

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zdravotně sociální fakulta

**Ochrana osob přítomných při ošetření nemocných s použitím
ionizujícího záření**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:

prof. MUDr. Stanislav Tůma, CSc.

Vypracoval:

Jiří Mrázek, DiS

4. května 2009

Abstract:

Protection of persons present at examinations using of ionizing radiation

This bachelor's thesis, entitled Protection of persons present at examinations using of ionizing radiation, seeks to summarize particular methods of radiation protection of medical personnel performing activities involving sources of the ionizing radiation.

The introductory part highlights the need of the personnel to be acquainted with certain aspects of radiological physics, with effects of ionizing radiation on the human body, with a possibility of its detection, principles of radiation protection, and its optimization. In the following section the thesis points to the legislation in the area of radiation protection. It considers how are the radiation protection and its optimization interpreted at the radio-diagnostic department.

Furthermore, it compares specific data resulting from personal monitoring of selected radiological personnel of the Central Military Hospital in Prague with limits of exposure set up by legislation. The data obtained by the monitoring are then sorted and compared using various examination methods.

The thesis seeks to prove that compliance with the principles of radiation protection results in values of the individual monitoring of the personnel not exceeding the limits of exposure set up by legislation. Based on particular results it aims to determine how demanding individual examination methods in terms of the personnel's radiation exposure are.

This thesis should therefore help not only radiological assistants, but also doctors, nurses, and other personnel working with sources of ionizing radiation understand how important are the protection against ionizing radiation and compliance with principles of radiation protection for reduction of the radiation doses received.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Ochrana osob přítomných při ošetření nemocných s použitím ionizujícího záření“ vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě/v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zdravotně sociální fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích

Děkuji prof. MUDr. Stanislav Tůma, CSc za odborné vedení bakalářské práce.

Obsah:

Obsah:	5
Úvod:	6
1. Současný stav dané problematiky	7
1.1. Radioaktivita a ionizující záření	7
1.1.1. Radioaktivní rozpad radionuklidů	7
1.1.2. Technické zdroje ionizujícího záření	9
1.1.2.1 Rentgenka, rentgenové záření	9
1.1.2.2. Urychlovače nabitých částic	10
1.1.2.3. Zdroje neutronového záření	10
1.1.3. Interakce ionizujícího záření s látkou	11
1.1.3.1 Interakce fotonů	11
1.1.3.2. Interakce elektricky neutrálního záření	12
1.1.3.3. Interakce elektricky nabitého korpuskulárního záření	13
1.2. Detekce a měření ionizujícího záření	15
1.2.1. Detektory ionizujícího záření	15
1.2.1.1. Kontinuální detektory	15
1.2.1.2. Integrální detektory	17
1.2.2. Stínění ionizujícího záření	19
1.3. Biologické účinky záření	20
1.3.1. Základní teorie účinků záření na lidský organismus	20
1.3.2. Buněčná odpověď na ozáření	21
1.3.3. Reakce tkání na ozáření	22
1.3.4. Hledisko vztahu dávky a účinku	22
1.3.5. Hledisko časového účinku dávky	23
1.3.6. Biologická účinnost absorbované dávky	23
1.3.7. Veličiny charakterizující biologické účinky ionizujícího záření	24
1.4. Radiační ochrana, cíle a principy radiační ochrany	26
1.4.1. Principy radiační ochrany	26
1.4.2. Rozdělení zdrojů IZ, pracovišť a pracovníků	31
1.4.3. Soustavný dohled nad radiační ochranou	32
1.4.4. Program monitorování	33
1.4.5. Systém jakosti	33
2. Cíle práce a hypotézy	34
3. Metodika	35
4. Výsledky	36
5. Diskuse	45
6. Závěr	48
7. Seznam použité literatury	49
8. Klíčová slova	50

Úvod:

Již déle než století je známo, že ionizující záření, může poškozovat zdraví. Velkou část „našeho ozáření“ způsobují zdroje přírodní, existující nezávisle na lidské činnosti. Zdroje vyrobené člověkem musíme regulovat a ty nevyhovující a nežádoucí se snažit eliminovat úplně. Kritéria hodnocení „bezpečnosti“ zdrojů a práce s nimi jsou jednou z důležitých součástí systému radiační ochrany.

Činnost radiologických pracovníků je úzce spjata s jednotlivými prvky radiační ochrany a sami musí dbát a dohlížet na to, aby tyto prvky společně fungovali. Měřítkem úspěšnosti fungování celého systému je pak odpověď v podobě výsledků monitorování v oblasti profesního ozáření a též v podobě diagnostických referenčních úrovní v oblasti lékařského ozáření.

1. Současný stav dané problematiky

Dle zákona č. 18/1997 Sb. jemuž stručně říkáme „Atomový zákon“, je radiační ochrana „*system technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí*“. K pochopení významu radiační ochrany a tím jeho aplikovatelnosti, na reálném pracovišti, kde se využívá zdrojů ionizujícího záření, je nutné vědět, „proč“ se chránit. K tomu nám pomůže znalost radiologické fyziky, fyziky záření a interakce ionizujícího záření s hmotou a jeho vlivu na lidský organizmus.

1.1. Radioaktivita a ionizující záření

Ionizující záření je přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln o vlnové délce nižší nebo rovnající se 100 nm anebo s frekvencí vyšší nebo se rovnající $3 \cdot 10^{15}$ Hz, který je schopen přímo i nepřímo vytvářet ionty. Zdrojem ionizujícího záření je látka (radionuklid), přístroj nebo zařízení, které může vysílat radioaktivní záření nebo uvolňovat radioaktivní látky. Zdrojem tedy mohou být radionuklidy ať už přírodní, či umělé nebo generátor záření (rentgenka, urychlovač).

1.1.1. Radioaktivní rozpad radionuklidů

Radioaktivita je vlastnost jader některých izotopů, které nejsou v čase stabilní, ale samovolně se přeměňují v jádra izotopů jiných prvků, přičemž emitují různé druhy záření. Jádra nestabilních izotopů transmutují dvěma druhy radioaktivních přeměn – α a β (α a β rozpad). Během tohoto procesu atomové jádro emituje částicové záření a tím mění počet svých nukleonů, (mění se tak jeho pozice v periodické tabulce prvků) i své chemické vlastnosti. Bezprostředně po transmutaci jádro většinou řeší přebytek energie emisí fotonového záření γ . Z toho důvodu je jen málo čistých zářičů α , β či γ , ale většinou jde o zdroje smíšené. Radionuklidy mohou být přírodní či uměle vyráběné. Radionuklidy vyskytující se v přírodě, tvoří tzv. rozpadové řady, pojmenované podle výchozích prvků – thoriová, tj. rozpadová řada thoria ^{232}Th , uranová, tj. rozpadová řada

uranu ^{238}U a rozpadová řada uranu ^{235}U , dříve nazývaná aktiniová. V rozpadových řadách se opakovaně jeden prvek mění v jiný až do přeměny ve stabilní izotop olova. Radionuklidy vytvořené uměle se v přírodě běžně nevyskytují a jejich zdroji mohou být palivové tyče jaderných reaktorů (^{99}Mo), bombardování neutrony v jaderném reaktoru (^{32}P), bombardování částicemi v urychlovači (^{67}Ga , ^{18}F).

Protože radioaktivní rozpad je nezávislý proces, vycházející z jádra atomu, nelze žádným způsobem určit, který konkrétní atom se v danou chvíli rozpadne a je proto nutno tento proces posuzovat statistickými metodami. Z tohoto důvodu bylo stanoveno několik veličin, charakterizujících tento děj.

Poločas rozpadu je čas, za který z daného počtu atomů právě jedna polovina projde radioaktivním rozpadem. Tato doba je pro radionuklid charakteristická, značí se $T_{1/2}$ a její veličinou je sekunda.

Aktivita je počet radioaktivních přeměn za jednu sekundu v daném počtu atomů. Veličinou je Becquerel ($1 \text{ Bq} = \text{s}^{-1}$).

Od aktivity je odvozena **měrná aktivita** a **objemová aktivita** zohledňující hmotnost, respektive objem vzorků při měření jeho aktivity.

Matematicky se dá proces transmutace původního radioizotopu na jiný – dceřiný, vyjádřit tzv. rozpadovou rovnicí: $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$; $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$

N_0 vyjadřuje počáteční počet atomů vzorku, N_t

, je počet dosud nerozpadlých atomů v čase t od počátku měření, $T_{1/2}$ je poločas rozpadu daného prvku a λ je rozpadová konstanta.

1.1.2. Technické zdroje ionizujícího záření

1.1.2.1 Rentgenka, rentgenové záření

Rentgenka je speciální elektronka, která je zdrojem rentgenového záření. Rentgenové záření je fotonové, elektromagnetické záření o vlnové délce $10^{-12} - 10^{-9}$ metru, vznikající v elektronovém obalu atomu. Ve spektru elektromagnetického záření je mezi ultrafialovým a γ zářením.

Rentgenka je tvořena dvěma elektrodami – katodou a anodou. Katoda je žhavana žhavicím proudem. Je tvořena většinou wolframovým vláknem, emitujícím po zahřátí elektrony. Anoda je zpravidla tvořená měděným blokem. Na její přední části v místě dopadu urychlených elektronů se nachází terčík, většinou wolframový. Elektrony jsou urychlovány směrem k anodě potenciálním rozdílem napětí v řádu desítek až stovek kilovoltů mezi katodou a anodou – anodové napětí. Proud takto urychlených elektronů dopadá na terčík anody. Po dopadu na materiál anody nejprve tyto urychlené elektrony naráží do obalových elektronů atomů materiálu anody. Tam ztrácejí různou část energie a dále pokračuje každý elektron s různou energií. Dostávají se do blízkosti jádra atomu, kde jsou zabrzděny silovým polem jádra. Silové pole je tím silnější, čím jádro obsahuje více nukleonů a právě proto se pro materiál anody používají těžké prvky. Elektrony podle Maxwellových zákonů vyzařují fotony tzv. brzdného záření, jejichž frekvence je podle vztahu $E = h \cdot \nu$ přímo úměrná energii, kterou elektrony interakcí se silovým polem jádra ztrácejí. Protože však v blízkosti jádra mají urychlené elektrony různou kinetickou energii, ať už vlivem kolísajícího urychlovacího napětí nebo vlivem předchozích srážek s obalovými elektrony, i fotony brzdného záření mají různou frekvenci a tím i spektrum brzdného záření je spojitě. Účinnost procesu je okolo 1% a zbylých 99% energie se vyzáří ve formě tepla. To je samozřejmě další důvod pro použití wolframu jako materiálu pro dopadový terčík anody a další konstrukční opatření ke snížení tepelného namáhání anody, jako je účinné chlazení, rotace anody kolem své osy a impulsní provoz celého zařízení. Pokud je dále zvyšováno vysoké napětí mezi

katodou a anodou, stává se sám proud urychlených elektronů ionizujícím. To znamená, že urychlené elektrony mají tak vysokou energii, že samy mohou vytrhávat elektrony obalů atomů materiálu anody z jejich energetických slupek. Ve spojitém spektru brzděného záření X se objeví čáry tzv. charakteristického záření. Toto záření vzniká tak, že za elektrony vyražené ze slupek K, L, M přeskakují elektrony z vyšších hladin a zbavují se své přebytečné energie vyzářením fotonů X. A protože energetické rozdíly mezi slupkami obalu jsou pro každý prvek charakteristické, je i toto záření respektive jeho spektrum charakteristické pro daný materiál anody.

1.1.2.2. Urychlovače nabitých částic

Přírodní zdroje radioaktivity – radionuklidy, lze nahradit umělými zdroji vytvářejícími tok částic. Takovým zdrojům se říká urychlovače částic. Mohou pracovat pouze se stabilními, elektricky nabitými částicemi, které jsou působením silných elektromagnetických polí urychlovány v žádoucím směru. Mezi takto urychlené částice patří elektrony, pozitrony, protony a ionty těžších prvků. Částice pro urychlení jsou do urychlovače dodávány např. z prosté žhavené katody (elektrony) nebo ionizační trubice (protony). Podle tvaru dráhy urychlované částice se urychlovače dělí na kruhové jako je cyklotron, betatron či synchrotron a lineární (elektrostatické, vysokofrekvenční). Pokud postavíme do cesty urychleným elektronům terčík z wolframu, mohou být zdrojem tvrdého brzděného záření.

1.1.2.3. Zdroje neutronového záření

Největším zdrojem neutronového záření je jaderný reaktor. Dále se dají získat neutrony bombardováním berylia různými urychlenými částicemi v urychlovačích.

1.1.3. Interakce ionizujícího záření s látkou

Interakce záření s látkou se dají rozdělit do tří skupin dle charakteru záření. Za první interakce nepřímo ionizujícího záření, které nenese elektrický náboj a nemůže proto přímo interagovat s náboji elektronů v atomech. Jde o záření fotonové – elektromagnetické, tedy rentgenové a gama záření. Za druhé interakce nepřímo ionizujícího korpuskulárního záření elektricky neutrálního – neutronové záření a další nenabitě elementární částice a konečně za třetí přímo ionizujícího korpuskulárního záření nesoucí elektrický náboj – α , β , protonové záření.

1.1.3.1 Interakce fotonů

Fotony interagují prakticky výhradně s obalem atomů. Fotony nemají elektrický náboj, proto nemohou atomy přímo ionizovat. Mohou však předávat energii těsným kontaktem s jádrem a elektrony. Elektron tak může získat dostatečnou energii, aby sám ionizoval. Proto je fotonové záření nazýváno nepřímo ionizujícím.

Jedním z procesů interakce fotonů je **fotoelektrický jev – fotoefekt**. Při fotoefektu narazí foton do elektronu obalu atomu, předá mu veškerou energii a zaniká. Pokud byla elektronu předána dostatečná energie, uvolní se z obalu a začne sám ionizovat jako záření β^- . Na jeho místo přeskakují elektrony z vyšších hladin a vyzařují fotony charakteristického záření. Fotoefekt je typický pro nízkoenergetické záření. Pravděpodobnost fotoefektu roste velmi významně s velikostí protonového čísla Z látky, proto se nejvýrazněji uplatňuje u těžkých atomů. Dalším procesem interakce fotonů je **Comptonův rozptyl**. Při tomto jevu foton zasáhne elektron ve vnější (valenční) slupce atomu, část energie fotonu se přemění na kinetickou energii elektronu a část se vyzáří ve formě fotonu s nižší energií. Tato interakce je typická pro fotony v rozsahu energií od 200 keV do 2 MeV. S menší pravděpodobností probíhá i při nižších energiích. I jeho pravděpodobnost je vyšší s větším protonovým číslem látky. Třetí interakcí je **tvorba elektron - pozitronového páru**. Tento jev můžeme pozorovat u fotonů o energiích vyšších než 1,022 MeV. V blízkosti nabitě částice, nejčastěji jádra,

se může takový foton přeměnit v elektron a pozitron. Je to opačný proces k anihilaci pozitronu. Vzniklý pozitron po svém zabrzdění anihiluje s elektronem za vzniku dvou fotonů o energii 0,511 MeV.

U fotonů s ještě vyšší energií tedy asi od 2,5 MeV může dojít k **jadernému fotoefektu** kdy může kvantum záření vyrazit z jádra neutron či proton – fotojaderná reakce. Při energiích nad 15 MeV může dojít i k fotoštěpení jádra.

1.1.3.2. Interakce elektricky neutrálního záření

Neutrony jsou velmi těžké částice a proto interagují výhradně s jádry atomů. Může dojít k pružnému rozptylu, nepružnému rozptylu nebo záchytu neutronu jádrem. Jde tedy opět o nepřímo ionizující záření – ionizují produkty tohoto procesu – záření γ , protony, částice α apod.

Pružný rozptyl neutronů je proces při němž neutron dopadne na jádro atomu a odrazí se od něj. Část energie neutronu se předá jádru a přemění se pouze v kinetickou energii jádra. Neutron se dále pohybuje změněným směrem a s menší kinetickou energií. Tato interakce tedy způsobuje zpomalování neutronů – moderaci. Při **nepružném rozptylu neutronů** se část energie neutronu předaná jádru přemění na kinetickou energii a část se předá na zvýšení jeho potenciální energie. Vzniká tak excitované jádro, které se vzápětí deexcituje, přičemž se z něj vyzáří gama záření. Tento proces též způsobuje zpomalení neutronů. Třetí interakcí je **záchyt neutronu atomovým jádrem**, kdy neutron dopadne na jádro a zachytí se v něm. Přitom se uvolní částice nebo záření gama. V závislosti na kinetické energii neutronů a na vlastnostech terčového materiálu mohou nastat různé druhy záchytu. Jsou to především: **radiační záchyt** neutronu, kdy se po zachycení neutronu jádrem zvýší jeho potenciální energie a zpátky klesne vyzářením fotonu γ . Jádro se přemění na nuklid s nukleonovým číslem vyšším o jedna. Tento nuklid pak může být stabilní či radioaktivní. Dále pak **neutronové jaderné reakce s emisí nabitých částic**, kdy je neutron zachycen jádrem a z jádra je emitována nabitá částice (např. α částice, proton apod.) a **štěpení jader**, jenž probíhá tak, že neutron je zachycen jádrem, které se následně rozštěpí na dvě nestejně velké částice. Tato dvě nově vzniklá jádra jsou vždy radioaktivní.

1.1.3.3. Interakce elektricky nabitého korpuskulárního záření

Mechanismem účinku nabitých částic na hmotu je elektromagnetická interakce s elektrony obalu či jádrem atomu. Interagují s elektrony a jádrem atomu svým nábojem, proto je interakce daleko silnější než v případě záření nepřímo ionizujícího. Je tvořeno elektromagnetickými částicemi, které mohou být těžké, jako např. α částice nebo lehké, např. β záření. V látce mají vždy konečný dolet (vzdálenost, po které dojde jistě k jejich zastavení).

Interakce elektricky nabitého záření může být trojího druhu.

Excitace a ionizace. Nabitá částice předává svou kinetickou energii elektronům atomu do kterého vstoupila. Částice sama ztrácí energii a zpomaluje, elektrony obalu naopak energii získávají. Pokud je elektronu předána energie relativně malá, elektron se posune do vyššího energetického stavu a hovoříme o vybuzení, neboli excitaci. Vzápětí dojde k návratu elektronu do základního energetického stavu, tzv. deexcitaci a vyzáření fotonu, kterým se elektron zbavuje přebytečné energie. Míra předání energie mezi částicemi je úměrná době, po kterou interagují. Pomalejší částice předávají hodně energie (např. částice α), rychlejší jí předají méně (např. záření β). Také je zřejmé, že mají největší schopnost předávat energii na samém konci své dráhy, kdy jsou nejpomalejší. Tuto vlastnost částic vyjadřují Braggovy křivky relativní ionizace na dráze částice. Pokud částice záření má tolik energie, že elektron svým působením vytrhne z dráhy, mluvíme o ionizaci. Původně elektricky neutrální atom se stává bez jednoho elektronu kladným iontem a elektron opouštějící atom iontem záporným. Tento elektron má v některých případech sám tolik energie, že je schopen dále ionizovat a hovoříme o sekundární ionizaci. Místo po uvolněném elektronu je v obalu atomu rychle zaplněno přeskokem elektronů z vyšších energetických hladin za vyzáření příslušných fotonů, jejichž vlnová délka odpovídá energetickým rozdílům mezi hladinami a je pro každý prvek charakteristická. Hovoříme o charakteristickém záření. Protože záření elektricky nabitých částic při ionizaci přímo vytrhává elektrony z jejich míst, hovoříme o přímo ionizujícím záření.

Rozptyl je jev, při kterém částice záření a atomu na sebe působí Coulombovskými silami a jejich vlivem částice záření změni směr. Pokud přitom nedojde ke změně energetického stavu částice, jde o pružný rozptyl, pokud částice svůj energetický stav změni, jde o nepružný rozptyl.

Brzdné záření je specifickým případem rozptylu. Hmotné nabitě částice s vysokou energií, které se dostanou až k jádru atomu, na sebe s jádrem vzájemně působí přitažlivými respektive odpudivými silami. Protože je však jádro mnohem těžší, než částice záření, částice je donucena prudce změnit směr a rychlost letu. Tím se prudce změni i energie částice a rozdíl energie je vyzářen ve formě fotonu tzv. brzdného záření. Z uvedeného vyplívá, že maximum energie tímto způsobem vyzáří lehká částice, jako je elektron v blízkosti velkého a těžkého jádra. Tohoto poznatku se využívá právě pro konstrukci rentgenek. Brzdné záření má pak spojitý charakter, protože elektrony se k jádru dostávají různou rychlostí a tím i různou energií.

1.2. Detekce a měření ionizujícího záření

Cílem detekce ionizujícího záření je zjistit, jaká energie byla zářením látky předána a kvantifikovat tak účinky záření. Nejčastěji nás zajímá kerma a dávka. Tyto veličiny ovšem není možno měřit přímo a tak v praxi nejčastěji měříme elektrický proud vyvolaný procesy ionizace a excitace v detektorech a pomocí korekčních faktorů naměřenou hodnotu proudu převádíme na veličiny žádané.

Základní součástí každého zařízení používaného k detekci a měření ionizujícího záření je detektor, dalšími součástmi je jednotka pro zpracování a vyhodnocení signálu z detektoru a jednotka zobrazovací, resp. záznamová.

1.2.1. Detektory ionizujícího záření

Detektory lze rozdělit na dva základní druhy.

Kontinuální detektory, jenž podávají průběžnou informaci o okamžité hodnotě charakterizující detekované záření v místě detektoru. Po ukončení ozařování klesne výstupní signál na nulu. Tyto detektory měří například dávkový nebo kermový příkon apod. A **integrální detektory** u nichž se hodnota odezvy zvětšuje s dobou, po kterou je detektor ozařován – hodnotu měřené veličiny „nasčítává“. I po ukončení ozařování zůstává informace za celou dobu ozařování v detektoru uchována. Tyto detektory měří např. dávku, kerma a expozici. Nazývají se zpravidla dozimetry.

1.2.1.1. Kontinuální detektory

Nejpoužívanější kontinuální detektory lze rozdělit do tří hlavních skupin.

- Ionizační detektory
- Scintilační detektory
- Polovodičové detektory

Ionizační detektory (plynové detektory), jsou vlastně různě upravené kondenzátory. Elektrody kondenzátoru jsou od sebe izolovány určitým plynem. K elektrodám je připojen zdroj stejnosměrného napětí. Protože plyn je nevodivý v klidovém stavu nemůže proud procházet. Záření však plyn ionizuje, kladné ionty plynu jsou přitahovány k záporné elektrodě a záporné ionty ke kladné elektrodě. Proto dojde-li k ionizaci plynu působením ionizujícího záření, začne obvodem procházet měřitelný proud. Velikost naměřeného proudu odpovídá počtu ionizovaných atomů plynu a tedy i dávce záření. Takto pracují ionizační detektory při detekci nabitých částic. Fotonové záření musí nejprve interagovat s materiálem komory, vyvolat emisi sekundárně ionizujících částic a ty pak jsou detekovány.

V závislosti na velikosti přiloženého napětí, na způsobu reakce detektoru na průchod ionizačního záření a na konstrukci rozlišujeme různé druhy ionizačních detektorů.

Jsou to **ionizační komory**, používané především ke stanovení dávkového příkonu, expozičního příkonu a kermového příkonu (popř. dávky, expozice a kermy) ve vzduchu. Dále jsou to **Geiger – Müllerovy počítáče**. GM počítáč je variantou ionizační komory, kdy elektrody jsou napájeny vysokým napětím urychlujícím pohyb iontů plynu k příslušným elektrodám. V důsledku zrychlení jsou ionty schopny sekundárně ionizovat, což zvyšuje citlivost zařízení k detekci velice nízkých energií záření, ovšem za cenu určitého zkreslení výsledku. Nedají se použít ke spektrometrickým měřením, tj. k měření energie ionizujícího záření. **Proporciální počítáče** lze použít např. k detekci nízkoenergetického záření, které nelze detekovat pomocí GM počítáče a navíc se dají použít ke spektrometrickým měřením. S vhodnou plynovou náplní se dají použít i k měření neutronového záření.

Scintilační detektory, jsou látky, ve kterých vznikají dopadem ionizujícího záření světelné záblesky – scintilace. Využívají tak schopnosti záření excitovat elektrony atomů. Tyto světelné záblesky se dají po zesílení ve fotonásobiči detekovat a převést na měřitelný elektrický proud, odpovídající absorbované dávce. Scintilační detektory mají velmi vysokou účinnost pro nabitě částice i pro elektromagnetické záření. Dají se použít i pro spektrometrická měření.

Polovodičové detektory jsou vlastně analogií ionizační komory, jen namísto plynu je mezi elektrodami polovodičový materiál (křemík, germanium), jde tedy vlastně o tuhé ionizační komory. Působením ionizujícího záření dochází v původně nevodivém polovodičovém materiálu ke vzniku proudových nosičů elektron – díra . Po přiložení stejnosměrného napětí na elektrody, se dají tyto proudové nosiče do pohybu a v připojeném obvodu vznikne elektrický impuls. Velikost tohoto impulsu závisí na energii dopadajícího záření. Polovodičové detektory se používají jak k detekci ionizujícího záření, tak pro spektrometrická měření. Energetická rozlišovací schopnost je přitom výrazně lepší než u ionizačních či scintilačních detektorů.

1.2.1.2. Integrální detektory

Integrální detektory mají celou řadu principů na nichž můžou být založeny. Nejpoužívanějšími principy jsou ty používané v osobní dozimetrii.

Filmové dozimetry

Filmové dozimetry fungují na podkladu fotochemických účincích ionizujícího záření ve fotografickém materiálu. Fotografický film dozimetru je zabalen do černého papíru (má tlustší emulzi s vyšším obsahem bromidu stříbra). Film je vložen do plastového pouzdra, které je opatřeno několika obdélníčky měděných a olověných plíšků o různých tloušťkách. Ty slouží jako filtry pohlcující záření v závislosti na jeho energii. Ionizující záření prochází přes obal filmu a ve fotoemulzi vytváří latentní obraz, který lze vyvoláním zviditelnit. Optická hustota zžednutí či zčernání filmu, kterou lze vyhodnocovat fotometricky, je pak mírou dávky, kterou byl dozimetr ozářen. Indikuje tak dávku, která by byla absorbována v tkáni vystavené této expozici. Filtry plastového pouzdra, pak slouží jednak ke korekci závislosti zčernání na energii záření, jednak porovnáním zčernání pod jednotlivými filtry lze odhadnout druh a zhruba i energii záření.

Výhodami filmových dozimetrů jsou vysoká citlivost, trvalost záznamu, možnost získávat částečné informace o energii, směru a druhu záření a v neposlední řadě nízká cena, oproti tomu je zde nevýhodou malá přesnost, směrová a energetická závislost, malý měřicí rozsah a citlivost na vnější vlivy.

Luminiscenční dozimetry (TLD, PLD)

Stejně jako u scintilačního jsou i u luminiscenčního dozimetru elektrony ozářením vybudeny do vyššího energetického stavu. Nedochozí zde ale k samovolné deexcitaci, neboť uvolněné elektrony jsou zachyceny do děr v lokálních poruchách mřížky dielektrické pevné látky. K opuštění tohoto stavu je nutné dodat z vnějšku určitou energii. U **termoluminiscenčních dozimetrů (TLD)** je to ohřevem dané látky, u **fotoluminiscenčních detektorů (PLD)** je to jejím osvětlením. Část energie při návratu do stabilního stavu je vyzářena ve formě viditelného nebo ultrafialového světla, záblesku. Tento světelný záblesk se převede při vyhodnocování dozimetru na elektrický impuls, jehož velikost je úměrná celkové dávce, kterou byl dozimetr ozářen.

Výhodami těchto dozimetrů jsou velký měřicí rozsah, malé rozměry, malá energetická závislost, rychle vyhodnocování a jeho automatizace, avšak zároveň je vyhodnocování nákladné, záznam v dozimetru postupně klesá a neposkytuje takovou šíři údajů jako filmový dozimetr.

Kromě těchto zmíněných integrálních detektorů, existuje řada dalších, založených na fyzikálních, chemických i biologických změnách. V současné době jsou stále více používány typy elektronických dozimetrů, kde je použit kontinuální detektor a sumace veličiny je prováděna elektronicky.

1.2.2. Stínění ionizujícího záření

Znalostí interakcí jednotlivých druhů záření se využívá v radiační ochraně ke stínění. Principem stínění je postavit do cesty ionizujícímu záření materiál, ve kterém bude záření zcela nebo částečně pohlceno. Pro různé interakce, používáme tedy různé materiály.

Ke stínění fotonového záření se používají materiály s vysokým protonovým číslem. Typické je olovo, beton, sklo s příměsí oxidu olovnatého a omítka s příměsí barytu. Charakteristikou stínícího materiálu je tzv. polotloušťka. Je definována jako taková vrstva absorpčního materiálu, která sníží intenzitu záření na polovinu. Závislost poklesu intenzity záření na tloušťce stínícího materiálu je exponenciální.

Pro absorpci záření β^- se používají lehké materiály, jako například plexisklo tlusté do 1 cm. V těžkých materiálech by mohlo dojít k emisi tvrdého brzděného záření. Pro záření β^+ je nutno navíc použít asi 3 cm olova pro odstínění anihilačního záření.

Při stínění neutronového záření, je zaprvé nutné neutrony zpomalit, ty totiž pružnými srážkami svou energii téměř neztrácejí. Nejúčinnější zpomalení nastává rozptylem na jádrech vodíku – používá se např. polystyrén. Pomalé neutrony se pak absorbují v kadmii či bóru a další, olověná vrstva, musí pohltnout následnou emisi γ záření z jader atomů kadmia a bóru.

1.3. Biologické účinky záření

Ionizační záření působí na lidský organismus obdobně jak na jakoukoli jinou hmotu či látku. Je to stejný mechanismus předání energie, excitace a ionizace, avšak v živé hmotě má ionizační záření navíc biologické následky. Organismus na ozáření aktivně reaguje. Těmito reakcemi se zabývá radiobiologie. Reakce na ozáření je komplexní a velice složitá. Byla vytvořena celá řada teorií, které se snaží vysvětlit mechanismy vedoucí k pozorovaným následkům ozáření lidského organismu.

1.3.1. Základní teorie účinků záření na lidský organismus

První, starší teorií je tzv. zásahová teorie či teorie přímého účinku ionizujícího záření. Podle ní dochází k poškození buněk, zejména jejich jader a DNA přímým zásahem kvanta ionizujícího záření. Dnes se však již soudí, že pravděpodobnost takového děje je natolik nízká, že není možné tento mechanismus považovat za dominantní děj poškozující živou hmotu. V současné době se dominantní role připisuje teorii nepřímých účinků či radikálové teorii. Tato teorie je založená na faktu, že živé organismy sestávají z velké části z vody a že tedy pravděpodobnost interakce záření s molekulami vody je velice vysoká. Při interakci záření s molekulami vody dochází jako v každé jiné hmotě k předávání energie a následným dějům excitace a ionizace molekul vody. Hovoříme o fyzikálním stádiu účinku záření. Molekuly vody se radiolýzou rozpadají za vzniku tzv. volných radikálů. Jedná se hlavně o hydroxylový radikál (OH^\cdot), peroxid vodíku (H_2O_2) atd. Zde hovoříme o chemickém stádiu účinku záření. Volné radikály mají obrovskou reaktivitu danou existencí nepárových elektronů v obalu atomu a svou vazbou na biomolekuly způsobují jejich poškození. Volné radikály reagují s enzymy a poškozují tím enzymatický aparát buňky. Reakcí s lipidy dochází k poškození buněčných membrán. Reakcí s aminokyselinami se mění biologické funkce proteinů. A konečně oxidací dusíkatých bází nukleových kyselin a vytrhávání vazeb vodík – uhlík. Může tak dojít ke štěpení jednoho nebo obou řetězců DNA. Narušení DNA, zejména její dvojité zlomy, považujeme za nejzávažnější účinek

záření. Hovoříme o biochemickém účinku záření. v biologickém stádiu účinku záření pak pozorujeme reakce buněk a reakce celého organismu na ozáření.

1.3.2. Buněčná odpověď na ozáření

Při vysokých dávkách záření (více než 100 Gy) dochází k zániku buňky nektrózou v důsledku koagulace buněčných proteinů. V případě nižších expozií, kdy buňka přežívá a je poškozena, považujeme za nejzávažnější následek ozáření poškození buněčné DNA. Existuje několik možností odpovědi na záření.

- Buňka plně a správně reparuje poškození a je schopna se dále dělit
- Buňka není schopna reparovat škody a zaniká apoptózou
- Buňka není schopna reparovat škody, ale přežívá. Nemůže se však dále dělit – reprodukční smrt buňky
- Buňka reparuje poškození DNA nesprávně a navíc je schopna se dále dělit. Znamená to, že v buňce byly zářením poškozeny klíčové reparační a regulační geny. Jedná se o geny zodpovědné za reparaci buněčné DNA, geny zodpovědné za proces apoptózy, geny regulující buněčnou proliferaci – protoonkogeny a antionkogeny. Selhání reparačních a regulačních mechanismů umožní, že se poškozená genetická informace přenáší na další buněčné generace. U gametických buněk se poškození DNA může projevit na potomstvu ozářené osoby. Somatické buňky s poškozenými geny regulujícími buněčnou proliferaci pak mohou vést k nezvratnému nekontrolovatelnému růstu – nádorovému onemocnění.

1.3.3. Reakce tkání na ozáření

Různé buňky tkání, reagují různě na záření. Navíc je buňka různě vnímavá k ozáření v různých fázích svého životního cyklu. Zatímco buňka v klidové fázi je poměrně radiorezistentní, v průběhu mitózy je poměrně radiosenzitivní. Nejvíce mutací pak vzniká při expozici zářením v době kompletace dceřinné DNA a přípravy k vlastnímu dělení buňky. Radiosenzitivní jsou tedy tkáně obsahující rychle se dělící, málo diferencované buňky. Takovými tkáněmi jsou například kostní dřeň, střevní sliznice, či samčí gonády. Poškození buněk těchto tkání bývá tak velké, že hynou a tkáň jako celek reaguje na poškození proliferací z kmenových buněk (pokud přežívají). Radiorezistentní jsou tkáně obsahující málo, či vůbec se nedělící diferencované buňky. takovými tkáněmi jsou např. myokard či buňky nervové. Tyto buňky většinou svá poškození reparují.

1.3.4. Hledisko vztahu dávky a účinku

Z tohoto hlediska rozlišujeme dva typy účinků:

Účinky nestochastické (deterministické) – tyto účinky jsou pozorovatelné pro relativně vyšší dávky. Pro tento typ účinku je typické, že lze prokázat přímou souvislost mezi ozářením a následkem pro organismus. Druh poškození (onemocnění) je pro radiační poškození typický a liší se od chorob běžné populace. Existuje prahová dávka, při které účinek nastane a při zvyšování dávky se závažnost poškození zvyšuje. Pod prahovou dávkou se účinky neprojeví. Jedná se tedy o účinky prahové. Typickým příkladem je radiační dermatitida.

Účinky stochastické – účinky stochastické jsou typické pro nižší dávky, například užívané v radiodiagnostice. Nepozorujeme zde žádnou prahovou dávku ani růst závažnosti poškození se stoupající dávkou. Se stoupající dávkou, se pouze zvyšuje pravděpodobnost vzniku poškození organismu. Přitom lze jen těžko prokázat, že

k následkům došlo vinou ozáření. Podkladem stochastických účinků bývají mutace buněčné DNA a příkladem jsou nádorová onemocnění či genetická postižení potomstva.

1.3.5. Hledisko časového účinku dávky

Časné účinky

Vznikají bezprostředně po ozáření až do jednoho roku po něm. Vycházejí z reakce organismu na poškození či zničení významné části buněk. Postiženy jsou zejména radiosenzitivní tkáně. Jde např. o radiační dermatitidu či akutní nemoc z ozáření.

Pozdní účinky

Vznikají jeden rok až deset let po ozáření. Jsou založeny na reparačních mechanismech a příkladem mohou být orgánové fibrózy.

Velmi pozdní účinky

Vznikají 10 – 30 let po ozáření. Jsou založeny na mutacích buněčné DNA v důsledku ozáření. Příkladem jsou nádorová onemocnění.

1.3.6. Biologická účinnost absorbované dávky

Pro kvantifikaci vlivu záření na tkáně, orgány a organismus nestačí prosté změření dávky záření. Je nutno vzít v úvahu různou schopnost ionizace různých druhů záření, různou radiosenzitivitu tkání i různou důležitost jednotlivých orgánů pro život. Důležité je tedy i místo ozáření, vektor záření, jeho časový průběh, zda se jedná o dávku jednorázovou či rozdělenou do menších opakovaných ozáření. V neposlední řadě záleží na věku, fyzické a psychické kondici ozářeného jedince a souběhu další nepříznivých faktorů. Zavádějí se proto veličiny, které alespoň některé z faktorů kvantifikují a umožňují vyjádřit biologický účinek ozáření jedním číslem.

1.3.7. Veličiny charakterizující biologické účinky ionizujícího záření

Dávkový ekvivalent

Je součin absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q, jenž vyjadřuje různou biologickou účinnost různých druhů záření. Hodnoty jakostního činitele jsou funkcí lineárního přenosu energie. Najdeme je v tabulce č.3 přílohy č.5 vyhlášky č. 307/2002 Sb.

$$H = D \cdot Q \quad [Sv = J \cdot kg^{-1}]$$

Záření	γ	β	p	α	rychlé neutrony	tepelné neutrony
Q	1	1	10	20	10	3

Ekvivalentní dávka

Zohledňuje různé biologické účinky různých druhů záření, tedy různou schopnost různých druhů záření předat tkáni energii. Tato schopnost je vyjádřena konstantou - radiačním váhovým faktorem w_R pro daný druh záření.

Druh záření	Radiační váhový faktor w_R
Fotony	1
Elektrony	1
Neutrony, méně než 10 keV	5
Neutrony, 10 – 100 keV	10
Neutrony, 100 keV – 2 MeV	20
Neutrony, 2 MeV – 20 MeV	10
Neutrony, více než 20 MeV	5
Protony, více než 20 MeV	5
Částice alfa, těžká jádra	20

$$H_T = w_R \cdot D_T \quad [Sv = J \cdot kg^{-1}]$$

Kdy D_T je střední dávka v orgánu či tkáni způsobená daným druhem záření.

Jeli orgán (nebo tkáň) ozáren směsí různých druhů ionizujícího záření, je výsledná ekvivalentní dávka pro tento orgán (tkáň) rovna součtu ekvivalentních dávek pro jednotlivé druhy záření.

Efektivní dávka

Vyjadřuje podíl jednotlivých tkání a orgánů na celkovém stochastickém poškození organismu vzhledem k rozdílu radiosenzitivity jednotlivých tkání vyjádřením tkáňovým váhovým faktorem w_T , což je relativní hodnota koeficientu rizika stochastických účinků pro danou tkáň nebo orgán. Vyjadřuje tedy radiosenzitivitu dané tkáně či orgánu na stochastické účinky.

Tkáň, orgán	Tkáňový faktor w_T
Gonády	0,20
Červená kostní dřeň	0,12
Tlusté střevo	0,12
Plíce	0,12
Žaludek	0,12
Močový měchýř	0,05
Mléčná žláza	0,05
Játra	0,05
Jícen	0,05
Štítná žláza	0,05
Kůže	0,01
Povrchy kostí	0,01
Ostatní orgány a tkáně	0,05

$$E = \sum w_T \cdot H_T \quad [Sv = J \cdot kg^{-1}]$$

Osobní dávkový ekvivalent

Je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce tkáně d . Užívá se pojem hluboký dávkový ekvivalent v hloubce tkáně 10 mm $H_{p(10)}$ a mělký dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm $H_{p(0,07)}$. Jednotkou je opět 1 Sievert.

1.4. Radiační ochrana, cíle a principy radiační ochrany

Radiační ochrana je systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření osob a životního prostředí. Cílem radiační ochrany v radiodiagnostice je úplné vyloučení nestochastických (deterministických) účinků a maximálně omezit účinky stochastické.

Jelikož deterministické účinky jsou prahové, našim cílem je tedy dosahovat pouze takových osobních dávek, které jsou menší nežli prahové. A to i pro jednotlivé orgány lidského těla jenž mají různou citlivost k záření, a proto jsou i jejich prahové hodnoty různé. Míra deterministických účinků na zvolený orgán, je hodnocena ekvivalentní dávkou v orgánu. U stochastických bezprahových limitů, je cílem optimalizovat ochranu před ionizujícím zářením, kdy nesmí být překročeny základní limity. Pravděpodobnost stochastických účinků hodnotíme efektivní dávkou.

1.4.1. Principy radiační ochrany

K dosažení cílů radiační ochrany, je nutné dodržovat základní principy radiační ochrany. Principy ochrany před ionizujícím zářením, jsou všeobecnými podmínkami pro vykonávání činností využívajících jadernou energii a činností vedoucích k ozáření.

V současnosti jsou platné tyto základní principy radiační ochrany:

Princip zdůvodnění

Tento princip požaduje, aby veškerá činnost vedoucí k ozáření osob přinášela více užitku, než škody. Podmínkou lékařského ozáření, je důvodné očekávání, že přínos pro pacienta bude větší, než újma, kterou může ionizující záření přinést. Stejně tak to platí u pracovníků užívajících ionizačního záření, že újma jim způsobená ionizačním zářením bude nižší, než kladný výsledek jejich práce pro společnost.

Princip optimalizace

Je to systém technických a organizačních opatření, nástrojů a pomůcek, které zabezpečí, že ozáření osob dosáhne jen nezbytného minima. V podmínkách radiodiagnostiky se jedná o dosažení maximálně kvalitního diagnostického nebo i léčebného účinku při minimálním možném ozáření pacienta, ale i personálu.

Princip optimalizace radiační ochrany je mezi odbornou veřejností označován jako princip **ALARA**, což je zkratka výrazu As Low As Reasonably Achievable – tak nízké, jak je rozumně dosažitelné.

S principem optimalizace je často zmiňována tzv. směrná hodnota. Jde o ukazatel či kritérium, jenž je vodítkem pro posouzení opatření v radiační ochraně, jeho překročení nebo nesplnění indikuje podezření, že radiační ochrana není optimalizována. Používání směrných hodnot je běžným způsobem aplikace principu optimalizace, znamená to tedy, že pokud jsou osobní dávky pod směrnými hodnotami, nemusíme dále optimalizaci prokazovat.

Radiační ochrana je také považovaná za optimalizovanou ve chvíli, kdy v důsledku dané činnosti za normálních podmínek roční efektivní dávka u žádného z radiačních pracovníků nepřekročí hodnotu 1 mSv a roční efektivní dávka u žádné jiné osoby nepřekročí 50 μ Sv. Pro pracoviště IV. kategorie nesmí současně překročit kolektivní efektivní dávka hodnotu 1 Sv. Je-li to splněno, není třeba provádět optimalizační postup.

Pro lékařské ozáření limity neplatí, v příloze vyhlášky č. 307/2002 Sb. jsou pro radiodiagnostické výkony uvedeny **diagnostické referenční úrovně**. Jsou to

diagnosticky směrné hodnoty, které by neměli být překračovány. Při jejich překračování je nutné prokázat, že se pod ně nelze rozumně dostat.

Princip limitování

Je to systém prostředků a metod, umožňující kontrolu nad úrovněmi ozáření při radiální činnosti. V praxi jde o systém porovnání legislativně stanovených limitů, skutečného zjištění ozáření osob, ale i omezení vystavení osob záření vůbec.

Limity ozáření, jsou závazné kvantitativní ukazatele, jejichž překročení není přístupné.

Základní limity jsou rozděleny do tří skupin:

Obecné limity

	limit [mSv]
Efektivní dávka za kalendářní rok	1
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	15
Ekvivalentní dávka v 1cm ² kůže za kalendářní rok	50

Efektivní dávkou se v tabulce rozumí součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z ozáření vnitřního za příslušné časové období.

Limity pro radiální pracovníky

	limit [mSv]
Efektivní dávka za dobu 5 po sobě jdoucích kalendářních roků	100
Efektivní dávka za kalendářní rok	50
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	150
Ekvivalentní dávka v 1cm ² kůže za kalendářní rok	500
Ekvivalentní dávka v končetinách za kalendářní rok	500

Efektivní dávkou se v tabulce rozumí součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z ozáření vnitřního za příslušné časové období.

Limity pro učně a studenty

	limit [mSv]
Efektivní dávka za kalendářní rok	6
Ekvivalentní dávka v oční čočce za kalendářní rok	50
Ekvivalentní dávka v 1cm ² kůže za kalendářní rok	150
Ekvivalentní dávka v končetinách za kalendářní rok	150

Efektivní dávkou se v tabulce rozumí součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z ozáření vnitřního za příslušné časové období.

Za učně a studenty jsou považovány osoby, připravující se v rámci svého studia na práci v riziku ionizujícího záření ve věku minimálně 16 let a ještě jim nebylo 18 let.

Tyto limity se nevztahují na ozáření z **přírodních zdrojů** kromě zdrojů vědomě a záměrně využívaných jako je těžba a zpracování uranové rudy, **lékařské ozáření** – ozáření při lékařských výkonech v radiodiagnostice, radioterapii a nukleární medicíně, **havarijní ozáření** fyzických osob v důsledku radiační nehody nebo radiační havárie a havarijní ozáření zasahujících fyzických osob.

Odvozené limity pro zevní ozáření

	limit [mSv]
Osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07mm za kalendářní rok	500
Osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10mm za kalendářní rok	20

Kromě těchto odvozených limitů pro zevní ozáření existují i odvozené limity pro vnitřní ozáření a limity pro současné zevní a vnitřní ozáření.

Pakliže nejsou překročeny odvozené limity, je zaručeno ve všech běžných případech, že nedošlo k překročení limitů základních. Naopak ale zase jejich překročení nemusí ještě znamenat překročení základních limitů, ale je zde pak povinnost podrobné analýzy a stanovení skutečných osobních efektivních a ekvivalentních dávek příslušných osob.

Autorizované limity jsou závazné kvantitativní ukazatele stanovené jako výsledek optimalizace radiační ochrany, pro jednotlivou radiační činnost v povolení Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Setkáváme se s nimi hlavně v jaderné energetice a dalších pracovištích IV. kategorie.

Zvláštní limity

Jsou to limity používané ve zvláštních případech

	hodnota limit E
Ozáření plodu u těhotných žen pracujících na pracovištích se zdroji IZ, a to od oznámení zaměstnavateli po zbytek těhotenství	1 mSv/rok
Ozáření osob, jež vědomě a dobrovolně, mimo rámec povolání nebo pracovního poměru, pečují o osoby vystavené lékař. ozáření	5 mSv/rok, 1mSv/rok*
Výjimečné ozáření (ozáření z mimořádných prací) radiačních pracovníků kategorie A	500 mSv/ 5 let
Výjimečné ozáření (ozáření z mimořádných prací) jednotlivce z obyvatelstva (člena kritické skupiny)	5 mSv/ 5 let
Ozáření osob (radiačních pracovníků kategorie A) podílejících se na zásazích v případě radiační nehody	500 mSv/ 5 let

* u osob mladších 18 let

Princip bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření

Je to princip zabezpečení zdrojů ionizujícího záření proti ztrátě kontroly nad nimi, a to včetně zlovolného i nechtěného neautorizovaného použití či zneužití, za všech předvídatelných podmínek.

Bezpečnost zdrojů IZ obsahuje tyto požadavky:

- zábrana odcizení a přístupu k nim nepovolaným osobám
- trvalé sledování zdroje a hlášení ztráty příslušným orgánům
- předávání zdroje jen osobě, jež je držitelem platného povolení
- periodická inventarizace mobilních zdrojů
- technická bezpečnost – typové posuzování zdrojů IZ autorizovanou zkušebnou či národní autoritou (v ČR SUJB)
- udržování dobrého technického stavu zdrojů IZ a jeho ověřování systémem zkoušek přijímacích, provozní stálosti a dlouhodobé stability
- udržování dobrého stavu i všech dalších zařízení, prostředků a materiálů, které bezprostředně souvisí s bezpečným používáním zdrojů IZ a optimalizovaným prováděním radiačních činností s nimi, a jeho ověřování v rámci zkoušek provozní stálosti.

1.4.2. Rozdělení zdrojů IZ, pracovišť a pracovníků

Pro účely radiační ochrany je důležitá klasifikace zdrojů ionizujícího záření, kategorizace pracovišť a pracovníků. Dle této klasifikace, vyžaduje SÚJB, resp. česká legislativa různou úroveň opatření k radiační ochraně, režim provozu pracovišť a další náležitosti.

Klasifikace zdrojů ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření se klasifikují na nevýznamné, drobné, jednoduché, významné a velmi významné a to dle vzestupného možného ohrožení zdraví a životního prostředí. Kostní denzitometry, kabinová a zubní rentgenová zařízení patří mezi jednoduché zdroje, ostatní radiodiagnostické přístroje jsou vedeny jako zdroje významné.

Kategorizace pracovišť, kde se vykonává radiační činnost

Kategorizace pracovišť se zdroji ionizujícího záření se provádí hlavně dle zdroje a očekávané míry ozáření osob za běžného provozu. Pracoviště s kostními denzytometry, kabinovými rentgenovými zařízeními a zubními rentgeny jsou řazeny do I. kategorie, ostatní radiodiagnostická pracoviště do II. kategorie.

Kontrolované a sledované pásmo

Kontrolované a sledované pásmo je vymezeno dle míry možné efektivní dávky jenž osoby v těchto pásmech za běžného provozu obdrží. U sledovaného pásma je to 1mSv za rok nebo 0,1 limitu pro oční čočku, kůži a končetiny. U kontrolovaného pásma 6 mSv za rok nebo 0,3 limitu pro čočku, kůži a končetiny, případně o příkon dávkového ekvivalentu zevního ozáření vyšší, než 2,5 μ Sv/hod. Kontrolované pásmo je vymezeno jako jednoznačně určená část pracoviště, většinou stavebně oddělená, jištěná proti vstupu nepovolaných osob a s varovnými nápisy na vchodech. V kontrolovaném pásmu smějí pracovat jen pracovníci kategorie A, ostatní pracovníci jen za podmínek nepřekročení obecných limitů ozáření. Jiné osoby smějí do kontrolovaného pásma vstupovat jen řádně poučeny, zákaz vstupu je pro těhotné ženy a děti do 18 let,

s výjimkou pacientů. Sledované pásmo na radiodiagnostických pracovištích splývá s pásmem kontrolovaným, proto se zde většinou nevymezuje.

Kategorizace radiačních pracovníků

Pracovní jsou zařazováni do kategorií dle jejich činnosti a odhadu možných dávek, které mohou obdržet za běžného provozu. Radiačním pracovníkem se rozumí každá osoba, která by mohla být vystavena profesnímu ozáření. Pracovníci kategorie A jsou tedy ti, kteří by mohli obdržet za rok dávku vyšší než 6 mSv nebo ekvivalentní dávku vyšší než 0,3 limitu ozáření pro kůži, oční čočku a končetiny. Jedná se tedy především o lékaře provádějící skiaskopická vyšetření či kardiologické a cévní intervence a příslušný personál jako zdravotní sestry a samozřejmě radiologičtí asistenti. Ostatní jsou radiačními pracovníky kategorie B. Může se jednat o pracovníky obsluhující kostní denzitometry, kabinová rentgenová zařízení, zubní rentgeny, ale i radiologičtí asistenti pracující jen na skiagrafických pracovištích a další pracovníci radiologického oddělení u kterých se předpokládá pohyb v kontrolovaném pásmu jen v době kdy není emitováno ionizační záření. Pracovníci kategorie A jsou osobně monitorováni a podléhají pravidelnému lékařskému dohledu. Musí být prokazatelně informováni o rizicích své práce, soustavně vzděláváni zejména v otázkách radiační ochrany a prokazovat své znalosti zkouškou. V případě zájmu, musejí být informováni o naměřených hodnotách svého osobního monitorování

1.4.3. Soustavný dohled nad radiační ochranou

Nad radiační ochranou na pracovišti musí být vykonáván soustavný dohled osobami s přímou zodpovědností za radiační ochranu a dohlížejícími osobami. Tyto osoby musejí být řádně kvalifikováni dle předpisů. Přímou odpovědné osoby za radiační ochranu musí dohlížet zda pracovníci plní technické, organizační i administrativní požadavky k zajištění radiační ochrany. Dohlížející osoby jsou povinny sledovat a hodnotit zajištění všech opatření k radiační ochraně a navrhnout nápravy nedostatků. Zabezpečují vzdělávání a ověřování způsobilosti radiačních pracovníků, podílejí se na

přípravě a realizaci programu monitorování, organizují přijímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability, provozní stálosti a vedou předepsané dokumentace.

1.4.4. Program monitorování

V radiodiagnostice slouží monitorování ke sledování osobních dávek a jejich hodnocení, monitorování pracoviště není nutné. Prokazuje se díky němu optimalizace a limitování dávek, bezpečný provoz a odchylky od normálního provozu.

Pracovníci jsou opatřeni filmovým dozimetrem. Nosí se na levé přední straně hrudníku na tzv. referenčním místě, z vnějšku na oděvu, okénkem v kazetě dopředu. Pokud má pracovník na sobě ochranou zástěru, nosí se zvnějšku na zástěře. Někdy je v programu monitorování uvedena nutnost nosit doplňující dozimetry. Bývá to zejména u intervenčních pracovišť a pracovišť kde se provádí vyšetření kardiologická a angiologická. Pracovníci bývají vybaveni prstovým termoluminiscenční dozimetrem. Dozimetry radiačních pracovníků kategorie A jsou vyhodnocovány každý měsíc. U pracovníků kategorie B není monitorování nutné, pokud s tak děje, bývají vyhodnocovány jednou za 3 měsíce.

1.4.5. Systém jakosti

Systém jakosti je základní nezbytný prostředek k naplňování úkolů radiační ochrany. Je důkazem zdůvodnění, optimalizace i limitování ozáření. Tento systém musí jasně definovat důležité činnosti a ke každé přiřadit jednoznačnou odpověď konkrétní osoby. Je řízen dokumentací, obvykle rozdělenou do tří stupňů (úrovní).

Základním dokumentem je **Program zabezpečování jakosti**. Vychází z požadavků právních norem a popisuje jak je systém jakosti pokrývá. Bez jeho existence SÚJB nevydá povolení k provozování zdrojů ionizačního záření. Dodržování programu je pak během provozu SÚJB kontrolováno.

Dalším dokumentem je **Příručka jakosti**. Popisuje hlavní činnosti, vzájemné vztahy, pravomoci a odpovědnosti. Následujícím stupněm řízení systému jakosti jsou

organizační směrnice, vnitřní havarijní plán a program monitorování, které popisují jednotlivé části systému podle zásady – kdo a co vykonává jak při tom postupuje. Posledním stupněm řízení jakosti jsou pracovní postupy, instrukce a návody dle zásady – kdy a kde se činnost provádí a jak se při ní postupuje.

Součástí programu zabezpečování jakosti je také **zabezpečování jakosti používaných přístrojů a pomůcek**. Pro účely radiační ochrany je nutné aby všechny přístroje a ochranné pomůcky měly trvale deklarované parametry a ochranné vlastnosti. K ověřování parametrů zařízení zda splňují parametry deklarované se organizují zkoušky. Při uvádění zařízení do provozu je to **přejímací zkouška**. Prováděna může být jen osobami s povolením SÚJB. Dále se periodicky provádí **zkouška provozní stálosti**. Provádí se v intervalech určených výrobcem zařízení či stanovených při přejímací zkoušce. Dále pak po opravě nebo údržbě, která by mohla ovlivnit parametry přístroje. Zkoušku může provádět nebo organizovat provozovatel přístroje. Jednou ročně se pak provádí **zkouška dlouhodobé stability**. Provádí se však také vždy po údržbě či opravě, které by mohli mít vliv na parametry sledované při zkoušce. Dále se provádí vždy, když výsledky zkoušky provozní stálosti opakovaně neodpovídají normě.

2. Cíle práce a hypotézy

Cíle práce: Zdokumentovat účinek konkrétních způsobů radiační ochrany zdravotnických pracovníků při činnostech se zdroji ionizujícího záření na radiodiagnostickém oddělení ústřední vojenské nemocnice v Praze.

Porovnat konkrétně zjištěné hodnoty profesního ozáření radiologických pracovníků s limity dávek ionizujícího záření stanovenými zákonem a porovnat dávky ionizujícího záření obdržených zdravotnickými pracovníky při různých vyšetřovacích postupech.

Hypotézy: Stanovené limity profesního ozáření nejsou překračovány, pokud jsou na pracovišti dodržovány zákonem stanovené zásady ochrany proti ionizujícímu záření. K radiační zátěži přispívají nejvíce výkony spojené se skiaskopickou kontrolou.

3. Metodika

Pro zdokumentování účinku radiační ochrany zdravotnických pracovníků na mém pracovišti, jsem se rozhodl pro výběr tří modalit vyšetřování pacientů s použitím ionizujícího záření, a to vyšetření skiagrafické, skiaskopické a digitální subtrakční angiografie (DSA). Ke každé z těchto tří možností vyšetřování jsem zvolil 5 radiologických pracovníků, pravidelně na těchto konkrétních vyšetřovacích pracujících. U všech třech vyšetřovacích modalit jsem zhodnotil možná rizika profesního ozáření pracovníků a dle toho sledoval konkrétní dodržování radiační ochrany.

Dále jsem sledoval naměřené osobní dávkové ekvivalenty těchto pracovníků, z vyhodnocení osobních filmových dozimetrů a porovnával je s limity dávek ionizujícího záření stanovenými zákonem. Naměřené hodnoty jsem poté srovnával dle zmíněných třech typů vyšetření.

4. Výsledky

- Sledováno bylo celkem 15 vybraných pracovníků.
- 5 pracovníků pracujících na skiagrafické vyšetřovně. Ve všech případech šlo o radiologického asistenta
- 5 pracovníků pracujících na skiaskopické vyšetřovně se zaměřením na vyšetřování GIT. Z toho šlo o 3 lékaře a o 2 radiologické asistenty
- 5 pracovníků na vyšetřovně digitální subtrakční angiografie. Z toho šlo o 2 lékaře, 1 všeobecnou sestru - instrumentářku a 2 radiologické asistenty

Sběr dat jsem prováděl na radiodiagnostickém oddělení Ústřední vojenské nemocnice Praha. Hodnoty byly sledovány v období březen 2008 až březen 2009.

Pracovníci jsou vybaveni osobními filmovými dozimetry. Nosí je na přední levé straně hrudníku, tj. na referenčním místě. U těch pracovníků, jenž nosí při práci ochrannou stínící zástěru, je dozimetr připevněn vně této zástěry na referenčním místě.

Každý z těchto pracovníků je zařazen jako pracovník kategorie A k výkonu práce v kontrolovaném pásmu. Jak je dále zřejmé z tabulek č. 1 – č. 3, je pro tyto pracovníky kontrolní období vyhodnocování osobních dozimetrů jeden měsíc. Avšak v případě na podezření, že došlo k nechtěnému jednorázovému ozáření pracovníka, je osobní dozimetr poslán k vyhodnocení okamžitě a provádí se dozimetrické hodnocení této události.

Monitorovanou veličinou v tabulkách je osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm – Hp (10). Tj. v hloubce 10 mm pod povrchem těla. Jednotkou osobního dávkového ekvivalentu je sievert - Sv [J/kg]. Pro období za jeden rok, je navíc monitorován osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm.

Pro kontrolní období vyhodnocování osobního dozimetru za jeden měsíc jsou stanoveny referenční hodnoty: *záznamová* – 0,10 mSv; *vyšetřovací* – 0,45 mSv; *zásahová* – 20 mSv.

Současně je sledováno nepřekročení limitu pro součet efektivních dávek 50mSv za rok a 100 mSv za 5 po sobě jdoucích let.

Při překročení *záznamové* úrovně je proveden záznam do osobního spisu pracovníka, při překročení *vyšetřovací* úrovně je navíc proveden rozbor možných příčin, poučení pracovníka a snaha o nápravu. Při překročení *zásahové* úrovně je navíc pořízen protokol o příčině a zaslán na RC SÚJB a je zavedeno opatření, aby nedošlo k překročení ročního limitu.

Konkrétní naměřené osobní dávky vybraných pracovníků:

Tabulka č.1

Skiografie

Období	r. asistent 1	r. asistent 2	r. asistent 3	r. asistent 4	r. asistent 5
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 31.03.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.04.08 – 30.04.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.05.08 – 31.05.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.06.08 – 30.06.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.07.08 – 31.07.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.09.08 – 30.09.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.10.08 – 31.10.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.11.08 – 30.11.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.12.08 – 31.12.08	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.01.09 – 31.01.09	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.02.09 – 28.02.09	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.03.09 – 31.03.09	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10

Období	r. asistent 1	r. asistent 2	r. asistent 3	r. asistent 4	r. asistent 5
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50

Období	r. asistent 1	r. asistent 2	r. asistent 3	r. asistent 4	r. asistent 5
	<i>Hp (0.07) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50

V tabulce č. 1 jsou zaznamenány osobní dávkové ekvivalenty radiologických pracovníků, v tomto případě konkrétně pěti radiologických asistentů, jenž po dobu sbírání dat pracovali na skiografickém pracovišti. U žádného z pracovníků nebyla překročena záznamová referenční hodnota jak za období jednoho měsíce, ani za období jednoho roku.

Tabulka č. 2

Skiaskopie

Období	lékař 1	lékař 2	lékař 3	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 31.03.08	0,40	0,22	< 0,10	< 0,10	0,12
01.04.08 – 30.04.08	0,21	0,20	0,15	0,19	0,13
01.05.08 – 31.05.08	0,30	< 0,10	0,17	< 0,10	0,11
01.06.08 – 30.06.08	0,52	0,23	< 0,10	< 0,10	0,15
01.07.08 – 31.07.08	< 0,10	< 0,10	0,24	0,15	0,17
01.09.08 – 30.09.08	< 0,10	0,15	< 0,10	0,16	< 0,10
01.10.08 – 31.10.08	0,19	0,23	< 0,10	0,12	< 0,10
01.11.08 – 30.11.08	0,38	0,13	0,28	0,15	0,13
01.12.08 – 31.12.08	0,25	0,16	< 0,10	< 0,10	< 0,10
01.01.09 – 31.01.09	0,56	< 0,10	0,19	0,19	0,13
01.02.09 – 28.02.09	0,17	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,18
01.03.09 – 31.03.09	0,42	< 0,10	0,18	0,20	< 0,10

Období	lékař 1	lékař 2	lékař 3	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	3,40	1,32	1,21	1,16	1,12

Období	lékař 1	lékař 2	lékař 3	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (0.07) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	4,87	1,20	1,63	1,06	1,24

V tabulce č.2 jsou zaznamenány hodnoty osobních dávkových ekvivalentů radiologických pracovníků, konkrétně třech lékařů a dvou radiologických asistentů, pracujících v době sběru dat na skiaskopickém pracovišti. U žádného z těchto pracovníků nebyl překročen limit roční ekvivalentní dávky 20 mSv.

V případě lékaře č.1 byla desetkrát v roce překročena záznamová úroveň z toho dvakrát byla překročena i úroveň vyšetřovací. Maximální hodnota Hp(10) byla 0,56 mSv, průměrná hodnota 0,34 mSv (medián 0,34 mSv).

V případě lékaře č. 2 byla překročena záznamová úroveň sedmkrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,23 mSv, průměrná hodnota byla 0,19 mSv (medián 0,2 mSv).

U lékaře č.3 došlo k překročení záznamové úrovně šestkrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,28 mSv, průměrná hodnota byla 0,20 mSv (medián 0,185 mSv).

U radiologického asistenta č.1 byla překročena záznamová úroveň sedmkrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,20 mSv, průměrná pak 0,17 mSv (medián 0,16 mSv).

U radiologického asistenta č. 2 byla překročena záznamová úroveň osmkrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,18 mSv, průměrná hodnota byla 0,14 mSv (medián 0,13 mSv).

Statistické hodnoty sledovaného souboru všech pracovníků na skiaskopii:

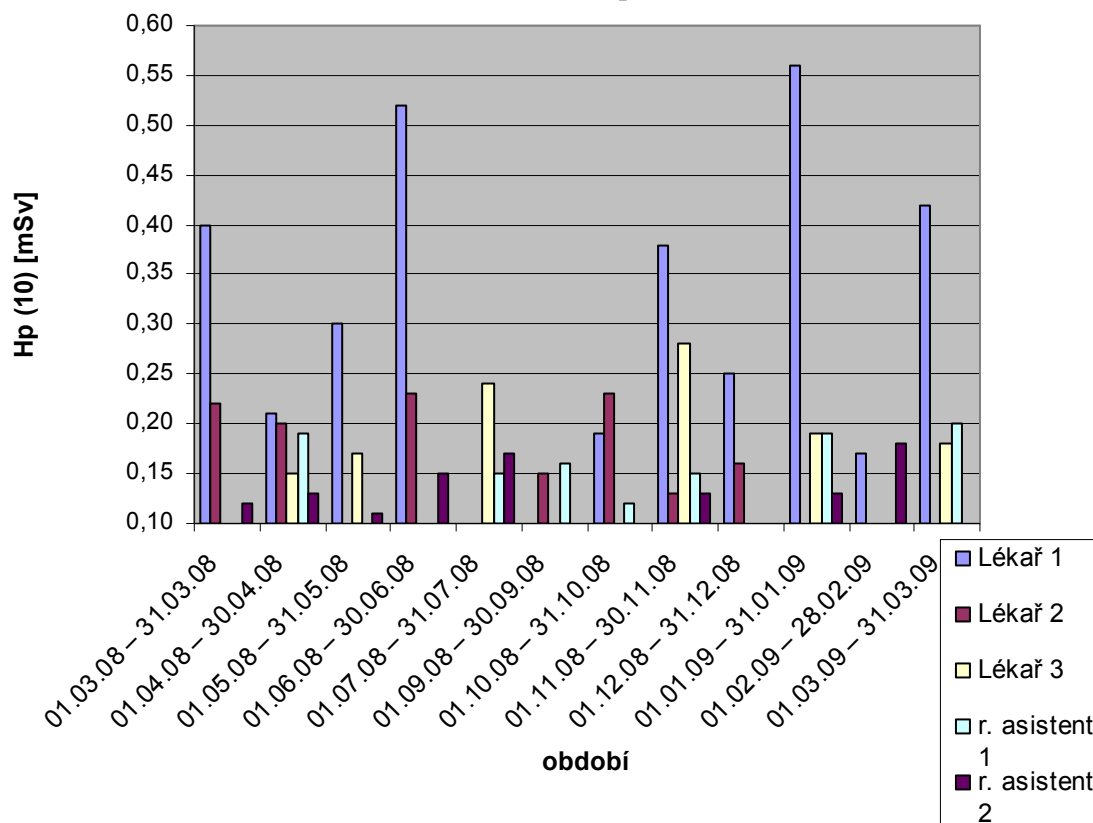
Maximum - 0,56 mSv / rok

Průměr - 0,216053 mSv / rok

Medián - 0,185 mSv / rok

Směrodatná odchylka - 0,105868

Skioskopie



graf č.1: graf hodnot naměřených osobních dávkových ekvivalentů pracovníků na skioskopii

Tabulka č. 3**DSA**

Období	lékař 1	lékař 2	sestra	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 31.03.08	< 0,10	0,61	0,38	0,18	< 0,10
01.04.08 – 30.04.08	< 0,10	0,49	0,22	< 0,10	< 0,10
01.05.08 – 31.05.08	< 0,10	0,19	< 0,10	< 0,10	0,11
01.06.08 – 30.06.08	1,10	0,51	0,12	0,19	< 0,10
01.07.08 – 31.07.08	0,14	< 0,10	0,59	< 0,10	0,12
01.09.08 – 30.09.08	0,43	0,22	< 0,10	< 0,10	0,12
01.10.08 – 31.10.08	0,97	< 0,10	0,20	< 0,10	< 0,10
01.11.08 – 30.11.08	< 0,10	0,77	< 0,10	< 0,10	0,19
01.12.08 – 31.12.08	0,51	0,60	0,45	0,12	< 0,10
01.01.09 – 31.01.09	0,27	0,59	0,19	0,14	< 0,10
01.02.09 – 28.02.09	< 0,10	1,07	0,15	0,16	< 0,10
01.03.09 – 31.03.09	0,34	0,43	0,22	0,17	< 0,10

Období	lékař 1	lékař 2	sestra	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (10) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	3,76	5,48	2,52	0,96	0,54

Období	lékař 1	lékař 2	sestra	r. asistent 1	r. asistent 2
	<i>Hp (0.07) [mSv]</i>				
01.03.08 – 01.03.09	4,59	9,60	2,37	0,93	0,51

V tabulce č. 3 jsou zaznamenány hodnoty osobních dávkových ekvivalentů radiologických pracovníků, konkrétně dvou lékařů, jedné zdravotní sestry instrumentářky a dvou radiologických asistentů, pracujících v době sběru dat na pracovišti digitální subtrakční angiografie. U žádného z těchto pracovníků nebyl překročen limit roční ekvivalentní dávky 20 mSv.

U lékaře č. 1 byla záznamová úroveň překročena sedmkrát, z toho třikrát byla překročena i úroveň vyšetřovací. Maximální hodnota Hp (10) byla 1,10 mSv, průměrná hodnota 0,54 mSv (medián 0,43 mSv).

U lékaře č. 2 byla záznamová úroveň překročena desetkrát, z toho sedmkrát byla překročena i úroveň vyšetřovací. Maximální hodnota Hp (10) byla 1,07 mSv, průměrná hodnota 0,548 mSv (medián 0,55 mSv).

U zdravotní sestry instrumentářky byla záznamová úroveň překročena devětkrát, z toho jednou byla překročena i úroveň vyšetřovací. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,59 mSv, průměrná hodnota 0,28 mSv (medián 0,22 mSv).

U radiologického asistenta č.1 byla záznamová úroveň překročena šestkrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,19 mSv, průměrná hodnota byla 0,16 mSv (medián 0,165 mSv)

U radiologického asistenta č. 2 byla záznamová úroveň překročena čtyřikrát. Maximální hodnota Hp (10) byla 0,19 mSv, průměrná hodnota pak byla 0,135 mSv (medián 0,12 mSv).

Statistické hodnoty sledovaného souboru všech pracovníků na DSA:

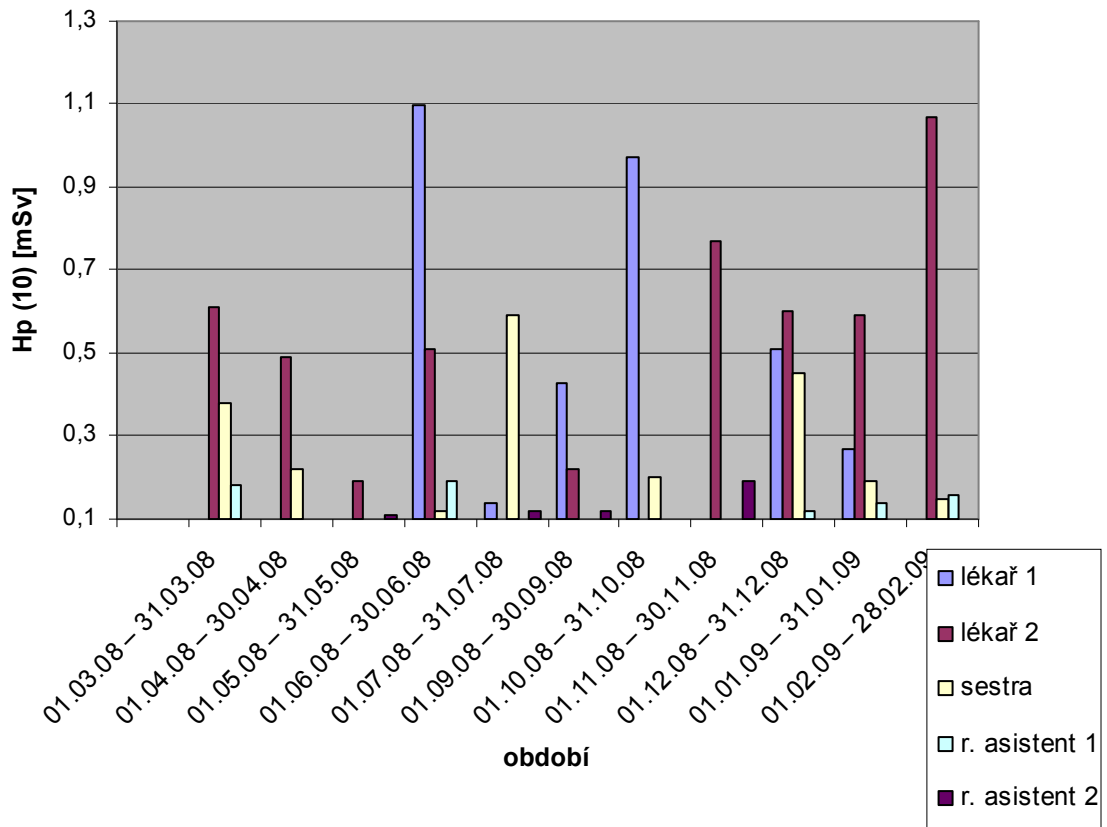
Maximum – 1,10 mSv / rok

Průměr – 0,37 mSv / rok

Medián - 0,22 mSv / rok

Směrodatná odchylka - 0,271124

DSA



graf č.2: graf hodnot naměřených osobních dávkových ekvivalentů pracovníků na digitální subtrakční angiografii

5. Diskuse

Z výsledků, je zřejmé, že nejméně ohroženi profesním ozářením jsou radiologičtí asistenti pracující na skiografii. U žádného z těchto pracovníků nebyla během roku překročena záznamová úroveň, tzn. osobní ekvivalentní dávka vyšší než 0,10 mSv, což znamená že se zdaleka nepřiblížili hodnotám zákonem stanovených limitů pro radiační pracovníky. Tento závěr se dá vyvodit z faktu, že pracovníci dodržovali podmínky dané pro optimalizaci radiační ochrany pracovníku v Ústřední vojenské nemocnici Praha - vždy když to vyšetření umožňuje, je exponování provedeno dálkově, z uzavřené ovladovny, bez přítomnosti pracovníků ve vyšetřovně. Stěny oddělující vyšetřovnu od okolních prostor obsahují jako stínící materiál barytovou omítku o tloušťce 3 cm. Dveře jsou opatřeny stínící vrstvou 2 mm Pb. Olovnaté sklo průhledu do vyšetřovny má stínící vrstvu 0,5 mm ekviv. Pb. Jsou zde tedy dodržovány standardní metody ochrany před ionizujícím zářením. Nepřítomností pracovníka během expozice, je dodržována zásada ochrany vzdáleností, ale vlastně i časem, stavebním řešením je zajištěna ochrana stíněním. Je tedy zřejmé že pokud je toto dodrženo, hodnoty profesního ozáření pracovníku, se řadí do kategorie bezvýznamných.

Jiná situace nastává při vyšetřeních skiaskopických a DSA, kdy je téměř vždy nutné, aby byl pracovník přítomen ve vyšetřovně a tak i vystaven svazku záření a hlavně rozptýleného sekundárního záření, vycházejícího z těla pacienta. Z výsledků je zřejmé že při těchto vyšetřeních jsou už zaznamenané hodnoty vyšší, jsou překračovány záznamové úrovně a někdy i úrovně vyšetřovací. Z těchto důvodů jsou pracovníci nuceni se chránit dalšími způsoby. Pracovníci pohybující se během vyšetření mimo vyšetřovnu jsou opět chráněni stavebními ochrannými prvky dle optimalizace radiační ochrany – stěny s 3 cm Ba omítkou, dveře se stínící vrstvou 2 mm Pb a okno ovladovny se stínící vrstvou 2,1 mm ekviv. Pb.

Z důvodů nutné přítomnosti personálu uvnitř vyšetřovny, je zapotřebí dalších stínících prvků. Konkrétně bylo používáno štítu pro krytí dolní poloviny těla s ekviv. 0,5 mm Pb a průhledný štít pro krytí horní poloviny těla taktéž s ekviv. 0,5 mm Pb. Dále v době expozic pracovníci užívají ochrannou Pb zástěru s ekvivalentem minimálně 0,5 mm Pb,

ochranný Pb límec s ekvivalentem taktéž minimálně 0,5 mm Pb. Lékař navíc užívá ochranné brýle. Takto tedy byli pracovníci chráněni stíněním. V ohledu k ochranně vzdáleností, osoby dodržovali ochranu metodou čtverce vzdálenosti. V rámci optimalizace jsou vymežovány na vyšetřovnách tzv. pracovní místa při skiaskopii a DSA. Je to místo A jenž je 45 cm – 60 cm od osy svazku záření a je obsazeno lékařem a místo B jenž je od osy svazku vzdáleno 120 cm a je obsazeno sestrou instrumentářkou. Místa C a D jsou pak místa dále od svazku záření, kde se po většinu času pohybuje radiologický asistent, či pomocná sestra. Význam ochrany vzdáleností je pak dobře patrný hlavně z tabulky č. 3, kdy lékaři pracující v bodě A jsou zatíženi mnohem více než sestra v bodě B. Ostatní pracovníci, ještě vzdálenější od primárního svazku záření a těla pacienta, jsou pak zatíženi ještě mnohem méně. Z hlediska ochrany časem jsou vypovídající nižší naměřené hodnoty radiologických asistentu v tabulkách č. 2 a č. 3 než naměřené hodnoty lékařů. Zapříčiněno je to nutností aby byl lékař přítomen uvnitř vyšetřovny téměř po celou dobu vyšetření. Radiologický asistent je pak přítomen ve vyšetřovně jen po dobu nutnou k asistenci lékaři při vyšetření a v době kdy neprobíhá expozice, jinak se pohybuje pouze v ovladovně chráněn stavebními ochrannými prvky. Důležitost ochrany časem také naznačuje porovnání výsledků lékaře č.1 a č. 2 v tabulce č. 3, kdy lékař č. 2 provádí na pracovišti převážně intrakraniální intervenční výkony, jenž jsou časově velice náročné a tedy i s delším skiaskopickým časem, a kdy lékař č. 1 provádí převážně výkony diagnostické, tedy časově méně náročné. Také si lze povšimnout až o polovinu vyšších naměřených hodnot v období jednoho roku u lékaře č.1 oproti hodnotám lékařů č. 2 a č.3 v tabulce č. 2. V případě lékaře č. 1 jde záměrně o lékaře mnohem méně zkušeného než jsou lékaři č. 2 a č. 3. Méně zkušený lékař nebyl při vyšetření tolik zručný jako jeho dva kolegové, kteří si navíc umějí mnohem efektivněji vyšetření naplánovat předem a jasně si vytýčit cíl vyšetření. Tím se ve velké míře snižoval skiaskopický čas i celková doba vyšetření.

Ač byly u pracovníků pracujících na vyšetřovnách skiaskopie a DSA překračovány záznamové a v některých případech i vyšetřovací úrovně, roční hodnoty žádného z pracovníků se dalece nepřibližují zákonem stanoveným limitům ozáření.

Během zpracovávání této práce jsem si také všiml chyb, kterých se radiologičtí pracovníci dopouštějí při své práci a zamýšlel se jak je odstranit a co nejlépe se chránit. V otázce ochrany vzdáleností bývá chybou zbytečná přítomnost osob nepřispívajících nijak k vyšetření v blízkosti svazku záření v době expozice. Při skiaskopických vyšetřeních lékaři někdy nevyužívají maximální délku kabelů ovladače přístroje a pohybují se tak blíž u pacienta, tedy zdroje sekundárního záření. Co se týká ochrany stíněním, podceňují někteří pracovníci nošení ochranného Pb límce či brýlí, častou chybou je pak nošení ochranné Pb zástěry s pouze tzv. předním krytím, nevhodné při orientaci pracovníka zády či bokem k svazku záření.

Možnými opatřeními ke snižování dávek je pak při skiaskopických a DSA vyšetřeních například právě nošení ochranných vest s předním i zadním krytím, poloha rentgenky v pozici pod vyšetřovacím stolem nebo v poloze vždy vzdálenější od vyšetřujícího než je poloha zesilovače obrazu či detektoru. Při DSA vyšetřeních může snížit radiační zátěž pracovníků používání tlakové stříkačky (injektoru) pro aplikaci kontrastní látky, jenž je ovládána z ovladovny a personál nemusí být během expozice přítomen na vyšetřovně. Dalším snížením dávky lze dosáhnout důsledným cloněním primárního svazku záření během skiaskopie, dodržěním co nejmenší vzdálenosti zesilovač (detektor) – pacient či používání pulsní skiaskopie. Z důvodů překračování záznamových a v některých případech i vyšetřovacích úrovní, je namístě pravidelné střídání pracovníků.

6. Závěr

V radiační ochraně se zdá být dnes klíčovým prvkem technický pokrok. Zvyšování citlivosti detekčních elektronických prvků, moderní zpracování a možnost post – processingu digitálních snímků atd. To vše by však samo o sobě nemohlo fungovat bez znalostí, návyků a dodržování zásad radiační ochrany radiologickými pracovníky. Práce se proto snaží přijatelným způsobem shrnout problematiku radiační ochrany, přímo se v praxi dotýkající činnosti radiologických asistentů, lékařů a dalšího personálu radiodiagnostické oddělení a zdokumentovat účinnost těchto opatření na výsledcích konkrétně zjištěných hodnot profesního ozáření.

Z těchto zjištění lze potom potvrdit hypotézu, že pokud jsou na pracovišti dodržovány předepsané zásady ochrany proti ionizujícímu záření, zákonem stanovené limity profesního ozáření překračovány nejsou. Stejně tak z výsledků osobních dávkových ekvivalentů radiologických pracovníků na oddělení Ústřední vojenské nemocnice v Praze lze potvrdit hypotézu, že k radiační zátěži nejvíce přispívají výkony spojené se skiaskopickou kontrolou.

7. Seznam použité literatury

Hála, J. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Konvoj, Brno, 1998, 310 s., ISBN 80-85615-56-8.

Klener, V. Principy a praxe radiální ochrany, SÚJB Praha, 2000, ISBN 80-7040-707-7

Chudáček, Z.: Radiodiagnostika I. část, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví Brno, 1995, ISBN 80-7013-114-4

Klener, V., Mikušová, M.: Ochrana pacientů a zdravotnického personálu při radiodiagnostických vyšetřeních. Praha: Avicenum, 1987

Kuna, P., Navrátil, L. a kol.: Klinická radiobiologie. Praha: Manus, 2005. ISBN 80-85849-71-2.

Österreicher, J., Vávrová, J.: Přednášky z radiobiologie. Praha: Manus, 2003. ISBN 80-86571-01-7.

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

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

Ullmann, Vojtěch. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření.

[online] <http://www.astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>. (cit. leden, 2009)

8. Klíčová slova

Radiační ochrana

Ionizující záření

Dávka

Princip optimalizace

Skioskopie

Skiografie

Přílohy

Příloha č. 1

Seznam použitých zkratk

GM - Geiger – Müller

ALARA - As Low As Reasonable Achievable

DSA – digitální subtrakční angiografie

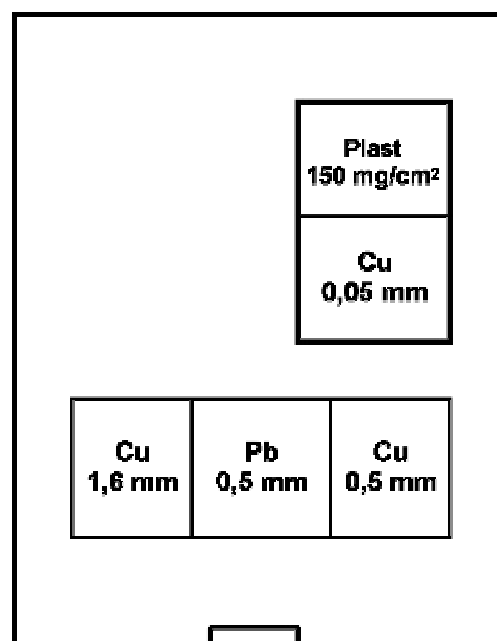
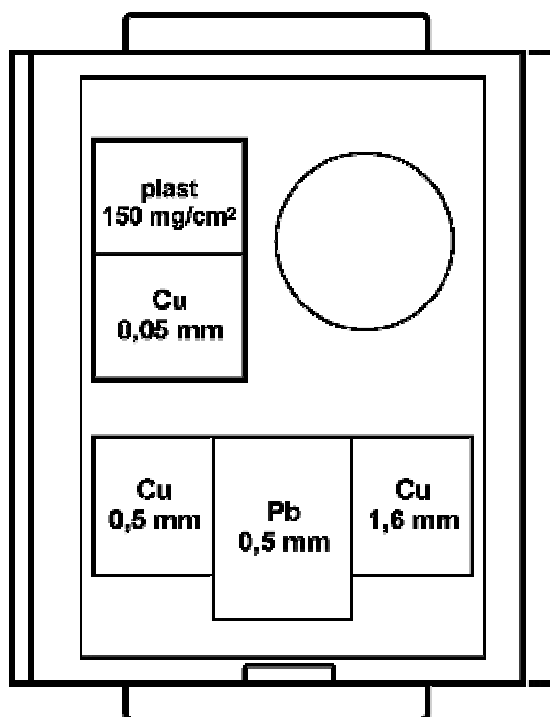
IZ – ionizující záření

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

GIT – gastrointestinální trakt

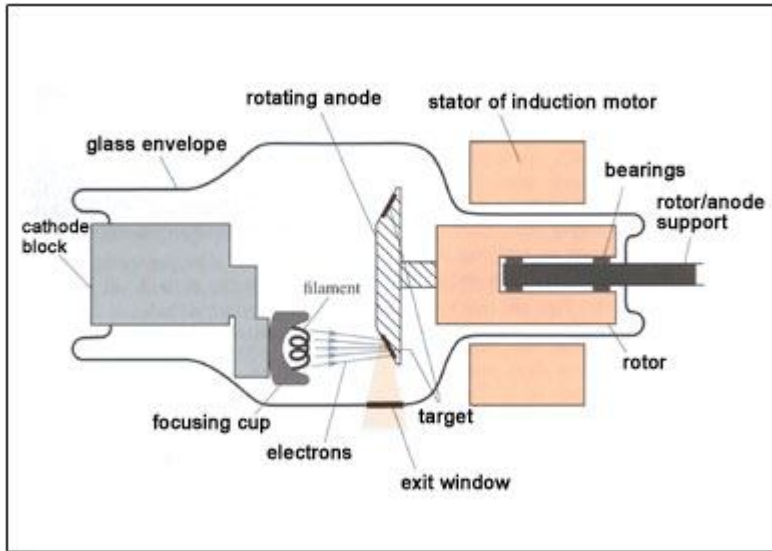
Příloha č.2

Osobní filmový dozimetr



Příloha č. 3

Rentgenka



Příloha č. 4

Osobní ochranné pomůcky



Pb zástěra s předním krytím

Příloha č. 5

Osobní ochranné pomůcky 2



Pb zástěra s předním i zadním krytím



Ochranné brýle



Ochranný límec