Zdravotně sociální fakulta
Faculty of Health and Social Sciences

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

Radiační expozice pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ

Autor: Martina Kostková

Vedoucí práce: prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc.

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem Radiační expozice pracovníků v uranových dolech na Příbramsku 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 2. 5. 2017 ……

podpis

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc. za trpělivost, ochotu a pomoc s mou bakalářskou prací a paní Mgr. Zuzaně Freitinger-Skalické, Ph.D. za velkou pomoc a dobré rady, které mi laskavě poskytla. Dále bych chtěla poděkovat paní Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za pomoc při hledání nového atomového práva.

Nakonec bych chtěla poděkovat státnímu podniku DIAMO za snahu vyhovět mým požadavkům.

Radiační expozice pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

Abstrakt

V uranových dolech na Příbramsku probíhala těžba v letech 1950 až 1991 (Příbram, 2017). Celkem zde bylo 41 jam, 42 průzkumných šachtic, 4 štoly a 2 188,3 km horizontálních důlních děl a celý dobývací prostor zaujímal celkovou plochu 57,6 km^2, z nichž bylo vytěženo celkem 48 432,2 t uranu (Příbram, 2017).

Data pro tuto práci byla získávána a zpracovávána od června 2016 do března 2017 a obsahují údaje za období 1966-1999. Data byla získávána z osobních dozimetrických listů zaměstnanců, které mi byly poskytnuty panem prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc., který je získal již dříve od státního podniku DIAMO. Jednalo se o dozimetrické listy od horníků, kteří se zúčastnili v letech 2008 – 2011 projektu „Biologická dozimetrie pro osoby profesně vystavené záření alfa“ (2B08001 v rámci Národního programu výzkumu II).

Cílem práce bylo zjištění průměrných dávek záření z jednotlivých druhů záření a bylo ho dosaženo shromážděním a statistickým zpracováním dat z výše zmíněných dozimetrických listů. Bylo zjištěno, že díky zavedení opatřeních chránících pracovníky před ionizujícím zářením, jako bylo např. větrání v dolech, došlo nejspíše ke snižování dávek.

Bylo zjištěno, že průměrné dávky u všech pracovníků v dolech jsou: z γ = 0,03 mGy; z α (podle přepočtu 1 kBq = 11 mSv) = 0,07 mSv; z α (podle přepočtu 1 kBq = 3,5 mSv) = = 0,04 mSv; z dceřiných produktů radonu (podle přepočtu 1mJ = 1,18 mSv) = 0,52 mSv; z dceřiných produktů radonu (podle přepočtu 1mJ = 2,36 mSv) = 1,03 mSv.

Klíčová slova

Ionizující záření; uran; horníci; radon; radioaktivita; radiační ochrana

Radiation exposure of uranium miners in Příbram area

Abstract

The uranium mining was operated in Příbram's region in the years 1950-1991. There were 41 pits, 42 exploratory shafts, 4 shafts and horizontal works in length of 2 188,3 km and the whole mining stretch covered the area of 57,6 km^2 producing the quantity of 48 432,2 t of uranium (Příbram, 2017).

The basic facts needed for writing this thesis were obtained and further processed over a period of time from June 2016 to March 2017 and contain the data referring to the years 1966-1999. The items were drawn from the individual dosimetric registers provided by Professor Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc. who had acquired them before from the DIAMO state enterprise. The dosimetric items were submitted by the miners who took part in the project implemented in 2008-2011 under the title "Biological dosimetry of persons exposed to alfa radiation at work" (2B08001within The National Research Project II.).

The purpose of the thesis was to determine average radiation doses emitted by single kinds of radiation, which was achieved by a collection of statistically processed data extracted from the above mentioned dosimeric registers. It has been found out that some decrease in radiation has been attained thanks to the precaution such as ventilation in the miners that were introduced for purpose of workers' protection against ionizing radiation.

In has been established that the average doses with all the mine workers are: out of γ = 0,03mGy; out of α (by conversion 1kBq = 11mSv) = 0,07mSv; out of α (by conversion 1kBq = 3,5mSv) = 0,04mSv out of the subsidiary radon products (by conversion 1mJ = 1,18mSv) = 0,52mSv; out of the subsidiary radon products (by conversion 1mJ = 2,36mSv) = 1,03mSv.

Key words

Ionizing radiation; uranium; miners; radon; radioactivity; radon protection

Obsah

Úvod 8

1 Teoretická část 9

1.1 Historie dolů v Příbrami 9

1.2 Ionizující záření 10

1.3 Veličiny popisující IZ 10

1.3.1 Absorbovaná dávka 10

1.3.2 Ekvivalentní dávka 10

1.3.3 Efektivní dávka 11

1.3.4 Radioaktivita 11

1.3.5 Kerma 11

1.4 Radioaktivní prvky vyskytující se v uranových dolech 11

1.4.1 Uran 11

1.4.2 Radium 11

1.4.3 Radon 12

1.4.4 Polonium 12

1.5 Mechanismy účinku záření na živou tkáň 12

1.5.1 Fyzikální fáze 12

1.5.2 Fyzikálně chemická fáze 12

1.5.3 Chemická fáze 12

1.5.4 Biologická fáze 13

1.6 Účinky IZ 14

1.6.1 Deterministické 14

1.6.1 Stochastické 16

1.7 Radiační ochrana 17

1.7.1 Legislativa 17

1.8 Dozimetrie horníků v uranových dolech 20

1.9 Nemoci z povolání u horníků 20

1.9.1 Karcinom plic 21

1.9.2 Silikóza 22

1.9.3 Kardiovaskulární a cerebrovaskulární onemocnění 22

1.9.4 Žaludeční vředy 23

1.9.5 Jiné nádory než karcinom plic u pracovníků v uranových dolech 23

1.9.6 Nádory hlavy a centrálního nervového systému 25
2 Cíle a hypotézy 26
2.1 Cíle 26
2.2 Výzkumné otázky 26
3 Metodika 27
3.1 Podrobný popis metodiky 27
4 Výsledky 33
4.1 Obdržené dávky u všech zaměstnanců různých pracovních skupin 33
4.2 Obdržené dávky u lamačů a ostatních zaměstnanců – srovnání 39
4.3 Průměrné dávky obdržené v jednotlivých letech 47
4.4 Efektivní dávky v uranových dolech na Příbramsku a v Okrouhlé Radouni 51
5 Diskuze 60
6 Závěr 62
7 Seznam literatury a zdrojů 63
7.1 Knihy a časopisy 63
7.2 Elektronické zdroje 64
7.3 Akademické práce 66
7.4 Legislativní dokumenty 66
8 Seznam příloh a obrázků 67
9 Seznam zkratek 70
Přílohy 71

Úvod

Uranový důl v Příbrami zaujímal celých 57,6 km^2, na kterých bylo 42 průzkumných šachtic, 4 štoly a 2 188,3 km horizontálních důlních děl (Příbram, 2017). Těžba zde probíhala v letech 1950 až 1991 a za tu dobu zde bylo vytěženo celkem 48 432,2 t uranu (Příbram, 2017).

Metodou těžby uranu bylo výstupkové dobývání plným výlomem s vlastní základkou a výběrová metoda z mezipatrových chodeb a ruda, kterou zde vytěžili, byla od roku 1958 zpracovávána na fyzikální úpravně v oblasti Bytíz a od roku 1962 pak také na chemické úpravně v Mydlovarech (Příbram, 2017).

Nyní už jsou doly zlikvidovány, podzemí zatopeno a od roku 2005 je zde v provozu nová čistírna důlních vod u jámy č. 19 a kal ukládán do odkaliště. (Příbram, 2017). Vybrané odvaly jsou zpracovávány na drcené kamenivo, využitelné objekty a areály dolů jsou připraveny k odprodeji nebo postupně likvidovány (Příbram 2017).

Při těžbě uranu, odvážení do zpracoven a údržbě dolů docházelo k ozařování pracovníků, proto byl u každého zaměstnance, který byl vystaven riziku ionizujícího záření, veden a archivován osobní dozimetrický list, do kterého se zaznamenávaly naměřené dávky. Začátek práce je věnován historii uranových dolů na Příbramsku. Poté jsem se věnovala problematice ionizujícího záření a jeho vlivu na zdraví člověka. Také jsem řešila problematiku radionuklidů v uranovém průmyslu a jejich popis.

Cílem práce je zjištění dávek z jednotlivých zdrojů záření. Porovnávala jsem dávky jak u lamačů, tak i u ostatních zaměstnanců dolů a zkoumala jsem, zda se nějak výrazně liší. Také jsem vytvořila grafy toho, jak se dávky měnily v průběhu let a jak se měnil počet zkoumaných zaměstnanců dolu.

V závěru této práce jsem zjištěné údaje vyhodnotila, určila průměrné dávky a zjistila jsem, zda byly cíle splněny.

1 Teoretická část

1.1 Historie dolů v Příbrami

Roku 1875 se objevují první zmínky o nálezech uranových rud na Příbramsku, uran byl v té době užíván k barvení skla a glazur (Onysko, 2015). Když se po druhé válce objevil nový zájem o uran kvůli možnosti využití jaderné energie a zbraní, skupina K2, kterou tvořili pracovníci RTD Příbram (Rudné a tuhové doly), provedla hned několik průzkumů a došla k závěru, že v okolí Příbrami stojí za to provádět další průzkum (Onysko, 2015). V roce 1947 vznikly první šachty, mezi něž patřily Vrančice I a Vrančice II (Sasková, 2011). V roce 1948 byla vybudována nová šachta s názvem Vojna 1 a posléze došlo ještě k vyhloubení šachet Vojna 2 a Vojna 3 (Sasková, 2011).

Roku 1949 byl v Příbrami vytvořen Báňský inspektorát č. 7, jenž spadal pod centrální vedení sídlící v Jáchymově (Onysko, 2015). Inspektorát pod sebe vzal celou skupinu K2 a správu veškerých důlních děl od RTD Příbram (Onysko, 2015).

Další rozšiřování probíhalo až do roku 1956, v tomto roce pak proběhla změna uspořádání: Jáchymovské doly Příbram se sídlem v Příbrami (JDP) převzali povinnosti Báňského inspektorátu č. 7, který byl v tomto roce zrušen (Kafka et al., 2003; Onysko, 2015). V letech 1957-1958 probíhalo další rozšiřování a byly raženy nové šachty (Sasková, 2011). Už poslední vlna rozšiřování těžby probíhala v letech 1967 až 1974 a to vyražením posledních dvou šachet a jam a začínalo být pomalu jasné, že těžba uranu dosáhla svého maxima a bude už jen klesat (Sasková 2011).

Poté již docházelo k úpadku, v roce 1967 byly zrušeny doly II, V a nakonec i důl I, tudíž v roce 1984 už existovaly pouze dva doly a to č. III. a IV (Onysko, 2015). Důvodů, proč došlo k útlumu těžby, by se našlo hned několik, jedním z nich byla klesající cena uranu, pak také neefektivní těžba (náklady na těžbu vs. cena), docházelo ke snižování ceny u dlouhodobých kontraktů, a tudíž byl útlum těžby jediným možným řešením a v roce 1991 byla těžba uranu na Příbramsku ukončena (Kafka et al., 2003).

Za dobu své existence zde bylo vytěženo 48 432,2 t uranu, dobývací prostor měl celkovou rozlohu 57,6 km^2 (viz. obrázek 1), bylo zde 41 jam (z toho 14 slepých), 42 průzkumných šachtic, 4 štoly a hloubka dobývání byla cca 1 400 m (Příbram, 2017).

1.2 Ionizující záření

Zdroje ionizujícího záření můžeme rozdělit na přírodní (radioaktivní látky) a umělé (např. neutronové generátory a rentgenové lampy), (Švábová, 2015; Nakládal et al., 2007). Přírodní záření pochází jak z kosmického prostoru, tak i z radioaktivního materiálu obsaženého v zemské kůře a v zemském jádru (UNEP, 2016). Kosmické záření tvoří významný přírodní zdroj zevního ozáření, přičemž většina tohoto záření pochází z hlubin kosmického prostoru a část se uvolňuje ze slunce během erupcí (UNEP, 2016). Vše, co se nachází uvnitř Země nebo i na povrchu, obsahuje tzv. primordiální radionuklidy, mezi tyto radionuklidy s extrémně dlouhým poločasem přeměny, které se nacházejí v půdě, patří draslík-40, uran-238 a thorium-232 a radionuklidy vznikající jejich přeměnou, jako jsou radium-226 a radon-222 (UNEP, 2016). Do organismu se dostávají primordiální a některé jiné radionuklidy i prostřednictvím potravin a nápojů, které některé radionuklidy obsahují a to převážně z přírodních zdrojů (UNEP, 2016). Radionuklidy mohou také přecházet do rostlin a odtud do živočišných organismů z hornin a minerálů přítomných v půdě a vodě (UNEP, 2016). Kromě radionuklidů z přírodních zdrojů ale mohou potraviny obsahovat také radionuklidy ze zdrojů umělých, jejichž dávkový příspěvek je obvykle velmi malý.

Ionizující záření je elektromagnetické vlnění o krátké vlnové délce, které je schopné ionizovat hmotné prostředí, což znamená, že při průchodu hmotou vyvolává ionizaci atomů nebo molekul, buď přímo (nabité částice – α, β) nebo nepřímo (neutrony, fotony), (Švábová, 2015, Kuna, 2005, Nakládal, 2007). Ionizující záření má zkratku IZ a dělí se na korpuskulární (záření alfa, beta a neutronové záření) a nekorpuskulární (rentgenové záření a gama záření), (Nakládal et al., 2007).

1.3 Veličiny popisující IZ

1.3.1 Absorbovaná dávka

Absorbovaná dávka je poměr střední energie deponované v látce o hmotnosti 1 kg a její jednotkou je gray ($Gy = Jkg^{-1}$), (Švábová, 2015).

1.3.2 Ekvivalentní dávka

Dále používáme ekvivalentní dávku, což je střední absorbovaná dávka v orgánu násobená radiačním váhovým faktorem a její jednotkou je sievert (Sv), (Švábová, 2015).

Hodnota radiačních váhových faktorů (viz. obrázek 2) se pohybuje v rozmezí od 1 do 20 a representuje relativní biologickou účinnost daného druhu záření (Švábová, 2015).

1.3.3 Efektivní dávka

Také můžeme určit tzv. efektivní dávku v jednotkách Sv, což je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních násobených příslušným tkáňovým váhovým faktorem (viz. obrázek 2), tkáňové váhové faktory representují relativní citlivost různých orgánů a tkání kvůli možné indukci nádorů. (Švábová, 2015).

1.3.4 Radioaktivita

Dále popisujeme radioaktivitu, což je schopnost přeměny nestabilních atomů v atomy stabilní a její jednotkou je becquerel (Bq), (Švábová, 2015).

1.3.5 Kerma

Kinetická energie uvolněná na jednotku hmotnosti (Kerma) je definována jako počáteční kinetická energie všech sekundárně nabitých částic uvolněných na jednotku hmotnosti po srážce s nepřímo ionizujícím zářením (Singh et al., 2015). Její jednotkou je stejně jako u absorbované dávky Gy (Singh et al., 2015).

1.4 Radioaktivní prvky vyskytující se v uranových dolech

1.4.1 Uran

Uran je jeden ze základních prvků, jde o prvek radioaktivní se značkou U a byl objeven německým chemikem Martinem Heinrichem Klaprothem v roce 1789 (Fuka, 2016). Jde o stříbřitý, lesklý kov patřící do skupiny aktinoidů, tedy prvků s nejvyšším obsahem protonů v jádru, z čehož uran obsahuje 92 protonů (Fuka, 2016). Uran nevytváří souvislá ložiska, ale je rozptýlen v horninách, z čehož nejdůležitější uranové rudy jsou uraninit, často označován také jako smolinec, dále coffinit, karnotit nebo torbernit (Fuka, 2016). Existují různé izotopy uranu a nejdůležitějšími jsou ^{234}U, ^{235}U, ^{238}U a v přírodě se uran vyskytuje jako jejich směs, v níž je nejvíce obsažen ^{238}U (až 99%), (Frindik a Fischer, 1984)

1.4.2 Radium

Radium je jeden z nejradioaktivnějších prvků, nachází se v uranové rudě, je čtvrtým rozpadovým produktem ^{238}U a vykazuje všechny tři druhy radioaktivního záření (Fuka, 2016).

1.4.3 Radon

Radon (^{222}Rn) je inertní plyn, který vzniká rozpadem ^{238}U a je jeho pátým rozpadovým produktem, jeho mateřským nuklidem je ^{226}Ra (Buchancová et al., 2010; Leng et al., 2013). Radon se soustřeďuje ve stísněných místech, jako jsou doly a emituje α částice, které mají vysokou energii (Leng et al., 2013, Rage et al., 2015). Poločas rozpadu radonu je 3,8 dní (Buchancová et al., 2010). Jeho rozpadem se uvolňuje záření α a krátkodobé dceřiné produkty (d.p.r.) ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po a ^{210}Pb (Buchancová et al., 2010). Všechny tyto produkty jsou po vdechnutí zachycovány v plicích a jimi uvolňované alfa a beta částice ozařují buňky výstelky dýchacích cest (UNEP, 2016). Nejdůležitější z hlediska radiační expozice jsou Polonium-218 a -214, protože jsou alfa zářiče (UNEP, 2016). Olovo-2 a bismut-214 jsou beta zářiče, které k dávce plicních buněk moc nepřispějí (UNEP, 2016).

1.4.4 Polonium

Polonium jako samostatný prvek bylo poprvé získáno ze smolince, čili z uranové rudy, na území jáchymovských dolů, o což se zasloužila Marie Courie Sklodowska roku 1898 (Fuka, 2016). Polonium je silně nebezpečný prvek způsobující otravy a jde o další alfa zařič ze skupiny d.r.p., které ozařují plíce. (Fuka, 2016).

1.5 Mechanismy účinku záření na živou tkáň

Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech fázích lišících se svou rychlostí a druhem probíhajících procesů (viz. Obrázek 3), (Baran, 2007).

1.5.1 Fyzikální fáze

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je předávána energie záření elektronům v atomech za vzniku ionizace nebo excitace, přičemž je tento proces velmi rychlý (cca 10^{-16}-10^{-14} sekundy), (Baran, 2007).

1.5.2 Fyzikálně chemická fáze

V této fázi přicházejí na řadu fyzikálně-chemické procesy interakce iontů s molekulami, při nichž dochází k disociaci molekul a vzniku volných radikálů a i tento proces je velmi rychlý, nejdéle 10^{-14}-10^{-10}sec (Baran, 2007).

1.5.3 Chemická fáze

Vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami a mění jejich složení a funkci (rozrušují DNA),

(Baran, 2007). Dochází ke zlomům DNA, kdy jde buď o zlom, kdy je přerušeno jen jedno vlákno DNA, nebo mohou být přerušena obě vlákna DNA (Baran, 2007). Jednotlivé procesy této fáze trvají různě dlouhou dobu (tisícina sekundy až několik sekund), v závislosti na transportní době reaktivních složek z místa svého vzniku do místa napadení biomolekuly (Baran, 2007).

1.5.4 Biologická fáze

Biologické účinky záření závisí na druhu a energii záření, dávce a dávkovém příkonu, vlastnostech ozářené tkáně nebo orgánů (především na jejich rozmnožovacích schopnostech), (Švec, 2005). Buňky mají jistou schopnost poškození, které způsobí ionizující záření, opravit pomocí reparačních mechanismů, tyto mechanismy se však většinou mohou projevit jen tehdy, pokud není přísun energie do buněk příliš rychlý a poškození nejsou příliš blízko u sebe (Švec, 2005). Tudíž při určité dávce je poškození organismu menší, pokud tkáň nebo organismus není ozářen dávkou najednou, ale pokud je dávka buď rozprostřena kontinuálně na delší dobu, nebo rozdělena na několik menších dávek, mezi nimiž jsou časové prodlevy (frakcionace dávky), pak se totiž reparační procesy mohou lépe uplatnit. (Švec, 2005). Hustě ionizující záření jako alfa působí jinak než řídce ionizující záření jako gama, protože řídce ionizující záření (X, gama, beta) má v látce relativně dlouhý dolet a proto jsou vytvořené ionty rozloženy řídce podél dráhy částice (nízký lineární přenos energie) a hustě ionizující záření (neutrony, protony, alfa záření) má v látce krátký dolet, jeho lineární přenos energie je vysoký a vytvořené ionty jsou podél dráhy rozloženy velmi hustě (Ullman, ©a). V případě hustě ionizujícího záření vznikají komplexní poškození s podstatně větší četností než pro gama-záření, u něhož je jejich četnost malá, ale i přesto mohou významně přispívat k výslednému radiobiologickému efektu (SÚRO, v. v. i., 2017a).

DNA a histony tvoří v jádře atomu strukturu zvanou chromatin a jeho dynamické změny jsou potřebné pro opravy DNA (Leng et al., 2013). Nejcharakterističtější chromatinovou změnou je fosforylace histonových variant H2AX (γ-H2AX), kterou provádějí proteinkinázy (Leng et al., 2013). Tato úprava pomáhá stabilizovat interakci opravy faktorů (např. MRE11A a mnoho dalších) ve zlomových místech tím, že ovlivňuje uspořádání chromatinu (Leng et al., 2013). Histonové acetylázy a deacetylázy se přesunují do míst poškození DNA s cílem usnadnit opravu tím, že zvyšují přístup reparačních proteinů do místa zlomu, potlačují transkripci v místech poškození, obnovují

místní strukturu chromatinu, a když je oprava hotová, dojde k vypnutí odpovědi na poškození DNA (Leng et al., 2013).

Biologické účinky rozdělujeme na časné, které se projeví v krátkém čase po ozáření a to většími jednorázovými dávkami, a pozdní účinky, jenž se projeví po delším časovém odstupu (Švec, 2005). Dále je dělíme na somatické, ty se týkají přímo ozářeného jedince, a genetické, jenž se již týkají potomstva ozářeného jedince (Švec, 2005). Dalším možným dělením je na nestochastické (prahové, deterministické) a stochastické (neprahové) účinky (Švec, 2005).

1.6 Účinky IZ

Účinky ionizujícího záření na tkáň můžeme rozdělit na deterministické a stochastické, podle toho jestli mají nebo nemají prahovou dávku (Pelclová et al., 2014).

1.6.1 Deterministické

Deterministické účinky jsou účinky prahovými, je zde prahová závislost na dávce a po malém překročení prahové dávky se poškození objeví u 1–5 % exponovaných jedinců (Pelclová et al., 2014). Se stoupající dávkou se zvyšuje počet postižených, intenzita a zdravotní závažnost poškození (Pelclová et al., 2014). Tzv. časné účinky jsou takové, u kterých se poškození objeví krátce po obdržení prahové dávky (Pelclová et al., 2014).

S účinky záření souvisí i termín radiosenzitivita, což je vnímavost jednotlivých tkání lidského těla k vyvolání akutních klinicky významných důsledků ozáření, při čemž platí, že radiosenzitivnější jsou tkáně s málo diferencovanými rychle se dělícími buňkami (Pelclová et al., 2014; Kuna et al., 2005).

Mezi deterministické účinky patří např. akutní nemoc z ozáření a radiační dermatitida (Pelclová et al., 2014).

1.6.1.1 Akutní nemoc z ozáření

Nejdříve nastává období prvních příznaků, což je velmi krátká fáze, která se objeví za několik málo hodin po ozáření (Rosina et al., 2006). Mezi příznaky patří nauzea, slabost, zvracení, suchost v ústech, žízeň, zažívací obtíže a průjmy (Rosina et al., 2006).

Poté nastává období bez klinických příznaků, přičemž postižení se v tomto období cítí buď zcela zdrávi, nebo u nich alespoň příznaky ustoupí (Rosina et al., 2006)

Poté už nastupuje období plného rozvoje nemoci a toto období trvá dva až tři týdny a může skončit i smrtí (Rosina et al., 2006).

U postižených ozářených neletální dávkou následuje období rekonvalescence, subjektivní příznaky postupně ustupují, ale i přesto můžou u postižených přetrvávat funkční a morfologické změny krevních elementů (Rosina et al., 2006).

Akutní nemoc z ozáření má několik forem a to krevní, která se objevuje u pacientů ozářených dávkou vyšší než 0,7 Gy, přičemž nejvýrazněji je kostní dřeň poškozena při dávce 1 – 10 Gy (Kuna et al., 2005). Dále má formu střevní, při které dochází k poškození střevního epitelu ionizujícím zářením, který je citlivý na záření od 4 Gy, ale rozvíjí se při dávkách 10 až 50 Gy a v té době je již dominantní formou akutní nemoci z ozáření (Kuna et al., 2005). Další formou je neurovaskulární forma, která je však velmi vzácná, začíná při dávce 50 Gy a dominantní formou akutní nemoci z ozáření se stává při dávkách vyšších než 80 Gy (Kuna et al., 2005). Vždy končí smrtí a to, za jak dlouhou dobu smrt nastane, záleží na dávce: do 100 Gy smrt nastává během několika dnů, při ozáření 500 Gy nastává smrt do dvou hodin a při dávce větší než 1000 Gy postižený umírá okamžitě (Kuna et al., 2005). Poslední formou je forma kožní a k jejímu rozvoji dochází po ozáření dávkou vyšší než 2 Gy (Kuna et al., 2005)

1.6.1.2 Radiační dermatitida

Dělíme ji na akutní a chronickou (Pelclová et al., 2014). U akutní formy se nejdříve objeví přechodný časný erytém, v průběhu 1–48 hodin po lokálním ozáření kůže dávkou vyšší než 2–3 Gy vzniká druhotný erytém a dochází k přechodnému vypadávání vlasů (Pelclová et al., 2014). Můžeme ji rozdělit na tři stupně, radiační dermatitidu I. stupně (erytematózní dermatitida), jenž je způsobena ozářením dávkami 2–10 Gy (Pelclová et al., 2014). Radiační dermatitida II. stupně (deskvamativní dermatitida), která vzniká po ozáření dávkami kolem 12 až 25 Gy, a objeví se deskvamace a puchýře (Pelclová et al., 2014). Radiační dermatitida III. stupně (nekrotická forma dermatitidy) vzniká po ozáření dávkami vyššími než 30 Gy (dochází k postižení hlubších vrstev kůže a podkoží) a vzniká nekróza a nekrotická tkáň se následně odlučuje a vzniká vřed (Pelclová et al., 2014).

Chronická dermatitida má atrofickou a hypertrofickou formu, obě formy mají společné to, že vznikají v důsledku opakované zevní expozice, kdy celková lokální dávka ionizujícího záření je rovna nebo vyšší než 10–12 Gy (Pelclová et al., 2014). Při atrofické

formě je postižená kůže suchá (atrofie mazových žlázek), tenká, hladká, lesklá s četnými teleangiektáziemi, bez ochlupení a v ozářeném terénu vzniká infekce a ulcerace (Pelcová et al., 2014). Při hypertrofické formě je naopak kůže hyperpigmentovaná, zhrublá s výraznějšími kožními záhyby a jsou v ní přítomna ložiska plošné hyperkeratózy, z nichž mohou později vzniknout maligní nádory kůže (Pelclová et al., 2014).

1.6.1.3 Radiační katarakta

Radiační katarakta vzniká po jednorázovém nebo frakcionovaném zevním ozáření oka prahovou dávkou vyšší než 0,5 Gy (Pelclová et al., 2014).

1.6.1.4 Poruchy plodnosti

Muži jsou vůči poruchám fertility ionizujícím zářením vnímavější než ženy, přechodná sterilita (po frakcionovaném ozařování) byla pozorována již po ozáření dávkami 0,5–2 Gy (Pelclová et al., 2014). Trvalá sterilita může vzniknout po ozáření dávkou nad 3 Gy (Pelclová et al., 2014). Sterilita u žen vzniká až po dávkách kolem 3 Gy a u žen nastupuje předčasné klimakterium (Pelclová et al., 2014)

1.6.1 Stochastické

Stochastické účinky jsou bezprahové a je pro ně charakteristické, že s každým zvýšením dávky je spojeno úměrné zvýšení pravděpodobnosti vzniku pozdních změn, vázaných na ozářenou tkáň nebo orgán (Pelclová et al., 2014). Tyto účinky mohou vznikat i po ozáření minimální dávkou, přičemž pravděpodobnost se lineárně zvyšuje s tím, čím vyšší dávku jedinec obdrží (dávky se sčítají), (Pelclová et al., 2014).

1.6.1.1 Genetické změny

Zatím žádná studie ani u nadměrně ozářených osob genetické účinky neprokázala, i přesto, že je nepříznivý genetický účinek ionizujícího záření na potomstvo nepopíratelný (Pelclová et al., 2014). Experimenty na zvířatech ukazují, že takové účinky existují (Pelclová et al., 2014).

1.6.1.2 Nádorová onemocnění

Při celotělovém ozáření je nejvyšší riziko vzniku leukémie a karcinomu plic (Pelclová et al., 2014).

Všechny nádory indukované ionizujícím zářením mají charakteristickou dlouhou dobu latence (Pelclová et al., 2014). Nejkratší dobu latence (2 roky) má akutní myeloidní leukémie a kostní sarkom, který vyvolává ^{224}Ra (Pelclová et al., 2014). Karcinom plic

uranových horníků, vznikající v důsledku působení radonu a jeho rozpadových produktů, má dobu latence kolem 15–25 let (Pelclová et al., 2014). Nejdelší dobu latence (25–30 let) mají kožní tumory, které vznikají u rentgenologů nebo u uranových horníků (Pelclová et al., 2014)

1.7 Radiační ochrana

1.7.1 Legislativa

Výskyt radioaktivity v České republice monitoruje Státní ústav radiační ochrany (SÚRO), (SÚRO, v. v. i., 2017c). SÚRO je rozpočtovou organizací, která byla zřízena po rozhodnutí předsedy SÚJB ze dne 26. 5. 1995 s účinností od 1. 7. 1995 a ředitel ústavu je tedy přímo podřízen předsedovi SÚJB, který jej jmenuje a odvolává (Vznik a vývoj SÚJB, 2017).

SÚJB neboli Státní úřad pro jadernou bezpečnost se stará o státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany (SÚJB, 2017a). SÚJB vykonává státní dozor nad jadernou bezpečností, fyzickou ochranou jaderných zařízení, radiační ochranou, jadernými položkami a havarijní připraveností v prostorách jaderného zařízení nebo pracoviště se zdroji ionizujícího záření, dále vydává povolení k výkonu činností, např. k umísťování a provozu jaderného zařízení a pracoviště s velmi významnými zdroji ionizujícího záření, nakládání se zdroji ionizujícího záření a radioaktivními odpady, přepravě jaderných materiálů a radionuklidových zářičů, schvaluje dokumentaci vztahující se k zajištění jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, limity a podmínky provozu jaderných zařízení, způsobu zajištění fyzické ochrany, havarijních řádů k přepravám jaderných materiálů a vybraných radionuklidových zářičů, vnitřních havarijních plánů jaderných zařízení a pracovišť; se zdroji ionizujícího záření (SÚJB, 2017a). SÚJB také stanovuje podmínky a požadavky radiační ochrany obyvatel a pracovníků se zdroji ionizujícího záření (např. stanovení limitů ozáření, vymezení kontrolovaných pásem), stanovení zóny havarijního plánování a požadavků havarijní připravenosti držitelů povolení dle atomového zákona, také sleduje ozáření obyvatelstva a pracovníků se zdroji ionizujícího záření a provádí další úkony související se ionizujícím zářením a jeho monitorováním (SÚJB, 2017a).

Činnost Státního úřadu pro jadernou bezpečnost upravují zákony: Zákon č. 263/2016 Sb. (dříve zákon č. 18/1997 Sb.), o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), zákon č. 19/1997 Sb., a zákon č. 281/2002 Sb. (SÚJB, 2017a).

„Zákon č. 263/2016 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění“ (SÚJB, 2017b).

„*Zákon č. 19/1997 Sb., o některých opatřeních souvisejících se zákazem chemických zbraní a o změně a doplnění zákona č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů, v platném znění“* (SÚJB, 2017b)

„*Zákon č. 281/2002 Sb., o některých opatřeních souvisejících se zákazem bakteriologických (biologických) a toxinových zbraní a o změně živnostenského zákona, v platném znění“* (SÚJB, 2017b)

Dále jsou zde vyhlášky provádějící tři výše zmiňované zákony např. Vyhláška č. 422/2016 Sb. (dříve vyhláška č. 307/2002 Sb.), o radiační ochraně (Vyhlášky SÚJB, 2017; Nové atomové právo, 2017)

Všechny vyhlášky a zákony vztahující se k radiační ochraně jsou dostupné na internetu (SÚRO, v. v. i., 2017b).

1.7.1.1 Kategorizace pracovníků s ionizujícím zářením

„Pro účely monitorování a pracovně lékařských služeb se radiační pracovníci podle možné míry zdravotního rizika spojeného s ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B“ (Česká republika Zákon 263 Sb., 2016).

Pracovníci v uranovém dole (kategorie A) jsou definováni jako zaměstnanci, kteří pravděpodobně obdrží účinnou dávku vyšší než 6 mSv, ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku, nebo ekvivalentní dávku vyšší než 3/10 limitu ozáření pro kůži a končetiny (Otahal et al., 2014; Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016).

Radiačním pracovníkem kategorie B je jiný radiační pracovník než uvedeno výše, je-li požadována jeho kategorizace atomovým zákonem (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016).

1.7.1.2 Limity

„*Každý, kdo vykonává činnost v rámci plánované expoziční situace, je povinen omezit ozáření fyzické osoby tak, aby celkové ozáření způsobené kombinací ozáření z těchto činností bylo odůvodněné, optimalizované a nepřekračovalo v součtu limity ozáření"* (Česká republika Zákon 263 Sb., 2016).

Limit pro běžné obyvatelstvo je pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 1 mSv (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016). Pro ekvivalentní dávku v oční čočce je to hodnota 15 mSv za kalendářní rok a pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm^2 kůže platí hodnota 50 mSv za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016).

Limity pro radiačního pracovníka musí být použity pro omezení profesního ozáření (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016). „*Limity jsou pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření 20 mSv za kalendářní rok nebo hodnota schválená Úřadem podle § 63 odst. 4 atomového zákona Částka 172 Sbírka zákonů č. 422 / 2016 Strana 6619, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok*" (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016). Pro ekvivalentní dávku v oční čočce je to hodnota 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016). Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm^2 kůže je platná hodnota 500 mSv za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy a pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky máme hodnotu 500 mSv za jeden kalendářní rok. (Česká republika Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016).

1.8 Dozimetrie horníků v uranových dolech

Vystavení radonu a produktům jeho přeměny je jednou ze tří částí, které tvoří celkovou efektivní dávku horníků uranových dolů (Otahal et al., 2014). Fotony z gama záření a expozice z alfa zářičů s dlouhým poločasem rozpadu tvoří další dvě části efektivní dávky (Otahal et al., 2014). Pro léta 1946-1955, se musela expozice radonem určit retrospektivně, protože ještě neexistoval dozimetrický záznam (Seidel et al., 2015). První dostupné měření radonu se objevilo v roce 1955 a skutečné měření radonu bylo zahájeno až v roce 1966 (Seidel et al., 2015). V zájmu radiační ochrany horníků byly zřízeny v roce 1956 různá opatření, která zahrnovala instalace nuceného větrání v dolech a systematické zaznamenávání jednotlivé expozice radonu (Rage et al., 2015).

V dnešní době (od roku 2000) se v dole Rožná I (Česká republika) měří měsíční celková efektivní dávka horníků uranových dolů a to osobním dozimetrem Algade, který zajišťuje kontinuální individuální sledování všech tří částí (Otahal et al., 2014). Dozimetr se nosí na pásu s důlní lampou. Dozimetr je poháněn malou dobíjecí baterií a je schopen pracovat 10 hodin při plném nabití, přičemž plné nabití akumulátoru trvá 14 hodin (Otahal et al., 2014). Exponované dozimetry jsou hodnoceny v Národním ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany v Kamenné nedaleko Příbrami (Otahal et al., 2014).

Dříve bylo měřeno vnější ozáření gama zářením filmovým dozimetrem a údaje byly vyhodnocovány jednou za tři měsíce (Havránková et al., 2016). Dále byla měřena koncentrace radioaktivních látek v ovzduší a to konkrétně dlouhodobých alfa zářičů, radonu a dlouhodobých radionuklidů (Havránková et al., 2016). Koncentrace byla poté přepočítávána na dávku v mSv pomocí daných přepočtů, které jsou: 1kBq = 11mSv podle SÚJB a 1kBq = 3,5mSv podle nových výpočtů pro dlouhodobé radionuklidy, pro alfa zářiče je to 1mJ = 1,18mSv podle ICRP-65 a podle nových výsledků 1 mJ = 2,36 mSv a bylo to vynásobeno počtem odpracovaných směn a objemem dýchání, který je 1,2 m^3h^{-1} (Havránková et al., 2016; Tomášek et al., 2012).

1.9 Nemoci z povolání u horníků

Nejčastěji diskutovanou nemocí z povolání u uranových horníků je rakovina plic, ale pozoroval se i mírný nárůst zhoubných nádorů kůže a také je podezření na poškození hematopoézy (myeloidní leukémie), (Buchancová et al., 2010).

1.9.1 Karcinom plic

Jde o nemoc známou už od 16. století, u níž se ale netušila příčina (Těšínská, 2009). Šlo o nejčastější příčinu předčasného úmrtí horníků v rudných dolech (Těšínská, 2009). První epidemiologická studie o vzniku plicního karcinomu u uranových horníků vznikala v letech 1920 a 1930 (studovala výskyt, příčiny a vztah mezi onemocněním a ozářením), (Těšínská, 2009). V roce 1932 byla uznána jako oficiální nemoc z povolání u uranových horníků (Těšínská, 2009).

Karcinom plic u uranových horníků je na třetím místě nemocí z povolání způsobených ionizujícím zářením, hned za nádory kůže a leukémií u zdravotníků pracujících v ionizujícím zářením, protože jednotlivé tkáně mají různou náchylnost ke vzniku nádorů indukovaných ionizujícím zářením a bronchiální epitel je relativně citlivý k ionizujícímu záření a tudíž tomu odpovídá i vznik rakoviny plic po ozáření (Těšínská, 2009; Nakládal et al., 2007). Riziko karcinomu plic záleží na působení radonu a jeho dceřiných produktů, na kumulativní expozici radonu, na míře expozice, na trvání expozice, na čase, který uplynul od expozice, a na dosaženém věku (Seidel et al., 2015).

Rakovina plic, která je profesionální etiologie, se neliší od neprofesionální ani klinickým, ani histologickým obrazem, ale u dospělých je potřeba myslet na to, že by mohlo jít o nemoc z povolání, proto je velmi důležitá pracovní anamnéza (Nakládal et al., 2007). Příkladem, kdy pravděpodobně šlo o onemocnění způsobené prací v uranových dolech, by mohly být zprávy z kliniky tuberkulózy a respiračních onemocnění, z nichž plyne, že v posledních třech desetiletích minulého století přicházelo ročně na kliniku zhruba pět až deset mužů s plicním karcinomem a v anamnéze měli několikaletou práci v uranových dolech (Ošťádal, 2009). Proto je potřebné při důvodném podezření na profesionální původ hygienické šetření pracovních podmínek, jehož cílem je stanovit, zda postižený pracoval podle současných poznatků vědy za podmínek, při kterých onemocnění vzniká (Nakládal et al., 2007).

Studie uranových horníků v Německu naznačují, že radon a vnější gama záření jsou rizikovými faktory pro vznik rakoviny plic, i když existuje možnost, že ke vzniku přispívá i kouření, působení křemíku a dalších látek v životním prostředí dolu, jako je například arsen, diesel a výpary trhavin, které ovlivňují odpověď organismu na působení radonu. Radon je vzácný plyn, který se v plicích neukládá a po vdechnutí je opět rychle vydýchán ven, tudíž radiační zátěž z radonu je jen minimální (Nakládal et al., 2007). Dalším

důvodem, který byl zjištěn v Jáchymovských dolech, a který přispívá ke vzniku karcinomu plic, byl i prach a důlní plísně Aspegillus flavus (Buchancová et al., 2010). Po účinném expozičním čase se zjišťuje zvýšený výskyt všech histologických typů zhoubných nádorů v plicích, doba latence mezi začátkem expozice a objevením nádoru se většinou pohybuje mezi 15 a 30 lety, ale může být i delší než 50 let (Buchancová et al., 2010). Je zde velký význam dávkové závislosti na vzniku zhoubného nádoru, vznik nádoru spíše způsobí dlouhodobé ozáření malými dávkami, než krátké vystavení vysokým dávkám (Buchancová et al., 2010).

Dceřiné produkty radonu jsou tuhé látky, které se lehce váží na prachové částice ve vzduchu, a jsou vdechnuty a mohou se dostat do plic. Alfa záření, které emitují dceřiné produkty radonu, které se do plic dostávají buď jako volné ionty, nebo společně s prachem, je pak příčinou vysoké dávky absorbované epitelem plic a dýchacích cest (Buchancová et al., 2010; Nakládal et al., 2007).

Kouření taktéž potencuje účinky ionizujícího záření u karcinomu plic z radonu a d.p.r., při interakci se uplatní účinek obou faktorů (Buchancová et al., 2010). Karcinogeny a mutageny uvnitř tabákového kouře mohou buď přímo, nebo nepřímo vyvolat široké spektrum poškození DNA a to zejména dvojité zlomy, které představují jednu z nejškodlivějších forem poškození DNA, a pokud je není možné správně opravit, může to vyvolat buněčnou smrt nebo maligní transformaci (Leng et al., 2013). Incidence zhoubného nádoru plic z radonu je u kuřáků až desetinásobně vyšší než u nekuřáků (u těžkých kuřáků dokonce až dvacetinásobně), (Buchancová et al., 2010)

1.9.2 Silikóza

Existuje několik hypotéz o tom, že oxid křemičitý a silikóza souvisí s karcinomem plic, ale jsou zde i další výzkumy, které tyto hypotézy vyvrací (Amandus a Costello, 1991). Analýza vnořená ze studie provedené mezi francouzskými horníky naznačuje, že silikóza a expozice radonu nejsou na sobě zcela nezávislé, neboť u uranových horníků byla zjištěna zvýšená úmrtnost na silikózu (Rage et al., 2015). Proto se v dolech v roce 1956 provedla instalace nuceného větrání a vrtání se provádí na mokro, což výrazně snížilo koncentraci přítomného křemenného prachu (Rage et al., 2015).

1.9.3 Kardiovaskulární a cerebrovaskulární onemocnění

Byly provedeny analýzy, které měli prokázat, že 5141 úmrtí na kardiovaskulární onemocnění a 1742 úmrtí na cerebrovaskulární onemocnění ze skupiny

59 001 pracovníků v uranových dolech Wismut v Německu souvisí s radonem v ovzduší (Walsh et al., 2014). Po porovnání předchozích analýz však nebyl zjištěn žádný statisticky významný nárůst rizika kardiovaskulárních a cerebrovaskulárních onemocnění (Walsh et al., 2014).

1.9.4 Žaludeční vředy

U uranových horníků bylo zjištěné zvýšené riziko vzniku žaludečních vředů (Rage et al., 2015).

1.9.5 Jiné nádory než karcinom plic u pracovníků v uranových dolech

Téměř všechny druhy rakoviny můžou být vyvolány tím, že příslušné buňky jsou vystaveny ionizujícímu záření (Tomasek et al., 1993). A proto byly zkoumány i jiné nádory, než je karcinom plic, způsobené prací v uranovém dole a u všech bylo zjištěn zvýšený počet úmrtí, ale zvýšení nebylo statisticky významné (Tomasek et al., 1993). Mezi zkoumané nádory, které byly zkoumány na uranových hornících v Kanadě, Švédsku, Československu a Spojených státech, patřily například leukémie, non-Hodgkinův lymfom, maligní melanom a rakovina ledvin (Roscoe et al., 1995). Úmrtnost byla významně zvýšena u mužů, kteří začali pracovat v dolech do 25 let, ale nárůst nesouvisel s kumulativní expozicí radonu. (Tomasek et al., 1993).

1.9.5.1 Nádory dýchacích cest

Byl zjištěn statisticky významný nárůst u pracovníků v uranových dolech Wismut v Německu, bylo zde zjištěno 177 případů místo očekávaných 120 (Walsh el al., 2014). Pozdější analýzy to však nepotvrdily (Walsh et al., 2014).

1.9.5.2 Leukémie

Existují dvě studie, které dokazují, že onemocnění leukémií nesouvisí s expozicí radonem, ale další studie je s nimi v rozporu a naopak dokazuje mírnou souvislost mezi ionizujícím zářením a vznikem leukémie (Walsh et al., 2014). Když se studie rozšířila o lékařské expozice a orgánové dávky na kostní dřeň, nakonec se ukázalo, že vznik leukémií u horníků nebyl statisticky významně vyšší než normálně (Walsh et al., 2014). Třetí studie sugerovala, že úmrtnost na leukémie není celkově vyšší ani nesouvisí s kumulativní expozicí radonu, ale roste s prodlužující se dobou práce v dolech (Tomasek et al., 1993).

1.9.5.3 Karcinom prostaty

Existuje mnoho literatury, ve které je prokázáno, že práce na hlubinné těžbě by mohla mít ochrannou funkci proti rakovině prostaty (Walsh et al., 2014). Další studie z roku 1970 sledovala závislost 263 úmrtí na rakovinu prostaty na počtu dní, kdy pracovali v uranových dolech (Walsh et al., 2014).

1.9.5.4 Nádory ledvin

Vzhledem k filtrační funkci ledvin musí jimi projít inhalovaný uran, aby se dostal z těla ven, tudíž jsou ledviny hned druhým orgánem po dýchacích cestách, které dostanou nejvyšší dávku (Drubay et al., 2014). Proto je důležité je u horníků vyšetřovat kvůli riziku vzniku rakoviny (Rage et al., 2015). Dřívější studie přispěly k zjištění mechanismu vzniku nefrotoxicity z uranu a bylo provedeno i několik studií na zvířatech, které naznačovaly radiační účinek radonu na ledviny (Drubay et al., 2014).

Dosud existuje pouze pár studií, které zkoumaly souvislost mezi expozicí záření a úmrtností na rakovinu ledvin (Drubay et al., 2014). I přes to, že se tyto studie zaměřily na různé druhy populací a scénářů expozice, zvýšení úmrtnosti na rakovinu ledvin s radiační expozicí bylo hlášeno pouze u pacientů léčených radioterapií nebo u těch, kteří přežili dopad atomové bomby (Drubay et al., 2014). Dříve bylo pozorováno také hodně úmrtí na rakovinu ledvin mezi francouzskými horníky uranových dolů (ve srovnání s běžnou úmrtností francouzské populace), ale nebyla nalezena žádná významná asociace s kumulativní expozicí radonu (Drubay et al., 2014). Tudíž z těchto několika studií nebyla zjištěna žádná statisticky významná souvislost mezi rakovinou ledvin a ozářením radonem, gama zářením nebo dceřinými produkty radonu (Walsh et al., 2014).

1.9.5.5 Nádory jater, žlučníku a žlučových cest

U pracovníků v uranových dolech byla zjištěna významně vyšší úmrtnost na nádory jater, žlučníku a žlučových cest (Tomasek et al., 1993). Ve studiích nemocí z povolání bylo významné zvýšení relativního rizika hlášeno u zaměstnanců Majak (kombinát pro zpracování radioaktivních materiálů v Rusku) interně vystavených plutoniu a externě vystavených gama záření (Rage et al., 2015). A souhrnná studie nakonec vykázala statisticky významné zvýšení úmrtnosti na rakovinu jater u horníků (Rage et al., 2015). U rakoviny jater se však úmrtnost nezvyšovala s dobou trvání práce v podzemí ani s kumulativní expozicí radonu (Tomasek et al., 1993).

U rakoviny žlučníku a žlučových cest se úmrtnost nezvyšovala s dobou trvání pracovního poměru, ale zvyšovala se s kumulativní expozicí radonu (Tomasek et al., 1993).

1.9.5.6 Mnohočetný myelom

Úmrtnost z mnohočetného myelomu se zvyšuje s kumulativní expozicí radonu, i přestože se celková úmrtnost nijak významně nezvýšila (Tomasek et al., 1993).

1.9.6 Nádory hlavy a centrálního nervového systému

Bylo zjištěno statisticky významné zvýšení výskytu nádorů hlavy a CNS u uranových horníků (Rage et al., 2015). Tyto výsledky ale musí být interpretovány opatrně, protože v této analýze tato definice zahrnuje jak maligní nádory, tak i benigní nádory a nádory, které nejsou přesně definované, mohou mít podobné symptomy a výsledky, a proto je obtížné je oddělit (Rage et al., 2015). Pokud by byly benigní a nezařaditelné nádory z analýzy vyloučeny, poměr úmrtnosti mezi normální populací a uranovými horníky se v podstatě nemění, ale stal se nevýznamně větší než jedna, pravděpodobně v důsledku snížení počtu případů (Rage et al., 2015).

2 Cíle a hypotézy

2.1 Cíle

Zjištění dávek z jednotlivých zdrojů záření jak celkových, tak průměrných.

Dílčí cíle:

Porovnání dávek u lamačů a ostatních zaměstnanců.

Vypočítání průměrných dávek za jednotlivé roky a zjištění, zda dávky postupem času klesají.

2.2 Výzkumné otázky

Pro vypracování této práce na téma Radiační expozice pracovníků v uranových dolech na Příbramsku, byla stanovena tato výzkumná otázka:

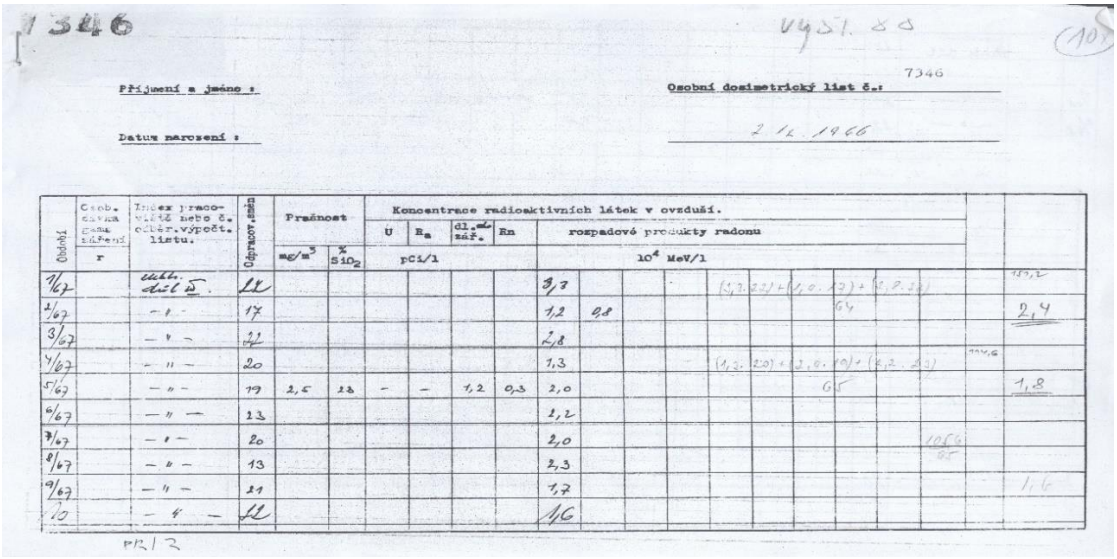
Jaké byly průměrné dávky u pracovníků v uranových dolech z jednotlivých zdrojů záření?

3 Metodika

Praktická část bakalářské práce se zabývá zkoumáním dávek u pracovníků v uranových dolech. Nejdříve jsem shromáždila data, která byla získána na katedře radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích v podobě dozimetrických listů, které mi poskytl vedoucí mé bakalářské práce pan prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzer. Pan prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzer data získal od státního podniku Diamo a jednalo se o dozimetrické listy od horníků, kteří se zúčastnili v letech 2008 – 2011 projektu „Biologická dozimetrie pro osoby profesně vystavené záření alfa“ (2B08001 v rámci Národního programu výzkumu II). Dále jsem získala tabulku průměrných dávek z gama záření a průměrných koncentrací radioaktivních látek v ovzduší, u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni od státního podniku DIAMO. Získaná data jsem přepsala do tabulek v Excelu a přepočítala jsem objemovou aktivitu z jednotlivých rozpadových produktů radonu a dlouhodobých alfa zářičů na dávky. Vytvořila jsem tabulky, do kterých jsem zanesla dávky. Data jsem si nastudovala a porovnala s poznatky z odborné literatury a z věrohodných internetových zdrojů pojednávající o dané problematice.

3.1 Podrobný popis metodiky

K dispozici jsem měla dozimetrické listy pracovníků v uranových dolech na Příbramsku. Př. Dozimetrický list č. 7346:



Obrázek 4 Dozimetrický list č. 7346

Zdroj: Státní podnik DIAMO

Každý dozimetrický list jsem přepsala do samostatné tabulky v Excelu. Do tabulky jsem uvedla číslo dozimetrického listu, pracovní zařazení, délku práce v riziku v měsících (doba práce u jednotlivých pracovníků byla velmi rozdílná, někteří pracovali v dole jen pár měsíců, zatímco jiní desítky let), také jsem uvedla dobu od skončení práce v riziku. Dále jsem uvedla dávku z gama v mGy (tu jsem pouze přepsala, v listech už je tak uváděna). Poté jsem přepočítala příjem z dlouhodobých alfa zářičů buď z pCi/l nebo Bq/m^3 na mSv:

kBq/m^3 = pCi/l * 0,00037

příjem v kBq = objemová koncentrace radioaktivity v kBq/m^3 * 8 h * počet směn * * 1,2 m^3/h (dechový objem)

Dále jsem příjem v kBq vynásobila dvěma způsoby přepočtu, neboť podle SÚJB je pro dlouhodobé zářiče přepočet kBq -> mSv 1kBq = 11mSv efektivní dávky. Podle nových výzkumů (Tomášek et al, 2012) by to mělo být 1kBq = 3,5mSv.

Dále jsem do tabulky uvedla dávky z rozpadových produktů radonu. Musela jsem přepočítat z10^4 MeV/l na mSv:

mJ = 10^4 MeV/l * 0,0016 mJ/m^3 * 8 h * počet směn * 1,2 m^3/h

příjem v mJ = objemová koncentrace potenciální energie v mJ/m^3 * 8 h * počet směn * 1,2 m^3/h (dechový objem)

Poté jsem také použila dva způsoby přepočtu, první podle ICRP-65 kdy přepočet d.p. radonu je 1mJ = 1,18mSv. Ale podle nových výsledků by převod měl být asi dvakrát větší, tj. 2,36 mSv = 1mJ (ICRP, 2010).

Doplněním údajů jsem získala celou tabulku a to jsem udělala pro všech 45 dozimetrických listů. Př: Dozimetrický list č. 6293

Tabulka 1 Dozimetrický list č. 6293 část 1

rok	*pracovní zařazení*	*směny*	*délka práce v riziku IZ (měsíce)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	**α (pCi/l)**
1975	dozimetrie	10	3	0,00	0,00	
		12		0,00	0,00	
		5		0,00	0,00	
		16		0,00	0,00	
				0,00	0,00	
1976	dozimetrie	16	9	0,00	0,00	
		3		0,00	0,00	
		4		0,00	0,00	
		8		0,00	0,00	
		22		0,00	0,00	
		7		0,00	0,00	
		8		0,00	0,00	
		3		0,00	0,00	
		20		0,00	0,00	
		5		0,00	0,00	
		12		0,00	0,00	
						α (Bq m^-3)
		21		0,22	0,07	0,1
		6		0,00	0,00	
			12	0,22	0,07	
celkem	dozimetrie		1	0,22	0,07	

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 2 Dozimetrický list č. 6293 část 2

rok	*pracovní zařazení*	*směny*	*d.p. Rn. (10^4MeV/l)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)*
1975	dozimetrie	10	1,7	0,31	0,62
		12	2,6	0,57	1,13
		5	1,2	0,11	0,22
		16	4	1,16	2,32
				2,14	4,28
1976	dozimetrie	16	1,7	0,49	0,99
		3	0,9	0,05	0,10
		4	0,1	0,01	0,01
		8	0,3	0,04	0,09
		22	0,1	0,04	0,08
		7	0,3	0,04	0,08
		8	0,3	0,04	0,09
		3	0,1	0,01	0,01
		20	0,1	0,04	0,07
		5	0,1	0,01	0,02
		12	0,3	0,07	0,13
		21	1	0,38	0,76
		6	0,1	0,01	0,02
				1,22	2,44
celkem	dozimetrie			3,36	6,73

Zdroj: Vlastní výzkum

Poté jsem údaje z jednotlivých listů sjednotila do celkem tří tabulek, z nichž v první jsem uvedla všech 45 pracovníků v dole. Do druhé tabulky jsem uvedla pouze lamače a do třetí všechny ostatní zaměstnance dolů. Pokud se totiž zaměříme na pracovní zařazení pracovníků v dolech, zjistíme, že zde máme několik skupin. První a jednoznačně největší skupinou jsou lamači (horníci). Další jsou technici a THP (technickohospodářský pracovník), poměrně velkou skupinou jsou také elektrikáři. A jsou zde i další méně časté profese, jako jsou narážeči, geologové, geofyzikové, zámečníci, strojníci, mechanici, provozní inženýři a mechanici. U každé tabulky jsem nejdříve dávku u každého pracovníka vydělila počtem měsíců, které odpracoval, poté jsem všechny takto vypočítané dávky sečetla a vypočítala průměrnou dávku (aritmetický průměr) z gama, dlouhodobých alfa zářičů a rozpadových produktů radonu a to u obou přepočtů. Dále jsem spočítala směrodatnou odchylku Sx – použila jsem funkci SMODCH v Excel:

$$\text{AP} = \frac{součet\ všech\ dávek}{45(všichni)}$$

$$\text{Sx} = \frac{1}{45}\sum(daná\ dávka\ u\ pacienta - AP)^2$$

Poté jsem porovnávala tabulku lamačů a ostatních a pomocí dvojvýběrového t-testu jsem zjišťovala, zda jsou dávky u lamačů výrazně vyšší než u ostatních pracovníků.

$$t_{exp} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(\mu_1 - 1)Sx_1^2 + (\mu_2 - 1)Sx_2^2}}$$

$$\text{W} = (-\infty;\ -t_{n_{1+}n_{2-}2}(\alpha/2) > \text{U} < t_{n_{1+}n_{2-}2}(\alpha/2);\ \infty)$$

Když se podrobně podíváme na délku práce, tak nejkratší doba, po kterou někdo v dolech pracoval, byla pouhých dvanáct měsíců. A nejdéle tam pracoval jistý elektrikář, který v dolech pracoval něco málo přes 21 let.

Také roky, kdy tam pracovali, se výrazně lišili od roku 1966 až do roku 1999. Proto je také důležité se zaměřit na to, jestli se dávky postupem času u pracovníků snižovali. Neboť v teoretické části se zmiňuji o opatřeních, která se zaváděla, aby se zlepšily pracovní podmínky v dolech a snížily se dávky u pracovníků. Z tohoto důvodu jsem vypracovala tabulku, ve které jsem uvedla průměrné dávky za měsíc z jednotlivých zdrojů záření pro jednotlivé roky. K vytvoření celkové tabulky jsem

nejdříve musela vytvořit tabulky pro jednotlivé roky, abych mohla vypočíst průměrné dávky. Př. Rok 1991:

Tabulka 3 Rok 1991 část 1

1991	*délka práce v riziku IZ (měsíce)*	*osobní dávka gama záření (mGy)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)*
1.	10	0,00	0,21	0,07	1,09	2,18
2.	12	0,00	0,21	0,07	6,70	13,40
3.	12	0,00	0,20	0,06	3,25	6,51
4.	10	0,00	0,22	0,07	1,89	3,78
5.	12	0,00	0,00	0,00	2,09	4,18
6.	12	0,00	0,21	0,07	3,34	6,67
7.	12	0,00	0,43	0,14	0,73	1,46
8.	12	0,00	0,24	0,08	2,32	4,63
9.	3	0,00	0,00	0,00	0,15	0,30

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 4 Rok 1992 část 2

1991	*osobní dávka gama záření (mGy) za 1 měsíc*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv) za 1 měsíc*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv) za 1 měsíc*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv) za 1 měsíc*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv) za 1 měsíc*
1.	0,00	0,02	0,01	0,11	0,22
2.	0,00	0,02	0,01	0,56	1,12
3.	0,00	0,02	0,01	0,27	0,54
4.	0,00	0,02	0,01	0,19	0,38
5.	0,00	0,00	0,00	0,17	0,35
6.	0,00	0,02	0,01	0,28	0,56
7.	0,00	0,04	0,01	0,06	0,12
8.	0,00	0,02	0,01	0,19	0,39
9.	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10
	0,00	0,15	0,05	1,88	3,77
AP	0,00	0,02	0,01	0,21	0,42
Sx	0,00	0,01	0,00	0,15	0,29

Zdroj: Vlastní výzkum

Poté jsem vytvořila grafy, na kterých jsem mohla posoudit, zda dávky skutečně klesaly a u kterých zdrojů tomu tak bylo. Navíc se dá z tabulky vyčíst také to, jak se lišil v průběhu let počet osob pracujících v dole.

Pokud jde o data z Okrouhlé Radouně, povedlo se mi získat tabulku, kterou mi poskytl státní podnik DIAMO, v níž byly uvedeny dávky z gama záření (mGy) a koncentrace dlouhodobých zářičů alfa v Bqm^{-3} a koncentrace dceřiných produktů radonu v MeV, bylo zde uvedeno rozmezí, v jakém se pohybovaly a pak průměrná dávka v daném roce, ale vše bylo uvedeno jen pro malé skupiny horníků (3 – 7).

Tabulka 5 z Okrouhlé Radouně od státního podniku DIAMO

Rok	Gama (mGy)		Alfa (Bqm^{-3})		Radon (MeV)	
	od - do	Ø/počet lidí	od - do	Ø/počet lidí	od - do	Ø/počet lidí
1973	0,2	0,2/3	0,6 - 1,6	1,0/3	2 - $3,2x10^4$MeV/l	2,4/3
1974	0,1 - 0,3	0,19/3	0,7 - 1	0,85/4	1,4 - $2,8x10^4$MeV/l	1,96/5
1975	0,02 - 0,05	0,03/4	0,8 - 1,5	1,12/5	2,49 - $5x10^{10}$MeV	3,79/5
1976	0,01 - 0,06	0,03/4	0,1 - 0,3	0,22/6	2,51 - $6,77x10^{10}$MeV	4,6/5
1977	0,06 - 0,36	0,24/5	0,1 - 0,3	0,2/6	2,19 - $6,68x10^{10}$MeV	3,79/6
1978	0,1 - 0,84	0,7/4	0,1	0,1/7	1,41 - $7,58x10^{10}$MeV	4,26/7
1979	0,09 - 0,62	0,3/6	0,1 - 0,2	0,11/7	0,17 - $7,18x10^{10}$MeV	4,57/7
1980	0,31 - 1,46	0,7/7	0,1 - 0,2	0,11/7	2,71 - $6,73x10^{10}$MeV	4,01/7
1981	0,23 - 1,52	0,72/6	0,1 - 0,3	0,15/6	1,28 - $5,05x10^{10}$MeV	4,12/6
1982	0,41 - 2,87	1,4/7	0,1 - 0,2	0,11/7	4,56 x $7,05x10^{10}$MeV	5,38/7
1983	0,46 - 3,34	1,87/5	0,1	0,1/7	1,69 - $6,50x10^{10}$MeV	4,88/5
1984	0,21 - 5,35	1,92/5	0,2	0,2/5	3,36 - $6,9x10^{10}$MeV	5,27/5
1985	0,31 - 7,23	2,57/5	0,1 - 0,3	0,18/5	2,88 - $6,50x10^{10}$MeV	4,79/5
1986	0,48 - 3,94	1,47/5	0,1 - 0,2	0,18/5	1,94 - $4,69x10^{10}$MeV	3,24/4
1987	0,28 - 1,76	1,07/4	0,1 - 0,2	0,12/5	1,09 - $5,15x10^{10}$MeV	3,41/4
1988	0,18 - 2,22	1,63/4	0,1 - 0,2	0,18/4	2,26 - $3,36x10^{10}$MeV	2,82/4
1989	0,11 - 2,47	1,11/4	0,1 - 0,2	0,13/4	1,24 - $4,08x10^{10}$MeV	2,99/4
1990	0,39 - 0,87	0,6/3	0,1 - 0,2	0,13/3	1,74 - $4,27x10^{10}$MeV	3,01/2
1991	1	1	0,1	0,1/1	$4,65x10^{10}$MeV	4,65/1
1992	1	1	0,1	0,1/1	$2,16x10^{10}$MeV	2,16/1
Průměr		**0,94 mGy**		**0,27 mg m^{-3}**		**$3,99x10^{10}$MeV**

Zdroj: Státní podnik DIAMO

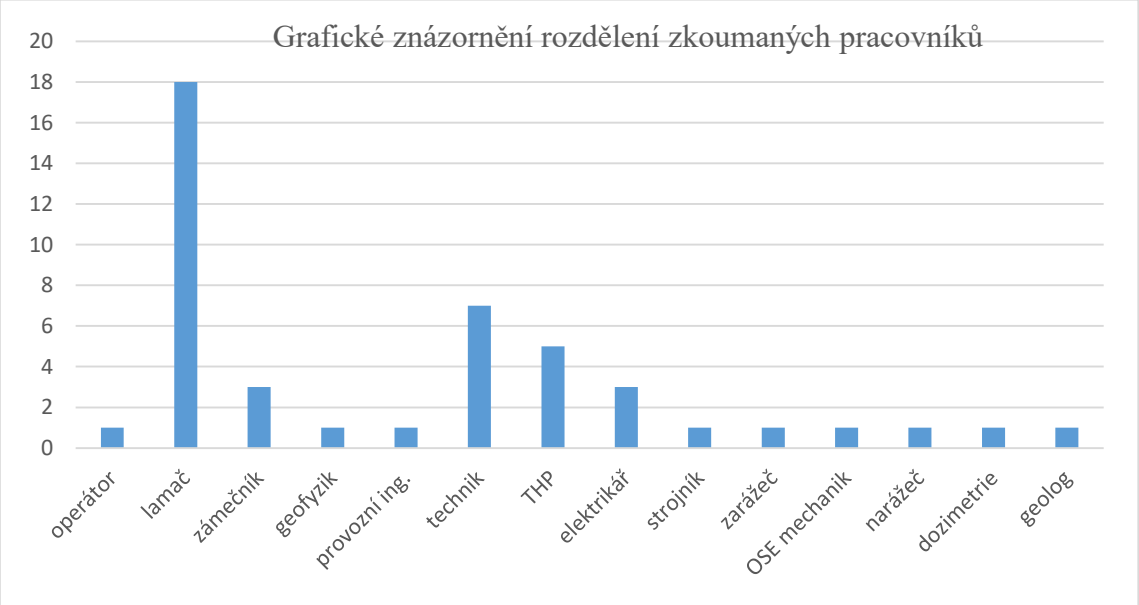
To jsem přepočítala za předpokladu, že měli průměrné počty směn, jejichž počet mi sdělil státní podnik DIAMO a který vycházel na 1280 hodin za rok. V přepočtu jsem pak pokračovala stejným způsobem jako u pracovníků z Příbrami, ale navíc jsem dávku za rok vydělila 12, abych získala průměrnou dávku za jeden měsíc a mohla ji porovnávat s Příbramí.

4 Výsledky

4.1 Obdržené dávky u všech zaměstnanců různých pracovních skupin

Těžba probíhala v letech 1950 až 1991(Příbram, 2017). Přitom data o obdržených dávkách u zaměstnanců uranových dolů na Příbramsku, které mám k dispozici, jsou získána z let 1966 až 1999. Těžba zde byla ukončena v roce 1992, ale do roku 1999 ještě probíhaly likvidační a další práce. Kromě toho byla po ukončení těžby v letech 1992 až 1998 část podzemí využita pro vybudování kavernového zásobníku zemního plynu (Příbram, 2017). Vytěžená uranová ruda byla od roku 1958 zpracovávána v místě na fyzikální úpravně v oblasti Bytíz a od roku 1962 převážně na chemické úpravně v Mydlovarech (Příbram, 2017).

Na obrázku 5 vidíme grafické znázornění rozdělení mnou zkoumaných pracovníků uranových dolů. Z grafu je možné vyčíst, že jednoznačně největší zastoupení ve zkoumaných dozimetrických listech mají lamači, dále jsou to pak technici, technickohospodářští pracovníci, elektrikáři a zámečníci. Zastoupení ostatních profesí je po jednom pracovníkovi.



Obrázek 5 Grafické znázornění rozdělení zkoumaných pracovníků

Zdroj: Vlastní výzkum

V tabulkách 6 a 7 vidíme celkové dávky ze všech zdrojů záření u všech pracovníků dolu. V prvním sloupci je vždy uvedeno číslo dozimetrického listu. V tabulce 5 je

ve druhém sloupečku vždy uvedena profese, ve třetím sloupečku je pak v měsících uvedena práce v riziku ionizujícího záření, ve čtvrtém v letech uvedená délka, která uplynula od skončení práce v riziku. V dalších sloupečcích tabulky 5 i 6 jsou pak postupně uvedeny dávky z jednotlivých zdrojů záření.

Tabulka 6 Celkové dávky u všech zaměstnanců část 1

číslo dozimetrického listu	*pracovní zařazení*	*délka práce v riziku IZ (měsíce)*	*doba od skončení práce v riziku IZ*	*osobní dávka gama záření (mGy)*
175	operátor	55	46	0,25
289	lamač	182	33	5,73
299	zámečník	248	27	7,98
658	lamač	112	27	7,40
743	lamač	14	50	0,26
837	geofyzik	117	26	5,60
912	provozní ing.	276	28	0,00
974	lamač	176	32	3,23
1379	technik	158	37	0,26
1452	lamač	159	34	7,55
1466	THP	125	25	6,73
1503	elektrikář	118	26	3,56
1638	lamač	120	26	0,00
1725	technik	158	27	2,74
1807	strojník	177	27	5,37
2008	lamač	146	27	2,87
2185	THP	122	25	6,79
2186	technik	181	33	1,59
2405	lamač	185	29	12,70
2410	technik	14	47	0,00
2564	zarážeč	102	25	0,00
2697	lamač	152	27	25,81
2958	lamač	136	39	4,62
3020	OSE mechanik	172	27	11,16
3388	THP	105	34	1,28
3465	THP	32	20	0,00
3528	lamač	144	31	8,28
3955	THP	119	24	0,00
4251	zámečník	159	30	4,29
4408	lamač	194	29	5,11
4255	lamač	84	26	11,13
5267	technik	216	29	5,70
5310	lamač	148	35	3,48
6167	narážeč	198	28	3,26
6293	dozimetrie	12	41	0,02
6356	lamač	44	27	7,48
7068	technik	198	29	4,00
7346	elektrikář	254	29	0,00
7362	technik	185	29	4,21
7733	zámečník	228	29	2,89
8506	technik	140	21	0,40
8913	geolog	169	30	4,32
9092	elektrikář	176	27	5,42
20024	lamač	121	18	1,25
20679	lamač	80	44	0,00

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 7 Celkové dávky u všech zaměstnanců část 2

číslo dozimetrického listu	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)*
175	0,00	0,00	87,37	171,02
289	6,31	2,51	91,04	182,07
299	61,06	19,83	163,03	326,07
658	10,20	3,22	27,71	55,33
743	0,00	0,00	69,39	138,78
837	6,82	2,17	37,25	74,50
912	2,86	0,91	94,52	189,03
974	11,94	4,74	57,96	115,92
1379	3,63	1,22	79,01	158,02
1452	49,57	36,22	131,99	263,97
1466	6,59	2,10	47,46	94,92
1503	6,72	2,14	50,33	100,66
1638	4,28	1,37	55,97	111,94
1725	10,87	3,48	49,57	99,15
1807	7,23	2,30	96,30	192,60
2008	10,12	4,71	37,19	74,38
2185	6,99	2,22	41,94	83,88
2186	0,27	0,23	43,39	86,78
2405	5,27	4,53	78,92	157,83
2410	0,00	0,00	11,63	23,27
2564	5,80	1,42	6,16	12,33
2697	15,16	4,82	92,90	185,79
2958	14,97	11,40	141,54	283,08
3020	10,48	3,46	22,01	44,03
3388	53,16	45,71	49,99	99,98
3465	0,81	0,26	1,03	2,09
3528	6,33	2,19	59,34	118,68
3955	6,52	2,07	11,17	22,33
4251	6,83	5,87	42,54	85,08
4408	26,55	16,32	135,89	271,78
4255	6,84	2,18	26,80	53,60
5267	3,17	2,73	23,33	46,66
5310	14,43	9,22	50,19	100,37
6167	9,60	3,75	88,58	177,16
6293	0,22	0,07	3,36	6,73
6356	3,16	1,02	11,04	23,20
7068	10,08	3,60	77,80	155,59
7346	11,39	3,63	129,94	259,88
7362	9,06	2,88	79,77	159,55
7733	14,99	9,18	91,20	182,40
8506	6,26	1,99	13,66	27,32
8913	7,37	2,38	45,62	91,24
9092	10,03	3,19	30,98	61,96
20024	0,73	0,23	52,76	105,51
20679	0,60	0,19	39,94	79,87

Zdroj: Vlastní výzkum

Po provedení výpočtů mi vyšla tabulka s průměrnými dávkami a směrodatnými odchylkami a proto mám v tabulkách 8 a 9 uvedené v druhém řádku průměrné dávky, ve třetím pak směrodatné odchylky, ve čtvrtém maxima a v pátém minima.

Tabulka 8 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u všech zaměstnanců

	osobní dávka gama záření (mGy)	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)***	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)***	***dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)***	***dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)***
průměrná měsíční dávka	0,03	0,07	0,04	0,52	1,03
Sx	0,04	0,09	0,07	0,72	1,44
maximum	0,17	0,51	0,44	4,96	9,91
minimum	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 9 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u všech zaměstnanců

číslo dozimetrického listu	***efektivní dávka podle daných standardů***	***efektivní dávka podle nových výpočtů***
průměrná měsíční dávka	0,62	1,10
Sx	0,72	1,44
maximum	4,98	9,93
minimum	0,06	0,07

Zdroj vlastní výzkum

Na obrázku 6 jsou na ose x vyneseny dávky gama záření, na obrázku 7 dávky z dlouhodobých zářičů alfa a na obrázku 8 dávky z dceřiných produktů radonu (u všech zaměstnanců). Na ose y na všech obrázcích (6, 7, 8) máme odpracované měsíce. Z grafů je možné vyčíst, že závislost dávky na odpracované době není lineární.

Obrázek 6 Závislost osobní dávky gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek 7 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek 8 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum

Na tabulkách 10 a 11 vidíme celkové dávky ze všech zdrojů záření u lamačů. V prvním sloupci je vždy uvedeno číslo dozimetrického listu. V tabulce 9 je ve druhém sloupečku vždy uvedena profese, ve třetím sloupečku je pak v měsících uvedena práce v riziku ionizujícího záření, ve čtvrtém v letech uvedená délka, která uplynula od skončení práce v riziku. V dalších sloupečcích tabulky 9 i 10 jsou pak postupně uvedeny dávky z jednotlivých zdrojů záření.

4.2 Obdržené dávky u lamačů a ostatních zaměstnanců – srovnání

Tabulka 10 Celkové dávky u lamačů část 1

číslo dozimetrického listu	*pracovní zařazení*	*délka práce v riziku IZ (měsíce)*	*doba od skončení práce v riziku IZ*	*osobní dávka gama záření (mGy)*
289	lamač	182	33	5,73
658	lamač	112	27	7,40
743	lamač	14	50	0,26
974	lamač	176	32	3,23
1452	lamač	159	34	49,57
1638	lamač	120	26	0,00
2008	lamač	146	27	2,87
2405	lamač	185	29	12,70
2697	lamač	152	27	25,81
2958	lamač	136	39	4,62
3528	lamač	144	31	8,28
4408	lamač	194	29	5,11
4255	lamač	84	26	11,13
5310	lamač	148	35	3,48
6356	lamač	44	27	7,48
20024	lamač	121	18	1,25
20679	lamač	80	44	0,00

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 11 Celkové dávky u lamačů část 2

číslo dozimetrického listu	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)*	*dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)*
289	6,31	2,51	91,04	182,07
658	10,20	3,22	27,71	55,33
743	0,00	0,00	69,39	138,78
974	11,94	4,74	57,96	115,92
1452	49,57	36,22	131,99	263,97
1638	4,28	1,37	55,97	111,94
2008	10,12	4,71	37,19	74,38
2405	5,27	4,53	78,92	157,83
2697	15,16	4,82	92,90	185,79
2958	14,97	11,40	141,54	283,08
3528	6,33	2,19	59,34	118,68
4408	26,55	16,32	135,89	271,78
4255	6,84	2,18	26,80	53,60
5310	14,43	9,22	50,19	100,37
6356	3,16	1,02	11,044	23,198
20024	0,73	0,23	52,76	105,51
20679	0,60	0,19	39,94	79,87

Zdroj: Vlastní výzkum

V tabulkách 12 a 13 mám uvedené v druhém řádku průměrné dávky, ve třetím pak směrodatné odchylky, ve čtvrtém maxima a v pátém minima.

Tabulka 12 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u lamačů

	osobní dávka gama záření (mGy)	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)***	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)***	***dceřiné produkty radonu 1mJ = 1,18 mSv***	***dceřiné produkty radonu 1mJ = 2,36 mSv***
průměrná měsíční dávka	0,07	0,08	0,04	0,74	1,49
Sx	0,08	0,07	0,05	1,07	2,15
maximum	0,31	0,31	0,23	4,96	9,91
minimum	0,00	0,00	0,00	0,25	0,49

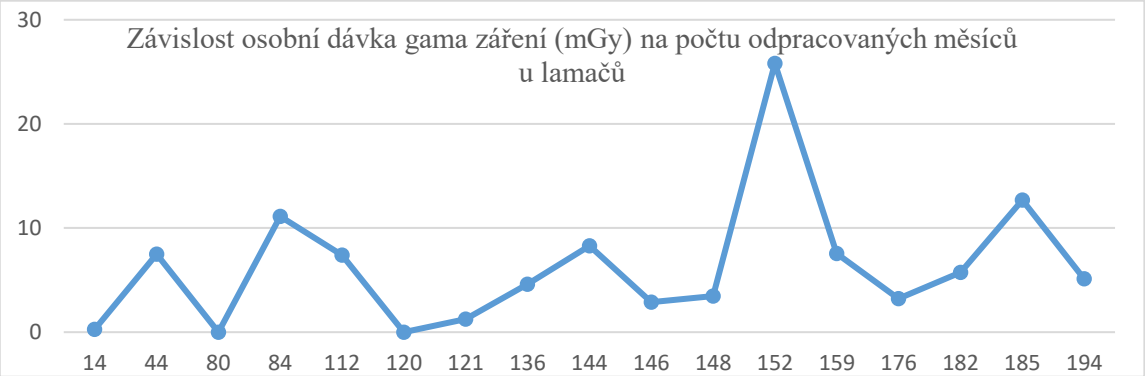
Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 13 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u lamačů

číslo dozimetrického listu	***efektivní dávka podle daných standardů***	***efektivní dávka podle nových výpočtů***
průměrná měsíční dávka	0,89	1,60
Sx	1,06	2,14
maximum	4,98	9,93
minimum	0,34	0,56

Zdroj: Vlastní výzkum

U obrázků 9, 10 a 11 máme grafy týkající se lamačů. Na obrázku 9 jsou na ose x vyneseny dávky gama záření, na obrázku 10 dávky z dlouhodobých zářičů alfa a na obrázku 11 dávky z dceřiných produktů radonu. Na ose y na všech obrázcích (9, 10, 11) máme odpracované měsíce. Z grafů je možné vyčíst, že závislost dávky na odpracované době není lineární.



Obrázek 9 Závislost osobní dávka gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek 10 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek 11 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Zdroj: Vlastní výzkum

V tabulkách 14 a 15 vidíme celkové dávky ze všech zdrojů záření u lamačů. V prvním sloupci je vždy uvedeno číslo dozimetrického listu. V tabulce 13 je ve druhém sloupečku vždy uvedena profese, ve třetím sloupečku je pak v měsících uvedena práce v riziku ionizujícího záření, ve čtvrtém v letech uvedená délka, která uplynula od skončení práce v riziku. V dalších sloupečcích tabulky 13 i 14 jsou pak postupně uvedeny dávky z jednotlivých zdrojů záření.

Tabulka 14 Celkové dávky u ostatních zaměstnanců část 1

číslo dozimetrického listu	***pracovní zařazení***	***délka práce v riziku IZ (měsíce)***	***doba od skončení práce v riziku IZ***	***osobní dávka gama záření (mGy)***
175	operátor	55	46	0,25
299	zámečník	248	27	7,98
837	geofyzik	117	26	5,60
912	provozní ing.	276	28	0,00
1379	technik	158	37	0,26
1466	THP	125	25	6,73
1503	elektrikář	118	26	3,56
1725	technik	158	27	2,74
1807	strojník	177	27	5,37
2185	THP	122	25	6,79
2186	technik	181	33	1,59
2410	technik	14	47	0,00
2564	zarážeč	102	25	0,00
3020	OSE mechanik	172	27	11,16
3388	THP	105	34	1,28
3465	THP	32	20	0,00
3955	THP	119	24	0,00
4251	zámečník	159	30	4,29
5267	technik	216	29	5,70
6167	narážeč	198	28	3,26
6293	dozimetrie	12	41	0,02
7068	technik	198	29	4,00
7346	elektrikář	254	29	0,00
7362	technik	185	29	4,21
7733	zámečník	228	29	2,89
8506	technik	140	21	0,40
8913	geolog	169	30	4,32
9092	elektrikář	176	27	5,42

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 15 Celkové dávky u ostatních zaměstnanců část 2

číslo dozimetrického listu	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 1,18 mSv*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 2,36 mSv*
175	0,00	0,00	87,37	171,02
299	61,06	19,83	163,03	326,07
837	6,82	2,17	37,25	74,50
912	2,86	0,91	94,52	189,03
1379	3,63	1,22	79,01	158,02
1466	6,59	1,86	47,46	94,92
1503	6,72	2,14	50,33	100,66
1725	10,87	3,48	49,57	99,15
1807	7,23	2,30	96,30	192,60
2185	6,99	2,22	41,94	83,88
2186	0,27	0,23	43,39	86,78
2410	0,00	0,00	11,63	23,27
2564	5,80	1,42	6,16	12,33
3020	10,48	3,46	22,01	44,03
3388	53,16	45,71	49,99	99,98
3465	0,81	0,26	1,03	2,09
3955	6,52	2,07	11,17	22,33
4251	6,83	5,87	42,54	85,08
5267	3,17	2,73	23,33	46,66
6167	9,60	3,75	88,58	177,16
6293	0,22	0,07	3,36	6,73
7068	10,08	3,60	77,80	155,59
7346	11,39	3,63	129,94	259,88
7362	9,06	2,88	79,77	159,55
7733	14,99	9,18	91,20	182,40
8506	6,26	1,99	13,66	27,32
8913	7,37	2,38	45,62	91,24
9092	10,03	3,19	30,98	61,96

Zdroj: Vlastní výzkum

V tabulkách 16 a 17 mám uvedené v druhém řádku průměrné dávky, ve třetím pak směrodatné odchylky, ve čtvrtém maxima a v pátém minima.

Tabulka 16 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u ostatních zaměstnanců dolu

	osobní dávka gama záření (mGy)	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)***	***Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)***	***dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)***	***dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)***
průměrná měsíční dávka	0,02	0,06	0,03	0,38	0,76
Sx	0,02	0,10	0,08	0,30	0,58
maximum	0,06	0,51	0,44	1,59	3,11
minimum	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 17 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u ostatních zaměstnanců dolu

číslo dozimetrického listu	***efektivní dávka podle daných standardů***	***efektivní dávka podle nových výpočtů***
průměrná měsíční dávka	0,46	0,81
Sx	0,31	0,59
maximum	1,59	3,11
minimum	0,06	0,07

Zdroj: Vlastní výzkum

Při pohledu na tabulky je jasné, že dávky u lamačů jsou vyšší než u ostatních zaměstnanců dolů.

Výsledky dvojvýběrového t-testu (porovnávání průměrných dávek u lamačů a ostatních) ale ukazují, že tento rozdíl není statisticky signifikantní:

Hypotézy (pro všechny):

H_0: $\mu_1 = \mu_2$

H_a: $\mu_1 \neq \mu_2$

Dávky z gama záření:

$t_{exp} = 0,15$

$W = (-\infty; -1,96> U <1,96; \infty)$

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

Dávky z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 11 mSv):

t_{exp} = 0,03

W = (-∞; -1,96> U <1,96; ∞)

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

Dávky z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 3,5 mSv)

t_{exp} = 0,02

W = (-∞; -1,96> U <1,96; ∞)

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

Dávky z dceřiných produktů radonu 1mJ = 1,18 mSv

t_{exp} = 0,07

W = (-∞; -1,96> U <1,96; ∞)

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

Dávky z dceřiných produktů radonu 1mJ = 2,36 mSv

t_{exp} = 0,08

W = (-∞; -1,96> U <1,96; ∞)

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

Efektivní dávky podle daných standardů

t_{exp} = 0,09

W = (-∞; -1,96> U <1,96; ∞)

Přijmu H_0 → není statisticky významný rozdíl

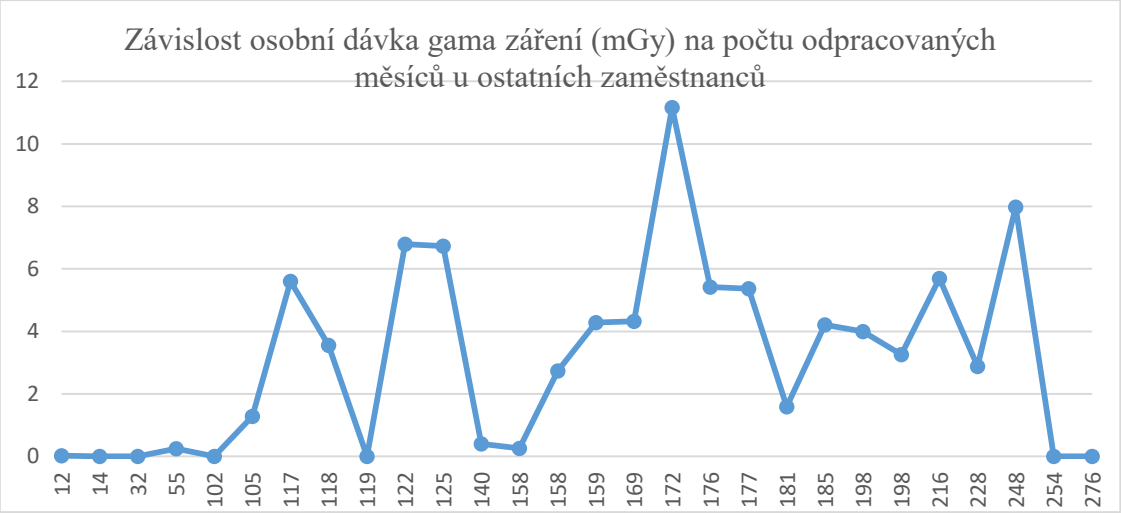
Efektivní dávky podle nových výpočtů

t_{exp} = 0,09

$W = (-\infty; -1{,}96\rangle \cup \langle 1{,}96; \infty)$

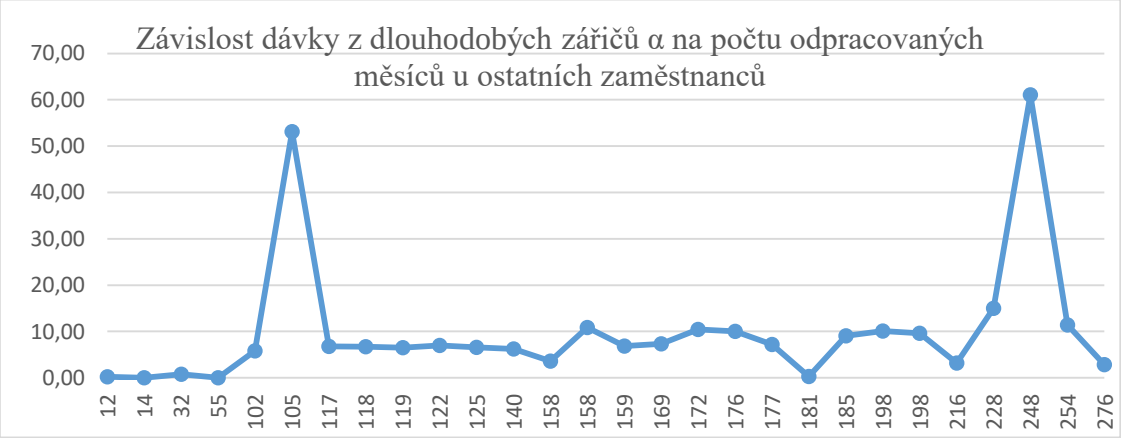
Přijmu $H_0 \rightarrow$ není statisticky významný rozdíl

U obrázků 12, 13 a 14 máme grafy týkající se (ostatních) zaměstnanců dolu s výjimkou lamačů. Na obrázku 12 jsou na ose x vyneseny dávky gama záření, na obrázku 13 dávky z dlouhodobých zářičů alfa a na obrázku 14 dávky z dceřiných produktů radonu. Na ose y na všech obrázcích (12, 13, 14) máme odpracované měsíce. Z grafů je možné vyčíst, že závislost dávky na odpracované době není lineární.



Obrázek 12 Závislost osobní dávka gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 13 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek 14 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Zdroj: Vlastní výzkum

4.3 Průměrné dávky obdržené v jednotlivých letech

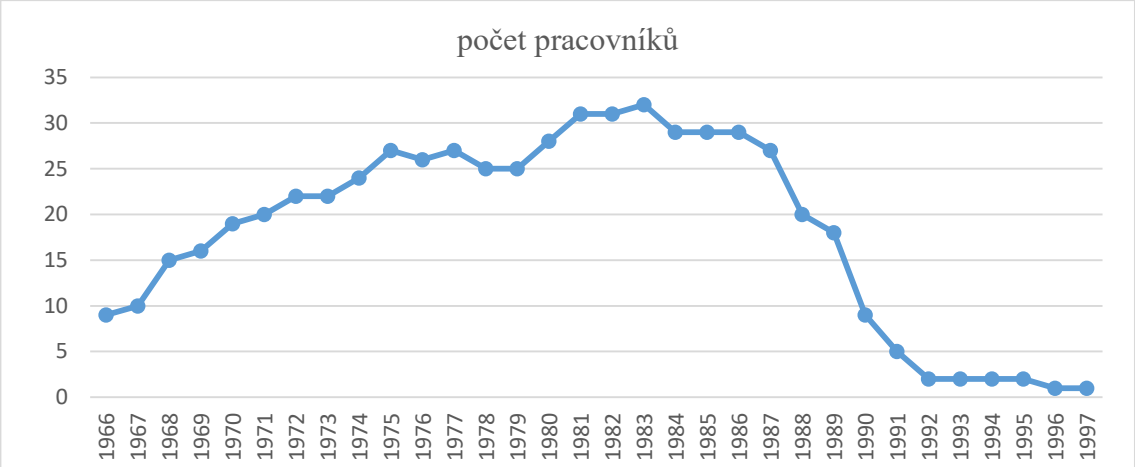
V tabulce 18 můžeme vidět průměrné dávky ze všech zdrojů záření za jednotlivé roky, spočtené ze všech získaných dozimetrických listů. V prvním sloupci je vždy uveden rok. Ve druhém sloupečku je uveden počet zkoumaných pracovníků, kteří v daném roce v dolech pracovali. V dalších sloupečcích jsou pak postupně uvedeny dávky z jednotlivých zdrojů záření.

Tabulka 18 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření za jednotlivé roky

rok	*počet pracovníků*	*Průměrná osobní dávka gama záření (mGy) (za 1 měsíc)*	*Průměrná dávka z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 11 mSv) (za 1 měsíc)*	*Průměrná dávka z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 3,5 mSv) (za 1 měsíc)*	*Průměrná dávka z dceřiných produktů radonu (1mJ = 1,18 mSv) (za 1 měsíc)*	*Průměrná dávka z dceřiných produktů radonu (1mJ = 2,36 mSv) (za 1 měsíc)*
1966	5	0,02	0,00	0,00	1,94	3,88
1967	9	0,01	0,24	0,19	1,56	3,12
1968	10	0,01	0,06	0,05	1,03	2,03
1969	15	0,02	0,04	0,04	0,78	1,56
1970	16	0,01	0,08	0,06	0,49	0,98
1971	19	0,00	0,14	0,12	0,67	1,33
1972	20	0,01	0,12	0,11	0,73	1,46
1973	22	0,01	0,10	0,09	0,57	1,13
1974	22	0,00	0,03	0,02	0,70	1,40
1975	24	0,00	0,02	0,02	0,51	1,02
1976	27	0,01	0,02	0,01	0,40	0,79
1977	26	0,01	0,02	0,01	0,35	0,70
1978	27	0,03	0,06	0,02	0,34	0,67
1979	25	0,02	0,08	0,03	0,30	0,60
1980	25	0,05	0,07	0,02	0,25	0,50
1981	28	0,10	0,07	0,02	0,27	0,54
1982	31	0,09	0,08	0,03	0,29	0,59
1983	31	0,08	0,08	0,03	0,32	0,64
1984	32	0,03	0,09	0,03	0,30	0,61
1985	29	0,01	0,08	0,03	0,27	0,53
1986	29	0,04	0,10	0,03	0,31	0,61
1987	29	0,06	0,07	0,03	0,31	0,62
1988	27	0,03	0,07	0,02	0,34	0,68
1989	20	0,04	0,07	0,02	0,43	0,86
1990	18	0,03	0,07	0,02	0,44	0,89
1991	9	0,00	0,02	0,01	0,21	0,42
1992	5	0,00	0,00	0,00	0,11	0,22
1993	2	0,00	0,09	0,03	0,03	0,06
1994	2	0,00	0,08	0,03	0,04	0,07
1995	2	0,00	0,02	0,01	0,03	0,07
1996	2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06
1997	1	0,00	0,05	0,02	0,01	0,01
1999	1	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10

Zdroj: Vlastní výzkum

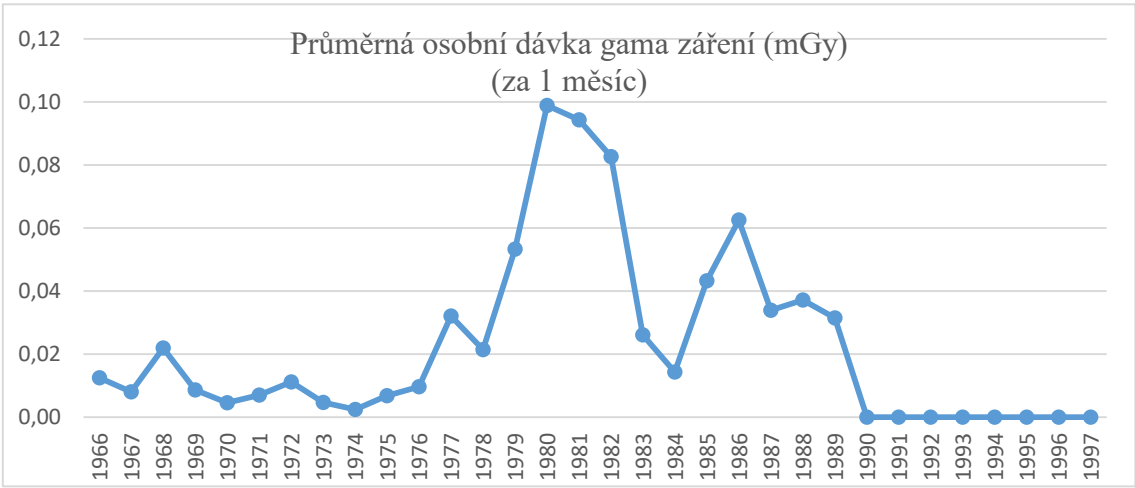
Data z této tabulky jsou graficky znázorněna na obrázcích 16 –18.



Obrázek 15 Změna počtu zaměstnanců jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum

Na osu x jsem dosadila počet pracovníků, od nichž máme dozimetrické listy a na osu y jednotlivé roky. Když se na graf (obrázek 5) podíváme, je z něj patrné, že největší počet zaměstnanců pracoval v dole v roce 1984.

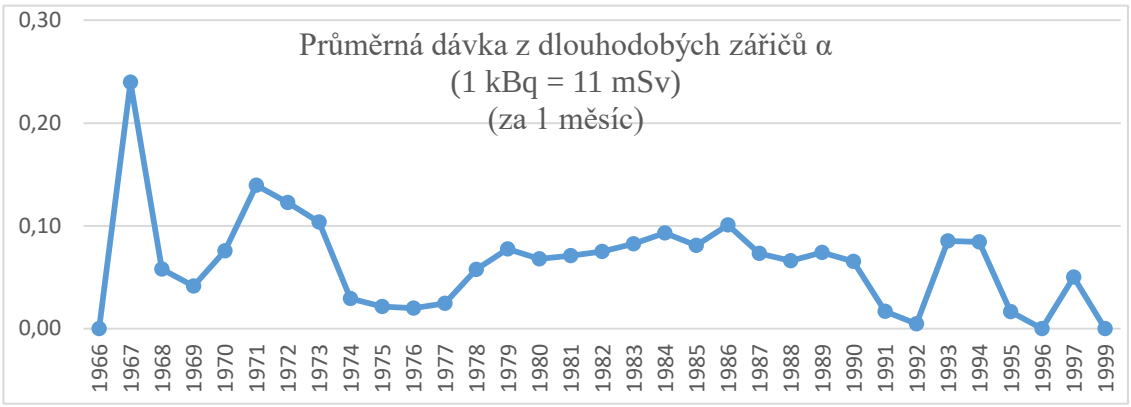


Obrázek 16 Změna průměrné osobní dávky gama záření za jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum

Na ose vidíme průměrnou měsíční osobní dávku gama záření a na ose y jsou opět jednotlivé roky. Z grafu (Obrázek 6) je možné vyčíst, že nejvyšší průměrnou osobní

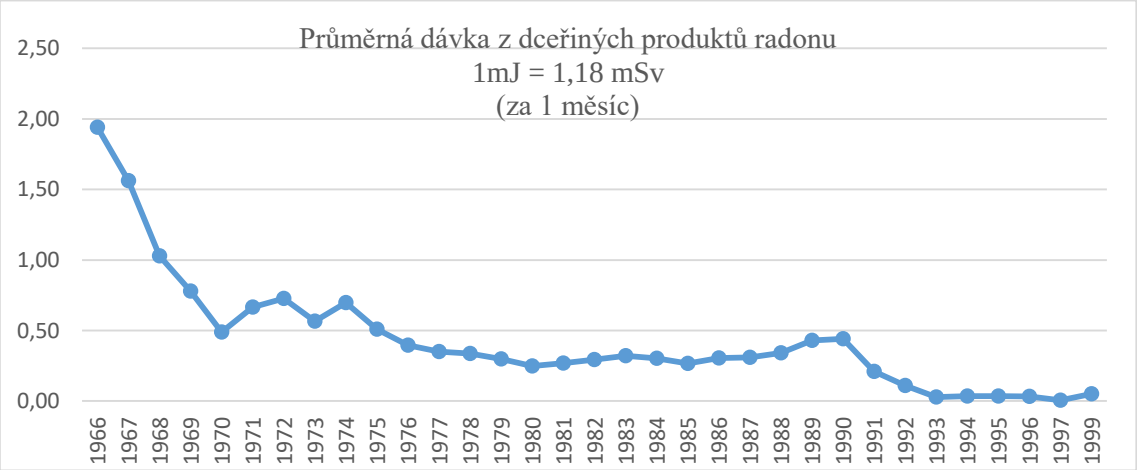
dávku gama záření dostali zaměstnanci v roce 1981. Dále také vidíme, že první roky byly dávky nízké, pak došlo k prudkému nárůstu a poté dochází znovu k postupnému poklesu.



Obrázek 17 Změna průměrné dávky z dlouhodobých zářičů α za jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum

Na ose x jsou vyneseny průměrné měsíční dávky z dlouhodobých zářičů α a na ose y jednotlivé roky. Z grafu (Obrázek 7) pak můžeme vyčíst, že nejvyšší dávku z α zářičů obdrželi zaměstnanci v roce 1967 a i když graf různě stoupá a klesá, je zjevné, že postupem času se průměrné dávky snižovaly.



Obrázek 18 Změna průměrné dávky z dceřiných produktů radonu za jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum

Osa x popisuje průměrné měsíční dávky z dceřiných produktů radonu a osa y znovu jednotlivé roky. Na grafu (Obrázek 8) je jasně vidět, že nejvyšší průměrná dávka z dceřiných produktů radonu, kterou pracovníci obdrželi, byla v roce 1966 a dávky se s postupem let postupně snižovaly.

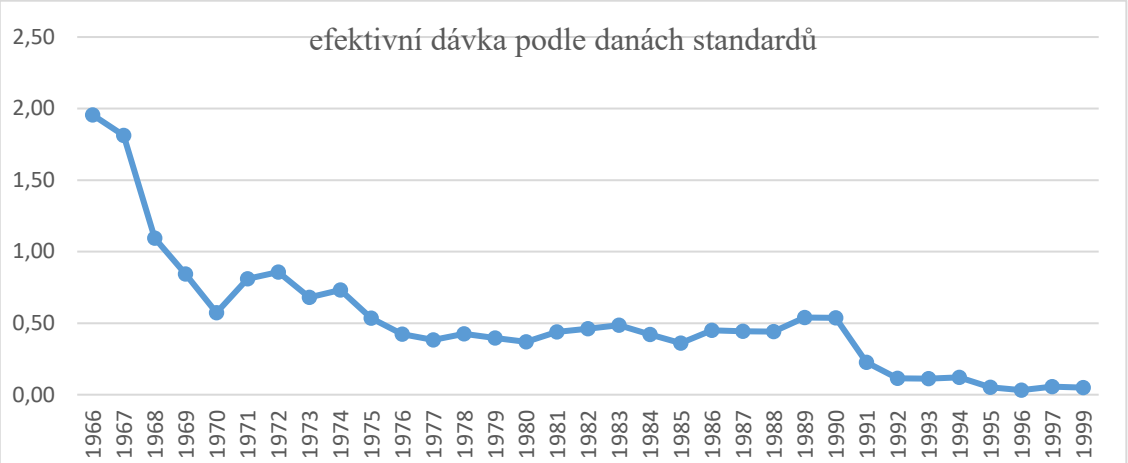
4.4 Efektivní dávky v uranových dolech na Příbramsku a v Okrouhlé Radouni

V tabulce 19 jsou uvedeny efektivní dávky, z nichž první je vypočítaná podle daných standardů a druhá podle nových výzkumů. V prvním sloupečku jsou uvedeny jednotlivé roky, ve druhém sloupečku je uveden počet zkoumaných pracovníků, kteří v daném roce v dolech pracovali. V dalších dvou sloupečcích jsou pak uvedeny efektivní dávky.

Tabulka 19 efektivní dávky jednotlivé roky podle daných standardů a nových výpočtů na Příbramsku

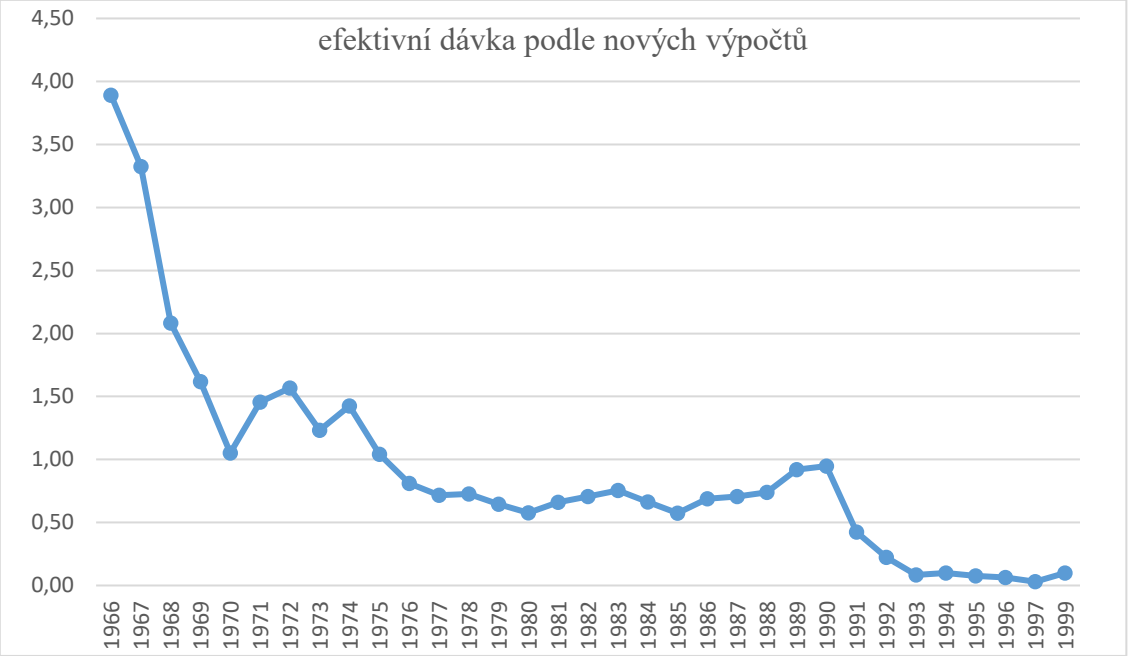
rok	*počet pracovníků*	*efektivní dávka podle daných standardů*	*efektivní dávka podle nových výpočtů*
1966	5	1,96	3,89
1967	9	1,81	3,33
1968	10	1,09	2,08
1969	15	0,84	1,62
1970	16	0,57	1,05
1971	19	0,81	1,46
1972	20	0,86	1,57
1973	22	0,68	1,23
1974	22	0,73	1,43
1975	24	0,53	1,04
1976	27	0,42	0,81
1977	26	0,38	0,72
1978	27	0,43	0,73
1979	25	0,40	0,64
1980	25	0,37	0,58
1981	28	0,44	0,66
1982	31	0,46	0,71
1983	31	0,49	0,75
1984	32	0,42	0,66
1985	29	0,36	0,57
1986	29	0,45	0,69
1987	29	0,44	0,71
1988	27	0,44	0,74
1989	20	0,54	0,92
1990	18	0,54	0,95
1991	9	0,23	0,42
1992	5	0,12	0,22
1993	2	0,11	0,08
1994	2	0,12	0,10
1995	2	0,05	0,08
1996	2	0,03	0,06
1997	1	0,06	0,03
1999	1	0,05	0,10

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 19 Změna efektivní dávky (podle daných standardů) za jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 20 Změna efektivní dávky (podle nových výpočtů) za jednotlivé roky

Zdroj: Vlastní výzkum

Na ose x obrázků 19 a 20 jsou vyneseny efektivní dávky a na ose y jsou vyneseny jednotlivé roky.

V tabulce 20 jsem uvedla procentuální zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky, která je daná standardy, u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku. V prvním sloupečku je vždy uveden rok, ve druhém procentuální zastoupení dávky

z gama záření, ve třetím je zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak zastoupení dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém pak efektivní dávka.

Tabulka 20 procentuální zastoupení jednotlivých složek průměrné efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

rok	***Průměrná osobní dávka gama záření (mGy) v %***	***Průměrná dávka z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 11 mSv) v %***	***Průměrná dávka z dceřiných produktů radonu 1mJ = 1,18 mSv v %***	***efektivní dávka podle daných standardů v %***
1973	2%	15%	83%	100%
1974	1%	4%	95%	100%
1975	0%	4%	96%	100%
1976	2%	5%	94%	100%
1977	3%	6%	91%	100%
1978	8%	14%	79%	100%
1979	5%	20%	75%	100%
1980	14%	18%	67%	100%
1981	23%	16%	61%	100%
1982	20%	16%	63%	100%
1983	17%	17%	66%	100%
1984	6%	22%	72%	100%
1985	4%	22%	74%	100%
1986	10%	22%	68%	100%
1987	14%	16%	69%	100%
1988	8%	15%	77%	100%
1989	7%	14%	79%	100%
1990	6%	12%	82%	100%
1991	0%	7%	93%	100%
1992	0%	4%	96%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

V tabulce 21 jsem uvedla procentuální zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky, jak by měla vycházet podle nových výzkumů, u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku. V prvním sloupečku máme uveden rok, ve druhém procentuální zastoupení dávky z gama záření, ve třetím máme zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak zastoupení dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém pak efektivní dávku.

Tabulka 21 procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

rok	*Průměrná osobní dávka gama záření (mGy) v %*	*Průměrná dávka z dlouhodobých zářičů α (1 kBq = 3,5 mSv) v %*	*Průměrná dávka z dceřiných produktů radonu 1mJ = 2,36 mSv v %*	*efektivní dávka podle nových výpočtů v %*
1973	1%	7%	92%	100%
1974	0%	2%	98%	100%
1975	0%	2%	98%	100%
1976	1%	2%	98%	100%
1977	1%	1%	98%	100%
1978	4%	3%	93%	100%
1979	3%	4%	92%	100%
1980	9%	4%	87%	100%
1981	15%	4%	81%	100%
1982	13%	4%	83%	100%
1983	11%	4%	85%	100%
1984	4%	5%	91%	100%
1985	2%	5%	93%	100%
1986	6%	5%	89%	100%
1987	9%	4%	87%	100%
1988	5%	3%	92%	100%
1989	4%	3%	93%	100%
1990	3%	2%	94%	100%
1991	0%	1%	99%	100%
1992	0%	1%	99%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 22 nám ukazuje průměrné dávky z jednotlivých druhů záření a z nich vypočítanou efektivní dávku, a to podle daných standardů, u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni. V prvním sloupečku máme uveden rok, ve druhém průměrné dávky z gama záření, ve třetím dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém efektivní dávku.

Tabulka 22 průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

rok	*osobní dávka gama záření (mGy)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 1,18 mSv*	*efektivní dávka podle daných standardů*
1973	0,02	1,41	0,58	2,00
1974	0,02	1,20	0,47	1,69
1975	0,00	1,58	0,92	2,50
1976	0,00	0,31	1,11	1,42
1977	0,02	0,28	0,92	1,22
1978	0,06	0,14	1,03	1,23
1979	0,03	0,15	1,10	1,28
1980	0,06	0,15	0,97	1,18
1981	0,06	0,21	1,00	1,27
1982	0,12	0,15	1,30	1,57
1983	0,16	0,14	1,18	1,48
1984	0,16	0,28	1,27	1,72
1985	0,21	0,25	1,16	1,63
1986	0,12	0,25	0,78	1,16
1987	0,09	0,17	0,82	1,08
1988	0,14	0,25	0,68	1,07
1989	0,09	0,18	0,72	1,00
1990	0,05	0,18	0,73	0,96
1991	0,08	0,14	1,12	1,35
1992	0,08	0,14	0,52	0,75

Zdroj: vlastní výzkum

Při pohledu na tabulky dávek z Okrouhlé Radouně a Příbrami je možné říci, že efektivní dávky z Okrouhlé Radouně jsou viditelně vyšší než z Příbrami.

Do tabulky 23 jsem uvedla procentuální zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky, podle daných standardů, u pracovníků uranových dolů v Okrouhlé Radouni. V prvním sloupečku je příslušný rok, ve druhém procentuální zastoupení dávky z gama záření, ve třetím zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak zastoupení dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém pak efektivní dávka.

Tabulka 23 procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

rok	*osobní dávka gama záření (mGy) v %*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv) v %*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 1,18 mSv v %*	*efektivní dávka podle daných standardů v %*
1973	1%	70%	29%	100%
1974	1%	71%	28%	100%
1975	0%	63%	37%	100%
1976	0%	22%	78%	100%
1977	2%	23%	75%	100%
1978	5%	11%	84%	100%
1979	2%	12%	86%	100%
1980	5%	13%	82%	100%
1981	5%	17%	79%	100%
1982	7%	10%	83%	100%
1983	11%	10%	80%	100%
1984	9%	16%	74%	100%
1985	13%	16%	71%	100%
1986	11%	22%	68%	100%
1987	8%	16%	76%	100%
1988	13%	24%	64%	100%
1989	9%	18%	72%	100%
1990	5%	19%	76%	100%
1991	6%	10%	83%	100%
1992	11%	19%	70%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 24 nám ukazuje průměrné dávky z jednotlivých druhů záření vypočítané podle nových výzkumů a z nich vypočítanou efektivní dávku u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni. V prvním sloupečku máme uveden rok, ve druhém průměrné dávky z gama záření, ve třetím dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém efektivní dávku.

Tabulka 24 průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

rok	*osobní dávka gama záření (mGy)*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 2,36 mSv*	*efektivní dávka podle nových výpočtů*
1973	0,02	0,45	1,16	1,62
1974	0,02	0,38	0,95	1,34
1975	0,00	0,50	1,83	2,34
1976	0,00	0,10	2,22	2,32
1977	0,02	0,09	1,83	1,94
1978	0,06	0,04	2,06	2,16
1979	0,03	0,05	2,21	2,28
1980	0,06	0,05	1,94	2,05
1981	0,06	0,07	1,99	2,12
1982	0,12	0,05	2,60	2,77
1983	0,16	0,04	2,36	2,56
1984	0,16	0,09	2,55	2,80
1985	0,21	0,08	2,32	2,61
1986	0,12	0,08	1,57	1,77
1987	0,09	0,05	1,65	1,79
1988	0,14	0,08	1,36	1,58
1989	0,09	0,06	1,45	1,60
1990	0,05	0,06	1,45	1,56
1991	0,08	0,04	2,25	2,38
1992	0,08	0,04	1,04	1,17

Zdroj: Vlastní výzkum

Do tabulky 25 jsem uvedla procentuální zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky, vypočítaných podle nových výzkumů u pracovníků uranových dolů v Okrouhlé Radouni. V prvním sloupečku je příslušný rok, ve druhém procentuální zastoupení dávky z gama záření, ve třetím zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů, ve čtvrtém pak zastoupení dávky z dceřiných produktů radonu a v pátém pak efektivní dávka.

Tabulka 25 procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

rok	*osobní dávka gama záření (mGy) v %*	*Dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv) v %*	*dceřiné produkty radonu 1mJ = 2,36 mSv v %*	*efektivní dávka podle nových výpočtů v %*
1973	1%	28%	71%	100%
1974	1%	28%	70%	100%
1975	0%	21%	78%	100%
1976	0%	4%	96%	100%
1977	1%	5%	94%	100%
1978	3%	2%	95%	100%
1979	1%	2%	97%	100%
1980	3%	2%	95%	100%
1981	3%	3%	94%	100%
1982	4%	2%	94%	100%
1983	6%	2%	92%	100%
1984	6%	3%	91%	100%
1985	8%	3%	89%	100%
1986	7%	5%	89%	100%
1987	5%	3%	92%	100%
1988	9%	5%	86%	100%
1989	6%	4%	91%	100%
1990	3%	4%	93%	100%
1991	4%	2%	95%	100%
1992	7%	4%	89%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

Pokud se podíváme na procentuální zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky, pak vidíme, že zejména v prvních třech letech bylo procentuální zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni podstatně vyšší než u těch na Příbramsku.

V tabulkách 26 a 27 jsem shrnula porovnání dávek z Příbrami a Okrouhlé Radouně, v tabulce 26 jsou dávky podle daných standardů a v tabulce 27 podle nových výpočtů.

Tabulka 26 Souhrnná tabulka podle daných standardů

	Průměrné měsíční dávky		***Procentuální zastoupení***	
	Příbram	***Okrouhlá Radouň***	***Příbram***	***Okrouhlá Radouň***
gama záření	0,03	0,08	5%	6%
dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 11 mSv)	0,07	0,38	11%	27%
dceřiné produkty radonu (1mJ = 1,18 mSv)	0,52	0,92	84%	67%
efektivní dávka podle daných standardů	0,62	1,38	100%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 27 Souhrnná tabulka podle nových výpočtů

	Průměrné měsíční dávky		***Procentuální zastoupení***	
	Příbram	***Okrouhlá Radouň***	***Příbram***	***Okrouhlá Radouň***
gama záření	0,03	0,08	3%	4%
dlouhodobé zářiče α (1 kBq = 3,5 mSv)	0,04	0,12	3%	6%
dceřiné produkty radonu (1mJ = 2,36 mSv)	1,03	1,84	94%	90%
efektivní dávka podle nových výpočtů	1,10	2,04	100%	100%

Zdroj: Vlastní výzkum

5 Diskuze

Tato bakalářská práce se zabývá radiační zátěží zaměstnanců uranových dolů hlavně na Příbramsku a sekundárně pak v Okrouhlé Radouni. V práci jsou porovnány a vyhodnoceny dávky, které zaměstnanci obdrželi (dávky obdržené u všech zaměstnanců, dávky obdržené u zaměstnanců dle pracovišť a dávky obdržené v jednotlivých letech).

Cílem této práce bylo sledovat radiační zátěž, spočítat průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a srovnat průměrné dávky podle jednotlivých let a druhu zaměstnání. Naměřené hodnoty byly získány z osobních dozimetrických listů každého zaměstnance. Původně jsem se v této práci chtěla zabývat radiační zátěží pracovníků v jiném bývalém uranovém dole a to konkrétně v Okrouhlé Radouni, ale bohužel nám státní podnik DIAMO odmítl poskytnout potřebné dozimetrické listy z důvodu, že nebyly roztříděné a obsahovaly údaje dosud žijících lidí, ale poskytl nám tabulku průměrných dávek z gama záření, průměrného příjmu dlouhodobých alfa zářičů a rozpadových produktů radonu, ze kterých jsem mohla za určitého předpokladu odhadnout dávky z těchto zdrojů.

Nakonec jsem tedy zpracovala 45 dozimetrických listů z Příbrami z let 1966-1999 a tabulku z Okrouhlé Radouně. Všechny dozimetrické listy jsem přepsala do tabulek v Excelu, což byla asi nejdelší část mé práce, zabralo mi to bez mála půl roku. Do tabulek jsem na základě rady pana prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc. uvedla hned dva přepočty na dávku z dlouhodobých zářičů alfa a dva na dávku z dceřiných produktů radonu a to jak pro dozimetrické listy, tak pro tabulku z Okrouhlé Radouně:

Pro dávku z alfa jsem příjem v kBq vynásobila dvěma způsoby přepočtu, neboť podle SÚJB je pro dlouhodobé zářiče přepočet kBq -> mSv 1kBq = 11mSv efektivní dávky. Ale Tomášek et al (2012) se podle svých výzkumů domnívá, že je to 1kBq = 3,5mSv a do budoucna se možná bude užívat tento přepočet.

Pro dávku z dceřiných produktů radonu jsme použila následující přepočty: první podle ICRP-65 kdy přepočet d.p. radonu je 1mJ = 1,18mSv (ICRP, 1993). Ale ICRP, 2010 konstatuje, že podle výzkumů by převod měl být asi dvakrát větší, tj. 1mJ = 2,36 mSv. A v tabulce je jasně patrné, jak se dávky po obou přepočtech výrazně liší. Průměrně je dávka počítaná podle nových výpočtů o 66% vyšší než efektivní dávka podle daných standardů.

Když srovnáme různé skupiny zaměstnanců, pak se při statistickém porovnávání dávek u lamačů a ostatních zaměstnanců pomocí dvojvýběrového t-testu zjistí, že rozdíly nejsou statisticky významné, i přesto, že když se na dávky v tabulce podíváme, vidíme, že jsou zhruba dvakrát vyšší, což jsem původně předpokládala.

Pokud budeme srovnávat dávky z Příbrami a Okrouhlé Radouně, pak zjistíme, že dávky ze všech druhů záření jsou u pracovníků z Okrouhlé Radouně zhruba dvakrát vyšší. Co se týká procentuálního zastoupení jednotlivých složek efektivní dávky z Příbramska a z Okrouhlé Radouně, můžeme vidět, že procentuální zastoupení dávky z dlouhodobých alfa zářičů bylo u dávek z Okrouhlé Radouně podstatně větší než u dávek z Příbramska a to zejména v prvních třech letech. Tyto rozdíly mohly být způsobeny různými geologickými a báňskými podmínkami.

U dávek z Okrouhlé Radouně jsou efektivní dávky získané výpočty na základě nových výzkumů až na tři výjimky, jimiž jsou roky 1973, 1974 a 1975, vždy vyšší, než ty získané výpočtem podle daných standardů. Bohužel mám příliš málo údajů na to, abych určila, proč tomu tak je.

U dávek z Příbramsku jsou efektivní dávky získané výpočty na základně nových výzkumů vždy vyšší než ty získané výpočtem podle daných standardů, to platí u všech až na tři výjimky, jimiž jsou roky 1993, 1994 a 1997. Vyšší efektivní dávka podle daných standardů, než podle nových výpočtů, u těchto let je nejspíše způsobena malým počtem údajů a faktem, že dávky z dlouhodobých zářičů alfa záření vyšší, než dávky z dceřiných produktů radonu. U roku 1993 máme údaje od dvou pracovníků (THP a technik), z roku 1994 máme údaje od dvou pracovníků (THP a technik) a z roku 1997 máme údaj pouze od jednoho pracovníka (THP).

Při porovnávání dávek za jednotlivé roky jsem zjistila, že dávky z dlouhodobých zářičů α a dceřiných produktů radonu s postupem let až na malé výchylky klesaly. U gama záření tomu tak nebylo, zde dávky s postupem let neklesají, čímž jsem byla překvapena, neboť jsem předpokládala, že budou klesat dávky ze všech druhů záření. Když se ale podíváme na efektivní dávku v průběhu let, tak zde docházelo k výraznému poklesu, což bylo podle mého názoru způsobeno nejspíše zavedením opatření chránících pracovníky před ionizujícím zářením, jako bylo např. větrání, které pomohlo snížit dávky z dlouhodobých alfa zářičů a z dceřiných produktů radonu.

6 Závěr

Cílem této práce bylo sledovat radiační zátěž, spočítat průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a srovnat průměrné dávky podle jednotlivých let a druhu zaměstnání. A všechny tyto cíle byly nakonec splněny.

Výzkumná otázka byla zodpovězena následujícím způsobem:

Průměrné měsíční dávky u všech pracovníků v dolech na Příbramsku byly: z γ = 0,03 mGy; z dlouhodobých zářičů α (podle přepočtu 1 kBq = 11 mSv) = 0,07 mSv; z dlouhodobých zářičů α (podle přepočtu 1 kBq = 3,5 mSv) = 0,04 mSv; z dceřiných produktů radonu (podle přepočtu 1mJ = 1,18 mSv) = 0,52 mSv; z dceřiných produktů radonu (podle přepočtu 1mJ = 2,36 mSv) = 1,03 mSv. Průměrná měsíční efektivní dávka podle daných standardů byla 0,62 mSv a podle nových výpočtů 1,10 mSv.

Při porovnávání dávek za jednotlivé roky jsem zjistila, že dávky z dceřiných produktů radonu s postupem let až na malé výchylky klesaly. U γ a dlouhodobých zářičů tomu tak nebylo, zde dávky s postupem let neklesají. Když se ale podíváme na efektivní dávku v průběhu let, tak zde docházelo k výraznému poklesu, což bylo podle mého názoru způsobeno nejspíše zavedením opatření chránících pracovníky před ionizujícím zářením, jako bylo např. větrání.

Závěrem je třeba říci, že z hlediska limitování dávek splňovaly bývalé uranové doly na Příbramsku s největší pravděpodobností všechna kritéria, jelikož na dostupných dozimetrických listech jsem nezjistila, že by byly u zaměstnanců překročeny dávkové limity. Přesto zde podle použitých zdrojů existuje možnost, že práce v uranových dolech měla negativní vliv na zdraví zaměstnanců, a stále ještě existuje reálné nebezpečí možnosti vzniku pozdních účinků a to včetně účinků stochastických.

Dále by bylo jistě zajímavé srovnávat dávky z uranových dolů na Příbramsku s dávkami z jiných uranových dolů v České republice, podobně jako jsem zde srovnávala s dávkami z Okrouhlé Radouně, anebo s dávkami, které obdrží pracovníci v uranových lázních.

7 Seznam literatury a zdrojů

7.1 Knihy a časopisy

AMANDUS, H. a J. COSTELLO. 1991. Silicosis and Lung Cancer in U.S. Metal Miners. *Division of Respiratory Disease Studies*. Morgantown: National Institute for Occupational Safety and Health, **46**(2), 82-89.

BUCHANCOVÁ, J., LEGÁTH, Ľ., BÁTORA, I., et al. Dlhodobé sledovanie výskytu profesionálnych zhubných nádorov dýchacieho systému na Slovensku. 1. Pracovní lékařství, 2010, roč. 62, č. 3, s. 110-124. ISSN: 0032-6291.

DRUBAY, D., S. ANCELET, A. ACKER, M. KREUZER, D. LAURIER a E. RAGE. 2014. Kidney cancer mortality and ionizing radiation among French and German uranium miners. *Radiat Environ Biophys*. Berlin: Springer-Verlag, **53**(20), 505–513. DOI: 10.1007. ISSN 00411-014-0547-4.

FRINDIK, O. a E. FISCHER. 1984. Uran und Thorium in einigen Mineralwässern aus der Bundesrepublik Deutschland. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. **179**(4), 330-332. ISSN 00443026.

HAVRÁNKOVÁ, R., Z. FREITINGER SKALICKÁ, J. HAVRÁNEK, D. NOVOTNÁ a F. ZÖLZER, 2016. Effective doses of employees at the former uranium processing plant MAPE Mydlovary, Czechoslovakia. *Radiation Protection Dosimetry*. Oxford Univerzity Press, **2016**(7), 1-7. DOI: 10.1093.

ICRP, International Commising on Radiological Protection, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. Ann. ICRP 40. *Elsevier*. Oxford, **115**(40).

KAFKA, ed. et al 2003. *Rudné a uranové hornictví České republiky*. Ostrava: Anagram. ISBN 80-863-3167-9.

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

LENG, S., M. A. PICCHI, Y. LIU, et al. 2013. Genetic variation in SIRT1 affects susceptibility of lung squamous cell carcinomas in former uranium miners from the Colorado plateau. *Carcinogenesis*. Oxford: Oxford University Press, **34**(5), 1044–1050. DOI: 10.1093.

NAKLÁDAL, Z. NAKLÁDALOVÁ, M., KOLLÁROVÁ, H., et al. Rizikové faktory rakoviny plic v pracovním prostředí. Vojenské zdravotnické listy, 2007, Roč. 76, č. 5, s. 169-175. ISSN: 0372-7025.

TOMASEK, L., J. HULKA, P. RULIK, H. MALA, I. MALATGIVA a V. BECKOVA, 2012. Estimates of effective doses among Czech uranium miners. *The New Uranium Minin Boom*. Heidelberg: Springer Verlag Heidelberg, 51-55.

OŠŤÁDAL, O., Ohlédnutí a memento v souvislosti s etiopatogenezí rakoviny plic z radioaktivních látek. Pracovní lékařství, 2009, roč. 61, č. 4, s. 188-189. ISSN: 0032-6291.

OTAHAL, P., BURIAN, I, NASIR, M. M., GREGOR, Z., Radon contribution to the total effective dose of uranium miners. Radiation protection dosimetry, 2014, roč. 160, č. 1-3, s. 117-9. ISSN: 0144-8420.

PELCLOVÁ, D., P. BRHEL, Z. FELCLOVÁ a M. NAKLÁDALOVÁ. 2014. *Nemoci z povolání a intoxikace*. 3., dopl. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 9788024625973.

RAGE, E., S. CAËR-LORHO, D. DRUBAY, S. ANCELET, P. LAROCHE a D. LAURIER. 2015. Mortality analyses in the updated French cohort of uranium miners (1946–2007). *Int Arch Occup Environ Health*. Berlin: Springer-Verlag, (88), 717–730. DOI: 10.1007. ISSN 420-014-0998-6.

ROSCOE, R. J., J. A. DEDDENS, A. SALVAN a T. M. SCHNORR. 1995. Mortality among Navajo Uranium Miners. *American Journal of Public Health*. **85**(4), 535-540.

SEIDEL, A., P. SEIDEL, O. MANUWALD a O. HERBARTH. 2015. Modified Nucleosides as Biomarkers for Early Cancer Diagnose in Exposed Populations. *Environmental Toxicology*. Wiley Periodicals, **2014**(30), -. DOI: 10.1002/tox.

ŠVÁBOVÁ, K. 2015. *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství: Fyzikální faktory v pracovním prostředí, návykové látky*. 1. Praha 10: Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví.

ŠVEC, J. 2005. *Radioaktivita a ionizující záření: doplňující učební text pro předměty Bakalářská fyzika, Aplikovaná fyzika, Ochrana před zářením*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 80-866-3462-0.

TĚŠÍNSKÁ, E. Epidemiological studies of lung carcinoma incidence in uranium miners (accumulation and retrospective use of diagnostic data). Prague medical report, 2009, roč. 110, č. 2, s. 165-172. ISSN: 1214-6994.

TOMASEK, L., DARBY, S. C., SWERDLOW, A. J., et al. Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. The lancet, 1993, Roč. 341, č. 8850, s. 919-923. ISSN: 0140-6736.

WALSH, L., B. GROSCHE, M. SCHNELZER, A. TSCHENSE, M. SOGL a M. KREUZER. 2014. A review of the results from the German Wismut uraniumminers cohort. *Radiation Protection Dosimetry (2015)*. Neuherberg: Federal Office for Radiation Protection, **164**(1-2), 147–153. DOI: 10.1093.

7.2 Elektronické zdroje

Lokalita Příbram na mapě. 2017. In: *DIAMO, státní podnik Stráž pod Ralskem* [online]. Stráž pod Ralskem: DIAMO [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: http://www.diamo.cz/images/static/mapy-turista/uran/MapaPribram.jpg

Nové atomové právo, 2017. *SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: FormaX Design [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/

Příbram. 2017. *DIAMO, státní podnik Stráž pod Ralskem* [online]. Stráž pod Ralskem: DIAMO [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: http://www.diamo.cz/pribram-uran

ROSINA, J., H. KOLÁŘOVÁ a J. STANEK. 2006. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů* [online]. Praha: Grada [cit. 2017-02-07]. ISBN 978-80-247-1383-0. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=XZGg9qKgm0QC&oi=fnd&pg=PA57&dq=Akutn%C3%AD+nemoc+z+oz%C3%A1%C5%99en%C3%AD&ots=GqSr0wVHZt&sig=JgUo3DTJdVT-1EKMWIUWHya84FQ&redir_esc=y#v=onepage&q=Akutn%C3%AD%20nemoc%20z%20oz%C3%A1%C5%99en%C3%AD&f=false

SINGH, V. P., N.M. BADIGER a Hector Rene VEGA-CARRILLO. 2015. Neutron kerma factors and water equivalence of some tissue substitutes. *Applied Radiation and Isotopes*. **2015**(103), 115-119. DOI: 10.1016/j.apradiso.2015.05.014. ISSN 09698043. Dostupné také z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969804315300336

SÚJB. 2017a. Úvod. In: *SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: FormaX Design [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/

SÚJB. 2017b. Zákony v kompetenci SÚJB. *SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: FormaX Design [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/legislativa/zakony/

SÚRO, V. V. I., 2017a. Biologické účinky ionizujícího záření. In: *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Praha: Portál Plone [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni

SÚRO, v. v. i. 2017b. Legislativa. In: *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Praha: Portál Plone [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/legislativa

SÚRO, v. v. i. 2017c. Odborná činnost ústavu. In: *Státní ústav radiační ochrany, v. v. i.* [online]. Praha: Portál Plone [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/suro/odborna-cinnost-ustavu

ULLMAN, V., ©a. 1.6. Ionizující záření: Záření - důležitý přírodní fenomén. In: *Astro Nukl Fyzika: - jaderná fyzika - astrofyzika - kosmologie - filosofie* - [online]. Ostrava-Poruba [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm

ULLMANN, V., ©b. PAPRSKY ŽIVOTA I SMRTI. *Astrofyzika* [online]. Ostrava-Poruba [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/PaprskyZivotaSmrti.htm

UNEP, 2016. Ionizující záření: Účinky a Zdroje. In: *Program OSN pro ochranu životního prostředí* [online]. Česká Republika: Program OSN pro ochranu životního prostředí, 1 - 68 [cit. 2017-03-28]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation_Czech_27_Dec_2016_Web.pdf

Vyhláška o požadavcích na zajištění radiační ochrany. 2016. In: *Profesní informační systém ČKAIT* [online]. Příloha č. 5 vyhlášky č. 184/1997 Sb.: Profesis [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: http://www.profesis.cz/parser/go/76694d514d666d6f32554d434b382f6356514f746d494f6f75796a4e4541734b6d7a64396531646d5a4f574e3637486570457049536f6452335170346458527a36583070456d6b74753552390a2f6f2f56745741314a413d3d

Vyhlášky SÚJB. 2017. *SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha: FormaX Design [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/legislativa/provadeci-pravni-predpisy/vyhlasky-sujb/

Vznik a vývoj SÚJB, 2017. In: *SÚJB: Státní úřad pro jadernou* [online]. Praha: FormaX Design [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/o-sujb/15-let-sujb/vznik-a-vyvoj-sujb/

7.3 Akademické práce

BARAN, Petr. 2007. *FYZIKÁLNÍ A BIOLOGICKÁ DOZIMETRIE URANOVÝCH HORNÍKŮ*. České Budějovice. Bakalářská. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Vedoucí práce Friedo Zölzer.

FUKA, Stanislav. 2016. *Historie těžby uranu se zaměřením na 21. století Vypracoval: Stanislav Fuka Vedoucí práce: prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzer, DSc. České Budějovice*. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Friedo Zölzer.

NOVOTNÁ, Dana. 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 Friedo Zölzer.

ONYSKO, Radek. 2015. *Dopady těžby uranu na Příbramsku*. Olomouc. Bakalářská práce. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA KATEDRA GEOLOGIE. Vedoucí práce Petr Sulovský.

SASKOVÁ, Klára. 2011. *Historie dolování uranového ložiska Příbram*. České Budějovice. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH, PEDAGOGICKÁ FAKULTA, KATEDRA BIOLOGIE. Vedoucí práce Václav Pavlíček.

7.4 Legislativní dokumenty

ČESKÁ REPUBLIKA, Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, 2016. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, p. o., ročník 2016, částka 172, číslo 422. Dostupné také z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/sb0172-2016.pdf

ČESKÁ REPUBLIKA, Zákon 263 Sb.: Atomový zákon, 2016. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, p. o., ročník 2016, částka 102, číslo 263. Dostupné také z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/263-2016.pdf

8 Seznam příloh a obrázků

Obrázek 1 Uranový revír Příbram

Obrázek 2 Tkáňové váhové faktory

Obrázek 3 Schematické znázornění významných procesů při účincích ionizujícího záření na živou tkáň

Obrázek 4 Dozimetrický list č. 7346

Obrázek 5 Grafické znázornění rozdělení pracovníků

Obrázek 6 Závislost osobní dávky gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Obrázek 7 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Obrázek 8 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u všech zaměstnanců

Obrázek 9 Závislost osobní dávka gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Obrázek 10 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Obrázek 11 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u lamačů

Obrázek 12 Závislost osobní dávka gama záření (mGy) na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Obrázek 13 Závislost dávky z dlouhodobých zářičů α na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Obrázek 14 Závislost dávky z dceřiných produktů radonu na počtu odpracovaných měsíců u ostatních zaměstnanců

Obrázek 15 Změna počtu zaměstnanců jednotlivé roky

Obrázek 16 Změna průměrné osobní dávky gama záření za jednotlivé roky

Obrázek 17 Změna průměrné dávky z dlouhodobých zářičů α za jednotlivé roky

Obrázek 18 Změna průměrné dávky z dceřiných produktů radonu za jednotlivé roky

Obrázek 19 Změna efektivní dávky (podle daných standardů) za jednotlivé roky

Obrázek 20 Změna efektivní dávky (podle nových výpočtů) za jednotlivé roky

Tabulka 1 Dozimetrický list č. 6293 část 1

Tabulka 2 Dozimetrický list č. 6293 část 2

Tabulka 3 Rok 1991 část 1

Tabulka 4 Rok 1992 část 2

Tabulka 5 z Okrouhlé Radouně od státního podniku DIAMO

Tabulka 6 Celkové dávky u všech zaměstnanců část 1

Tabulka 7 Celkové dávky u všech zaměstnanců část 2

Tabulka 8 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u všech zaměstnanců

Tabulka 9 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u všech zaměstnanců

Tabulka 10 Celkové dávky u lamačů část 1

Tabulka 11 Celkové dávky u lamačů část 2

Tabulka 12 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u lamačů

Tabulka 13 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u lamačů

Tabulka 14 Celkové dávky u ostatních zaměstnanců část 1

Tabulka 15 Celkové dávky u ostatních zaměstnanců část 2

Tabulka 16 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření (AP), směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u ostatních zaměstnanců dolu

Tabulka 17 Průměrné efektivní dávky, směrodatné odchylky (Sx), maxima a minima u ostatních zaměstnanců dolu

Tabulka 18 Průměrné měsíční dávky z jednotlivých zdrojů záření za jednotlivé roky

Tabulka 19 Efektivní dávky jednotlivé roky podle daných standardů a nových výpočtů

Tabulka 20 Procentuální zastoupení jednotlivých složek průměrné efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

Tabulka 21 procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech na Příbramsku

Tabulka 22 Průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

Tabulka 23 Procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle daných standardů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

Tabulka 24 Průměrné dávky z jednotlivých zdrojů záření a efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

Tabulka 25 Procentuální zastoupení průměrné efektivní dávky (podle nových výpočtů) u pracovníků v uranových dolech v Okrouhlé Radouni

Tabulka 26 Souhrnná tabulka podle daných standardů

Tabulka 27 Souhrnná tabulka podle nových výpočtů

9 Seznam zkratek

CNS – centrální nervový systém

d.p.r. – dceřiné produkty radonu

IZ – ionizující záření

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany

SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost

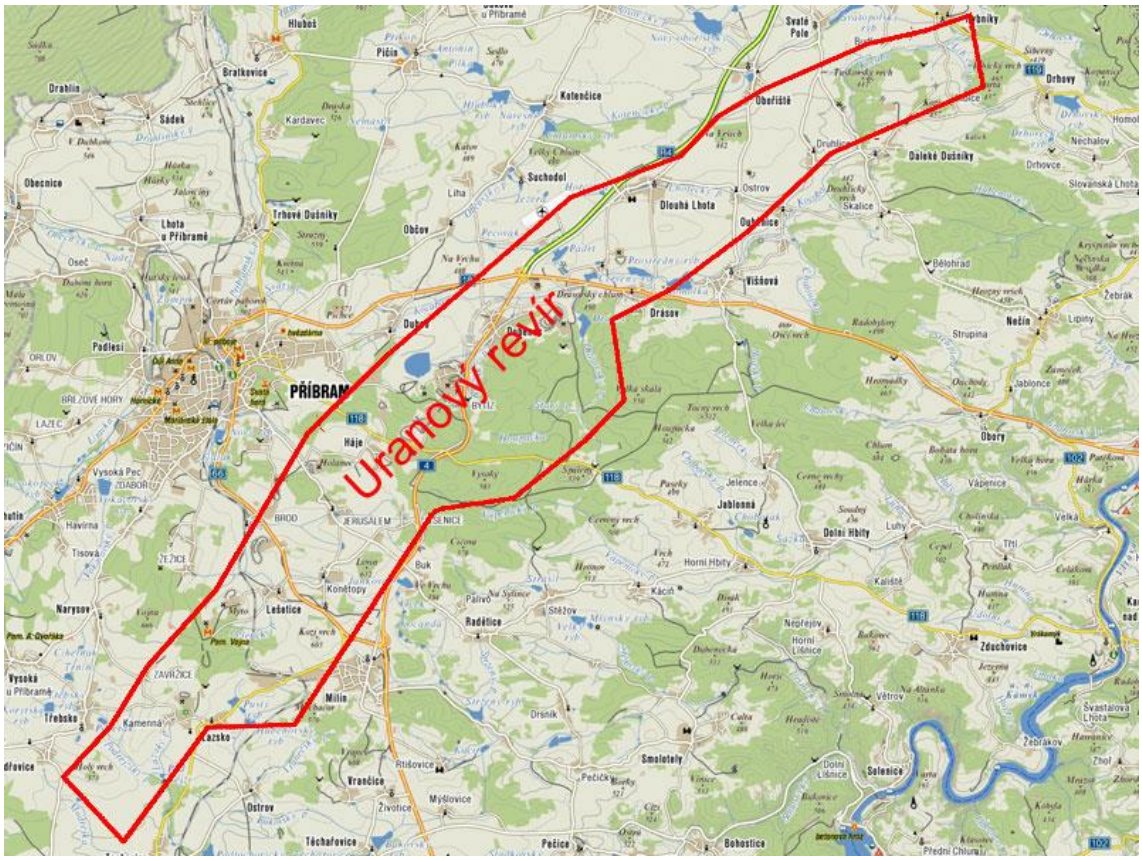
ICRP – International Commission on Radiological Protection

AP – aritmetický průměr

Sx – směrodatná odchylka

THP - technickohospodářský pracovník

Přílohy



Obrázek 1 Uranový revír Příbram

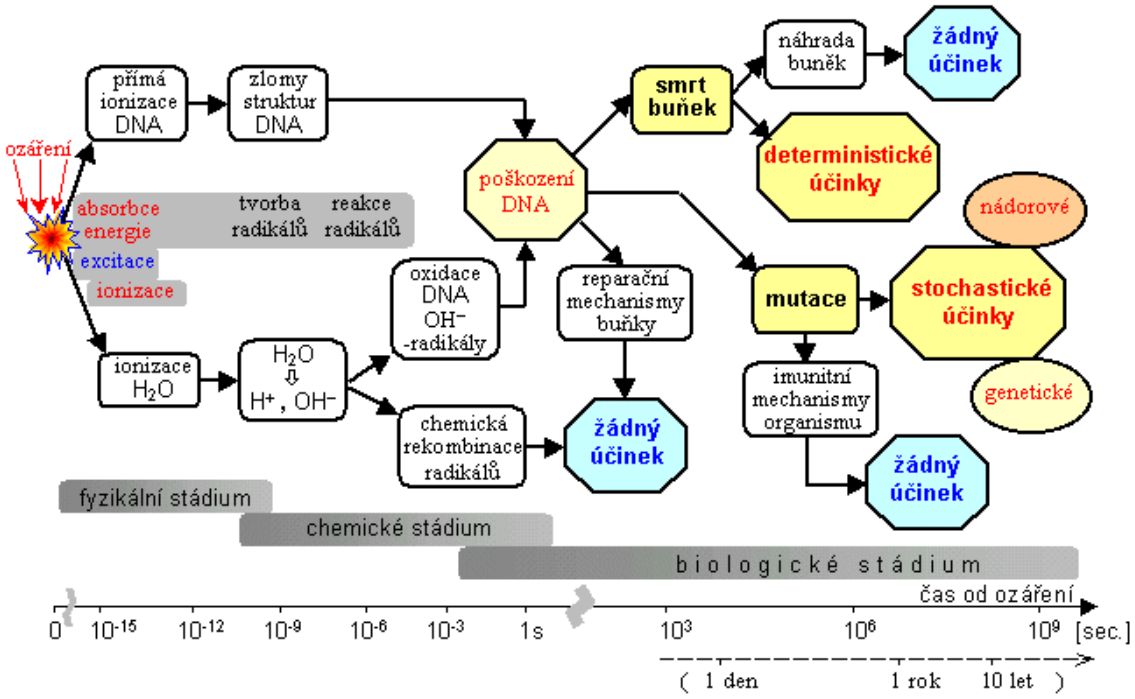
Zdroj: Lokalita Příbram na mapě, 2017

Typ záření a příp. energie	Radiační váhový faktor w_R
fotony	1
elektrony, miony	1
neutrony, méně než 10 keV	5
neutrony, 10keV až 100 keV	10
neutrony, 100 keV až 2 MeV	20
neutrony, 2 MeV až 20 MeV	10
neutrony, více než 20 MeV	5
protony, více než 2 MeV, (mimo odražené)	5
částice alfa, těžká jádra, štěpné fragmenty	20

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

Obrázek 2 Tkáňové váhové faktory

Zdroj: Vyhláška o požadavcích na zajištění radiační ochrany, 2016



Obrázek 3 Schematické znázornění významných procesů při účincích ionizujícího záření na živou tkáň

Zdroj: (Ullmann, ©b)