



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Analýza dávek zaměstnanců MAPE Mydlovary

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Eliška Růžičková

Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem *Analýza dávek zaměstnanců MAPE Mydlovary* jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů 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 elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3. 5. 2019

.....

Eliška Růžičková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, za čas, který mi věnovala, za zapůjčenou literaturu a také za její trpělivost, podnětné rady, inspiraci a podporu.

Analýza dávek zaměstnanců MAPE Mydlovary

Abstrakt

Přibližně 20 km od Českých Budějovic proběhla v minulém století výstavba chemické úpravny uranových rud MAPE Mydlovary, kde se během provozu v podniku vystříдалo přibližně 1 100 zaměstnanců. Lze předpokládat, že při zpracování uranových rud a následném ukládání odpadů do přilehlých odkališť docházelo k působení radionuklidů na zaměstnance podniku. Byli ozařováni celkem třemi složkami záření, mezi které patřilo záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa.

Proto se tato bakalářská práce zabývá analýzou a zhodnocením podílu jednotlivých složek záření na celkové dávce bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary.

K zodpovězení výzkumné otázky byla provedena analýza dozimetrických listů bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary, u kterých se na ozáření podílely všechny tři složky záření. Zjištěné průměrné roční dávky všech třech typů záření a celkové efektivní dávky byly zpracovány do grafů, vyhodnoceny a následně porovnány s platnou legislativou.

Na základě vyhodnocení získaných dat lze konstatovat, že se na radiačních dávkách bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary nejvíce podílely dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa a to ze 49 %. Inhalace krátkodobých dceřiných produktů radonu tvořila podíl z 29 % a externí záření gama pouze z 22 %. Limity pro radiační pracovníky 20 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření překročilo dle naší současné legislativy 8 bývalých zaměstnanců. Je třeba konstatovat, že podle české legislativy v letech 1960 a 1970 nebyly překročeny dávkové limity, jelikož limit pro radiační pracovníky vystavující se záření gama a inhalující krátkodobé produkty přeměny radonu byl nastaven na 50 mSv/rok. Pro dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa nebyly v té době nastaveny žádné limity.

Klíčová slova

MAPE Mydlovary; radiační dávky; záření gama; krátkodobé produkty přeměny radonu; dlouhodobé zářiče; dozimetrické listy; efektivní dávka

Dose analysis of the MAPE Mydlovary staff

Abstract

In the previous century a uranium ore chemical processing plant was constructed about 20 km from České Budějovice called MAPE Mydlovary, which employed approximately 1,100 employees at various times. We can assume that radionuclides affected the company's employees during the processing of uranium ore and the subsequent storage of waste in the adjoining sludge lagoons. They were irradiated by a total of three radiation components, which included gamma radiation, short-lived radon decay products and long-lived radionuclides from the uranium decay chain emitting alpha radiation.

This is why this bachelor's thesis is devoted to analysis and evaluation of the percentage of individual radiation components in the total dose received by former MAPE Mydlovary employees. The purpose of this work is to establish how the individual radiation components were distributed in the doses of radiation received by former employees.

The dosimetric sheets of former MAPE Mydlovary employees, who received all three types of radiation, were analysed in order to answer the research question. Dosimetric sheets were reduced so that each sheet contained all the required information. The established average annual doses of all three types of radiation and the total effective doses were converted into a graph, evaluated and subsequently compared with the valid legislation.

On the basis of evaluation of the acquired data we can state that long-lived radionuclides from the uranium decay chain emitting alpha radiation made up the highest percentage of the radiation doses received by former MAPE Mydlovary employees, at a total of 49%. Inhalation of short-lived radon decay products made up 29% and external gamma radiation just 22%. The radiation limit for radiation workers of 20 mSv/year on the total effective dose from exterior radiation and on the committed effective doses from internal radiation was exceeded by 8 former employees according to our current legislation. We must state that no rules were broken according to Czech legislation valid between 1960 and 1970, because the limit for radiation workers was set at 50 mSv/year.

Key words

MAPE Mydlovary; radiation doses; gamma radiation; short-lived radon decay products; long-lived radionuclides; dosimetric sheets; effective dose

OBSAH

Úvod.....	8
1 Teoretická část.....	9
1.1 Druhy ionizujícího záření.....	9
1.2 Zdroje ionizujícího záření.....	11
1.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření	12
1.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření	14
1.3 Kontaminace organismu radioaktivními látkami	15
1.3.1 Vnější kontaminace.....	15
1.3.2 Vnitřní kontaminace	15
1.3.3 Dezaktivace.....	16
1.4 Vliv ionizujícího záření na zdraví člověka.....	16
1.4.1 Vliv ionizujícího záření na molekulární úrovni.....	17
1.4.2 Vliv ionizujícího záření na buněčné úrovni	17
1.4.3 Účinky ionizujícího záření na úrovni tkání.....	18
1.4.4 Účinky ionizujícího záření na úrovni organismu.....	18
1.4.4.1 Deterministické účinky	19
1.4.4.2 Stochastické účinky	21
1.5 Radiační ochrana	22
1.5.1 Historie radiační ochrany.....	22
1.5.2 Základní právní předpisy v oblasti radiační ochrany	23
1.5.3 Komise týkající se radiační ochrany	23
1.5.4 Subjekty v oblasti radiační ochrany v ČR	24
1.5.5 Expoziční situace	24
1.5.6 Principy radiační ochrany	25
1.5.7 Program monitorování	27
1.6 MAPE Mydlovary	28

1.7	Ochrana bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary	31
2	Cíl práce a výzkumná otázka.....	34
2.1	Cíl práce	34
2.2	Výzkumná otázka.....	34
3	Metodika výzkumu.....	35
4	Výsledky.....	37
4.1	Dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa	37
4.2	Krátkodobé produkty přeměny radonu	38
4.3	Gama záření	39
4.4	Průměrná efektivní dávka	40
5	Diskuze	43
6	Závěr.....	50
7	Seznam použitých zdrojů	51
8	Seznam obrázků.....	55
9	Seznam tabulek.....	56
10	Seznam použitých zkratek.....	57

Úvod

K rozvoji těžby uranových rud došlo v druhé polovině 50. let minulého století, a proto se zrealizovala myšlenka výstavby nové chemické úpravný v jižních Čechách s názvem MAPE Mydlovary, která se nacházela severozápadně od Českých Budějovic. Úpravna fungovala zhruba třicet let a k ukončení provozu došlo v 90. letech 20. století. Ročně tu využili několik tisíc tun kyseliny sírové a nebezpečných chemikálií, jejichž odpady byly následně ukládány na odkaliště ve formě zvodnělých kalů. Během své aktivní činnosti zpracovalo MAPE Mydlovary více než 17 milionů tun uranové rudy. (Fejgl, 2011) Nyní je vlastníkem bývalé úpravný uranových rud Státní podnik DIAMO, s. p., který již 25 let provádí rekultivační práce.

V podniku se vystřídalo přibližně 1 100 zaměstnanců. Jejich povinnou výbavou byly osobní filmové dozimetry zaznamenávající externí záření gama při práci. U zaměstnanců pracujících v místě s ionizujícím zářením byl veden dozimetrický list.

Cílem této bakalářské práce je analýza dozimetrických listů, zhodnocení podílu jednotlivých složek záření (záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé zářiče) na celkové dávce bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary a porovnání výsledků s platnou legislativou.

Teoretická část je rozdělena do tří tematických bloků. V prvním bloku je charakterizováno ionizující záření a stručně popsány zdroje ionizujícího záření, vliv a účinky na zdraví člověka. Druhý blok se zabývá radiační ochranou obecně, její historií, základními právními předpisy v oblasti radiační ochrany, principy a program monitorování. Poslední blok popisuje bývalou úpravnu uranových rud MAPE Mydlovary a ochranu bývalých zaměstnanců.

Výzkumná část se zabývá analýzou dat získaných vyhodnocením naměřených hodnot z osobních dozimetrů a monitoringu bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary. Pomocí uspořádaných dat v programu Excel 2013 jsou zpracovány tabulky a grafy s informacemi o radiačních dávkách jednotlivých složek. Dále je vyhodnoceno, jak se na radiačních dávkách bývalých zaměstnanců MAPE podílely jednotlivé složky záření. Výsledky jsou porovnány s platnou legislativou a s publikovanými výsledky.

1 Teoretická část

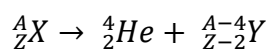
Ionizující záření je schopno při průchodu prostředím způsobit jeho ionizaci, tj. vytvořit z původně neutrálních atomů a molekul volné elektrony a kladné ionty. Lidský organismus může ohrozit jak zevní ozáření, které způsobují zdroje ionizujícího záření nacházející se mimo ozářenou osobu, tak záření z radionuklidů, které se dostaly do organismu inhalací, ingestí nebo penetrací přes poraněnou kůži. (Podzimek, 2015)

1.1 Druhy ionizujícího záření

Podle charakteru interakce záření s prostředím se ionizující záření rozděluje na přímo ionizující a nepřímo ionizující. **Přímo ionizující záření** tvoří nabitě částice, jako jsou elektrony, pozitrony, protony a částice alfa či beta. Tyto částice mají dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace prostředí. **Nepřímo ionizující záření** zahrnuje nenabitě částice (neutrony a fotony), které až při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující částice. (Havránková et al., 2018)

Při přeměnách radionuklidů dochází k emisi ionizujícího záření tří typů a následné ionizaci okolí. Této schopnosti jader vysílat ionizující záření se říká radioaktivita. Částice, které tvoří jednotlivé druhy záření, se označují řeckými písmeny.

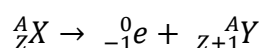
Záření α tvoří jádra helia složená ze dvou protonů a dvou neutronů. Typ radioaktivní přeměny α je charakterizována emisí právě této částice. Hmotnostní číslo prvku se zmenší o 4, atomové číslo se zmenší o 2 a prvek se posune o 2 místa vlevo v periodické soustavě. Tato přeměna je dána rovnicí (Podzimek, 2015):



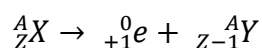
Při průchodu α záření prostředím dochází k velké ztrátě energie, což způsobuje, že dolet α částic je v prostředí velmi malý (v plynech několik cm a v tkáni μm). (Kuna a Navrátil, 2005) Na druhé straně je α záření charakterizováno vysokou úrovní lineárního přenosu energie. Rozpadové produkty jsou pevné látky a zachytávají se na prachových částicích. (Zölzer et al., 2016) Jelikož se α záření absorbuje ve stěnách nádob nebo obalů, ve kterých se zářič uchovává, není nutná ochrana stíněním. Pokud by byl přeci jen zářič nekrytý, postačí ke stínění tenká vrstva papíru. (Hála, 1998)

Záření β emitované při radioaktivních přeměnách neutronů či protonů v jádře má buď záporný náboj (elektrony) nebo kladný náboj (pozitrony). Při průchodu prostředím částice β ztrácí svou energii proti částicím α velmi málo, tudíž je jejich dolet ve vzduchu až 8 m. (Kuna a Navrátil, 2005)

Přeměna β^- je charakterizována emisí elektronu z jádra. Dochází tak díky přeměně neutronu v jádře na proton, elektron a antineutrino. Hmotnostní číslo prvku se však nemění, atomové číslo se zvětší o 1 a prvek se posune o 1 místo vpravo v periodické soustavě dle této rovnice:



Naopak přeměna β^+ je charakterizována emisí pozitronů z jádra. Pozitron v jádře vzniká přeměnou protonu v jádře na neutron, pozitron a neutrino. Hmotnostní číslo prvku se nezmění, atomové číslo se zmenší o 1 a prvek se posune o 1 místo vlevo v periodické soustavě dle rovnice (Podzimek, 2015):



Pro spolehlivé odstínění β záření se používá 1–2 cm tlustá vrstva lehkých materiálů, například hliník, plexisklo, sklo. Pokud při průchodu β záření vzniká sekundární brzdné záření, odstíní se dostatečně tenkou vrstvou olova. (Hála, 1998)

Záření γ je elektromagnetické vlnění, tedy proud fotonů. Lze ho považovat za záření o energii fotonů nad 10 keV. Charakterizuje se elektromagnetickou povahou s krátkou vlnovou délkou. Při emisi fotonů gama již nedochází k přeměně jednoho prvku na druhý, ale jádro přechází z excitovaného stavu do základního. Záření γ tak vzniká při přechodu nukleonů v atomovém jádře z vyšších energetických hladin na nižší. Nízká hustota ionizace atomů zapříčiňuje velký dolet γ částic. (Matoušek et al., 2007) Intenzivní zdroje γ záření se odstiňují nejčastěji olovem nebo betonem s přísadou barytu nebo ocelí. Tloušťka vrstvy se volí dle potřeby minimalizace rizika. (Hála, 1998)

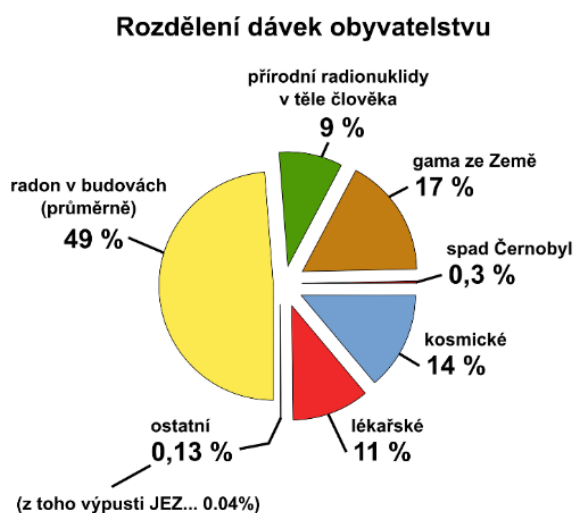
Rentgenové záření se od záření γ liší pouze místem vzniku. Rentgenové záření proti γ záření vzniká v rentgenkách zabrzděním rychle letících elektronů v těžkých kovech. Rentgenky produkují dva typy rentgenového záření – brzdné a charakteristické. Brzdné záření nezávisí na materiálu anody, ale pouze na napětí mezi anodou a katodou. Vzniká tak při brzdění (odtud název) elektronů na účet jejich kinetické energie. Oproti charakteristickému záření má spojitě energetické centrum. Charakteristické rentgenové

záření vzniká při přechodech elektronů v atomovém obalu. Elektron, který dopadá na anodu, vyrazí elektron z vnitřního orbitalu a prázdné místo se pak zaplní elektronem z vyšší energetické hladiny, kdy se přebytek energie vyzáří ve formě charakteristického rentgenového záření. Energie tohoto záření závisí na materiálu anody a má čárové spektrum. (Havránková et al., 2018)

Při jaderných reakcích se uvolňují částice bez elektrického náboje – **neutrony**. Interakce neutronů s látkou se velmi liší od nabitých částic a γ záření, jelikož neutrony využívají síly jaderné a ne elektrické. Neutrony ionizují prostředí nepřímo, takže při stínění rychle letících neutronů je důležité je nejprve zpomalit, aby mohly být účinně pohlceny absorbatorem. Látky bohaté na vodík (plast, beton, parafin) jsou na zpomalování neutronů neúčinnější. Pro absorpci zpomalených neutronů se využívá jejich záchyt vhodnými jádery jako např. kadmíem, bórem či indiem. Důležité je vědět, že absorpce neutronu je doprovázena emisí γ záření, které je rovněž třeba odstínit vrstvou olova. (Havránková et al., 2018)

1.2 Zdroje ionizujícího záření

Zdrojem ionizujícího záření je takový zdroj, který emituje ionizující záření nebo obsahuje radioaktivní materiál. Základní legislativní dokument, který definuje zdroje ionizujícího záření je zákon č. 263/2016 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Zdroje dělíme na přírodní a umělé vytvořené člověkem. (Podzimek, 2015) Nejvíce ionizujícího záření lidský organismus přijímá inhalací radonu v budovách a vystavením se gama záření ze Země, což spadá pod přírodní zdroje ionizujícího záření (Obrázek 1).



Obrázek 1 - Rozdělení dávek ionizujícího záření z existujících zdrojů

Zdroj: Radioaktivita a záření [online], 2019. Opava: Oddělení nukleární medicíny [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.snopava.cz/onm/radioaktivita.php>

1.2.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření, které člověka obklopují po celý život, jsou z valné většiny přírodního původu. Mezi přírodní zdroje patří **kosmické záření** a **přírodní radionuklidy**. Kosmické záření je tvořeno třemi složkami (Podzimek, 2015):

- galaktické záření;
- sluneční záření;
- záření radiačních pásů Země (Van Allenových).

Z hlubokých oblastí vesmíru pochází záření galaktické, které se skládá z protonů (85 %), jader helia (11 %), elektronů (3 %) a těžších prvků (1 %). Sluneční erupce vytváří sluneční záření, které představují zejména z 99 % protony. Van Allenovy neboli radiační pásy se rozdělují na vnější pás, který je vzdálen 20 tisíc km a vnitřní pás ve vzdálenosti 3 tisíce km. Tyto pásy jsou tvořeny protony a elektrony zachycenými magnetickým polem Země. Je důležité vědět, že k zemskému povrchu proniká tzv. sekundární složka kosmického záření, která vznikla interakcemi primárních fotonů. (Havránková et al., 2018)

Přírodní radionuklidy jsou zde odjakživa. Do značné míry je přírodní záření nevyhnutelné a je navíc nerovnoměrně rozloženo tak, že některé skupiny osob na Zemi jsou ozářeny

dávkami, které o jeden až dva řády převyšují světový průměr. (Zölzer et al., 2016)
Dle původu se přírodní radionuklidy rozdělují do tří skupin (Kuna a Navrátil, 2005):

- kosmogenní – vznikající při interakcích kosmického záření se stabilními prvky ve vnějším obalu Země (např. ^{14}C , ^3H , ^7Be);
- primordiální – vznikly v raných stádiích vesmíru a vyznačují se velmi dlouhým poločasem rozpadu (^{238}U , ^{235}U , ^{40}K);
- radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady (^{226}Ra).

Jelikož se tato bakalářská práce zabývá vyhodnocováním dozimetrických listů zaměstnanců bývalé úpravný uranových rud, kteří byli po dobu svého zaměstnání ozařováni zářením gama, krátkodobými produkty přeměny radonu a dlouhodobými zářiči, považuji za důležité se pozastavit nad přírodním radioaktivním plynem bez barvy, zápachu a chuti – **radonem**. Charakterizuje se jako alfa zářič s poměrně krátkým poločasem rozpadu. Radon je přirozenou a trvalou složkou životního prostředí, jehož tři izotopy, ^{222}Rn , ^{220}Rn a ^{219}Rn , se přeměňují z radia v radioaktivních řadách. Vzniká v geologickém podloží z nuklidů ^{238}U , ^{232}Th a ^{235}U , odkud se dostává do ovzduší. (Hála, 1998) Ve volné atmosféře nedochází k jeho kumulaci, protože je ředěn vzdušnými proudy. Avšak produkty vznikající rozpadem radonových atomů, kovy, které tvoří shluky s aerosolovými částicemi nebo s vodní párou, při inhalaci spolu s vdechovaným vzduchem poškozují jako alfa zářiče buňky bronchoalveolární tkáně a mohou tak způsobovat vznik karcinomu. Radon je tedy hned po kouření druhou nejvýznamnější příčinou vzniku rakoviny plic a navíc společné působení radonu a kouření škodlivé účinky na zdraví zesiluje. Příznaky rakoviny plic se bohužel objeví až s odstupem času a to po 10–30 letech. Z hlediska vnitřního ozáření je zcela dominantní radon (^{222}Rn) a thoron (^{220}Rn). Jak již bylo zmíněno, radon má na svědomí nejvyšší radiační ozáření populace, jelikož průměrná efektivní dávka způsobená radonem je v České republice více než 2 mSv za rok. (Zölzer et al., 2016) Množství radonu se udává v jednotkách Bq/m^3 , což je hodnota odpovídající počtu radioaktivních přeměn radonu v jednom metru kubickém vzduchu. (Radon v ČR, 2016)

Prvním zjištěným účinkem radonu na lidský organismus byla tzv. jáchymovská nemoc, kterou často onemocněli horníci v jáchymovských dolech těžící stříbro. V průměru člověk přijímá denně 1–5 μg uranu. Vyšší příjem se předpokládá v okolí uranových dolů

a zařízení na zpracování uranu. Horníci byli při tehdejších nedostatečných ventilačních podmínkách vystaveni kumulaci radonu v prostředí, kde pracovali. Zpracovávání uranové rudy je závažné z hlediska expozice pracovníků, protože při nich dochází k uvolňování látek s vyššími aktivitami přírodních radionuklidů. Stejně jako v MAPE Mydlovary jsou pracovníci vystaveni ozáření zahrnujícímu externí ozáření gama, inhalaci či ingesci krátkodobých produktů přeměny radonu a dlouhodobých radionuklidů uran-radiové řady emitujících záření alfa z radioaktivního prachu. Tyto složky musejí být zahrnuty do celkové efektivní dávky. Distribuce uranu v organismu probíhá prostřednictvím vazby na erythrocyty a plazmatické bílkoviny. Bezprostředně po ozáření dochází v organismu k reparačním procesům. Vylučování uranu probíhá močí a v menší míře stolicí. Celkový poločas eliminace uranu z organismu při normálním denním příjmu je 180–360 dnů. (Zölzer et al., 2016) Radiační toxicita uranu závisí na absorbované dávce ionizujícího záření. Závažným projevem ozáření jsou nádorová onemocnění. Kvantifikaci rizika vzniku rakoviny u uranových horníků nyní provádí epidemiologické studie, které používají matematické modely pro výpočet ročních absorbovaných dávek v oblastech plic, červené kostní dřevě, jater, ledvin a žaludku. Dávky z krátkodobých produktů přeměny radonu se absorbují v centrálních oblastech plic, zatímco na červenou kostní dřev nejvíce působí gama záření. (Marsh et al., 2011)

1.2.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Mezi umělé zdroje ionizujícího záření vytvořené člověkem zahrnujeme zdroje využívané ve zdravotnictví, v průmyslu a v dalších oblastech. Ve zdravotnictví se ionizující záření využívá k vyšetření nebo léčení pacientů. K lékařskému ozáření jsou využívány zejména rentgenky (rentgeny, CT), urychlovače částic (lineární a cyklické), generátory používané v nukleární medicíně (cyklotrony, jaderné reaktory, radionuklidové generátory) a radionuklidové zdroje využívané v radioterapii (gama nůž, cesiové a kobaltové ozařovače). K průmyslovým zdrojům patří defektoskopy, hlásiče požáru, hladinoměry, tloušťkoměry nebo hustoměry. (Kuna a Navrátil, 2005)

1.3 Kontaminace organismu radioaktivními látkami

Radioaktivní látky svými vlastnostmi ohrožují život a zdraví člověka. Přítomnost radioaktivních látek na povrchu či uvnitř organismu (z čehož je odvozen pojem vnější a vnitřní kontaminace) je označována termínem kontaminace radioaktivními látkami. O sdruženém radiačním poškození lze hovořit v případě, kdy dochází k povrchové a vnitřní kontaminaci současně. Termín kombinované radiační poškození organismu (tzv. radiační mixty) označuje kontaminaci spojenou ještě s dalším poškozením (např. popálením). Závažnost kontaminace závisí na velikosti částic, chemické formě, aktivitě a druhu radionuklidů. Ke kontaminaci může dojít všude, kde se používají radioaktivní látky. Mezi mechanismy šíření radioaktivních látek patří vznik radioaktivního mraku a následné vypadávání radioaktivních látek, výbuch jaderné nebo radiologické zbraně, rozsypaní či rozlití radioaktivních látek atd. Dekontaminace radioaktivních látek z organismu se nazývá dezaktivace. (Havránková et al., 2018)

1.3.1 Vnější kontaminace

Vnější kontaminace patří k nejčastějším případům zasažení osob radioaktivními látkami. Pojem vnější či povrchová kontaminace označuje stav, kdy jsou radioaktivní látky, ať už ve formě kapaliny nebo pevných částic, přítomny na povrchu těla osob, tedy na kůži a oděvu. Ke kontaminaci dochází přímým stykem s rozptýlenou radioaktivní látkou, potřísněním nebo sedimentací aerosolů nebo prachu. Vnější kontaminace je v některých případech jediným upozorňujícím jevem na možnou vnitřní kontaminaci při pobytu v místnostech s radioaktivními aerosoly. (Österreicher a Vávrová, 2003)

1.3.2 Vnitřní kontaminace

K vnitřní kontaminaci, průniku radioaktivních látek dovnitř organismu, dochází většinou u zaměstnanců pracujících s vyššími aktivitami otevřených zářičů. Radioaktivní látka v takových případech vstupuje do metabolismu a může se distribuovat v jednotlivých orgánech. K radioaktivní kontaminaci organismu může dojít třemi způsoby (Havránková et al., 2018):

- **Inhalací** – při práci s radioaktivními plyny, parami či aerosoly může radioaktivita proniknout při vdechování do plic a odtud dále do organismu.
- **Ingescí** – nejčastější příčinou vnitřní kontaminace je požití radioaktivní látky přes kontaminované ruce či jiné předměty.
- **Penetrací přes poraněnou kůži** – při vnější kontaminaci pronikají radioaktivní látky do organismu zejména otevřeným poraněním na kůži.

1.3.3 Dezaktivace

Dekontaminace radioaktivních látek neboli dezaktivace je soubor metod, postupů a prostředků ke snížení rizika ozáření osob z povrchové kontaminace, omezení šíření radioaktivních látek přenosem a k zabránění druhotné povrchové a vnitřní kontaminace. Dekontaminací však nelze snížit ozáření způsobené vnitřní kontaminací. Dekontaminace suchým způsobem se provádí svlečením oděvu a kartáčováním či jinou mechanickou činností. Aplikace dekontaminační směsi na celý povrch s důkladným oplachem vodou je označována za dekontaminaci mokřím způsobem. Odpadní voda po dekontaminaci se jímá do uzavíratelných transportních nádob, se kterými je následně nakládáno jako s radioaktivním odpadem. Při podezření na vnitřní kontaminaci je nutné zajistit okamžitý sběr biologického materiálu ke stanovení druhu a množství kontaminující látky. Po zjištění druhu a množství radioaktivní látky v organismu se následně nasazují specifická antidota. (Havránková et al., 2018)

1.4 Vliv ionizujícího záření na zdraví člověka

Ionizující záření má na lidský organismus zejména negativní vliv. Výjimku tvoří pouze tzv. hormeze, tj. stimulující účinky malých dávek záření. Z pokusů na savcích bylo prokázáno, že myši, které byly po celý život vystavovány osm hodin denně dávce 1 mGy, dosáhly zřetelně prodlouženého života. (Hála, 1998) Výklad biologických účinků se dělí na několik úrovní: molekulární, buněčnou, orgánovou, lidského organismu a populace.

Účinek ionizujícího záření se rozděluje z časového hlediska na čtyři fáze. Absorpce energie fotonů a částic včetně následné excitace a ionizace atomů představuje **fyzikální fáze**, která je ukončena do 10^{-13} sekundy. Následuje **fáze fyzikálně-chemická**, při které interagují ionty s molekulami. Při **fázi chemické**, která je ukončena do 10^{-5} sekundy,

vznikají volné radikály, které následně interagují s molekulami, s buňkami a s deoxyribonukleovou kyselinou, nositelkou genetické informace všech organismů (dále jen DNA). Poslední, **biologická fáze** trvá až měsíce a je charakterizována reakcí organismu na buněčné, tkáňové a orgánové úrovni. (Matoušek et al., 2007)

1.4.1 Vliv ionizujícího záření na molekulární úrovni

Biologické účinky ionizujícího záření probíhají formou složitých procesů. Proto byly postupně vytvořeny teorie, které se tyto děje na molekulární úrovni snaží vysvětlit (Podzimek, 2015):

- teorie zásahová;
- teorie radikálová;
- teorie duálové radiační akce;
- teorie molekulárně biologická.

Z hlediska účinku ionizujícího záření se rozlišuje přímý a nepřímý účinek záření na buňku. Dle **zásahové teorie** se přímým účinkem rozumí změna biologicky důležité makromolekuly přímým zásahem částicí ionizujícího záření. Naopak nepřímý účinek dle **teorie radikálové** bere za základ účinky ionizujícího záření na molekulu vody, jelikož je biologický materiál tvořen z více než 70 % vodou. Souvisí tak s radiolýzou vody a vznikem volných radikálů, které mohou ovlivňovat metabolické děje. **Teorie duálové radiační akce** vychází z myšlenky, že k poškození buňky dochází po dosažení kritické hodnoty lokální hustoty energie v daném čase. Podle **teorie molekulárně biologické** dochází po zásahu ionizujícím zářením k poškození (zlomům) dvou vláken nukleové kyseliny v jádře buňky. (Podzimek, 2015)

1.4.2 Vliv ionizujícího záření na buněčné úrovni

Účinek záření na úrovni buňky můžeme rozdělit na:

- smrt buňky;
- změnu cytogenetické informace.

Vysoké dávky záření vedou k okamžité **smrti buněk** v důsledku koagulace proteinů. Buněčná smrt může být způsobena nekrózou nebo apoptózou. Nekróza je spojována s vyššími dávkami záření, jejímž důsledkem je zvětšení buněčných organel, dezorganizace buňky a následné porušení buněčné membrány. Apoptóza je pak spojována s nižšími dávkami záření, kdy se v buňce začnou tvořit tzv. apoptická tělíčka a dochází k degradaci chromozomální DNA. (Vávrová a Filip, 2002) Významnějším typem buněčné smrti je smrt mitotická, která je vázána na buněčné dělení. Poškození buňky se tak neprojeví okamžitě, ale později tím, že se buňka není schopna dále dělit. (Podzimek, 2015) Při menších dávkách záření mohou vzniklé radikály vyvolat chemické změny v DNA. Tyto **změny cytogenetické informace** se nazývají mutace a při dělení se mohou přenášet na další buněčné generace. Dle rozsahu se mutace rozdělují na bodové (genové) a chromozomové. Z reprodukčního hlediska dále na somatické, projevující se jen u konkrétního ozářeného jedince, a na gametické mutace zárodečných buněk. (Ullmann, 2008)

1.4.3 Účinky ionizujícího záření na úrovni tkání

Důležitá je při hodnocení účinků ionizujícího záření radiosenzitivita buněk, která je přímo úměrná mitotické aktivitě buněk a nepřímo úměrná stupni diferenciaci. Mezi radiosenzitivní tkáně patří tkáně s velkým počtem rychle se dělících málo diferencovaných buněk. Naopak mezi radiorezistentní tkáně spadají tkáně s málo se dělícími nebo nedělícími se diferencovanými buňkami. (Vávrová a Filip, 2002) Dle radiosenzitivity lze sestupně seřadit tkáně a orgány takto: lymfoidní orgány, aktivní kostní dřev, pohlavní žlázy, střevo, kůže, epitelální výstelka, oční čočka, zralá chrupavka, dýchací ústrojí, žlázy zažívacího systému, svaly a centrální nervový systém. (Podzimek, 2015)

1.4.4 Účinky ionizujícího záření na úrovni organismu

Na úrovni živého organismu existují základní faktory, které významně ovlivňují konečné radiační poškození (Ullmann, 2008):

- fyzikální – druh záření, dávka záření, rozdělení dávky v čase, distribuce dávky v organismu;

- chemické – koncentrace kyslíku v ozářeném objektu (je faktorem i na úrovni tkání), radiomodifikující látky;
- biologické – pohlaví, věk, zdravotní stav jedince.

Účinky ionizujícího záření na člověka se dělí dle vztahu dávky a účinku záření na stochastické (pravděpodobnostní) a deterministické (tkáňové). Účinky stochastické jsou důsledkem změny jedné nebo několika málo buněk typu mutace či maligní transformace a mohou se tedy označit jako unicelulární. Deterministické účinky jsou důsledkem zániku velkého množství buněk v buněčné populaci a můžeme je tedy označit jako multiceulární. (Nekula et al., 2008) Cílem radiační ochrany před ionizujícím zářením v kontrolovatelných podmínkách je zabránit vzniku deterministických účinků a stochastické účinky omezit na přijatelnou úroveň. (SÚJB, 2019b)

1.4.4.1 Deterministické účinky

K deterministickým účinkům dochází krátce po ozáření v důsledku smrti části ozářené buněčné populace. Jejich závažnost a projevy poškození u jedinců stoupá s dávkou od určitého dávkového prahu (viz Obrázek 2). Tento práh je u každé tkáně jiný, proto se tyto účinky nazývají účinky prahové a mají charakteristický klinický obraz. Pokud se dávka v orgánech nachází pod prahem vzniku deterministických účinků, tyto účinky nenastanou. Díky tomuto faktu je radiační ochrana z hlediska vzniku deterministických účinků poměrně jednoduchá. (SÚJB, 2019b) Mezi deterministické účinky patří např. akutní nemoc z ozáření, radiační zánět kůže, poškození plodu in utero a nenádorová pozdní poškození. (Matoušek et al., 2007)

Akutní nemoc z ozáření (akutní postradiační syndrom) vzniká na podkladě celotělového jednorázového ozáření pronikavým zářením. Příznaky poškození krvetvorných orgánů, trávicího traktu a centrálního nervového systému závisejí na stupni ozáření. Dávka 0,7 Gy je nejnižší prahovou dávkou způsobující poškození. Jako každá nemoc, tak i akutní nemoc z ozáření, má své fáze – fázi prodromální, fázi latentní, fázi manifestní a fázi rekonvalescence. (Radiobiologie, 2019) Existují 3 typy neboli formy akutního postradiačního syndromu (Podzimek, 2015):

- Krevní (hematologický) typ – vzniká po celotělovém ozáření dávkou od 1 Gy do 6 Gy. Onemocnění je charakterizováno krvácením z dásní nebo z kůže, ubýváním

na váze, teplotou a vředy na sliznicích. V krevním obraze je výrazný pokles lymfocytů, trombocytů a erytrocytů.

- **Střevní (gastrointestinální) typ** – vzniká po ozáření dávkou 10 Gy a vyšší. Tato forma je charakterizována krvavými průjmy, poruchou zpětného vstřebávání tekutin a minerálních látek.
- **Neuropsychický typ** – projevuje se po obdržení dávek v úrovni několika desítek Gy (cca 50 Gy). Ihned po ozáření nastupuje psychická dezorientace, zmatenost, porucha koordinace pohybů, křeče a následuje hluboké bezvědomí. Smrt většinou nastává do několika hodin.

Akutní poškození kůže (akutní radiační dermatitida) vzniká při lokalizovaném jednorázovém ozáření dávkou 3 Gy a vyšší. Je velmi podobná popáleninám s tím rozdílem, že má opožděnější nástup a poškozuje hlubší vrstvy kůže. Intenzita symptomů je závislá na dávce a typu záření, lokalizaci ozáření a velikosti dávkového příkonu. Dle klinických příznaků se radiační dermatitida dělí na 4 stupně radiačního poškození (Havránková et al., 2018):

- I. lehký stupeň – absorbovaná dávka v rozmezí 3–12 Gy způsobuje erytém;
- II. středně těžký stupeň – dávka 12–20 Gy působí na kůži vznikem puchýřů;
- III. těžký stupeň – dávka 20–25 Gy poškozuje kůži vznikem vředů;
- IV. velmi těžký stupeň – dávka nad 25 Gy způsobuje nekrózu kůže.

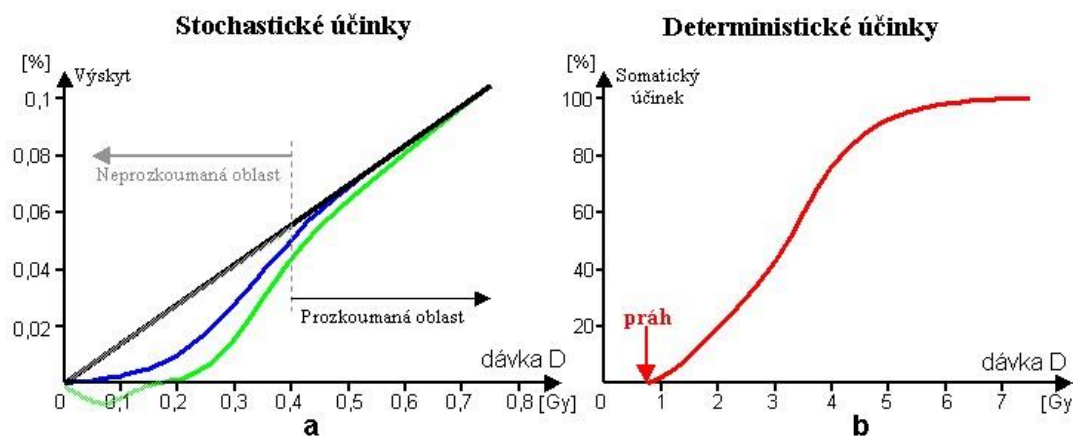
Účinek na gonády se projevuje poklesem fertility – u mužů při prahové dávce nad 0,25 Gy a u žen při prahové dávce nad 2 Gy. K úplné sterilitě však dochází až po dávkách 3–8 Gy. (Havránková et al., 2018)

Poškození plodu in utero v průběhu těhotenství závisí na fázi těhotenství a na velikosti dávky, kterou bylo embryo/plod ozářen. K usmrcení plodu dochází do 14. dne od početí ozářením dávkou menší než 0,1 Gy. V průběhu velké organogeneze (3. až 8. týden těhotenství) může v důsledku ozáření dojít ke vzniku malformací u orgánů, které se v době expozice vyvíjejí. Jedná se o prahový efekt, který nastává u dávek od 0,1 Gy a výše. K ovlivnění centrálního nervového systému ozářením dochází v období od 8. až 25. týdne těhotenství. Dávky nad 1 Gy v tomto období mohou vést s velkou pravděpodobností k mentální retardaci. Bylo dokázáno, že ozáření in utero zvyšuje pravděpodobnost vzniku leukémie a jiných typů rakoviny jak v dětském, tak i dospělém období. (Súkupová, 2011)

Pozdní nenádorová poškození se mohou projevit po letech až desítkách let po ozáření. Do této kategorie řadíme chronickou radiační dermatitidu, která se dříve projevovала především u rentgenologů a radiační kataraktu neboli zákal oční čočky. (Havránková et al., 2018)

1.4.4.2 Stochastické účinky

Stochastické účinky jsou charakteristické zejména tím, že jsou bezprahové (viz Obrázek 2) a vyvolané mutacemi neboli změnami v genetické informaci buněk. Při obdržení malých dávek ionizujícího záření je vysoká pravděpodobnost, že organismus poškození buňky zvládne pomocí reparačních procesů. Existuje však možnost, že se u jednotlivých buněk chybu nepodaří opravit, což se projeví genetickou změnou v DNA. Každé zvýšení dávky zvyšuje pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků. Stochastickými účinky jsou například nádorová onemocnění či genetické změny projevující se u následujících generací. Z hlediska radiační ochrany je předpokládán lineární bezprahový model závislosti dávka versus efekt. (Podzimek, 2015)



Obrázek 2 - Závislost biologického účinku na dávce

Zdroj: *Biologické účinky ionizujícího záření: Radiační ochrana*. [online]. 2008. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

1.5 Radiační ochrana

Dle atomového zákona č. 263/2016 Sb. se radiační ochranou rozumí systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzické osoby a k ochraně životního prostředí před účinky ionizujícího záření.

1.5.1 Historie radiační ochrany

Historii radiační ochrany lze rozdělit dle chronologie na tři období (Praktická radiologie, 2018):

- průkopnické období (1895–1905);
- spící období (1905–1925);
- období pokroku (1925–1945).

Průkopnické období začalo u německého fyzika Wilhema Konráda Roentgena, který v roce 1895 objevil paprsky X. Všichni tehdejší lékaři byli nadšeni neviditelnými paprsky a jejich širokým využitím v medicíně. Rok po objevu bylo vyrobeno několik desítek lékařských rentgenů, které našly své využití v chirurgických zákrocích a to tak, že lékaře navigovaly při práci. Tento boom vedl k prvním radiačním poškozením a první experimentátoři začínali uvažovat o nepříznivém účinku těchto paprsků na kůži. V roce 1896 se americký fyzik, Elih Thomson, rozhodl udělat experiment na svém levém malíčku. Záměrně několik dní, půl hodiny denně, exponoval malíček u rentgenky, což způsobilo, že malíček zarudl, bolel, objevil se otok a puchýře. První radiační ochranou v roce 1900 byla ochrana časem a dávkou, kdy se postupně zkracovala délka expozice a frekvence. Postupem času se začaly vyrábět i kryté rentgenky. Jeden z hlavních průkopníků radiační ochrany byl bostonský zubař, Wiliam Herbert Rollins, který díky svému pokusu na těhotném morčeti prokázal nepříznivý účinek na plod. V roce 1905 se rentgenové vyšetření zakázalo na těhotných ženách. (Praktická radiologie, 2018)

Ve **spícím období** nedošlo v oblasti radiační ochrany k žádnému velkému pokroku. Pouze v roce 1907 přispěl Vernor Wagner, výrobce rentgenek, k pozdějšímu vynálezu osobní filmové dozimetrie tím, že při své práci nosil v kapse fotografickou desku, kterou po každé směně kontroloval, aby zjistil, zda byl ozářen. Přelom však nastal v roce 1915, kdy byla přijata doporučená opatření radiační ochrany dle britské Roentgen Society a v roce 1922 dle americké Roentgen Ray Society. (Praktická radiologie, 2018)

V roce 1925 německo-americký fyzik Arthur Mutscheller stanovil první toleranční dávku 0,2 rem a tímto přelomem začíná **období pokroku**. Od roku 1920 byly zavedeny osobní filmové dozimetry a v roce 1928 byla přijata jednotka pro měření 1 Roentgen. Nebezpečí ionizujícího záření a potřeba kontroly vedly k vytvoření organizací, které v roce 1931 stanovily konečná, vědecky podložená doporučení radiační ochrany. (Praktická radiologie, 2018)

1.5.2 Základní právní předpisy v oblasti radiační ochrany

Zákon týkající se využívání atomové energie, který byl přijat v roce 1997, byl v roce 2016 nahrazen novým zákonem **č. 263/2016 Sb., atomový zákon**. Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropského společenství pro atomovou energii a Evropské unie, zároveň upravuje podmínky mírového využívání jaderné energie, vykonávání činností v rámci expozičních situací, nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem, monitorování radiační situace atd.

Nejdůležitější prováděcí vyhláškou atomového zákona je vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost **č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje**, která stanovuje požadavky na zajišťování radiační ochrany v expozičních situacích a způsob zabezpečení radionuklidového zdroje.

1.5.3 Komise týkající se radiační ochrany

V roce 1928 byla ve Stockholmu ustanovena Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (**ICRP**), jejíž úkolem je vydávat doporučení a zákonné nomy pro ochranu před ionizujícím zářením. (Kuna a Navrátil, 2005) Komise ICRP se nezaměřuje na vytváření textů charakteru předpisů, ale má za to, že takové texty by měly být zpracovány z jejich doporučení a ve shodě s nimi. Komise působí v těsné součinnosti a má pevné vztahy s Vědeckým výborem Spojených národů pro účinky atomového záření, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (**UNSCEAR**). (Navrátil et al., 2010) Vědecký výbor OSN pro účinky atomového záření byl založen v roce 1955. V systému OSN posuzuje a hlásí úroveň a účinky expozice ionizujícího záření. Na jeho odhady se spoléhají organizace po celém světě jako na vědecký základ pro hodnocení radiačního rizika a pro stanovení ochranných opatření. (UNSCEAR, 2018) K cílům OSN přispívá i Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE), International Atomic Energy Agency (**IAEA**), která je ústředním mezivládním fórem pro vědeckou

a technickou spoluprací v jaderné oblasti a byla založena v roce 1957 jako reakce na hluboké obavy vyvolané rozmanitým využíváním jaderných technologií. Usiluje o bezpečné a mírové využití jaderné vědy a techniky a zajišťuje technickou soudržnost v oblasti jaderné, radiační, dopravní, odpadové bezpečnosti, havarijní připravenosti a programů jaderné bezpečnosti. (IAEA, 2019)

1.5.4 Subjekty v oblasti radiační ochrany v ČR

Mezi subjekty v oblasti radiační ochrany v ČR spadá Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), jehož působnost je dána atomovým zákonem, vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření jak v oblasti radiační ochrany, tak v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany. Veřejná výzkumná instituce, Státní ústav radiační ochrany (SÚRO v.v.i), je podřízena SÚJB a zabývá se odbornou činností v oblasti ochrany obyvatelstva před ionizujícím zářením. Zajišťuje činnost radiační monitorovací sítě, mobilní skupiny pro analýzu radiačních nehod, systematické vyhledávání budov se zvýšenou koncentrací radonu apod. SÚJB dále zřizuje Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany (SÚJCHBO v.v.i) za účelem vývojové činnosti v oblasti chemických, biologických a radioaktivních látek a zabezpečení technické podpory dozorové a inspekční činnosti prováděné v radiační ochraně a při kontrole zákazu chemických a biologických zbraní. (Ochrana obyvatelstva a krizové řízení, 2015)

1.5.5 Expoziční situace

Ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. se vymezují tři typy expozičních situací se záměrem pokrytí úplného spektra expozice:

- Plánované expoziční situace – zahrnují záměrné zavádění a provoz zdrojů.
- Nehodové expoziční situace – berou v úvahu neočekávané situace, které nastávají během provádění plánovaných situací.
- Existující expoziční situace – již existují, ale je důležitá jejich regulace.

Zaměstnanci pracující s ionizujícím zářením by dle legislativy měli podstupovat ochranu pomocí třech metod: ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Ochrana časem využívá skutečnost, že dávka roste s dobou. Při ochraně vzdáleností pracovníci dbají na to, aby byli co nejdále od zdroje záření. Ochrana stíněním se realizuje tak, že se mezi zdroj záření a pracovníka umístí stínící vrstva vhodného materiálu. (Kupka et al., 2007)

1.5.6 Principy radiační ochrany

Cíl (smysl) radiační ochrany, vyloučit tkáňové (deterministické) účinky záření a riziko pravděpodobnostních (stochastických) účinků udržovat na rozumně přijatelné nízké úrovni, vychází ze současných poznatků o účincích ionizujícího záření a je jej dosahováno uplatňováním následujících principů radiační ochrany. První principy jsou vztaženy ke zdroji a používají se ve všech expozičních situacích a poslední princip je vztažen k jednotlivci a používá se v expozičních plánovaných (ICRP, 2009):

- **Princip zdůvodnění** – kterékoliv rozhodnutí, které mění radiační expoziční situaci, má způsobit více užitku než škody, a proto by se mělo při zavádění nového zdroje záření, při snižování existující expozice nebo při snižování rizika potenciální expozice dosáhnout dostatečného individuálního nebo společenského prospěchu tak, aby se vyrovnala způsobená újma.
- **Princip optimalizace ochrany** – pravděpodobnost způsobení expozice, počet exponovaných lidí a velikost jejich individuálních dávek mají být všechny udržovány tak nízké, jak je rozumně dosažitelné s uvážením ekonomických a společenských hledisek. To znamená, že úroveň ochrany má maximalizovat rozpětí mezi užitek a škodou. Ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. § 7 odst. 1 je psáno: „*Při optimalizaci radiační ochrany musí každý, kdo provádí činnosti v rámci expozičních situací, stanovit varianty zajištění radiační ochrany a z nich vybrat optimální variantu zajištění radiační ochrany v příslušné expoziční situaci.*“ Opatření přijímaná k ochraně osob před vlivem ionizujícího záření mohou být uplatněna jak u zdroje ionizujícího záření, tak v prostředí mezi zdrojem ionizujícího záření a fyzickou osobou, nebo u fyzické osoby.
- **Zajištění bezpečnosti zdrojů** – bezpečnostní kultura musí usměrňovat přístupy a chování při používání zdrojů řádným řízením, dobrou technikou, systémem řízení, výcvikem a vzděláváním personálu.
- **Princip aplikace dávkových limitů** – celková dávka jednotlivců v plánovaných expozičních situacích s výjimkou lékařské expozice pacientů by neměla překročit příslušné doporučené limity. Závazné dávkové limity jsou stanoveny SÚJB a aplikují se u pracovníků a jednotlivých obyvatel (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně):
 - *Obecné limity pro obyvatele* – 1 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření, pro oční čočku

15 mSv/rok a v 1 cm² kůže 50 mSv/rok. Limitům ozáření nepodléhá lékařské ozáření, mezi které spadá vyšetření nebo léčba, preventivní zdravotní péče, dobrovolná účast na ověřování nezavedené metody či poskytování pomoci fyzické osobě podstupující lékařské ozáření.

- *Limity pro radiační pracovníky* – 20 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření. Pokud se při optimalizaci radiační ochrany zjistí, že nelze pro určitou radiační činnost dodržet limit pro radiační pracovníky pro určité období, může SÚJB na základě posouzení rizik plynoucích z ozáření rozhodnutím schválit jiný způsob čerpání tohoto limitu v čase podle § 63 odst. 4 ze zákona č. 263/2016 Sb., nejvýše však 100 mSv/5 let a současně 50 mSv/rok, pro oční čočku 100 mSv/5 let a současně 50 mSv/rok, v 1 cm² kůže 500 mSv/rok a 500 mSv/rok na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky.
- *Limity pro žáky a studenty* – 6 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření, pro oční čočku 15 mSv/rok, v 1 cm² kůže 150 mSv/rok a 150 mSv/rok na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky.
- *Odvozené limity* – limity pro radiační pracovníky se považují za nepřekročené, pokud nejsou překročeny tyto kvantitativní ukazatelé pro zevní ozáření:
 - a) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm hodnota 500 mSv/rok;
 - b) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 3 mm hodnota 20 mSv/rok;
 - c) pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm hodnota 20 mSv/rok.Pro odvozené limity vztahující se k vnitřnímu ozáření za 1 kalendářní rok jsou ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. v § 6 odst. 3 stanovené rovnice. Pro ozáření dlouhodobými radionuklidy emitující záření alfa je odvozeným limitem příjem vdechnutím 3 200 Bq/rok.

1.5.7 Program monitorování

Programy monitorování plní v oblasti radiační ochrany důležitou úlohu při omezování ozařování zaměstnanců díky daným limitům ozařovaných osob, prokazování optimalizace radiační ochrany a zajištění požadavků na bezpečný provoz pracovišť se zdroji ionizujícího záření. Uplatňují se čtyři druhy programů monitorování, které jsou pevně určeny legislativními požadavky (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně):

- monitorování pracoviště;
- monitorování osobní;
- monitorování výpustí;
- monitorování okolí.

V programu monitorování se pak vymezují hodnoty neboli monitorovací úrovně představující pokyn k určité aktivitě.

- Úroveň záznamová – určující, od jaké hodnoty dávky se mají výsledky monitorování zaznamenávat (zpravidla 1/10 ročního limitu ozáření).
- Úroveň vyšetřovací – se stanovuje na úrovni 3/10 limitů ozáření (pokud dojde k její překročení musí být provedeno šetření příčin).
- Úroveň zásahová – je při jejím dosažení pokynem k provedení nápravy vzniklého stavu a zabránění nežádoucího rozvoje. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

V souladu s Vyhláškou Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, je na pracovištích, kde se vyskytují zdroje ionizujícího záření, vymezeno pro zaměstnance kontrolované pásmo a zajištěno pásmo sledované. Při zaměstnávání osob v místech se zdroji ionizujícího záření je nutné zabezpečit efektivní osobní monitorování tak, aby byly dodrženy monitorovací programy a současně naplněn program plánovaných prací v kontrolovaných pásmech. (SÚJB, 2019a)

Kontrolované pásmo je oblast, kde se pro pracovníky vyžadují zvláštní ochranná a bezpečnostní opatření k zabránění šíření radioaktivní kontaminace a k zabránění potencionálního ozáření. Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv za rok. V této oblasti je stanovena četnost měření a jsou zde vymezeny hodnoty rozhodné pro předem stanovené postupy a opatření. Sledované

pásma je všude tam, kde se očekává, že by ozáření mohlo překročit obecné limity. Sledované pásmo se nevymezuje.

Vedle vymezení kontrolovaného a sledovaného pásma je v zákoně č. 263/2016 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v § 61 odst. 4 uvedeno: „*Pro účely monitorování se radiační pracovníci podle možné míry zdravotního rizika spojeného s ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B.*“ Toto rozdělení se odvozuje na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu.

Pracovníci kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet:

- efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně;
- ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv pro oční čočku;
- tři desetiny limitu ozáření na kůži a končetiny.

Ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie B, pokud jejich kategorizaci vyžaduje zákon. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.)

1.6 MAPE Mydlovary

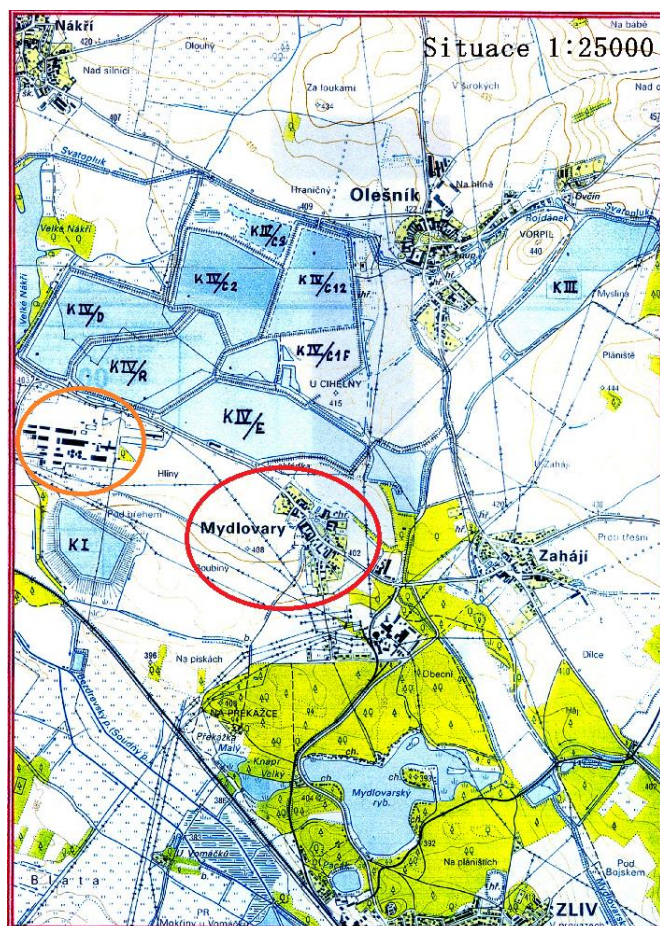
Areál bývalé úpravny uranových rud se nachází v katastru obce Mydlovary v Jihočeském kraji přibližně 15 km od Jaderné elektrárny Temelín a Českých Budějovic. Tato lokalita byla vybrána díky možnosti využití prostoru po těžbě lignitu pro ukládání vyloužené rudy, jelikož se okolní horniny zdály být nepropustné. Dalším důvodem byla možnost energetické vazby na elektrárnu v Mydlovarech, snaha zprůmyslnit Jihočeský kraj a tím vytvořit nové pracovní příležitosti. Poslední výhodou této lokality byla geografická poloha ve vztahu k těžebním oblastem. Chemická úpravna se začala budovat na základě rozhodnutí vlády ČSSR v roce 1959. Výstavba byla ukončena v roce 1962 a v říjnu téhož roku byl provoz v úpravně zahájen. Krycí název chemické úpravny MAPE Mydlovary byl odvozen z názvu magnezium perchlorát, který byl výchozí surovinou a rozpouštěl se v koncentrované kyselině dusičné. Po filtraci, ochlazení, extrakcí a reextrakcí vznikl nukleárně čistý roztok uranylinitrátu, ze kterého se amoniakem vysrážel diuranát amonný („žlutý koláč“). (Novotná, 2014) Uranová ruda se v okolí Mydlovar ani v Jihočeském kraji nikdy netěžila, ale byla dovážena nákladními vlaky z různých dolů. (Tomášek, 2001) Ruda z uranových dolů z oblastí Rožné se zpracovávala pomocí alkalického

loužení a ruda ze Stráže pod Ralskem kyselým loužením. (Petrová et al., 2013) Zpracovatelská kapacita se vyšplhala až na 700 tisíc tun rudy za rok. K ukončení provozu došlo zhruba po třiceti letech na podzim v listopadu roku 1991. Za tuto dobu se zde zpracovalo přibližně 17 miliónů tun uranové rudy a vyrobilo až 29 tisíc tun uranu. (Fejgl, 2011)

Zbytky po vyloužení uranu se ukládaly na odkaliště v blízkém okolí (viz Obrázek 3), mezi obcemi Zahájí, Mydlovary, Olešník a Dívčice na severním okraji Českobudějovické pánve. (Fejgl, 2011) Odkaliště je přírodní nebo uměle vytvořený prostor na zemském povrchu, který slouží pro uskladnění vodní suspenze jemných částic neboli kalu. Kal se na úložiště dopravuje hydraulickým způsobem, tj. naplavováním, a proto je na vodní bázi. (Nejedlý, 2007) Odkaliště v lokalitě MAPE Mydlovary lze rozdělit na tři skupiny (Petrová et al., 2013):

- K I s hrázemi vytvořenými z plaveného kalu, kde se ukládaly odpady po loužení sodou;
- K III vybudované v jámě po těžbě lignitu s odpady po loužení kyselinou sírovou;
- K IV, které bylo zčásti vybudované na zaplněném odkališti K II v jámě po těžbě lignitu, kam se opět ukládaly odpady po loužení kyselinou sírovou.

Odkaliště jsou rozlehlá na ploše až 300 ha, kam bylo uloženo kolem 35,8 miliónů tun úpravárenských kalů. V odkalištích se nacházejí těžké kovy a vyloužené rudy se zbytkovým obsahem 0,014 % uranu. Množství kalů je zhruba stejně velké jako množství vytěžené rudy, protože při obsahu uranu např. 0,1 % zůstane 99,9 % odpadní rudy. (Krejčí, 2014)



Obrázek 3 - Výřez mapy – obec Mydlovary (v červeném poli), chemická úpravná MAPE Mydlovary (v oranžovém poli) a znázornění jednotlivých odkališť

Zdroj: Intenzifikace čištění odkalištních vod bývalé úpravní uranových rud MAPE Mydlovary [online], DIAMO, s.p., o.z. Správa uranových ložisek Příbram [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: https://slon.diAMO.cz/hpvt/2004/Z/Z13_Urban.htm

Přesto, že už bývalá chemická úpravná uranových rud MAPE Mydlovary není ekonomicky aktivní, její odkaliště představují jednu z nejzávažnějších ekologických zátěží v České republice a jsou potenciálním zdrojem kontaminace okolí v důsledku částečné propustnosti dna a hrází odkališť, díky čemuž dochází na území k průniku odkalištních vod do vod podzemních. Kontaminace podzemních vod zasahuje na jih až jihozápad. Po naplnění odkaliště KII došlo v minulosti k obnově vody v lokálních studnách v Mydlovarech, avšak kvalita vody je stále nevyhovující pro pitné účely i pro zalévání zahrad. Výrazné ovlivnění průsakem vody z odkališť je indikováno zejména silným zvýšením koncentrace Na^+ . (DIAMO, 2012) Dalším zdrojem kontaminace okolí byly a jsou odkaliště, zejména kvůli mobilitě radonu, rozpadovým produktům radonu

a prašnosti suchých pláží odkališť. (Anděl a Novák, 1991) Státní podnik DIAMO, s. p., který je nyní majitelem bývalé úpravny uranových rud, provádí rekultivační práce, které zahrnují likvidaci výrobních objektů v areálu, a sanaci odkališť, kde vzniká několikahektarová zatravněná plocha. DIAMO s. p. je organizace, která realizuje vládou vyhlášený útlum uranového hornictví v České republice. (Novotná, 2014) Sanační práce se musí vyrovnat s vysokým výskytem radioaktivních izotopů radia, thoria a uranu. Povrch odkališť byl překryt zeminou a došlo k oplocení z důvodu vlivu prašnosti odkališť. (Anděl a Novák, 1991) Kromě odkališť proběhla před několika lety i likvidace tzv. černých skládek radioaktivního materiálu. Dle plánů Státního podniku DIAMO by tato ekologická zátěž měla být kompletně odstraněna v roce 2024.

Pracovníci závodu DIAMO, s. p., oblast monitorovali desítky let a výsledky výzkumných prací prokázaly, že chemická úpravna uranových rud MAPE Mydlovary nezapříčinila jen kontaminaci životního prostředí, ale měla i nepříznivý dopad na zdraví lidí žijící v této lokalitě a na bývalé zaměstnance, jelikož práce v provozech zaměřených na obohacování uranu, jsou spojeny s vysokým rizikem ohrožení zdraví a stejně jako těžba uranu představují velkou a dlouhodobou zátěž. Při zpracování (tj. drcení, mletí a loužení) uranových rud a následném ukládání odpadů vzniká riziko ozáření zaměstnanců podniku celkem ze tří složek záření, mezi které patří záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa. (Zölzer et al., 2016)

1.7 Ochrana bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary

Během 30 let provozu bývalé úpravny uranových rud MAPE Mydlovary zde pracovalo přibližně 1 100 lidí, včetně správců, servisních pracovníků atd. Vrchol byl dosažen v 80. letech 20. století, kdy se počet zaměstnanců zvýšil na 640 současně pracujících. (Havránková et al., 2016)

Každý zaměstnanec v MAPE nosil pracovní oděv a ochranné pomůcky dle svého osobního čísla a pracoviště, na kterém pracoval. Závod MAPE Mydlovary měl režim každodenních pracovních oděvů pro své zaměstnance kvůli zamezení úniku kontaminace do obcí a měst, odkud zaměstnanci pocházeli. Zaměstnanci se každý den v šatnách převlékali do svých přidělených pracovních oděvů s vyšitým osobním číslem. Po pracovní době se osobní oděv zaměstnanců každodenně společně pral v prádelně,

kteřá byla součástí podniku. Jednou za rok měli pracovníci nárok na nové oděvy, ale to záviselo především na pracovišti, kde pracovali. Pracovníci na drtírně obměňovali svůj oděv mnohem častěji, než pracovníci v laboratořích. Pracovní oděv zaměstnanců se skládal z montérek, jégrova spodního prádla, ponožek, kapesníků, normálních bot a pracovních bot, zimní obuvi, gumofilcových holínek, gumových a pracovních rukavic, respirátorů, masek, helem, ochranných štítů, brýlí, kyselinovzdorných kombinéz a ušánek. (Novotná, 2014)

Během vykonávání pracovní činnosti v chemické úpravně uranových rud se zaměstnancům měřily radiační dávky dvěma způsoby. Dávky ze zevního ozáření se měřily pomocí filmových dozimetrů, které jsou nejstarším typem dozimetrů vůbec (vznik v 19. století), ale jsou schopny rozlišit typ, energii a směr dopadu záření na člověka. Dozimetr byl uložen do světlotěsného papírového obalu, který byl pokryt obalem z umělé hmoty, a vpředu se nacházelo malé okénko. Film velice citlivý na působení ionizujícího záření zčernal dle míry expozice záření. (Podzimek, 2015) Dozimetr se uchytoval na přední, svrchní stranu pracovního oděvu okénkem dopředu. Dávky z vnitřního ozáření byly měřeny zařízením, které nasávalo vzduch o průtoku 4 litry za hodinu, v němž se zaměstnanci pohybovali. Celé toto zařízení bylo poháněno dobíjející baterií, která při plném nabití vydržela v provozu 8 hodin. (Marušiaková et al., 2011)

Celkové ozáření pracovníka bylo hodnoceno pomocí veličiny efektivní dávka (E), na kterou se nyní vztahují limity pro radiační pracovníky podle § 4 odst. 1 písm. a) vyhlášky č. 422/2016 Sb. Efektivní dávka je součtem efektivní dávky ze zevního ozáření zářením gama E_{ext} a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření, a to produktů přeměny radonu $E_{int,Rn}$ a vdechnutí směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady $E_{int,d.l.alfa}$: $E [mSv] = E_{ext} + E_{int, Rn} + E_{int,d.l.alfa}$

Jednotkou efektivní dávky je $J.kg^{-1}$ neboli 1 sievert (Sv). Zásadní výhodou efektivní dávky je možnost vyjádřit (při nerovnoměrném ozáření) radiační zátěž těla jediným číslem. Průměrné roční efektivní dávky u zaměstnanců pracujících se zdroji ionizujícího záření se nacházejí pod prahem vzniku deterministických účinků a možnost vzniku těchto účinků je spojena pouze s překročením limitních hodnot při radiačních nehodách. (Doporučení SÚJB, 2007)

Analýzu dozimetrů bývalých pracovníků MAPE každý měsíc zajišťoval Ústav hygieny práce uranového průmyslu se sídlem v Příbrami, který je dnes znám jako Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i. neboli SÚJCHBO. (Novotná, 2014)

2 Cíl práce a výzkumná otázka

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je analýza dozimetrických listů, zhodnocení podílu jednotlivých složek záření (záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé zářiče) na celkové dávce bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary a porovnání výsledků s platnou legislativou.

2.2 Výzkumná otázka

Jak se budou na radiačních dávkách bývalých zaměstnanců MAPE podílet jednotlivé složky záření (záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé zářiče)?

3 Metodika výzkumu

Hlavním východiskem k zodpovězení dané výzkumné otázky bylo zpracování a analýza dozimetrických listů bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary. Z odborné literatury byly získány základní a potřebné informace nezbytné k sepsání teoretické části bakalářské práce. Za stěžejní podklad pro vypracování teoretické části práce byl zvolen zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon a vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Teoretická část, která je rozdělena do tří tematických bloků týkajících se ionizujícího záření, radiační ochrany a bývalé chemické úpravy uranových rud MAPE Mydlovary, se skládá z informací, které byly nalezeny v uvedené literatuře, na internetových stránkách, v zákonech, ve vyhláškách, v periodikách, diplomových pracích a ve studiích, které se zabývají problematikou bývalé chemické úpravy MAPE Mydlovary a jejich bývalých zaměstnanců, kteří byli při práci ozařováni třemi složkami záření.

Ve výzkumné části bakalářské práce jsou použita data zapsaná v tabulkovém procesoru MS Excel 2013. Tato data byla získána z osobních dozimetrických listů, které sloužily k zaznamenávání potřebných informací týkajících se výkonu práce bývalých zaměstnanců úpravy MAPE Mydlovary (například obdržená dávka ionizujícího záření, koncentrace radioaktivních látek v ovzduší atd.). Každému zaměstnanci se do jeho dozimetrického listu většinou po měsíci (ne vždy) zaznamenávaly naměřené hodnoty. Příjmy dceřiných produktů radonu a dlouhodobých zářičů emitující záření alfa byly vypočítány na základě údajů, které byly zapsány v dozimetrických listech bývalých pracovníků. Mezi tyto údaje potřebné k výpočtům patřila koncentrace, počet odpracovaných hodin a uvažovaný objem dýchání $1,2 \text{ m}^3$ za hodinu. U dceřiných produktů radonu byla získána koncentrace v mJ/m^3 a pro výpočet efektivní dávky byl použit kontroverzní faktor $2,36 \text{ mSv/mJ}$, který je uveden v ICRP z roku 2010. Koncentrace dlouhodobých zářičů byla v kBq/m^3 , u níž byl pro výpočet efektivní dávky použit kontroverzní faktor $3,5 \text{ mSv/kBq}$.

Prvním krokem pro zpracování výzkumné části bylo protřídění a zredukování všech dat získaných za období 1963–1996 tak, aby každý řádek v programu Excel 2013 obsahoval údaje o všech třech typech záření, která působila po dobu pracovní činnosti na bývalé zaměstnance podniku. Tzn., aby se v tabulce objevovaly naměřené hodnoty od záření

gama, krátkodobých produktů přeměny radonu a dlouhodobých zářičů emitující záření alfa. Celkem bylo zpracováno 366 dozimetrických listů.

Zaměstnanci kvůli výzkumu byli rozděleni do čtyř skupin dle charakteru práce.

- I. skupina – činnost s vysokou prašností jako je například práce na skladě rudy, v drtárně, u chemikálií, sušení, srážené či plnění konečného produktu, likvidační práce a práce v odkalištích;
- II. skupina – práce v hlavní výrobě bez prašnosti (práce v mlýnici, loužení, sorpce, eluce a konečná neutralizace, práce na stavebním úseku, elektrikáři a osoby regulující provoz);
- III. skupina – ostatní činnosti, u kterých byli zaměstnanci monitorováni osobními dozimetry (práce v dílnách, ve výzkumných pavilonech, v oddělení řízení jakosti, technické kontroly atd.);
- IV. skupina – pracovníci s neuvedeným pracovištěm v dozimetrickém listu.

Pro lepší přehled jsem pro výzkum 366 dozimetrických listů rozdělila do tabulky tak, aby bylo jasné, kolik bývalých pracovníků spadalo do jaké skupiny.

Z dat záření gama, krátkodobých produktů přeměny radonu, dlouhodobých zářičů a celkové efektivní dávky jsem pomocí matic v programu MS Excel 2013 sestavila jednotlivé grafy a vypočítala průměr se směrodatnou odchylkou. Směrodatná odchylka charakterizuje rozdělení jednotlivých hodnot měřené odezvy kolem střední hodnoty a je mírou reprodukovatelnosti výsledků. Čím je menší, tím méně se liší jednotlivé naměřené hodnoty vzájemně od sebe.

Díky přehledné tabulce, obsahující údaje o průměrných ročních dávkách ze všech třech typů záření a efektivní dávky, jsem získala finální graf, který udává přehled v procentech o průměrných ročních dávkách záření gama, krátkodobých produktů přeměny radonu a dlouhodobých zářičů emitující záření alfa.

4 Výsledky

Z 366 dozimetrických listů, které obsahují údaje o všech třech zdrojích ozáření zaměstnanců (záření gama, krátkodobých produktů přeměny radonu a dlouhodobých zářičů), byla sestavena tabulka (viz Tabulka 1), která jasně poukazuje na to, že v I. skupině v prostředí s vysokou prašností pracovalo nejvíce zaměstnanců (177 úplných dozimetrických listů). Hned za nimi s počtem 139 dozimetrických listů jsou v tabulce zaměstnanci spadající do II. skupiny. III. skupina zaměstnanců nebyla příliš velká, obsahuje totiž pouze 44 dozimetrických listů. U 6 zaměstnanců, kteří byli ozařováni všemi třemi typy záření, není v dozimetrických listech uvedeno místo pracoviště.

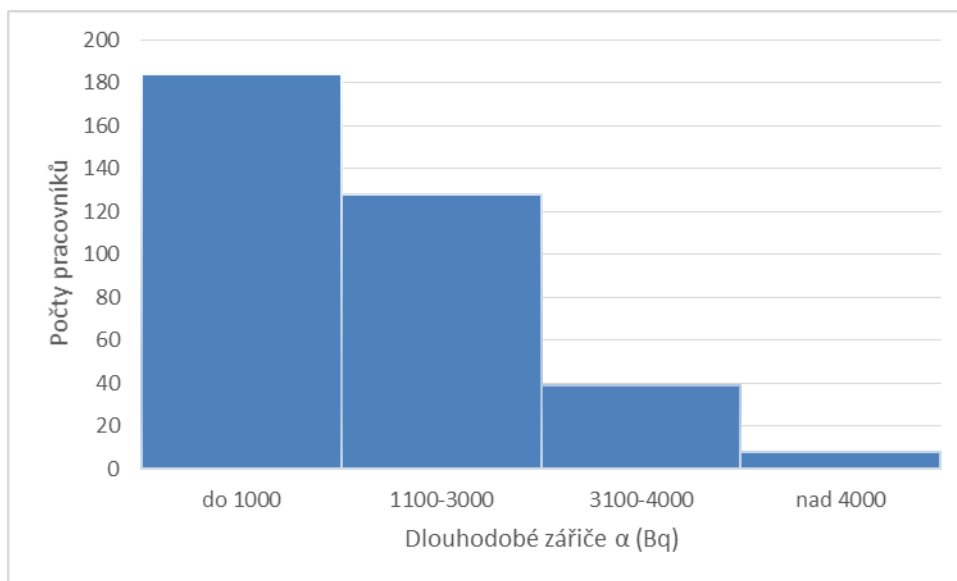
Tabulka 1 - Rozdělení zaměstnanců do skupin

Skupina zaměstnanců	Počet dozimetrických listů
I.	177
II.	139
III.	44
IV.	6
Celkem	366

Zdroj: vlastní výzkum

4.1 Dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa

Z obrázku 4 vyplývá, že nejvíce zaměstnanců obdrželo od dlouhodobých zářičů α za rok dávku do 1 kBq tzn. do 3,5 mSv. Méně než 10 zaměstnanců obdrželo roční dávku vyšší jak 4 kBq (14 mSv). Průměrná roční dávka dceřiných dlouhodobých zářičů α byla 1,2 kBq (4,2 mSv). Maximální roční dávka dosáhla hodnoty 20,6 kBq (72 mSv) u zaměstnance, který pracoval v hlavní výrobě bez prašnosti v sekci eluce. Minimální roční dávka dosáhla hodnoty 0,001 kBq (0,004 mSv). Směrodatná odchylka pro průměrnou roční dávku dceřiných dlouhodobých zářičů α je 4 811,5 pro Bq (4,8 pro mSv).

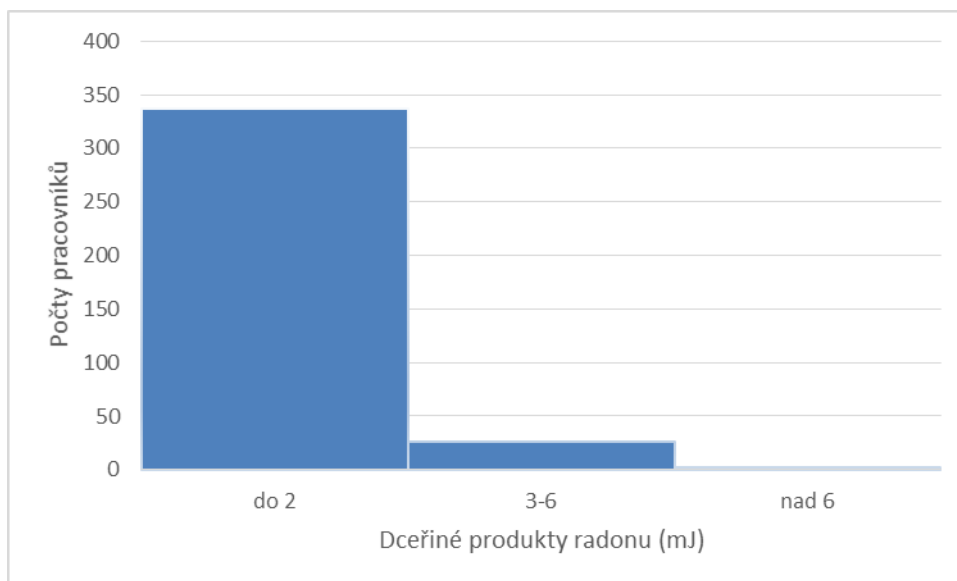


Obrázek 4 – Průměr příjmu dlouhodobých zářičů α za rok (1 kBq = 3,5 mSv)

Zdroj: vlastní výzkum

4.2 Krátkodobé produkty přeměny radonu

Z obrázku 5 je patrné, že nejvíce pracovníků obdrželo od krátkodobých produktů radonu dávku do 2 mJ neboli do 4,7 mSv. Naopak pouze 2 zaměstnanci obdrželi dávku vyšší než 6 mJ (14,16 mSv). Průměrná roční dávka dceřiných produktů radonu byla 1,06 mJ (2,51 mSv). Maximální roční dávka dosáhla hodnoty 10,79 mSv u zaměstnance, který pracoval v hlavní výrobě bez prašnosti jako údržbář. Minimální roční dávka dosáhla hodnoty 0,02 mJ (0,04 mSv). Směrodatná odchylka pro průměrnou roční dávku dceřiných produktů radonu je 1,7 pro mSv.

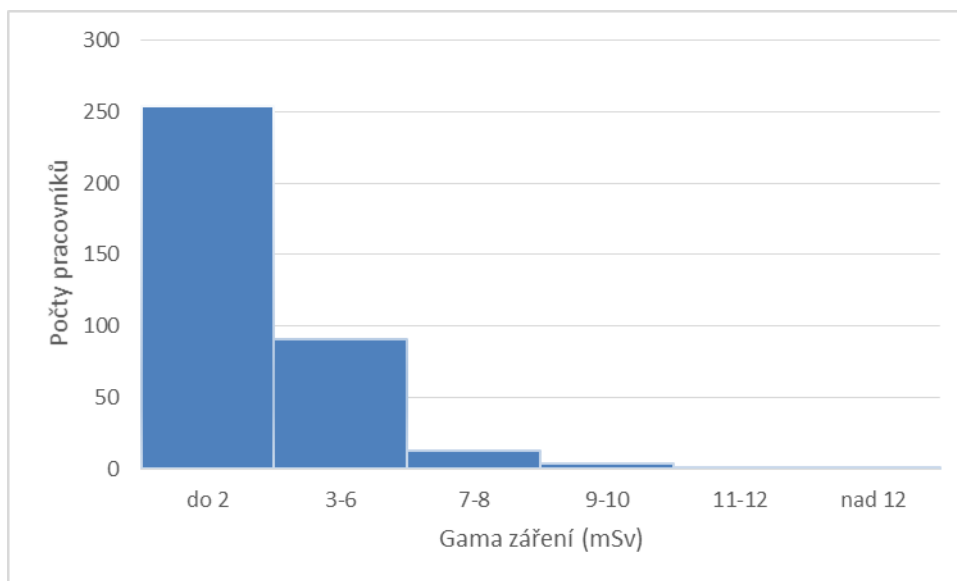


Obrázek 5 – Průměr příjmu dceřiných produktů radonu za rok (1mJ = 2,36 mSv)

Zdroj: vlastní výzkum

4.3 Gama záření

Obrázek 6 jasně znázorňuje, že dávce do 2 mSv gama záření bylo vystaveno nejvíce zaměstnanců. Pouze 2 zaměstnanci obdrželi dávku vyšší než 11 mSv. Průměrná roční dávka z příjmu gama záření byla 1,85 mSv. Maximální roční dávka z gama záření dosáhla hodnoty 13,29 mSv u zaměstnance, který pracoval v sekci eluce. Minimální roční dávka dosáhla hodnoty 0,04 mSv. Směrodatná odchylka pro průměrnou roční dávku gama záření je 1,38 pro mSv.

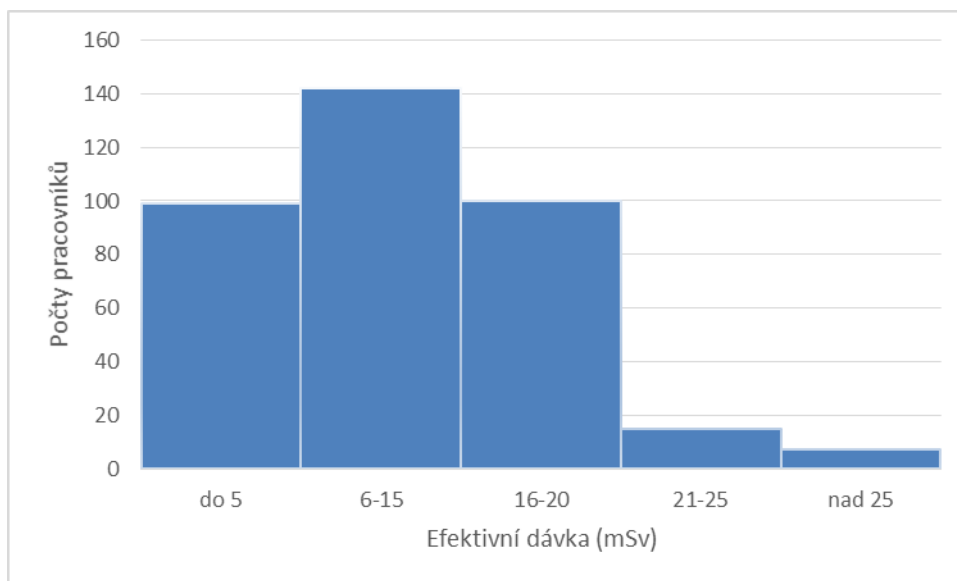


Obrázek 6 - Průměr příjmu gama záření za rok (mSv)

Zdroj: vlastní výzkum

4.4 Průměrná efektivní dávka

Z celkové efektivní dávky za rok obdrželo nejvíce zaměstnanců dávku v rozmezí 6–15 mSv (viz Obrázek 7). Více než 20 mSv bylo vystaveno cca 8 bývalých pracovníků. Průměrná roční efektivní dávka byla 8,55 mSv. Maximální roční efektivní dávka dosáhla hodnoty 78,14 mSv u zaměstnance, který pracoval v sekci eluce. Minimální roční efektivní dávka dosáhla hodnoty 0,75 mSv. Směrodatná odchylka pro průměrnou roční efektivní dávku je 5,74 pro mSv.



Obrázek 7 - Průměrná efektivní dávka za rok mSv

Zdroj: vlastní výzkum

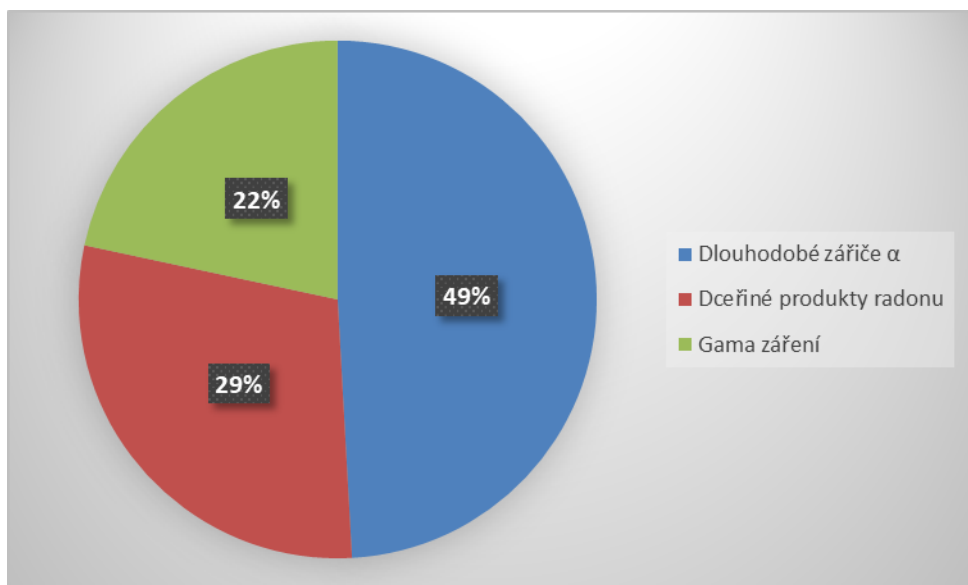
Z tabulky 2 je patrné, že nejvíce se na ozařování bývalých pracovníků MAPE Mydlovary podílely dlouhodobé zářiče α a to 4,2 mSv/rok. Krátkodobé produkty radonu zaujímají svými 2,5 mSv/rok druhé místo v pořadí. Nejmenší podíl na ozařování zaměstnanců mělo záření gama (1,85 mSv/rok).

Tabulka 2 – Průměrné roční expozice tří složek záření od 366 pracovníků

Typ záření	Průměr za rok (mSv)	Směrodatná odchylka	Maximální obdržená dávka (mSv)
Dlouhodobé zářiče α	4,2	4,8	72
Dceřiné produkty radonu	2,5	1,7	10,79
Gama záření	1,85	1,38	13,29
Efektivní dávka celkem	8,55	5,74	78,14

Zdroj: vlastní výzkum

Průměrná hodnota roční efektivní dávky činila 8,55 mSv a obsahovala 4,2 mSv z dlouhodobých zářičů α , což činí podíl na celkové efektivní dávce cca 49 % (viz Obrázek 8). Inhalace krátkodobých dceřiných produktů radonu tvořila 29 %, tj. 2,5 mSv za rok. Nejmenší podíl mělo záření gama, které se podílelo pouze z 22 %, tzn. dávkou 1,85 mSv za rok.



Obrázek 8 – Podíl tří druhů záření na průměrné roční efektivní dávce

Zdroj: vlastní výzkum

5 Diskuze

Lidský organismus může ohrozit jak zevní ozáření ze zdrojů ionizujícího záření nacházející se mimo ozářenou osobu, tak ozáření z radionuklidů, které se dostávají do organismu inhalací, ingestí nebo penetrací přes poraněnou kůži. Činnosti se zdroji ionizujícího záření mohou vést k značné radiační expozici zaměstnanců zářením gama emitovaného materiálu, s nímž pracovníci manipulují, nebo v důsledku zabudování radonu a radionuklidů emitující záření alfa obsažených v prachových částicích. Tyto 3 faktory přispívají k celkové efektivní dávce. Průměrné roční efektivní dávky u zaměstnanců pracujících se zdroji ionizujícího záření se nacházejí pod prahem vzniku deterministických účinků a možnost vzniku těchto účinků je spojena pouze s překročením limitních hodnot při radiačních nehodách a haváriích.

Víme, že ionizujícím zářením poškozuje DNA a to tak, že vznikne dvouvláknový zlom, který může vést ke strukturním změnám v chromozomu. Proto v minulých letech proběhla analýza 98 odebraných vzorků periferní krve získaných od mužů z jižních Čech pomocí praktických lékařů, z nichž 46 dříve pracovalo v závodě MAPE Mydlovary a zbylých 52 v této oblasti bydlelo. Zjišťovala se frekvence buněk obsahujících mikrojádra a frekvence mikrojader bez centromer. Medián věku všech účastníků byl 67 let. Po důkladné analýze však nebyl zjištěn žádný zřetelný rozdíl mezi bývalými pracovníky a kontrolní skupinou. (Zölzer et al., 2016)

Dle komplexní analýzy rizik areálu a odkališť s.p. DIAMO u Mydlovar lze specifikovat skupiny ohrožitelných osob:

- majitelé studní, které slouží k odběru podzemních vod za účelem zalévání zahrad (Mydlovary, Olešník);
- obyvatelstvo města Zliv, které používá vodu z jímacích vrtů (cca 3 600 obyvatel);
- obyvatelstvo, které využívá podzemní vodu v hlubších polohách Budějovické pánve sloužící jako zdroj pitných vod;
- osoby poblíž MAPE Mydlovary vlivem emisí radonu a obsahem přírodních radionuklidů v tuhých znečišťujících látkách pocházejících ze sekundární prašnosti z objektů (cca 2 100 obyvatel obcí Mydlovary, Dívčice, Zbudov, Nákří, Zahájí a Olešník);
- osoby využívající Mydlovarský rybník k rekreačním účelům;

- pracovníci a náhodní návštěvníci ploch se zvýšeným dávkovým příkonem gama záření;
- osoby a majetek v důsledku mimořádných povodňových stavů na odkalištích (cca 150 obyvatel obce Mydlovary a jejich majetek).

Krejčí (2014) v závěrečném shrnutí uvádí, že z jejího výzkumu je patrné, že v obci Mydlovary byl oproti České republice statisticky (na úrovni zachycení trendu, tj. při hladině významnosti $\alpha = 0,2$) větší výskyt úmrtí na nádorové onemocnění spíše ojediněle, a to konkrétněji 7krát. Z průzkumu vychází, že ve sledovaném období 1971–2010 je oproti České republice v obci Mydlovary statisticky větší výskyt úmrtí na nádorová onemocnění. Díky radonovému indexu (koncentrace radonu v půdě a plynopropustnost půd) zaneseného do map je patrné, že v okolí bývalé úpravny uranových rud MAPE Mydlovary je v obci Mydlovary riziko nízké a v okolí obce riziko přechodné.

Pracovníci závodu DIAMO, s. p., oblast bývalé úpravny uranových rud monitorovali desítky let a výsledky výzkumných prací prokázaly, že chemická úpravna nezapříčinila jen kontaminaci životního prostředí, ale měla i nepříznivý dopad na zdraví lidí žijící v této lokalitě a na zaměstnance, jelikož práce v provozech zaměřených na obohacování uranu, jsou spojeny s vysokým rizikem ohrožení zdraví a stejně jako těžba uranu představují velkou a dlouhodobou zátěž. Při zpracování (tj. drcení, mletí a loužení) uranových rud a následném ukládání odpadů vzniká riziko ozáření zaměstnanců podniku celkem ze tří složek záření, mezi které patří záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa. Při vykonávání pracovní činnosti v chemické úpravně uranových rud MAPE Mydlovary se zaměstnancům měřily radiační dávky dvěma způsoby. Dávky ze zevního ozáření se měřily pomocí filmových dozimetřů, které se uchytovaly na přední, svrchní stranu pracovního oděvu okénkem dopředu. Dávky z vnitřního ozáření byly měřeny zařízením, které nasávalo vzduch o průtoku 4 litry za hodinu, v němž se zaměstnanci pohybovali. Celé toto zařízení bylo poháněno dobíjející baterií, která při plném nabití vydržela v provozu 8 hodin. (Marušiaková et al., 2011) Analýzu dozimetřů každý měsíc zajišťoval Ústav hygieny práce uranového průmyslu se sídlem v Příbrami, který je dnes znám jako SÚJCHBO.

V rámci bakalářské práce jsem zpracovala 366 dozimetrických listů, které obsahují všechny údaje o naměřených hodnotách od záření gama, krátkodobých produktů přeměny

radonu, dlouhodobých zářičů a roztřídila je do tabulky, ze které lze vyčíst, kolik zaměstnanců dle charakteru práce zapadalo do jaké skupiny. Do první skupiny jsem zahrнула 177 zaměstnanců. Tito pracovníci se uplatňovali na místech s vysokou prašností jako je například práce na skladě rudy, v drtárně, u chemikálií, sušení, srážení či plnění konečného produktu, likvidační práce a práce v odkalištích. Do II. skupiny jsem zařadila 139 zaměstnanců, kteří prováděli práce v hlavní výrobě bez prašnosti (práce v mlýnici, loužení, sorpce, eluce a konečná neutralizace, práce na stavebním úseku, elektrikáři a osoby regulující provoz). III. skupina nebyla příliš velká, obsahuje totiž pouze 44 dozimetrických listů a spadají pod ni ostatní činnosti, u kterých byli zaměstnanci monitorováni osobními dozimetry, jako je například práce v dílnách, ve výzkumných pavilonech, v oddělení řízení jakosti a technické kontroly. U 6 zaměstnanců, kteří byli monitorováni pro všechny tři typy záření, není v dozimetrických listech uvedeno místo pracoviště a proto byli zahrnuti do IV. skupiny. Dávky u zaměstnanců MAPE Mydlovary byly odlišné v určitých skupinách. Největší radiační zátěž byla zjištěna u skupiny zaměstnanců, kteří pracovali alespoň 6 měsíců s prašností tedy v I. skupině, a u těch, kteří pracovali v II. skupině, tzn. v hlavní výrobě bez prašnosti (v mlýnici a v zahušťovačích). Naopak nejmenší radiační zátěž obdrželi zaměstnanci, kteří pracovali v kalojemech, na stavebním úseku a na měření a regulaci provozu. Z výzkumu Novotné (2014) vyplývá fakt, že celkové dávky obdržené u zaměstnanců v závodu byly vyšší od roku 1991, kdy byl provoz v MAPE Mydlovary ukončen a začaly se provádět likvidační práce.

Považuji za nutné zmínit, že po dobu provozu bývalé chemické úpravný MAPE Mydlovary se limity pro radiační pracovníky od současných lišily, jelikož v letech 1956–58 byly ICRP stanoveny dávkové limity pro celé tělo, gonády a kostní dřev na 50 mSv/rok a pro ostatní orgány na 150–750 mSv/rok. V současně platné vyhlášce č. 422/2016 Sb. je limit pro radiační pracovníky pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření je 20 mSv/rok, avšak pokud se při optimalizaci radiační ochrany zjistí, že nelze pro určitou radiační činnost dodržet limit pro radiační pracovníky pro určité období, může SÚJB na základě posouzení rizik plynoucích z ozáření rozhodnutím schválit jiný způsob čerpání tohoto limitu v čase podle § 63 odst. 4 ze zákona č. 263/2016 Sb., nejvýše však 100 mSv/5 let a současně 50 mSv/rok.

Dozimetrické listy byly analyzovány, dále byl zhodnocen podíl tří složek ionizujícího záření (záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé zářiče) na celkové dávce bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary a výsledky byly porovnány s platnou legislativou.

Z výzkumu vyplývá, že nejvíce zaměstnanců obdrželo od dlouhodobých radionuklidů uran radiové řady emitující záření α za rok dávku do 1 kBq tzn. do 3,5 mSv. Průměrná roční dávka dceřiných dlouhodobých zářičů α byla 1,2 kBq (4,2 mSv). Maximální roční dávka dosáhla hodnoty 72 kBq (252 mSv) u zaměstnance, který pracoval v hlavní výrobě bez prašnosti v sekci eluce. Nad 20 mSv/rok obdrželo dávku celkem 77 zaměstnanců, z toho 48 zaměstnanců spadajících do I. skupiny (zejména ti, kteří pracovali v drtírně a likvidační skupině), 7 zaměstnanců zařazených do II. skupiny a 22 pracovníků z III. skupiny (elektrikáři). Celkem 6 bývalých zaměstnanců, zejména z I. skupiny, překročilo limit 50 mSv/rok, tudíž stanovený limit dle dříve platného legislativního požadavku. Pro ozáření směsí dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady je podle § 6 odst. 6 vyhlášky č. 422/2016 Sb. stanoven odvozený limit 3 200 Bq za 1 kalendářní rok. Tento limit byl překročen celkem u 47 bývalých zaměstnanců zkoumané chemické úpravny uranových rud MAPE Mydlovary. V porovnání s výzkumem Marušiákové et al. (2011), kde se uvádí, že horníci z Rožné roční příjem radionuklidů emitujících záření alfa přesáhli celkem 8krát, je jasné, že bývalí pracovníci MAPE Mydlovary překročili stanovený limit daleko vícrát (celkem 47krát).

Pokud se jedná o krátkodobé produkty přeměny radonu, který je přirozenou a trvalou složkou životního prostředí a je charakterizován jako alfa zářič s poměrně krátkým poločasem rozpadu, je odvozeným limitem pro roční příjem ekvivalentní aktivity radonu hodnota 3 MBq, což odpovídá příjmu latentní energie produktů přeměny radonu 17 mJ. (Doporučení SÚJB, 2016) Radon vzniká v geologickém podloží z nuklidů ^{238}U , ^{232}Th a ^{235}U , odkud se dostává do ovzduší. Produkty vznikající rozpadem radonových atomů a tvořící shluky s aerosolovými částicemi nebo s vodní párou, při inhalaci spolu s vdechovaným vzduchem poškozují jako alfa zářiče buňky bronchoalveolární tkáně a mohou tak způsobovat vznik karcinomu. Z obrázku 5 znázorňující průměr příjmu dceřiných produktů radonu za rok je patrné, že nejvíce pracovníků obdrželo od krátkodobých produktů radonu dávku do 2 mJ (do 4,7 mSv). Průměrná roční dávka dceřiných produktů radonu byla 1,06 mJ (2,51 mSv). Maximální roční dávka dosáhla hodnoty 10,79 mSv u zaměstnance, který pracoval v II. skupině v hlavní výrobě bez

prašnosti jako údržbář. Druhou nejvyšší dávku 10,49 mSv obdržel zaměstnanec z I. skupiny, který pracoval v drtárně, stejně tak jako zaměstnanec s třetí nejvyšší obdrženou dávkou 8,66 mSv. Zaměstnanec patřící do III. skupiny a pracující ve výzkumném pavilonu obdržel čtvrtou nejvyšší dávku 8,58 mSv/rok. V celkovém porovnání skupin vychází z dat najevo, že největší dávky obdrželi zaměstnanci z I. skupiny. Stanovený limit pro příjem latentní energie produktů přeměny radonu 17 mJ nebyl během provozu bývalé úpravny MAPE Mydlovary překročen.

Obrázek 6 zabývající se průměrem dávek gama záření za rok jasně znázorňuje, že nejvíce zaměstnanců bylo vystaveno dávce do 2 mSv. Tuto dávku obdrželi všechny skupiny zaměstnanců, nejvíce pracovníci z III. skupiny (sekce eluce) a I. skupiny (hlavní výroba s vysokou prašností), ale i zaměstnanci z II. skupiny (hlavní výroba bez prašnosti) a IV. skupiny (zaměstnanci s neuvedeným místem práce). Dávku v rozmezí 3–6 mSv obdržely nejvíce skupiny pracovníků z I. a III. skupiny. Zaměstnanci z I. skupiny se podíleli nejvíce na obdržení dávek více než 7 mSv. Pouze 2 zaměstnanci obdrželi dávku vyšší než 11 mSv. Průměrná roční dávka z příjmu gama záření byla 1,85 mSv. Maximální roční dávka z gama záření dosáhla hodnoty 13,29 mSv u zaměstnance, který pracoval v sekci eluce. Marušiáková et al. (2011) uvádí, že více než polovina horníků v Rožné překročila roční dávku od zevního gama záření 3,4 mSv, což je více než u bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary. Marsh et al. (2011) uvádí, že pro výpočet absorbované dávky gama záření v organismu je třeba počítat se stíněním krycí tkáně. V Německu byla dávka gama záření pro horníky odhadnuta na základě vzorce založeného na těchto faktorech: obsah uranu, trvání expozice, kategorie práce a měřená dávka fotonu. Tento vzorec byl také použit k odhadu dávky gama záření u českých horníků v letech před rokem 1968. Po roce 1968 byly dávky z gama záření založeny na datech z filmových dozimetřů.

Pokud budeme posuzovat celkové ozáření zaměstnanců, je třeba brát v úvahu, že pracovníci jsou vystaveni současně zevnímu ozáření gama a vnitřnímu ozáření (vdechnutí produktů přeměny radonu nebo směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady). Pro ozáření těmito složkami jsou stanoveny odvozené limity, jejichž nepřekročení se považuje za splnění požadavků nepřekročení základních limitů pro pracovníky se zdroji. Jak jsem již zmínila, odvozené limity pro radiační pracovníky odpovídají efektivní dávce 20 mSv/rok nebo hodnotě schválené SÚJB podle § 63 odst. 4 atomového zákona č. 263/2016 Sb., nejvýše však 100 mSv/5 let a současně

50 mSv/rok. Z obrázku 7 znázorňující průměrnou efektivní dávku za rok vyplývá, že nejvíce zaměstnanců obdrželo dávku v rozmezí 6–15 mSv. Tuto dávku obdrželi nejvíce pracovníci z I. a III. skupiny. Frekvence obdržené dávky do 5 mSv byla v I., II. a III. skupině velice podobná. Průměrná roční efektivní dávka byla 8,55 mSv. Více než 20 mSv/rok bylo vystaveno 8 bývalých pracovníků a to z I. a III. skupiny. Maximální roční efektivní dávka dosáhla hodnoty 78,14 mSv u zaměstnance, který pracoval v sekci eluce a byl zařazen do III. skupiny.

Dlouhodobé zářiče α se se svým ročním průměrem 4,2 mSv podílely na celkové efektivní dávce ze 49 %, inhalace krátkodobých dceřiných produktů radonu s ročním průměrem 2,5 mSv z 29 % a nejmenší podíl mělo záření gama, které se podílelo pouze z 22 %, tzn. dávkou 1,85 mSv za rok. K tomuto závěru jsem dospěla z údajů od pracovníků, kteří byli monitorováni pro všechny tři složky záření. Proto jsou v tomto výzkumu průměrné roční dávky z inkorporace o něco nižší než celkové dávky z výzkumu Havránkové et al. (2016), zejména díky skutečnosti, že nejvyšší dávky z radonových produktů nebo radionuklidů s dlouhou životností byly zjištěny u lidí, kteří byli vystaveni buď jednomu, nebo druhému záření, ale ne oběma zároveň. Havránková et al. (2016) ve svém výzkumu uvádějí, že se na celkové efektivní dávce nejvíce podílela koncentrace dlouhodobých radionuklidů uran-radiové přeměnové řady emitující záření alfa a to z 53 %. Výsledky v mém výzkumu se oproti jejich liší o 4 %, jelikož z obrázku 8 v této bakalářské práci je zjevné, že se tyto dlouhodobé radionuklidy podílely ze 49 %. Podíl inhalace dceřiných produktů radonu je v porovnání s výsledky Havránkové et al. stejný. V obou výzkumech vyšlo najevo, že se dceřiné produkty radonu podílely na celkové efektivní dávce z 29 %. Rozdíl byl patrný v podílu zevního gama záření a to opět celkem o 4 %. Zatímco v mém výzkumu vyšel výsledek takový, že podíl gama záření na celkové efektivní dávce byl z 22 %, ve výzkumu Havránkové et al. se gama záření podílelo pouze z 18 %. Jak jsem uvedla, limity pro radiační pracovníky 20 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření překročilo 8 bývalých zaměstnanců. U žádného ze zaměstnanců nedošlo k překročení limitu 100 mSv/5 let. Avšak je třeba konstatovat, že podle české legislativy v letech 1960 a 1970 nebyly porušeny limity dle platné legislativy, jelikož v roce 1956 byly ICRP stanoveny dávkové limity pro celé tělo, gonády a kostní dřev na 50 mSv/rok.

Po srovnání celkových efektivních dávek zaměstnanců MAPE Mydlovary a uranových horníků v minulých letech jsem zjistila, že hodnoty se nacházely v podobném rozmezí.

Ozáření radonem a jeho dceřinými produkty bylo u pracovníků MAPE nižší než u pracovníků v uranových dolech. U uranových horníků činilo ozáření radonem 80 % z celkové efektivní dávky, zatímco u bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary pouze 25 %. (Zölzer et al., 2016) Výzkum Marušiakové et al. (2011) z monitoringu a následné analýzy dat uranových horníků v Rožné tvrdí, že na celkové efektivní dávce pracovníků se nejvíce podílely dlouhodobé zářiče a to svými 53 % z celkové dávky. Při porovnání s výsledky z mého výzkumu můžeme říci, že podíl tří složek záření na ozáření uranových horníků v Rožné byl velmi podobný jako při ozařování bývalých pracovníků MAPE Mydlovary. Dlouhodobé zářiče α , které se na celkové průměrné efektivní dávce bývalých zaměstnanců MAPE Mydlovary podílely ze 49 %, se skoro rovnají 53 % u uranových horníků v Rožné. Inhalace krátkodobých dceřiných produktů radonu tvořila v MAPE podíl z 29 % a v Rožné 27 %. Externí záření gama je posledním místě se svými 22 % v bývalé úpravně uranových rud MAPE Mydlovary a 20 % v Rožné.

Na základě provedené analýzy a vyhodnocení dat je možné odpovědět na stanovenou výzkumnou otázku, jak se na radiačních dávkách bývalých zaměstnanců MAPE podílely jednotlivé složky záření (záření gama, krátkodobé produkty přeměny radonu a dlouhodobé zářiče), zodpovědět tak, že nejvýznamnější složkou průměrné roční efektivní dávky bývalých zaměstnanců chemické úpravy uranových rud MAPE Mydlovary byly dlouhodobé zářiče α , které se na celkové průměrné efektivní dávce bývalých pracovníků podílely ze 49 % se svým ročním průměrem 4,2 mSv. Inhalace krátkodobých dceřiných produktů radonu tvořila s ročním průměrem 2,5 mSv podíl z 29 % a externí záření gama dávkou 1,85 mSv/rok pouze z 22 %.

6 Závěr

V bývalé chemické úpravně uranových rud MAPE Mydlovary se během provozu v podniku vystřídalo přibližně 1 100 zaměstnanců. Při zpracování uranových rud a následném ukládání odpadů do přilehlých odkališť docházelo k ozařování zaměstnanců podniku zářením gama, krátkodobými produkty přeměny radonu a dlouhodobými radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa.

Cílem této práce bylo zjistit, jak se na radiačních dávkách bývalých pracovníků podílely tyto jednotlivé složky záření.

Výsledky po podrobné analýze 366 dozimetrických listů dokazují, že dlouhodobé radionuklidy uran radiové řady emitující záření alfa se podílely na průměrné roční efektivní dávce nejvíce (zhruba z 50 %). Průměrná hodnota roční efektivní dávky činila 8,55 mSv a obsahovala 4,2 mSv z dlouhodobých zářičů α . Podíl krátkodobých dceřiných produktů radonu na ozařování zaměstnanců tvořil 29 %, tj. 2,5 mSv/rok. Bývalé pracovníky nejméně ozařovalo záření gama, pouze z 22 %, tzn. dávkou 1,85 mSv/rok.

Závěrem bych ráda zdůraznila, že v bývalé chemické úpravně uranových rud MAPE Mydlovary limit pro radiační pracovníky 20 mSv/rok pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a z úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření překročilo 8 bývalých zaměstnanců, avšak je třeba konstatovat, že podle české legislativy nebylo porušeno žádné pravidlo, jelikož limit pro radiační pracovníky byl v roce 1956 ICRP stanoven pro celé tělo, gonády a kostní dřeň na 50 mSv/rok.

Vliv bývalé chemické úpravy uranových rud MAPE Mydlovary na zaměstnance je stále zkoumanou problematikou, jelikož existuje stále možnost vzniku pozdních účinků. V práci byl proveden pouze výzkum týkající se podílu jednotlivých složek záření na ročních radiačních dávkách bývalých pracovníků. Ráda bych předpokládala, že výsledky z této bakalářské práce přispějí k dalšímu výzkumu.

7 Seznam použitých zdrojů

ANALÝZA RIZIK: *Komplexní analýza rizik areálu a odkališť s. p. DIAMO u Mydlovar včetně širšího okolí* [CD ROM], 2012. Brno: GEOtest [cit. 2019-01-29].

ANDĚL, Petr a Luboš NOVÁK, 1991. *Revize vlivu chemické úpravný uranového průmyslu MAPE Mydlovary na životní prostředí*. Stráž pod Ralskem: MEGA - Výzkumný a vývojový ústav, 1/95.

Bezpečnost jaderné energie: 25 let SÚJB, 2018. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost ČR, 26(64). 1-125. ISSN 1210-7085.

DIAMO, státní podnik, 2019 [online]. *DIAMO*. Stráž pod Ralskem [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/cs/spravovane-lokality#/all/all/34>

Doporučení SÚJB: *Požadavky radiační ochrany pro organizace provozující hornickou činnost, která může vést k ozáření pracovníků, obyvatel nebo životního prostředí*, Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2007. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/28-dozimetrie_zevni_2007.pdf

FEJGL, M. 2011. *Zhodnocení nezávislého monitorování MAPE Mydlovary*. Státní úřad radiační ochrany, 1/8.

HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998, 310 s. ISBN 80-856-1556-8.

HAVRÁNKOVÁ, R., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HAVRÁNEK, J., NOVOTNÁ, D., ZÖLZER, F. *Effective doses of employees at the former uranium processing plant MAPE Mydlovary, Czechoslovakia. Radiation Protection Dosimetry*, 2016. [online]. In: National Library of Medicine [cit. 2019-01-26], 175 (2): 171-177. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27765893>

HAVRÁNKOVÁ, R., FREITINGER SKALICKÁ, Z., HAVRÁNEK, J., ZÖLZER, F. a KUNA, P., 2018. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU. ISBN 978-80-7394-696-8.

ICRP [online], 2009. Praha, 276 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument.pdf

International Atomic Energy Agency (IAEA) [online], 2019. Vienna International Centre [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.iaea.org>

Kolektiv autorů, 2015. *Ochrana obyvatelstva a krizové řízení*. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-62-0

KREJČÍ, K., 2014. *Radiačně indukovaná nádorová onemocnění u obyvatel obcí v okolí MAPE Mydlovary*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzer.

KUNA, P. a NAVRÁTIL, L. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2005, 222 s. ISBN 80-865-7109-2.

KUPKA, K. et al., 2007. *Nukleární medicína*. Příbram: P3K. ISBN 978-80-903584-9-2.

MARSH J., W., BLANCHARDON E., GREGORATTO D., HOFMANN W., KARCHER K., NOSSKE D., TOMÁŠEK L., *Dosimetric calculations for uranium miners for epidemiological studies* [online]. In: Oxford Journals. Published August 3, 2011. [cit. 2019-01-26]. Published August 3, 2011. Dostupné z: <http://rpd.oxfordjournals.org/content/149/4/371.long>

MARUŠIAKOVÁ M., GREGOR Z., TOMÁŠEK L., *A review of exposures to radon, long-lived radionuclides and external gamma at the Czech uranium mine* [online]. In: Oxford Journals. Published April 6, 2011. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://rpd.oxfordjournals.org/content/149/4/371.short>

MATOUŠEK, J., ÖSTERREICHER, J. a LINHART, P., 2007. *CBRN: Jaderné zbraně a radiologické materiály*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-029-6.

NEJEDLÝ, M., 2007. *Složky monitoringu prostředí a jejich vyhodnocení na lokalitě MAPE Mydlovary*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra pozemkových úprav. Vedoucí práce Ondr Pavel, doc. Ing. CSc.

NEKULA, J., HEŘMAN, M., VOMÁČKA, J. a KÖCHER, M., 2008. *Radiologie*. 3. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN 978-80-244-1011-7

NOVOTNÁ, D., 2014. *Radiační zátěž zaměstnanců bývalé úpravny uranových rud MAPE Mydlovary*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzer.

ÖSTERREICHER, J., VÁVROVÁ, J.: *Přednášky z radiobiologie*. 1.vyd., Praha: Manus, 2003, 112 s., ISBN 80-86571-01-7

PETROVÁ, Š., SOUDEK, P. a VANĚK, T. *Remediace oblastní těžby uranu v České republice*. [online]. 2013. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_04_283-291.pdf

PODZIMEK, F., 2015. *Radiologická fyzika: Fyzika ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05319-5.

Praktická radiologie: Historie radiační ochrany, 2018. Olomouc: Společnost radiologických asistentů ČR, (4.). 22-24. ISSN 1211-5053.

RADIOBIOLOGIE: *Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu* [online], [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/7-kapitola/78/781.html>

Radonový program České republiky: *Radon v ČR*, 2016. [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/radon-v-cr/>

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i. [online], 2019. Milín [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.sujchbo.cz/>

SÚJB. *Radiační monitorování na jaderných elektrárnách k zajištění radiační ochrany*, 2019a. [online]. [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacniochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pokroky-v-zajisteni-radiacniochrany/radiacni-monitorovani-na-jadernych-elektrarnach-k-zajisteni-radiacniochrany/>

SÚJB. *Stručný přehled biologických účinků záření*, 2019b. [online]. [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-ainformace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>.

SÚKUPOVÁ, L., *Ozáření in utero* [online]. 2011 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/ozareni-in-utero/>

The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) [online], 2018. Vienna International Centre [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <http://www.unscear.org/>

TOMÁŠEK, *Sanace a rekultivace Mydlovary: Přílohy ke studii EIA*, 2001

ULLMANN, V. *Biologické účinky ionizujícího záření: Radiační ochrana*. [online]. 2008. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

VÁVROVÁ, J. a FILIP, S. *Radiosenzitivita hematopoetického systému*. 1. vyd. Praha: Galén, 2002, 99 s. ISBN 80-726-2200-5.

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sbíрка zákonů České republiky, částka 172/2016

Zákon č. 263/2016 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon). In: Sbíрка zákonů České republiky, částka 102/2016

ZÖLZER, F., HAVRÁNKOVÁ, R. a kol., 2016. *Vliv provozu úpravny uranových rud MAPE Mydlovary na zdravotní stav jejich zaměstnanců a obyvatel v okolí*. Nakladatelství Lidové noviny, ISBN 978-80-7422-468-3.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení dávek ionizujícího záření z existujících zdrojů	12
Obrázek 2 - Závislost biologického účinku na dávce	21
Obrázek 3 - Výřez mapy – obec Mydlovary (v červeném poli), chemická úpravna MAPE Mydlovary (v oranžovém poli) a znázornění jednotlivých odkališť	30
Obrázek 4 – Průměr příjmu dlouhodobých zářičů α za rok ($1 \text{ kBq} = 3,5 \text{ mSv}$).....	38
Obrázek 5 – Průměr příjmu dceřiných produktů radonu za rok ($1 \text{ mJ} = 2,36 \text{ mSv}$)	39
Obrázek 6 - Průměr příjmu gama záření za rok (mSv).....	40
Obrázek 7 - Průměrná efektivní dávka za rok mSv	41
Obrázek 8 – Podíl tří druhů záření na průměrné roční efektivní dávce	42

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení zaměstnanců do skupin	37
Tabulka 2 – Průměrné roční expozice tří složek záření od 366 pracovníků.....	41

10 Seznam použitých zkratk

MAPE – MAgnezium PErchlorát

DIAMO – DIuranát AMOnný

DNA – Deoxyribonukleová kyselina

ICRP – Mezinárodní komise radiologické ochrany

UNSCEAR – Vědecký výbor Spojených národů pro účinky atomového záření

OSN – Organizace spojených národů

IAEA – Mezinárodní agentura pro atomovou energii

SÚJB – Státní ústav pro jadernou bezpečnost

SÚRO v.v.i. – Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce

SÚJCHBO v.v.i – Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, veřejná výzkumná instituce