioprotekce v širším slova smyslu zahrnuje veškerá opatření, která snižují riziko radiačního poškození.⁽⁷⁾

7.1 Mechanismy radioprotekce

- ✧ Zachycení volných radikálů vznikajících vlivem ionizujícího záření, které se podílejí na procesech buněčné smrti, metagenese, transformace a karcinogeneze.

Protože volné radikály vznikající při ozáření mají krátkou životnost (méně než 10^{-5} s), proto je radioprotektivní efekt průkazný jen v situaci, kdy je chemická radioprotektivní látka přítomna v organismu v době záření.

- ✧ Dodání atomu vodíku zlepšuje přímou chemickou reparaci v místech poškození DNA.
- ✧ Indukce antioxidačních procesů vyvolává intracelulární hypoxii.⁽¹¹⁾

7.2 Požadavky na radioprotektivní látky

Radioprotektivní látky určené k individuálnímu ochrannému použití musí splňovat následující nezbytné požadavky:

- 1) Látka musí být dostatečně účinná bez závažných nežádoucích vedlejších účinků.
- 2) Požaduje se rychlý nástup účinku do 30 minut a délka trvání účinku nejméně 2 hodiny.
- 3) Látka nesmí být toxická; terapeutický index (poměr mezi letální dávkou LD50 a účinnou dávkou ED50) by měl dosáhnout alespoň hodnoty 3,0.
- 4) Podání radioprotektivní látky nesmí ani krátkodobě negativně ovlivnit práce schopnost člověka či oslabit jím získané návyky.
- 5) Z lékových forem připadají v úvahu pouze dvě: perorální nebo injekce autoinjektorem do svalu (pro použití radioprotektivních látek při radioterapii jsou menší nároky na aplikační formu, ale účinek musí být poskytován diferencovaně – na vysoké úrovni zdravým a minimálně nádorovým tkáním).
- 6) Látka nemá být organismu škodlivá ani při opakovaném podávání a nemá mít kumulativní účinky.
- 7) Podáním radioprotektivní látky se nemá snížit odolnost organismu vůči faktorům vnějšího prostředí
- 8) Je žádoucí, aby léková forma zaručila v průběhu skladování alespoň tříletou stabilitu látky.⁽⁷⁾

7.3 Druhy radioprotekce

Radioprotekci rozumíme ochranná opatření snižující účinky ionizujícího záření nebo zvyšující přežívání ozářených jedinců.

Radioprotekci dělíme na fyzikální, chemickou a biologickou. Fyzikální radioprotekce zahrnuje mechanické stínění svazku záření, zvýšení vzdálenosti od zdroje a frakcionovanou expozici. Biologická radioprotekce může být způsobena hypotermií, hypoxií (například okrsku s aktivní krvetvorbou), hypotenzí (a následnou hypoxií) a hormonálně (samice zvířat jsou více radiorezistentní vlivem estrogenů). Chemickou radioprotekci (radioprotekci v užším slova smyslu) zastupují radioprotektivní látky. Podle doby radioprotektivního účinku rozeznáváme látky s krátkodobým a dlouhodobým účinkem.

7.3.1 Druhy chemické radioprotekce

1. Látky s krátkodobým účinkem

- ✧ Radioprotektivní látky obsahující síru
- ✧ Indolylalkylaminy
- ✧ Blokátory vápníkového kanálu

2. Radioprotektiva s dlouhodobým účinkem

- ✧ Imunomodulátory, vytokány
- ✧ Inhibitory syntézy prostaglandinů
- ✧ Dextrazoxan

Doba účinku radioprotektivních látek určuje i čas podání. Zatímco látky s krátkodobým efektem je nutné aplikovat minuty, maximálně hodiny před ozářením, látky s dlouhodobým účinkem je možné podávat i 24 hodin před vlastním ozářením.

Samotný radioprotektivní účinek je posuzován podle dávky redukujícího faktoru, DRF. Tento faktor je podílem hodnot středních letálních dávek skupin chráněných a nechráněných jedinců 30 dnů po ozáření.⁽¹⁰⁾

$$\text{DRF} = (\text{LD}_{50/30} \text{ chráněné skupiny}) : (\text{LD}_{50/30} \text{ nechráněné skupiny})$$

Čím lepší je ochranný efekt dané látky, tím je hodnota DRF vyšší. To znamená, že je nutná o to vyšší dávka záření k vyvolání stejného poškození u chráněných jedinců, jako u nechráněných jedinců.

7.3.1.1 Radioprotektiva s krátkodobým účinkem

Tato radioprotektiva jsou určena k jednorázové ochraně před účinky zevního ozáření.

Použití těchto prostředků jako individuální ochrany připadá v úvahu před předpokládaným výbuchem jaderné zbraně, před vstupem do radioaktivní stopy po jaderném výbuchu nebo před každým radioterapeutickým lokálním ozářením.⁽⁷⁾

- 1) Radioprotektivní látky obsahující síru – pomocí -SH skupiny váží kyslíkové radikály vznikající při radiolýze vody. Snižují tak nepřímý efekt ionizujícího záření. Do této skupiny látek řadíme cystamin, AET a gamafos (WR-2721, komerčně užívaný jako Ethanol, firma US Bioscience). Nejúčinnějším přípravkem této skupiny látek je gamafos s DRF až 2,3 a doporučeným dávkováním 2 mg/kg při intravenózním podání. Nevýhodou je skutečnost, že nejvyššího radioprotektivního účinku této skupiny látek je dosahováno při koncentracích blízkých toxickým. Nežádoucími účinky podávání gamafosu jsou nauzea, vomitus a hypotenze. Zajímavým faktem se jeví selektivní účinek gamafosu vůči zdravé tkáni, kdy nádorové buňky nejsou chráněny před zářením, na rozdíl od tkáně zdravé.
- 2) Indolylalkylaminy – způsobují hypoxémii cestou vazokonstrikce. Navozením hypoxie snížíme množství kyslíku ve tkáních a následně i tvorbu kyslíkových

radikálů v ozářených tkáních. Tímto mechanismem je možné dosáhnout DRF až 1,5.

Nežádoucím se jeví hypoxické poškození periferních tkání jako je tomu u varlat. Tuto skupinu látek zastupují serotonin (5-hydroxytryptamin) a mexamin (5-methoxytryptamin).

- 3) Blokátory vápníkového kanálu – využívají mechanismus navození intracelulární hypoxie. Významným zástupcem je nifedipin s DRF cca. 1,3. Avšak efektivní jsou opět dávky blížící se dávkám toxickým. Je známo, že v biologickém účinku neutronů ztrácí význam kyslíkový efekt. Proto je ochrana za pomoci blokátorů vápníkového kanálu proti neutronovému záření neúčinná.^(10,8)

Tab. 8 Radioprotektivní účinek gamafosu u myší.⁽⁷⁾

Dávka gamafosu (mg . kg ⁻¹)	Způsob podání	Pohlaví myší	Dávkový příkon (Gy . min ⁻¹)	DRF
100	i.m.	samice	0,60	1,32 (1,08 - 1,60)
300	i.m.	samci	0,66	2,23 (2,01 - 2,55)
300	i.m.	samice	0,68	2,11 (1,93 - 2,24)
300	i.m.	samice	0,65	2,39 (2,11 - 2,77)
300	i.m.	samice	0,64	2,26 (1,99 - 2,65)
300	p.o.	samice	0,64	1,13 (0,96 - 1,28)
600	p.o.	samice	0,64	1,34 (1,12 - 1,51)

7.3.1.2 Radioprotektiva s dlouhodobým účinkem

Tyto látky jsou určeny k navození déle trvající zvýšené radiorezistence organismu. Nástup ochranné účinnosti zpravidla vyžaduje prodloužení intervalu mezi podáními takové látky přibližně na 24 hodin.⁽⁷⁾

- 1) Imunomodulátory – vyvolávají zvýšenou produkci cytokinů, anebo přímo podané cytokiny řadíme do skupiny látek s dlouhodobým účinkem. K jeho

navození je třeba aplikovat látky 4 - 48 hodin před ozářením. Do této skupiny látek řadíme lipopolysacharid, glukán, TNF-alfa, IL-1 a IL-11.

Dávku redukující faktor se pohybuje kolem hodnoty 1,2. Nevýhodou je závislost radioprotektivního účinku na koncentraci podané látky, což by při praktickém použití způsobilo výrazné problémy s toxicitou.

2) Prostaglandiny – respektive prostaglandin E svým působením suprimuje proliferaci hematopoetických progenitorových buněk. Inhibitory prostaglandinů pak tento inhibiční účinek blokují a pomáhají tak zvýšit hematopoetickou aktivitu kostní dřeně. Zabránění produkce prostaglandinů cestou blokády cyklooxygenázy se využívá u nesteroidních antirevmatik. K tomuto účelu lze použít jakékoliv dostupné nesteroidní antirevmatikum. K navození radioprotektivního účinku je nutné aplikovat látky 24 hodin před ozářením. DRF se pohybuje kolem 1,2. Nežádoucím účinkem je především gastrointestinální nesnášenlivost.

3) Dextrazoxan (Cardioxan) – je látkou, která intracelulárně po hydrolýze získává chelatační vlastnosti podobně etylendiaminotetraoctové kyselině (EDTA). Atomy železa, zinku a mědi vázané na Dextrazoxan katalyzují zpětnou přeměnu reaktivních kyslíkových radikálů. Tato látka má nejen radioprotektivní, ale i mírný cytostatický efekt. DRF byl stanoven na hodnotě 1,2.⁽⁸⁾

8. CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem mé práce je objasnit problematiku „Možností ochrany osob před účinky zevního ozáření“. V této práci jsem se snažil o sumarizaci stávajících možností ochrany osob před účinky zevního ozáření do přehledného celku. Ve výsledcích mé práce jsem shromáždil a vyhodnotil data získaná z dotazníku, který jsem za tímto účelem sestavil. Na tento dotazník mi odpovědělo padesát náhodně vybraných žen ve věku od osmnácti do šedesáti pěti let a padesát mužů, také ve věku osmnáct až šedesát pět let. Dané odpovědi jsem poté graficky znázornil v grafech podle procentuálního zastoupení. Toto grafické znázornění je ve výsledcích mé práce.

„Občané mají velmi malé znalosti o základních možnostech ochrany osob před účinky zevního ozáření“, takto zní hypotéza mé práce. Po zpracování získaných odpovědí z dotazníku, mohu tuto hypotézu potvrdit. Mnoho lidí nemá ani nejmenší znalosti o možnostech vlastní ochrany proti ionizujícímu záření a o účincích ionizujícího záření.

9. METODIKA

Metodika spočívala ve shromažďování teoretických informací zejména z odborné literatury a internetových stránek a doplnění těchto informací daty získanými z dotazníků. Cílem bylo získané informace utřídit tak, aby tato práce podala ucelený pohled na toto téma.

10. VÝSLEDKY

Za účelem zjištění informovanosti obyvatel, různých věkových kategorií, v oblasti možností ochrany osob před účinky zevního ozáření jsem zpracoval krátký dotazník. Tento dotazník jsem rozdál k vyplnění stovce různých lidí. Výsledky jsem převedl do následujících grafů. Každý graf odpovídá jedné z otázek v dotazníku. Kopie dotazníku je v přílohové části pod pořadovým číslem 8.

Otázky číslo jedna a dva jsou spíše orientační. Zařazeny byly proto, aby byl dotazník přibližně vyvážený co se pohlaví a věku dotázaných týče. Kromě pohlaví a věku dotázaných byl výběr náhodný.

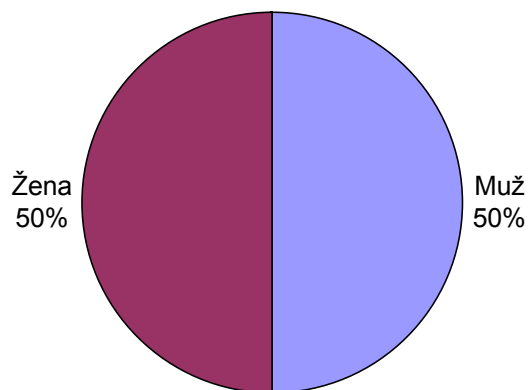
U otázky číslo tři mne nemile překvapilo zjištění, že někteří lidé si myslí, že je ionizující záření ohrožuje i při ultrazvukovém vyšetření. Někteří dotázaní si mysleli, že po rentgenovém vyšetření zůstávají jejich šaty ozářené a dále na ně působí ionizující záření.

Na otázku číslo čtyři odpověděla většina dotázaných správně, že by se ukryli do metra nebo do vyšších pater budov, ale našli se i tací, kteří si mysleli, že by je před vnějším ozářením ochránil strom.

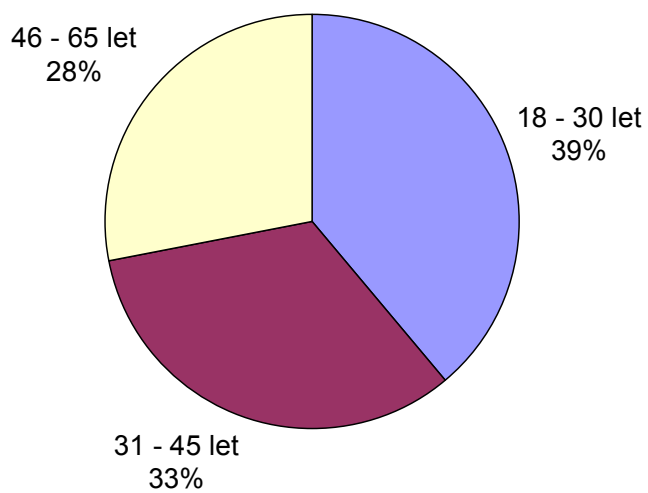
Při odpovědích na otázku číslo pět jsem zjistil, že jen malá část dotázaných ví o nějakém vhodném úkrytu v okolí jejich bydliště nebo pracoviště. Ti, kteří věděli o takových úkrytech byli většinou vojáci z povolání.

Správná odpověď na otázku číslo šest „Jaký je základní princip ochrany před zevním ozářením“ je ochrana vzdáleností, časem a stíněním. Takto odpovědělo nejméně dotázaných. Nejvíce dotázaných si myslí, že základním principem ochrany je ochrana pomocí ochranných oděvů, jako například olověnými zástěrami. Zbytek dotázaných by se chránil radioprotektivními látkami, které hrají významnou roli hlavně při vnitřním ozáření, nikoliv při vnějším.

Pohlaví



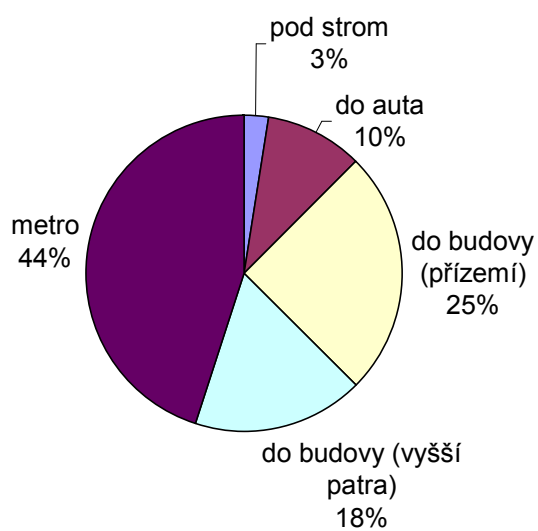
Věkové rozložení tázaných



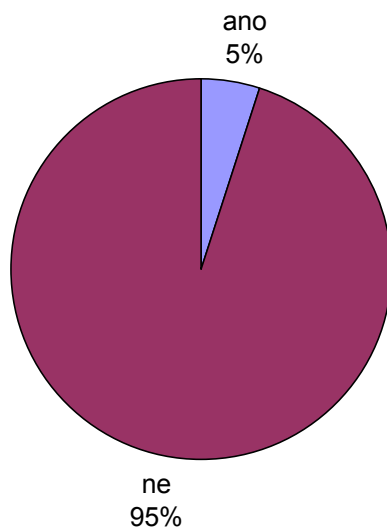
Velikost obdržené dávky v závislosti na typu záření



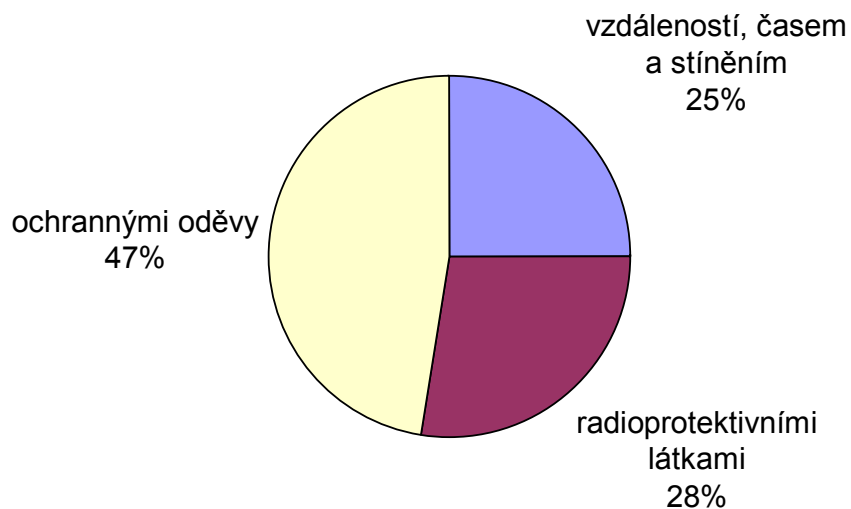
Ukrytí při případném výbuchu jaderné zbraně



Víte o nějakém vhodném úkrytu v okolí vašeho bydliště?



Základní princip ochrany před zevním ozářením



11. DISKUSE

Vzhledem k faktu, že na dotazník odpovídali lidé různého věku, bylo možno předpokládat dvě různé varianty výsledků. První varianta by byla taková, že by lépe odpovídali starší jedinci, vzhledem k jejich nabytým životním zkušenostem. Druhou variantou by bylo, že by lépe odpovídali mladší jedinci a to z toho důvodu, že někteří teprve nedávno opustili školní lavice a proto mají tuto problematiku ještě v živé paměti.

Skutečnost je taková, že v této době se o problematiku vlastních možností ochrany před účinky zevního ozáření příliš lidí nezajímá. Myslím si, že v dnešní době, kdy ze všech stran slyšíme zprávy o teroristických útocích, by měl mít každý člověk alespoň minimální znalosti týkající se této problematiky.

Ve výsledku byli v dotazníku úspěšnější mladší dotázaní. Zarážející je skutečnost, že jen 5% dotázaných ví o nějakém vhodném úkrytu v okolí jejich bydliště. Myslím si, že informovanost obyvatel měst, která mají takovéto prostory k dispozici, by měla být daleko větší.

V dotazníku jsem měl původně deset otázek. Tento počet otázek jsem musel zredukovat, protože většina dotázaných neměla čas na vyplnění dotazníku, který má deset otázek. Při snížení na šest otázek jsem zaznamenal pozitivnější přístup dotazovaných. Dotazník obsahoval také otázku týkající se vzdělání tázaných, ovšem většina lidí považovala tuto otázku za velice osobní, proto jsem od této upustil.

Myslím si, že ochrana pracovníků se zdroji ionizujícího záření je zajišťována na velice kvalitní úrovni. Problém může nastat v případech porušení daných pravidel a předpisů pro nakládání se zdroji ionizujícího záření. Tento problém je obzvláště nebezpečný na odděleních nukleární medicíny, kde se nacházejí některé zářiče v kapalném skupenství a je

tedy snazší kontaminace pracovníka a také kontaminace pracovního prostředí. Ochrana pacientů je také na velice kvalitní úrovni.

Kapitolu číslo sedm pojednávající o radioprotektivních látkách jsem zařadil pro doplnění možností ochrany obyvatelstva před ionizujícím zářením. Použití těchto prostředků pro snížení účinků zevního ozáření na lidský organismus je spíše hypotetické. V současné době známé radioprotektivní látky zdaleka nesplňují požadavky, které jsou na ně kladeny. Největšími nedostatky radioprotektivních látek jsou jejich omezená doba ochranného účinku a jejich nežádoucí toxické účinky.

12. ZÁVĚR

Zpracování bakalářské práce na téma „Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření“ mě velice obohatila. Při zpracování této práce jsem se dozvěděl spoustu zajímavých a cenných informací. Prohloubil si své dosavadní znalosti a získal nové vědomosti. Doufám, že má práce obohatí čtenáře o nové poznatky a získá tak ucelený a přehledný pohled na tuto problematiku. Myslím si, že každý člověk by měl mít alespoň základní informace o tom jaké jsou možnosti ochrany jeho samého před účinky zevního ozáření. Jaká by měl přijmout opatření při případném teroristickém útoku za pomoci jaderné zbraně, při vojenském využití jaderné zbraně nebo při havárii jaderné elektrárny. I když možnost, že by se naplnil některý z těchto katastrofických scénářů je velice malá, nelze takovouto situaci zcela vyloučit. V dnešní době se lidé o tuto problematiku příliš nezajímají, protože se domnívají, že takováto situace nemůže nastat. Myslím si, že by bylo dobré, aby lidé měli alespoň minimální přehled o možnostech ochrany a ukrytí v okolí jejich bydliště nebo působiště. Pokud tato práce přinese čtenáři alespoň některé nové a pro něj cenné informace, bude mít má práce pro mne velký význam a naplní se jeden z cílů této práce a to zvyšování informovanosti o této problematice.

13. LITERATURA

- (1) FREMUTH, F. *Účinky záření a chemických látek na buňky a organismus*. 1. vydání. Praha: SPN, 1981, s. 272.
- (2) HRAZDIRA, I., MORNSTEIN, V. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vydání. Brno: Neptun, 2001, s. 396, ISBN 80-902896-1-4.
- (3) KIEFER, J. *Biological radiation effects*. Berlin: Springer – Verlag, 1990, s. 444, ISBN 3-540-51089-3.
- (4) KLENER, V. *Hygiena záření*. 1. vydání. Praha: Avicenum, 1988, s. 472.
- (5) KLENER, V. a kolektiv. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Azin CZ, 2000, s. 620, ISBN 80-238-3703-6.
- (6) KUNA, P., NAVRÁTIL, L. *Klinická radiobiologie*. 1. vydání. Praha: Manus, 2005, s. 222, ISBN 80-86571-09-2.
- (7) KUNA, P. *Chemická radioprotekce*. Praha: Babákova sbírka č. 72, 1985, s. 148.
- (8) KUNA, Pavel. *Možnosti chemické radioprotekce v případě neutronového ozáření organismu*. *Vojenské zdravotnické listy*. 1978, roč. 47, č. 6, s. 237 – 244.
- (9) NAVRÁTIL, L., ROSINA, J. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005, s. 524, ISBN 80-247-1152-4
- (10) ÖSTERREICHER, J., VÁVROVÁ, J. *Přednášky z radiobiologie*. 1. vydání. Praha: Manus, 2003, s. 116, ISBN 80-86571-01-7
- (11) PETRÝSEK, P., VÁVROVÁ, J. *Radioprotektivní látka WR – 2721: Od vojenského ke klinickému využití 1. část*. *Vojenské zdravotnické listy*. 1999, roč. 68, č. 5, s. 148 – 157.
- (12) NERUDA, O. PETÝREK, P. PODZIMEK, F. *Závažnost povrchové a vnitřní kontaminace produkty jaderného výbuchu a význam příslušných opatření*. Příloha k závěrečné zprávě úkolu LE-SO-03, Hradec Králové: VLVDÚ JEP, 1985.
- (13) Ullmann, Vojtěch. *Radiační ochrana*
<http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>, únor 11, 2007
- (13) Microton s.r.o. *Prostaglandin*
<http://prostaglandin.navajo.cz/>, únor 11, 2007

(14) Město Vsetín. Zbraně hromadného ničení

http://www.mestovsetin.cz/bezpeci/brevir/static/dokumenty/prestupky_a_trestne_ciny%5Cchranime_zdravi_a_zivot%5Czbrane_hromadneho_niceni.htm, únor 11, 2007

(15) Agmeco LT, s.r.o. Kobaltový ozařovač nové generace

http://www.agmecolt.cz/rad%20onkol/theratron_equinox.htm, únor 11, 2007

14. KLÍČOVÁ SLOVA:

Zdroje ionizujícího záření

Principy ochrany před účinky zevního ozáření

Radiační havárie

Jaderná zbraň

Radiologická zbraň

Radioprotektivní látky

15. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Filmový dozimetr

Příloha č. 2 Kobaltový ozařovač Theratron Equinox

Příloha č. 3 Chemický vzorec Prostaglandinu

Příloha č. 4 Ochranná Pb zástěra a ochranný Pb límec

Příloha č. 5 RTG přístroj Philips

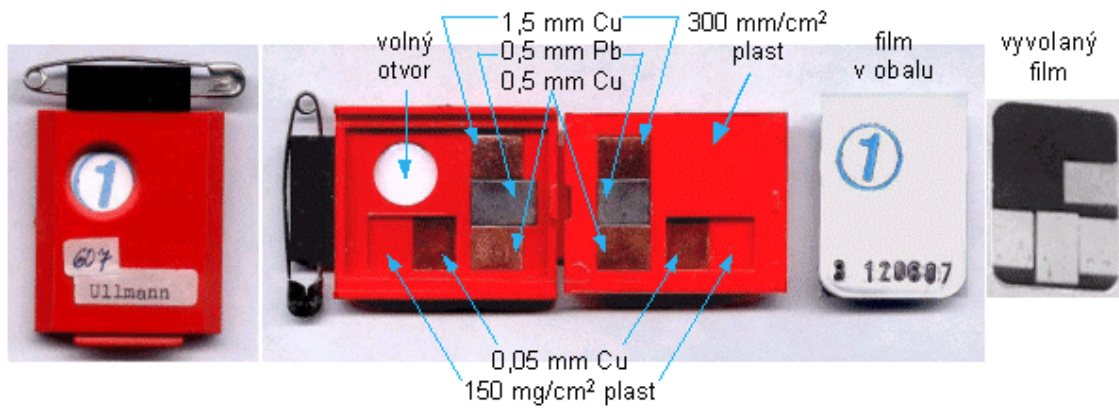
Příloha č. 6 Ovladovna RTG přístroje

Příloha č. 7 Ochranné dveře s Pb vložkou

Příloha č. 8 Dotazník

Příloha č.9 Závislost biologického účinku na velikosti absorbované dávky záření pro stochastické účinky (nahore) a deterministické účinky (dole)

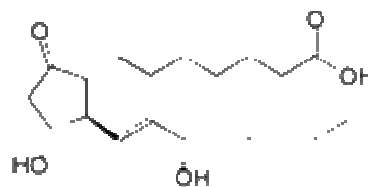
15. PŘÍLOHA



Příloha č. 1 Filmový dozimetr.⁽¹²⁾



Příloha č. 2 Kobaltový ozařovač Theratron Equinox.⁽¹⁵⁾



Příloha č. 3 Chemický vzorec Prostaglandinu.⁽¹³⁾

Miloš Řehák – Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření.



Příloha č. 4 Ochranná Pb zástěra a ochranný Pb límec. (foto: Miloš Řehák, duben 07, 2007)



Příloha č. 5 RTG přístroj Philips. (foto: Miloš Řehák, duben 07, 2007)

Miloš Řehák – Možnosti ochrany osob před účinky zevního ozáření.



Příloha č. 6 Ovladovna RTG přístroje. (foto: Miloš Řehák, duben 07, 2007)



Příloha č. 7 Ochranné dveře s Pb vložkou. (foto: Miloš Řehák, duben 07, 2007)

DOTAZNÍK

1. Jakého jste pohlaví?
muž – žena

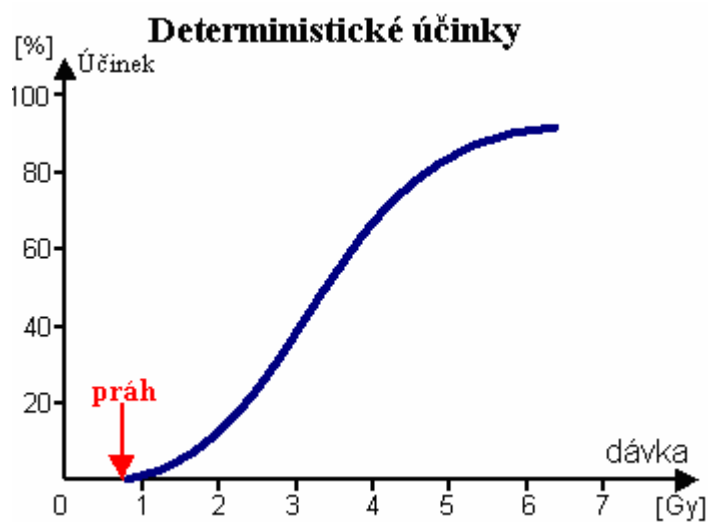
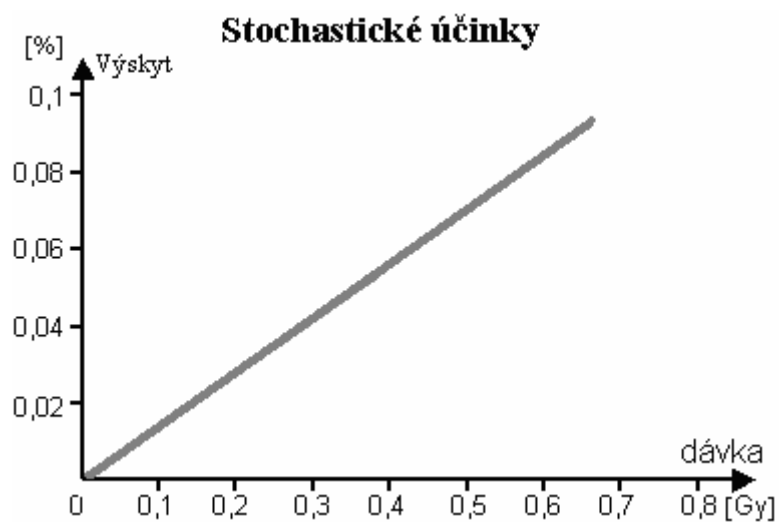
2. Jaký je váš věk?
18 – 30let
31 – 45 let
46 – 65 let

3. Z jakého typu záření podle vás obdržíte největší dávku?
kosmické záření
ozáření z jaderné elektrárny
ozáření při skiaskopickém vyšetření (v pozici pacienta)
ozáření při ultrazvukovém vyšetření (v pozici pacienta)

4. Kam byste se ukryli při případném výbuchu jaderné zbraně
pod strom
do auta
do budovy (přízemí)
do budovy (vyšší patra)
v metru

5. Víte o nějakém stálém úkrytu v okolí vašeho bydliště, který by byl vhodný při případném výbuchu jaderné zbraně
ano
ne

6. Jaký je základní princip ochrany před zevním ozářením
ochrana časem, vzdáleností a stíněním
ochrana pomocí radioprotektivních látek
ochrana pomocí ochranných oděvů (olověné zástěry apod.)



Příloha č.9 Závislost biologického účinku na velikosti absorbované dávky záření pro stochastické účinky (nahore) a deterministické účinky (dole).