



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

**Radiační zátěž zaměstnanců v Radonových lázních
Jáchymov**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ**

Autor: Eliška Straková

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

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem práce „Radiální zátěž zaměstnanců v Radonových lázních Jáchymov“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich 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 kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 2. května 2017

.....

(jméno a příjmení)

Poděkování

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce panu profesorovi Dr. rer. nat. Friedo Zölzerovi, DSc. za odborné vedení a rady, které mi poskytl. Poděkování také patří paní Ing. Evě Zemanové, Ph.D. ze Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v Českých Budějovicích za ochotu při poskytování dat a dalších potřebných informací.

Radiační zátěž zaměstnanců v Radonových lázních Jáchymov

Abstrakt

Jáchymovské radonové lázně, kterými se zabývá tato bakalářská práce, využívají, kromě klasických lázeňských metod a balneologických postupů, léčbu radonovou vodou. Hlavním cílem této práce je seznámit se s lázněmi a empiricky zhodnotit radiační zátěž zaměstnanců.

V teoretické části formuluji (teoretická východiska) základní pojmy, na jejichž podstatě stojí problematika této práce. Dále se věnuji historii lázeňského komplexu, původu léčebných zdrojů a jejich využitím. Jako součást uvádím onemocnění, která jsou indikována k tomuto typu léčby a objasňuji principy a účinky na základě doložitelných výzkumů z literárních zdrojů. Jelikož je práce zaměřena na radiační zátěž, zabývám se v dalších kapitolách radiační ochranou a monitorováním dávek personálu přítomného v lázních.

Praktická část je zaměřena na empirický kvantitativní výzkum, jehož cílem je statistické zpracování dat pro možnost sledování vývoje. Hlavní myšlenkou je zpracování radiační zátěže zaměstnanců v časovém horizontu 26 let, v letech 1991 - 2016. Dále zhodnocení vývoje se závěrečným rámcovým porovnáním zpracovaných výsledků s lázněmi využívající léčbu radonovou vodou v zahraničí a zaměstnanci uranových dolů.

Statistické zpracování vypovídá, že vývoj obdržených dávek je periodicky kolísavý. Byla zjištěna průměrná hodnota efektivní dávky u všech zaměstnanců 2,39 mSv s nejvyšší možnou obdrženou roční osobní dávkou 10,23 mSv. U roční ekvivalentní dávky na kůži byla průměrná hodnota 1,70 mSv. I přesto, že hodnoty dávek se pohybují poměrně vysoko, nelze říci, že by zaměstnanci radonových lázní překročili stanovené limity radiační ochrany.

Klíčová slova

Radon. Radonové Lázně. Ionizující záření. Radiační zátěž. Dozimetrie.

The radiation exposure of employees in Radon spa Jáchymov

Abstrakt

Jáchymov radon spa, which is the subject of this bachelor thesis, uses, besides classic spa methods and balneological procedures, the radon water treatment. The main goal of this thesis is to get familiarised with the spa and empirically evaluate radiation exposure of spa employees.

In the theoretical part, I define (theoretical basis) basic concepts, on which the problematics of this thesis is based. In another part I deal with the history of the spa complex, origin of therapeutic sources and their utilization. Also, as a part of this thesis, I mention illnesses, indicated for this type of treatment and clarify principles and effects on the basis of documentable research from literary sources. Because the thesis is focused on radiation exposure, in other chapters I deal with radiation protection and monitoring of doses (of radiation) of staff present in the spa.

Practical part is focused on empirical quantitative research, aiming at statistical processing of data for development monitoring. The main idea is to process radiation exposure of employees in the timeframe of 26 years, between years 1991 - 2016. Furthermore to evaluate the development with closing general comparison of the processed results between spas, utilising radon water treatment and employees of uranium mines.

Statistical processing shows that development of received doses is periodically fluctuating. The average value of effective dose was found to be 2,39 mSv in all employees with the highest possible received dose of 10,23 mSv per year. In case of equivalent dose to the skin was the average value 1,70 mSv per year. Despite the dose values being fairly high, it can not be said that radon spa employees exceed limits of radiation protection.

Keywords

Radon. Radon Spa. Ionizing radiation. Radiation exposure. Dosimetry.

Obsah

Úvod	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Vymezení základních pojmů	9
1.1.1 Radioaktivita	9
1.1.2 Ionizující záření	9
1.1.3 Fyzikální veličina a jednotky	10
1.1.4 Radon	11
1.1.5 Profesní ozáření	12
1.1.6 Balneologie	12
1.2 Historie Jáchymovských lázní	13
1.2.1 Zdroje radonové vody	15
1.2.2 Indikace lázeňské léčby radonovou vodou	16
1.2.3 Balneologická léčba radonovou vodou	17
1.2.4 Účinky radonové koupele	20
1.2.5 Další léčebné modalilty	22
1.3 Radiační ochrana	23
1.3.1 Legislativa	25
1.3.2 Radiační ochrana v Jáchymovských lázních	25
1.3.3 Dozimetrie	26
1.3.4 Monitorování radiační zátěže	29
1.4 Lázeňské komplexy v zahraničí	31
2 PRAKTICKÁ ČÁST (Výzkumná otázka a metodika výzkumu)	32
2.1 Formulace hlavního cíle a dílčích cílů výzkumu	32
2.2 Formulace výzkumných otázek	32
2.3 Vymezení výzkumné metodiky a techniky	32
3 VÝSLEDKY	37
3.1 Výsledky z ročních dozimetrických listů	37
3.2 Výsledky z osobních dozimetrických listů	46
4 DISKUZE	50
5 ZÁVĚR	53
6 SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55
7 SEZNAM TABULEK	59

8	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	62

Úvod

Historický vývoj ve všech oborech je jako řetězová reakce. Jeden objev dává základy dalším a dalším objevům. Stejně tak to bylo i u objevu radioaktivity v roce 1896 ve Francii. Dva roky poté Marie Curie-Sklodovská se svým manželem objevila radioaktivní prvky pocházející z Krušných hor, ve kterých nalezneme jedinečné přírodní bohatství.

Nejnovější poznatky se spojily s již sto let zaplavenými stříbrnými doly v malém městečku Jáchymov, a tak se zrodila obrovská senzace, která přilákala odbornou i laickou veřejnost. Řeč je o Radonových lázních Jáchymov, prvních lázních světa svého druhu, využívající otevřený zdroj ionizujícího záření – radonovou vodu. S postupem času a využíváním jiných medicínsky hodnotnějších léčebných modalit, lze dnes tento dřívější trend zařadit až jako poslední volbu.

Radon jako zdroj radioaktivity nás zde zajímá zejména z hlediska radiobiologie a radiační ochrany. Slyší-li lidé slovo radioaktivita a ionizující záření, jsou zděšeni z medializovanými zprávami o haváriích v jaderné elektrárně Fukušima nebo přežívající historickou událostí v Černobylu. Zaměstnanci radonových lázní pracují v kontrolovaném pásmu přímo se zdrojem radioaktivity. Provoz pracoviště je certifikován Státním úřadem pro jadernou bezpečnost, který pravidelnými kontrolami zajišťuje jejich bezpečnost, stejně tak činí i interní dozimetrická laboratoř. I přesto by se dalo spekulovat o tom, zda dávky záření nejsou příliš velké a nepřekračují tak povolenou roční hranici. Cílem práce je zmapovat vývoj těchto hodnot jednotlivých zaměstnanců od roku 1991 do roku 2016. Dále zhodnotit rozmezí pohybu profesních dávek a porovnat je s literárními zdroji pocházející ze zahraničních pracovišť. V závěru též poukázat na fakt, že ionizující záření v rukách profesionálů v rámci diagnostických a léčebných metod, neohrožuje zdraví člověka, spíše naopak je mu ku prospěchu.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Vymezení základních pojmů

1.1.1 Radioaktivita

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilního jádra atomů určitého prvku na jádra jiného – stabilního nebo nestabilního, prvku za současné emise vysokoenergetického záření (Hrazdára a Mornstein, 2001, s. 13; Zölzer, 2007, s. 2). Tento jev byl objeven v roce 1896 Henrim Becquerelem, ačkoli se s pojmem „radioaktivita“ setkáváme až o 2 roky později. Prvky mající schopnost této přeměny nazýváme radionuklidy a jejich charakterizující veličinou je tzv. aktivita, kterou J. Šeda a kol. (1983, s. 68) definuje jako: „počet radioaktivních přeměn v radioaktivním materiálu, vztažený na jednotku času.“

Radioaktivita může být dvojího typu, podle původu rozpadajících se prvků. Jedná-li se o přirozenou radioaktivitu, přeměňují se těžká atomová jádra přírodních prvků, např. Uran 235. Naopak umělá radioaktivita spočívá v rozpadu uměle připravených radioaktivních prvků v jaderném reaktoru nebo urychlovači. (Hrazdára a Mornstein, 2001, s. 13; Straka, 1995, s. 22)

V této práci se setkáme s oběma druhy radioaktivity, jelikož, jak se dozvíme v následujících kapitolách, příprava daného lékařského ozáření se může na každém pracovišti lišit.

1.1.2 Ionizující záření

Jak již bylo zmíněno, hlavním rysem radioaktivity je emise záření o vysoké energii, které představuje proud hmotných částic nebo fotonů. Částice mají schopnost ionizovat atomy prostředí, tj. vyvolat tvorbu elektricky nabitých iontů nebo excitovat jejich jádra, tj. zvýšit energii jednotlivých elektronů v atomovém obalu. (Hála, 1998, s. 103; Hrazdára a Mornstein, 2001, s. 13)

Druhy ionizujícího záření:

- Záření alfa – emise kladně nabitých částic α představovaných jádry helia s velmi krátkou vlnovou délkou mající vysokou schopnost ionizace, lze ho odstínit i listem papíru;
- Záření beta – emise záporně nabitých částic, tj. elektronů se střední vlnovou délkou, které lze odstínit plexisklem či hliníkem;

- Záření gama – elektromagnetické záření představované vysokoenergetickým kvantem fotonů, odstítnelné těžkými prvky vzhledem k vysoké energii fotonů. (Hrazdára a Mornstein, 2001, s. 14-15; Zölzer, 2007, s. 2)

1.1.3 Fyzikální veličina a jednotky

Abychom se později mohli zabývat hlavním tématem této práce, je nutné objasnit několik pojmů týkajících se fyzikálních veličin a jednotek, které popisují jak zdroje ionizujícího záření, tak jejich využití v dozimetrii a radiační ochraně.

Mezi prvotní veličinu patří tzv. **aktivita**, která udává počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotkou je Bq (Becquerel). (Radiobiologie, ©2017) V této práci se setkáme s jednotkou Bq/l, tedy aktivita v jednom litru vody.

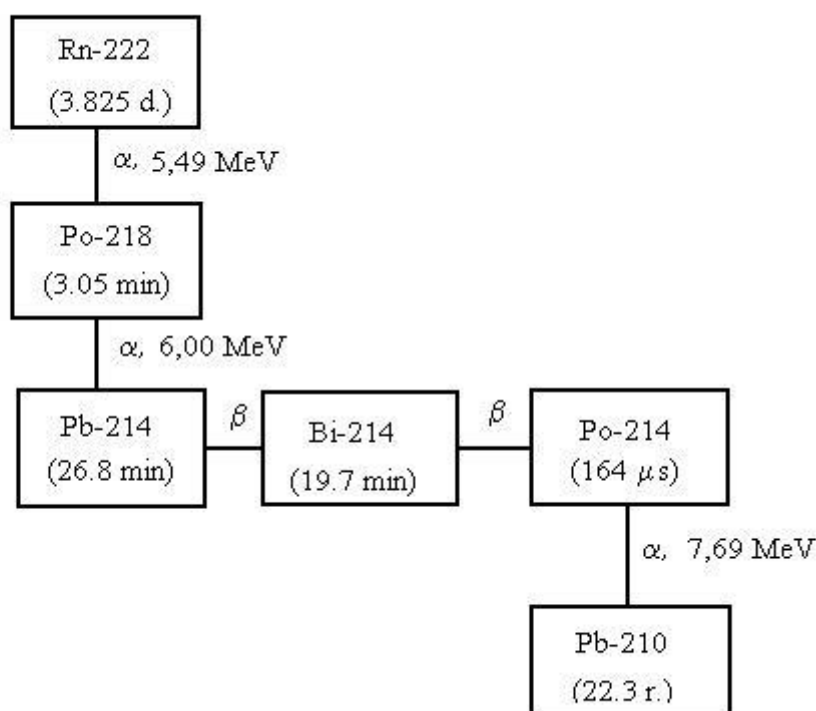
Částice představující ionizující záření jsou energeticky ohodnoceny. Hodnota energie, kterou přijme prostředí o určité hmotnosti ze záření je vyjádřena veličinou **absorbovaná dávka** o jednotce Gy (Grey), s fyzikálním rozměrem $[J \cdot kg^{-1}]$. (Hrazdára a Mornstein, 2001, s. 27)

Jelikož hodnota absorpce nám nesděluje, jaké množství energie bylo určitým typem záření přeneseno, byla zavedena tzv. **ekvivalentní dávka** s fyzikální jednotkou Sv (Sievert). Tato hodnota nám na základě radiačního faktoru tkáně určuje jednotlivé stupně biologického rizika způsobeného daným typem ionizujícím zářením. Hodnoty stanovené mezinárodní komisí pro ochranu před IZ se pro jednotlivé tkáně a orgány liší v rozmezí od 1 do 20. (Hála, 1998, s. 144)

Stejně jako tabulkové hodnoty se liší také radiosenzitivita orgánů a tkání. Abychom tuto skutečnost mohli diferencovat na základě pravděpodobnosti vzniku radiobiologických účinků, a to hlavně indukci nádorů, zavádíme veličinu **efektivní dávka**. Jedná se o součet všech ekvivalentních dávek vynásobený bezrozměrnou hodnotou tkáňového váhového faktoru, jež je schopen vyjádřit míru radiačního rizika pro různé orgány a tkáně. Celkem se všechny váhové faktory musí rovnat 1. Jednotkou efektivní dávky je též Sv. (Hála, 1998, s. 144)

1.1.4 Radon

Chemický prvek s označením Rn skrývá pod svojí zkratkou radioaktivní látku řazenou do skupiny vzácných plynů. V periodické tabulce chemických prvků se nachází v 6. periodě v 18. skupině. Jak již bylo uvedeno, přednostní vlastností tohoto prvku je radioaktivita. Tento inertní plyn je bez barvy, chuti a zápachu, dále pro nás důležitým jevem je jeho velmi dobrá rozpustnost ve vodě. Radon se vyskytuje jako izotop ^{222}Rn (také jako ^{220}Rn a ^{219}Rn v jiném typu rozpadových řad), avšak sám žádný stabilní izotop nevytváří. Původ radonu bude popsán v další kapitole této práce, avšak obecně se jedná o rozpadový produkt radia v rozpadové řadě uranu ^{238}U . Poločas rozpadu pro tento prvek je 3,82 dne a jeho rozpadovými produkty jsou izotopy polonia, olova a bismutu. Při rozpadu je emitováno jednak záření alfa (^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po), které může být jak léčebným zdrojem, tak zdravotním rizikem, např.: vznik rakoviny plic při dlouhodobé inhalaci rozpadových produktů radonu, tak i záření beta (^{214}Pb a ^{214}Bi). (SÚRO Státní úřad pro jadernou bezpečnost v. v. i., ©2017; Daintith, 2008; Periodická soustava prvků, 2009)



Obrázek 1 Rozpadové produkty radonu

Zdroj: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>

1.1.5 Profesní ozáření

„Ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci radiační pracovníci“ (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

Profesní ozáření jak jej známe, bychom nejčastěji hledali u zdravotnických profesí, jako jsou radiologičtí asistenti pracující na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny, a k nim patřící lékaři radiologové. Dalším příkladem jsou zaměstnanci jaderných elektráren nebo osoby zasahující při mimořádných radiačních událostech. Sledováni jsou také zaměstnanci v oboru letectví.

1.1.6 Balneologie

Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů (Jandová, 2014, s. 6) uvádí, že balneologie je: *„nauka o léčení přírodními na určité místo vázanými léčivými zdroji, jejich účincích na lidský organizmus a lázeňských léčebných metodách.“* Dále také uvádí, že jde o: *„souhrn konkrétních léčebných postupů užívaných v místě příslušného přírodního léčivého zdroje pod lékařským vedením za účelem úzdravy či dosažení optima restituce funkcí organismu“* (Jandová, 2014, s. 6).

1.2 *Historie Jáchymovských lázní*

„*Město stříbra, radia a léčivé vody*“ (Hornátová, 2000) – označení malého městečka schovaného v údolí Krušných hor. O významné historii a celosvětovém významu si ve svých počátcích nechává pouze zdát.

Na počátku 16. století říšskoněmecký hrabě Šlik zakládá hornické město Jáchymov, německy Sankt Joachimsthal, město již proslulé svými rozsáhlými nalezišti stříbra. V roce 1520 je Jáchymov povýšen na svobodné horní město, díky ražbě prvních stříbrných mincí tzv. jáchymovských tolarů. (Knop, 2000, s. 64; Léčebné lázně Jáchymov, ©2017)

Za významnými událostmi se posouváme ke konci 19. století. Vše začalo 12. března 1864, kdy v dole Svornost v hloubce 500 m došlo k zaplavení silným pramenem vody o teplotě 28 °C, který zaplavoval důl až po dědičnou štolu Danielovu dalších 35 let, a to i přes pokusy o uzavření betonovou hrází. Ačkoli uranová ruda byla již známa z dob těžby stříbra, neměl nikdo o vlastnostech radioaktivity ani ponětí. (Jáchymovský, 1975, s. 10)

K podstatnému rozvoji došlo v roce 1896, kdy francouzský fyzik Henry Becquerel, přišel do světa s přirozenou radioaktivitou (Křížek, 1988, s. 101).

Bezprostředně poté, roku 1898, francouzští fyzici, manželé Marie Curie-Sklodovská a Pierre Curie, izolovali z tzv. smolince – odpadu uranové rudy, dva nové radioaktivní chemické prvky – radium a polonium. (Jáchymovský, 1975, s. 10) V roce 1903 byla přidělena Marii Curie spolu se svým manželem a zároveň Henrymu Becquerelovi Nobelova cena za fyziku v oblasti radioaktivity. Smolincec, který byl použit pro vědecký výzkum, pocházel z jáchymovských dolů, což umožnilo výrobu radia v Jáchymově v letech 1907 – 1939. (Křížek, 1988, s. 102)

Velké objevy se rychle rozkřikly po celém světě a přilákaly vědce, obchodníky, politiky, ale především lékaře. V centru jejich zájmu stály biologické a léčebné účinky záření. (Lázně Jáchymov, 2011) Již horníci sami přišli na blahodárné účinky vody z uranových dolů, která jim byla úlevou na unavené svaly a klouby, a dokonce uranu samotného, který používali v kožených sáčcích ke kompresi bolavých kloubů. (Draská, 2012, s. 42; Křížek, 1988, s. 101)

Jáchymovské vody v Dole Svornost byly od roku 1905 zkoumány několika fyziky pro ověření výsledků Marie Curie-Sklodowské. Jedním z podílejících se byl i inženýr Štěp, který přispěl také k prvním pokusům léčení radioaktivní vodou. Ve stejném roce byly otevřeny první soukromé lázně čítající 5 kabin s léčebnou vodou, která byla do domů přinášena ve štoudvích. MUDr. Gottlieb byl prvním lázeňským lékařem. Po znovuověření výsledků a dalších pokusech samotné Marie Curie-Sklodowské se v roce 1906 rozmohl trend této specifické léčby, což dalo podnět ke vzniku prvních radioaktivních lázní na světě. (Jáchymovský, 1975, s. 10)

Ještě na přelomu 19. a 20. století byly odhaleny zatopené bývalé stříbrné doly, jejichž prameny se vyznačovaly nebývalou hodnotou radioaktivity. (Knop, 2000, s. 64) První přívody radioaktivní vody z tzv. Štěpových pramenů, byly do budovy zavedeny s rokem 1908 a to z dolu Svornost potrubím, jehož základ byl položen v dědičné štolě Daniel. (Jáchymovský, 1975, s. 10) S rozvojem lázní byl v letech 1910 – 1912 vybudován první lázeňský dům Radium Palace. (Lázně Jáchymov, 2011)

V těchto dobách bylo město také jedním z největších výrobců radia, s čímž souvisí také tzv. druhá epocha města Jáchymova. Rozšiřování uranových dolů probíhalo především pro těžbu uranu, kterou využíval Sovětský svaz k získání jaderné energie a pro výrobu jaderných zbraní. Tento stav trvá až do 60. let po druhé Světové válce, do doby uzavírání těchto dolů. (Kaplan a Pacl, 1993)

Rozmach města jako lázeňského komplexu dala vzniku dalších lázeňských budov a sanatorií – dalším nejznámějším je sanatorium akademika Běhounka, žáka M. Curie-Sklodowské. (Lázně Jáchymov, 2011)

1.2.1 Zdroje radonové vody

Radonové lázně lze dělit podle léčebných zdrojů na lázně s přírodními léčebnými zdroji a lázně se zdroji umělými.

Přírodní zdroje

V jáchymovských lázních je využíváno přírodních radioaktivních pramenů pocházejících z vrtů na 12. patře dolu Svornost v přibližné vzdálenosti 2 km od samotných lázní. Devět původních pramenů bylo uzavřeno pro svoji nízkou aktivitu, tudíž jsou v dnešní době využívány pouze 3 radioaktivní prameny (tabulka 1) a to: pramen Ak. Běhounka, Pramen Curie a pramen C-1. (Lázně Jáchymov, 2011)

Tabulka 1 Koncentrace radonu v jednotlivých pramenech

Pramen	Objemová aktivita v kBq/l
Ak. Běhounek	9,5 – 11
Curie	4,7 – 6,5
C-1	11,5 – 15,5

Zdroj: Lázně Jáchymov, 2011

Při rozboru vody zjistíme, že jsou v ní přítomny stopy iontů Fe, Mg, Li, Zn, Na, K, Ca s obsahem SO₄, HCO₃ a dalších izotopů ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²²⁶Ra.

Teplota pramene přímo u zdroje je 26–34 °C a objem přečerpávané vody je zhruba 400 l/min, přičemž voda je nedříve vedena do základního bazénu a z něj vedena potrubím štolou Curie přímo do jednotlivých lázeňských zařízení. (Lázně Jáchymov, 2011)

Umělé zdroje

Těchto zdrojů se využívá ve vojenském lázeňském ústavu Mariánské Lázně. Jedná se o umělou přísadu lihového roztoku radonu, který se vlévá do připravené lázně o objemové aktivitě 1480 kBq na vanu. Roztok je přibarvován fluoresceinem a jeho koncentrace se určuje v závislosti na rozpadové křivce radonu. (Halík, 1966, str. 60)

1.2.2 Indikace lázeňské léčby radonovou vodou

Průvodní leták pro pacienty vydávan Jáchymovskými lázněmi uvádí následující seznam onemocnění v několika skupinách:

- Nemoci pohybového aparátu
 - Zánětlivé – revmatoidní artritida, psoriatická artritida, Bechtěrevova choroba,
 - Degenerativní – mimokloubní revmatismus, stavy po zánětlivých onemocněních, úrazech a operacích končetinových kloubů a páteře,
 - Systémové – sklerodermie, systémový lupus,
- Nemoci periferního nervového systému – neuralgie, neuritida, kořenové syndromy páteře, chabé obrny, polyneuropatie, úžinové syndromy karpálního tunelu,
- Metabolické poruchy – onemocnění kloubů a nervů při diabetu nebo dně, osteoporóza,
- Nemoci periferních tepen – ateroskleróza periferních cév,
- Nemoci CNS – Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza v časně fázi, dětská mozková obrna, obrna lícního nervu,
- Nemoci kožní – stavy popáleninách a rekonstrukčních výkonech.
(Jáchymovská cesta za zdravím, 2017; Draská, 2014, s. 18)

Léčebná kúra nezahrnuje pouze určitá onemocnění, je také vhodná pro regeneraci těla trpícího jakoukoli disharmonií např.: neurocirkulační slabostí (zahrnuje chladné končetiny, zimomřivost, klimakterický syndrom apod.), úbytkem sil ve vyšším věku, vyčerpaností u náročných povolání nebo regenerací u vrcholových sportovců. (Radon léčivý zdroj z hlubin země, 2001)

Kontraindikace lázeňské léčby radonovou vodou zahrnuje především těhotné ženy, děti a mládež do 18 let věku. Dále také pacienty trpící jakýmkoli akutním onemocněním (infekcí, nestabilní hypertenzí, srdečními či dýchacími obtížemi, nestabilním diabetem nebo neléčenou hypertyreózou). Nevhodná je také léčba u pacientů, kteří jeden až dva roky nazpět podstoupili operaci nebo jinou terapii nádorového onemocnění. (Jáchymovská cesta za zdravím, 2017; Radon léčivý zdroj z hlubin země, 2001)

1.2.3 Balneologická léčba radonovou vodou

Již v předešlé kapitole jsme se dozvěděli, že podstatou léčení radonem je jeho emitované alfa záření, při rozkladu na dceřiné produkty. Balneologie nám definuje efekt působení léčby v lázeňských koupelích. Rozmočením kůže ve vodní lázni je zvýšena schopnost přijímat větší množství látek ve vodě rozpuštěných a tím i aktivitu rozpadu radonu. Absorbované množství z celkové koncentrace přijaté kůží je přibližně 80 %, dalších 20 % je inhalačně přijato do plic. Díky krátké vlnové délce záření proniká do podkoží v řádech milimetrů. (Lázně Jáchymov, 2011)

Terapeutická koupel o teplotě 35–37 °C je časována na 20 min, což odpovídá biologickému rozpadu Rn v těle a jeho přirozenému vyloučení. Z dýchacích cest aktivita utichá za 3 – 4 hodiny. Koncentrace radonu se pohybuje v rozmezí 4,5 – 5,5 kBq/l (5,5 – 7,5 kBq/l). Jedna koupel představuje efektivní dávku 0,18 mSv. Pacient se podrobuje koupeli 6x týdně v rozsahu 10–24 koupelí za celý lázeňský pobyt (Drahská, 2011, s. 46; Drahská, 2012, s. 42; Knop, 2000, s. 64). Celková efektivní dávka je zhruba tedy 2,16 mSv. Ihned po koupeli následuje suchý zábal celého těla na zhruba 15 minut.

Celkovou efektivní dávku z lázeňského pobytu srovnáme s běžně dostupnými zdroji lékařského ozáření jako je rentgenové nebo CT vyšetření, ale také s obdrženou dávkou z přírodního pozadí. V následující tabulce č. 2 můžeme vidět, že diagnostické rentgenové vyšetření většiny základních indikací (končetiny, plíce, lebka, kyčel nebo pánev) nedosahuje ani po zdvojnásobení hodnoty získané z balneologických koupelí. Též by se dalo říci, že dávka 2,18 mSv odpovídá 100 rentgenovým snímkům plic. Naopak CT je názorným příkladem pro srovnání dávek, tj. hodnota efektivní dávky z jednoho CT vyšetření hlavy (2 mSv) je srovnatelná s celkovým pobytem a terapií v Jáchymovském lázeňském komplexu (2,18 mSv). V posledních řádcích této tabulky jsou uvedeny také hodnoty z dávkově náročnějších diagnostických vyšetření (CT břicha a pánve, intervenční výkony), která jsou běžně v nemocničních zařízeních prováděna. Rozhodně můžeme říci, že riziko koupání se v radonové vodě je až 5x nižší než u těchto zmíněných vysokozátěžových vyšetření.

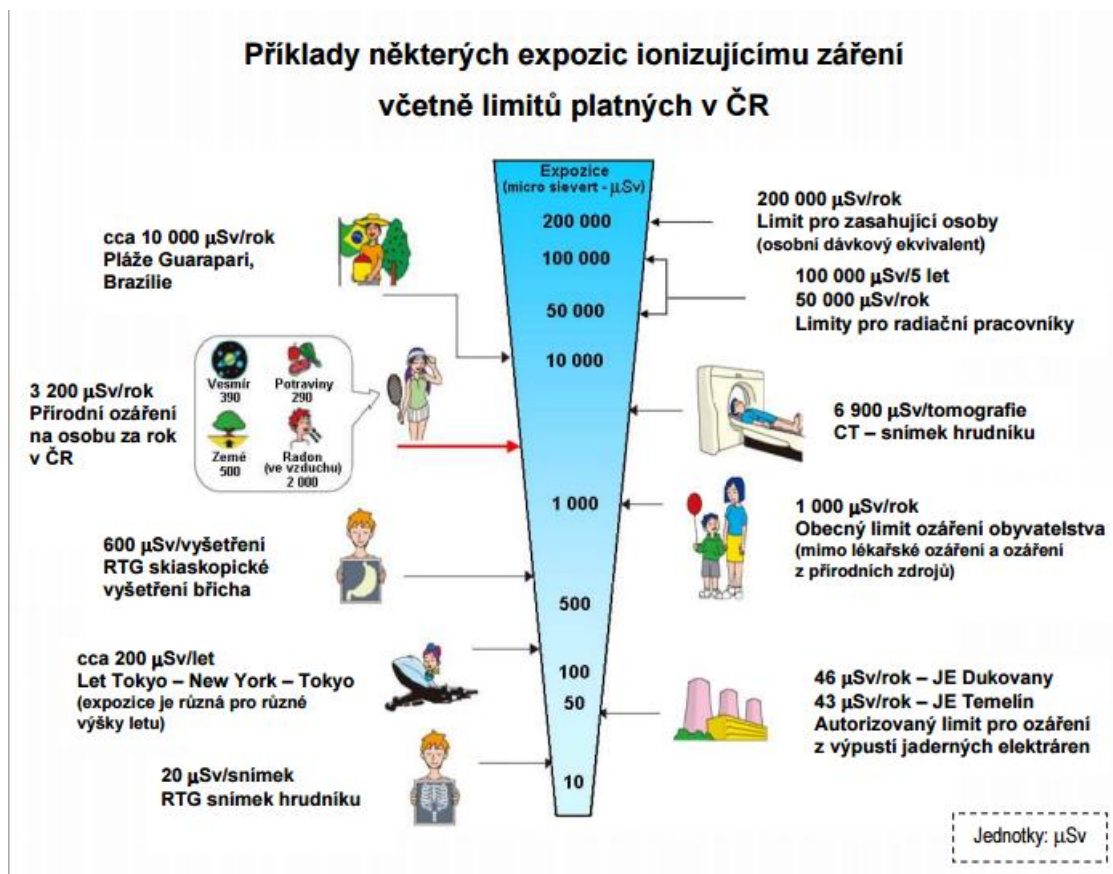
Tabulka 2 Srovnání radiačního rizika rentgenových (RTG) vyšetření

Vyšetření	Ekvivalentní počet snímků plic	Typická hodnota efektivní dávky (mSv)
Nukleární magnetická rezonance, ultrazvuk	0	0
Končetiny	< 0,5	< 0,01
Plíce	1	0,02
Lebka	3	0,06
Kyčel	20	0,4
Hrudná páteř, pánev, břicho	35	0,7
Bederní páteř	50	1
CT hlavy	100	2
Intravenózní urografie	120	2,4
Kontrastní vyšetření zažívacího traktu	75 – 360	1,5 – 7,2
CT hrudníku	400	8
CT břicha, CT pánve	500	10
Intervenční radiologie: PTCA[*], CA^{**}	500 – 5000	10 – 100
Vícefázová CT vyšetření	500 - 5000	10 - 100

^{*}PTCA – perkutánní transluminární koronární angioplastika, ^{**}CA – koronarografie

Zdroj: https://www.suro.cz/cz/lekarske/Indikujici_Lekari.pdf

Abychom měli celkové porovnání a pacienta nevydělali, je na místě srovnat hodnoty také s ozářením z vnějších a vnitřních – přírodních zdrojů, které člověk sám neovlivní. Z obrázku č. 1 lze vyčíst, že hodnota pro přírodní ozáření na osobu za rok v České Republice je průměrně 2,7 mSv za rok (2 700 μ Sv/rok), což je nejméně o polovinu více než ze všech radonových koupelí, přičemž roční limit pro ozáření obyvatelstva je 1 mSv/rok.



Obrázek 2 Informace pro pacienta podstupující rentgenové vyšetření

Zdroj: https://www.suro.cz/cz/lekarske/Informace_pro_pacienty.pdf

Radonová lázeň je základní Jáchymovskou kúrou, aby byl ale účinek pobytu adekvátní, je obohacen klasickou fyzikální terapií, individuální tělesnou výchovou, ale i kolektivním cvičením jak v tělocvičně, tak i v bazénu. Reflexní metodiky, tj. masáž, akupunktura, akupresura, hydroterapie, elektroterapie, laseroterapie a gerontoterapie u starších klientů. (Knop, 2000, s. 4; Draská, 2011, s. 16)

1.2.4 Účinky radonové koupele

Nemoc z ozáření, zbraně hromadného ničení, Černobylská havárie, radioterapeutická léčba rakoviny apod. Medializovaná témata, která veřejnost podporují v negativním smýšlení o účincích ionizujícího záření. Není to však záření, kterými se lázně prezentují. Jsou to tisíce spokojených klientů, kterým tento způsob terapie ulevil od bolesti a dalších problémů způsobených jejich onemocněním, klientů, kteří se po desítky let vracejí. To oni jsou dokladem funkčnosti léčby, kterou ve většině případů nelze prokázat jakýmkoliv měřením. (Radon léčivý zdroj z hlubin země, 2001)

I přesto existují tzv. double-blind studie, které zkoumají účinky radonových koupelí. Double-blind studie je založena na porovnání dvou skupin pacientů, přičemž jedné z nich byl podán lék a druhé placebo.

V našem případě se jedná o pacienty s revmatickými onemocněními kloubů, kteří byli rozděleni do radonové skupiny a kontrolní skupiny. Radonové skupině byly indikovány terapeutické koupele (lék) a kontrolní skupině pouze koupele ve vodě bez příměsi radonu (placebo). Okamžitý analgetický efekt byl vykázán u obou skupin, avšak dlouhodobé analgetické efekty po 2, 3 a 4 měsících byly signifikantní pouze u radonové skupiny pacientů. (Franke et al., 2000; Bálint, 2007) Avšak předchozí dva výsledky vyvrací další studie, ze které v závěru vyplynulo, že rozdíly výsledků z obou skupin pacientů byly statisticky nevýznamné, tj. radonová koupel má stejný účinek jako placebo. (Winklmayr, 2015) I přesto z pro mě dostupných informačních zdrojů vyplývá, že převažují studie vypovídající o prospěšnosti radonových koupelí, neboť závěry další studie mluví jasně o analgetickém účinku po dobu až 9 měsíců od ukončení terapie. (Franke et al., 2013) Lze tedy říci, že je více pacientů, kterým tato metoda ulevila od bolesti, než těch, kteří žádný efekt nezaznamenali.

Záření alfa přijaté do těla ve velmi nízkých dávkách vyvolává tzv. popudový účinek neboli podnět ke vzniku různorodých fyziologických reakcí. Podle literatury lze vysvětlovat dva mechanismy účinku:

- Reflexní mechanismus – který je odpovědí volných nervových vláken v kůži na radiační podráždění částicemi alfa záření,
- Stimulační mechanismus – kdy je účinek založený na vlivu alfa částic na receptorové buňky neuroendokrinního systému. (Lázně Jáchymov, 2011)

Fyziologické reakce zahrnují:

- Zvýšení celkové obranyschopnosti organismu,
- Zvýšení reparační činnosti buněk nárůstem DNA reparačních enzymů, buňky se stávají odolné vůči zvýšeným dávkám záření či jiným noxám,
- Podpora imunity se zvýšením analgetických a antiflogistických látek,
- Prokrvení kostí a kloubů,
- U autoimunitních onemocnění pohybového aparátu je kladně ovlivněna imunitní situace nejen buněčná ale i humorální,
- Antioxidační účinek na organismus v podobě podpory vyloučení chemických látek, kterými jsou např. léčiva, nikotin, saponáty, chemické konzervační látky v potravinách, a to zvýšenou diurézou a produkcí potu tzv. hyperhydrózou, buňky se tak stávají odolné proti karcinogenním látkám. (Draská, 2011, s. 42; Draská, 2014, s. 17; Lázně Jáchymov, 2011)

Mluvíme-li o fyziologických reakcích organismu, které vyvolává koupel v radonové vodě, nesmíme opomenout tzv. radonovou reakci. Nejde o nic jiného, než o klinické projevy radonové koupele: zvýšená bolestivost kloubů, zarudnutí, lehké otoky nad postiženým kloubem, bolesti nad průběhem periferního nervstva, únava s výraznou spavostí a pokles krevního tlaku. Reakce se projevuje po třetí až čtvrté koupeli a utichá po dvou až pěti dnech. (Lázně Jáchymov, 2011)

Příznivé účinky můžeme sledovat v závislosti na stupni onemocnění a délce trvání potíží před započítáním lázeňského pobytu. Po „radonové reakci“ sledujeme zlepšení se zpožděním ještě za doby pobytu, maximálně však čtyři až šest týdnů po ukončení pobytu. Pocitová úleva pacienta trvá v lepších případech i několik let, v těch horších, jedná-li se zejména o chronická onemocnění, účinek přetrvává 8–12 měsíců. Zde je nutné podotknout, že doba, po kterou trvají tyto účinky je stanovována na základě odpozorovaných pacientů a jejich subjektivních pocitů. Jak jsme se již dozvěděli, objektivní studie zatím nevedly k jednoznačným výsledkům.

1.2.5 Další léčebné modalitty

Doplňkovou léčbou, která je hojně využívána i mimo lázeňský komplex, je hloubková rentgenová terapie, která se řadí mezi nenádorovou terapii. Využíváno je RTG záření, jehož dávky jsou velmi malé. Nejčastější indikací jsou ostruhy kosti patní nebo bolesti kloubů. (Lázně Jáchymov, 2011; Léčebné lázně Jáchymov, ©2017)

Další léčebnou modalitou je tzv. brachyradiumterapie, jejíž historie se datuje k roku 1910. Jedná se o typ brachyterapie, využívající se v lázních pro zvýšení účinku radonových koupelí. Terapie spočívá v umístění krabičky na postiženou část těla a následným zavedením radioaktivního zdroje – soli radia tzv. radioforu, řadou technicky bezpečných kroků. Léčebným druhem záření je zde velmi slabá dávka záření gamma na rozdíl od radonových koupelí. Aby nedošlo k lokálnímu poškození kůže, krabička zdroj je od povrchu umístěn v krabičce 2 cm. Aby bylo dosaženo požadovaného účinku, je nutné prodloužit dobu ozáření a to celkem na 6 hodin. (Léčebné lázně Jáchymov, ©2016)

Léčba je indikována pacientům pouze na základě rozhodnutí lékaře a to pro následující obtíže pohybového aparátu: chronické bolesti, bolesti zad a páteře, bolesti velkých kloubů, artrózy a osteoporózy. Prokázána je účinnost v oddálení operativního výkonu totální kloubní endoprotézy, též účinky analgetické a antiagregační. Obecně platné principy účinků se shodují s výše uvedenou léčbou radonovými koupelemi. V případě, že byl pacient již dříve léčen radioterapeuticky, má v těle implantát nebo poškozenou kůži, indikace léčby se vylučuje. Prioritně toto opatření platí i u těhotných žen. (Léčebné lázně Jáchymov, ©2016)

1.3 Radiační ochrana

Souhrn technických a organizačních postupů, který slouží k omezení ozáření osob, k ochraně životního prostředí před ionizujícím zářením a jeho nepříznivými vlivy. (Zákon č. 263/2016 Sb.)

Cílem tohoto fyzikálně technického oboru je vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a omezit vznik stochastických účinků. Deterministické účinky a jejich poškozující následky jsou obecně závislé na dané dávce ionizujícího záření, tj. čím větší dávka, tím větší míra poškození. Projev deterministických účinků má svůj dávkový práh, pod kterým účinek nenastává. Zatímco stochastické účinky nám sdělují v závislosti na dávce pouze pravděpodobnost, se kterou k poškození došlo a pro tuto závislost platí tzv. bezprahový model. Optimalizace radiační ochrany se řídí pravidlem známým pod zkratkou „ALARA“ („as low as reasonably achievable“), v českém významu: dosáhnout dávku tak nízkou, jak je to rozumně dosažitelné, z hlediska sociálního a hospodářského. (Singer, 2015, př. 1)

Radiační ochrana je zavedena všude tam, kde je využíváno, jakýmkoliv způsobem nakládáno se zdroji ionizujícího záření, ale také v místech, ve kterých se vyskytuje radioaktivní pozadí. Mezi hlavní úkoly patří vytvoření bezpečných pracovních podmínek, ochrana technickými prostředky před zdroji IZ, ochrana obyvatelstva a životního prostředí v blízkosti zdrojů IZ, zabránění havarijním situacím a případně jejich efektivní řešení. (Singer, 2015, př. 1)

Regulačním orgánem pro zajištění radiační ochrany v České republice je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále SÚJB) již od roku 1993. Řadí se mezi ústřední orgány státní správy České Republiky. Dle vykonávaných činností je úřad rozdělen do tří úseků: jaderná bezpečnost, radiační ochrana, řízení a technická podpora. (SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost, ©2017)

Základními principy radiační ochrany je na prvním místě **zdůvodnění činnosti**. Je vždy nutné mít oprávněný důvod pro využití zdrojů ionizujícího záření tak, aby riziko bylo vyváženo přínosem, pro který tyto zdroje využíváme. Druhým principem je **limitování ozáření** osob, které jsou mu vystaveny. Všechny hodnoty musí být monitorované, aby nedošlo k překročení dávkových limitů stanovených atomovým zákonem a vyhláškou o radiační ochraně. Dalším důležitým principem je **optimalizace ochrany**, jejíž podstatou je již výše zmíněné pravidlo „ALARA“. Posledním principem jsou důležité kroky vedoucí k **zajištění bezpečnosti zdrojů**.

Je nutné jednak zajistit technickou bezpečnost (funkci) zdroje a jednak mít zdroj pod dohledem, aby nedošlo k nekontrolovanému ozáření, kontaminaci prostředí a zneužití zdroje neoprávněnou osobou. Zdroje musí být evidovány a skladovány dle právních předpisů, k jejich nakládání je nutné profesionálně školený personál a náležitá povolení SÚJB. (Singer, 2015, př. 1; Skácelová, 2008)

Pro snížení radiační zátěže radiačních pracovníků se využívají tři základní fyzikální metody: ochrana vzdáleností, časem a stíněním.

- Ochrana vzdáleností – dávka, respektive dávkový příkon, klesá se čtvercem vzdálenosti. Laicky řečeno, čím dále stojíme od zdroje, tím je dávka záření nižší. Nikdy však nesmíme upřednostnit vlastní ochranu před úrovní kvality vyšetření pacienta;
- Ochrana časem – je samozřejmostí, že čím delší čas strávíme u zdroje, tím větší dávku dostaneme. Pracovníci s otevřenými radionuklidovými zdroji si musí uvědomit, že záření, jak se říká, není vidět ani nebolí, tudíž je nutné dbát na to, aby pracovali svižně a v blízkosti zdroje se nezdržovali příliš dlouho. Celkově tato ochrana vyžaduje i střídání personálu na daném pracovišti;
- Ochrana stíněním – odstínění záření vhodným materiálem, který vlastní záření absorbuje. Ne vždy dojde k úplnému pohlcení, ale tok záření je velice zeslaben. Vhodným materiálem se má na mysli, např. u RTG záření, předmět s vysokou hustotou jako olovo (olověné zástěry a vykrývací bloky), v místnosti pak beton s barytovou omítkou. (Singer, 2015, př. 7)

1.3.1 Legislativa

Radiační ochrana vznikla současně s objevením rentgenového záření. Ne však hned byly nežádoucí účinky záření přikládány právě jemu. Teprve po mnoha popáleninách u exponovaných osob, vzniku nádorů a úmrtích se přistoupilo na myšlenku radiační ochrany, přesněji na doporučení omezující dávku záření, a byly stanoveny první limity. S rozvojem radiobiologie a jejich výzkumů došlo v roce 1921 k přijetí pravidel radiační ochrany týkající se exponovaných osob při práci. O deset let později Mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP) stanovila přesné oficiální limity, které se s postupem dalších let rozšiřovaly.

(SÚRO Státní úřad radiační ochrany, v. v. i., ©2017)

Celkový souhrn pravidel byl vydán v roce 1991 a dal základ pro ustanovení vyhlášky č. 184/1997 Sb., o radiační ochraně, ve znění svých pozdějších předpisů. Tento rok (1. 1. 2017) nabyla účinnosti zcela nová vyhláška č. 422/2016 Sb., vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Kontrolní a licenční činnost v oblasti radiační ochrany provádí v České Republice Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Podpůrnou organizací SÚJB pro vědeckou a odbornou činnost je Státní ústav pro radiační ochranu, v. v. i. (SÚRO)

Též v roce 1997 byl přijat zákon č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon). Dne 1. 1. 2017 vešel v platnost nový zákon č. 263/2016 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, atomový zákon., který byl implementován do českých právních předpisů požadavků evropské Direktivy (EURATOM). (SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost, ©2017)

1.3.2 Radiační ochrana v Jáchymovských lázních

Radiační ochrana musí být zavedena všude, kde se setkáváme s ionizujícím zářením. Jelikož podrobné informace o Radonových lázních nejsou v literatuře dostupné, můžeme se domnívat, že personál v rámci své ochrany používá v otevřených prostorech ochrannou olověnou vestu a řídí se dalšími dvěma obecnými pravidly ochrany před zářením – časem a vzdáleností.

Jediná zmínka, kterou se mi podařilo v rámci ochrany dohledat, udává, že radonová voda přiváděná potrubím ze základního bazénu je do vany určené ke koupeli napouštěna od spodu, a to z toho důvodu, aby radon zbytečně neunikal do ovzduší. S tím souvisí i další ochrana před akumulací radonu v ovzduší a tím je nucené větrání a důmyslný větrací systém lázeňských komplexů. (Halík, 1971)

1.3.3 Dozimetrie

Dozimetrie je fyzikální obor, jehož předmětem zájmu je měření veličin ionizujícího záření. Z hlediska naměřených dávek rozdělujeme pracoviště i pracovníky do několika kategorií.

Pracoviště jsou odstupňována I. – IV. podle stupně ohrožení zdraví a životního prostředí vlivem IZ. Kategorizace je provedena také na základě dalších objektivních faktorů jako například možnost radioaktivní kontaminace pracoviště, vznik radioaktivních odpadů nebo rizika vzniku radiační mimořádné události (nehody). (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Balneoprovozy v Jáchymovských lázních jsou řazeny do II. kategorie.

Na pracovištích se zdroji ionizujícího záření se také stanovuje kontrolované a sledované pásmo. Sledované pásmo se vymezuje v místě, kde se předpokládá vyšší hodnota efektivní dávky než 1 mSv ročně. V tomto typu pásma se provádí pouze monitorování pracoviště. Naproti tomu kontrolované pásmo je vymezeno tam, kde se očekává přesáhnutí efektivní dávky 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávky tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Tato dávka nesmí být překročena, pokud by se tak stalo, pracoviště má povinnost tuto skutečnost nahlásit SÚJB, příslušnému regionálnímu centru. Každé pracoviště musí být náležitě stavebně vymezeno, označeno a formou předložené dokumentace oznámeno SÚJB. Balneoprovozy v Jáchymovských lázních jsou vymezeny jako kontrolované pásmo.

Radiační pracovníci jsou kategorizováni do dvou skupin, a to na základě předpokládaného ozáření za běžného provozu i možnosti vzniku radiační nehody. Pracovníci kategorie A jsou ti, kteří pracují v kontrolovaném pásmu, tj. jejichž dozimetrické měření efektivní dávky by mohlo přesáhnout hodnotu 6 mSv za rok nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. Pracovníci kategorie B jsou všichni ostatní. (Vyhláška č. 422/2016 Sb.) Zaměstnanci v balneoprovozech v Jáchymovských lázních jsou kategorizováni jako pracovníci kat. A.

S radiační zátěží souvisí limity stanovené pro omezení ozáření. Ty jsou rozděleny do 3 skupin – a) obecné limity, b) limity pro radiační pracovníky a c) limity pro žáky a studenty. V našem zájmu je skupina b), pro kterou jsou definovány následující limity:

- a) „pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření **20 mSv** za kalendářní rok nebo hodnota schválena Úřadem podle § 63 odst. 4 atomového zákona, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a současně **50 mSv** v jednom kalendářním roce,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže **500 mSv** za kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy a
- d) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky **500 mSv** za jeden kalendářní rok“ (Vyhláška č. 422/2016 Sb.).

Dávky z vnitřního a zevního ozáření se určují prostřednictvím osobního monitorování radiačního pracovníka, k čemuž slouží tzv. dozimetr, jehož pomocí sledujeme, měříme a hodnotíme osobní dávky. Monitorování musí být ze zákona zajištěno pro radiační pracovníky kategorie A. Pracovníci kategorie B jsou též monitorováni specifickým způsobem, ale v tuto chvíli nejsou předmětem našeho zájmu. Vyhodnocování osobního dozimetru probíhá za jeden kalendářní měsíc. Pracovník je povinen nosit dozimetr na tzv. referenčním místě, které se nachází na přední levé straně hrudníku. Používá-li pracovník při práci ochrannou stínící zástěru, dozimetr umístí na její přední část, nikoli pod ní.

Pracovníci balneoprovozů v Jáchymovských lázních jsou vybaveni jednak osobními filmovými dozimetry, ale také dozimetry prstovými.



Obrázek 3 Filmový dozimetr

Zdroj: <http://www.faktumdesign.cz/portfolio/cz/filmovy-dozimetr>

Filmový dozimetr funguje na principu trvalého záznamu akumulace ionizujícího záření, které dopadá na film. Vzniklý latentní obraz lze vyvolat, čímž získáme optickou hustotu v podobě zčernání. Dozimetr obsahuje sadu filtrů, pod nimiž film různě „zčerná“, a které určují dozimetrické veličiny. Sady filtrů jsou následující: pro záření X prázdné okno, plastový filtr, měděný filtr a olověný filtr s cínem, ten slouží pro detekci gama záření. (Radiobiologie, ©2017)



Obrázek 4 Prstového dozimetru

Zdroj: <http://www.dozimetrie.cz/prstovy-termoluminiscenci-dozimetr>

Prstový dozimetr funguje na principu jevu zvaného termoluminiscence. Obsahuje termoluminiscenční detektor a kompenzační filtr. Záření dopadající na detektor vybudí elektrony do vyššího energetického stavu, čím se detektor v podobě krystalu z anorganické látky zahřeje a jeho atomy následně vyvolají záblesk viditelného světla zachycený fotonásobičem na impulzy uložené v dozimetru. (Radiobiologie, ©2017)

1.3.4 Monitorování radiační zátěže

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, pracovníci v balneoprovozech jsou monitorováni osobními filmovými dozimetry. Filmový dozimetr je určen pro rentgenové záření a pro zevní gama záření.

Jednou za čtvrt roku je prováděn výpočet úvazku efektivní dávky z radonu z průměrné inhalované aktivity. Ten je založen na dlouhodobém měření ekvivalentní objemové aktivity radonu (EOAR) na daných pracovištích. Kromě dlouhodobého měření se v daném čtvrtletí také alespoň jeden týden v kuse opakuje měření EOAR. V úvahu je také brána typická plicní ventilace pracovníků, získaná na základě konzervativního výpočtu např. dle počtu odpracovaných hodin. Výsledná efektivní dávka je součtem hodnoty z filmového dozimetru a úvazkem z radonu. Objemová aktivita radonu se měří na různých monitorovacích místech za podmínek stanovených v Programu monitorování. Dále je také měřena okamžitá hodnota objemové aktivity radonu pomocí filtru, jež se přeměřuje po prosátí daného objemu vzduchu za určený čas. Tato metodika také vychází z Programu monitorování. Okamžitá hodnota se odlišuje od EOAR stanovením okamžité hodnoty, zatímco EOAR vyjadřuje souhrn objemové aktivity v čase. Zdrojem těchto informací je odborná diskuze s inspektorem SÚJB, ve které jsem tuto problematiku konzultovala v rámci své praktické činnosti.

Monitorování a vyhodnocování všech zmíněných veličin provádí Celostátní služba osobní dozimetrie, s. r. o. (SCOD), nyní již Nuvia dosimetry, a vlastní Dozimetrická služba Léčebné lázně Jáchymov, a.s. Dozimetrické listy, které jsem měla k dispozici pro statistické šetření dat, vykazují odchylky v naměřených dávkách ionizujícího záření, které jsou patrné v následujících tabulkách, které zobrazují roční efektivní osobní dávky u vybraného subjektu 1. Tabulky zahrnují roky 2011, 2012 a 2014. Rok 2013 bohužel nebyl k dispozici.

Tabulka 3 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2011

Měsíc	CSOD, s. r. o.	DS Jáchymov, a.s.
Březen	0,09 mSv	0,21 mSv
Červen	0,07 mSv	0,22 mSv
Září	0,41 mSv	0,26 mSv
Prosinec	0,11 mSv	0,27 mSv

Zdroj: Centrální registr ozáření pracovníků, dozimetrický list (SÚJB České Budějovice)

Tabulka 4 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2012

Měsíc	CSOD, s. r. o.	DS Jáchymov, a. s.
Březen	0,19 mSv	0,27 mSv
Červen	0,17 mSv	0,19 mSv
Září	0,00 mSv	0,22 mSv
Prosinec	0,19 mSv	0,21 mSv

Zdroj: Centrální registr ozáření pracovníků, dozimetrický list (SÚJB České Budějovice)

Tabulka 5 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2014

Měsíc	CSOD, s. r. o.	DS Jáchymov, a. s.
Březen	0,20 mSv	0,07 mSv
Červen	0,29 mSv	0,34 mSv
Září	0,21 mSv	0,43 mSv
Prosinec	0,18 mSv	0,12 mSv

Zdroj: Centrální registr ozáření pracovníků, dozimetrický list (SÚJB České Budějovice)

1.4 Lázeňské komplexy v zahraničí

Po vzniku prvních radonových lázní v českém Jáchymově se i ve zbytku světa stalo trendem budování těchto léčebných zařízení a to nejen v Evropě, ale i v Americe. V mém zájmu je zpracovat souhrn několika proběhnuvších výzkumů v odlišných lázních v několika státech, kterými chci porovnat radiační zátěž s Jáchymovskými lázněmi.

Nejprve bych ráda objasnila fakt, že u každého dozimetrického měření byla použita odlišná metodika, která je u mého srovnávání výsledných hodnot zcela zanedbatelná. Výzkumy pocházejí od odlišných vědeckých institucí zdravotnický zaměřených.

Polská studie uvádí analýzy vzduchu s obsahem radonu v 17 lázeňských centrech po celém světě (Polsko, Řecko, Írán, Čína a Indie). Výzkum potvrdil, že 82% zaměstnanců v geotermálních lázních obdrží ročně přes 1 mSv, jak se dalo předpokládat dle kategorizace radiačních pracovníků v Jáchymově. Přesto jsou tito zahraniční pracovníci řazeni do kategorie B. (Walczak et al., 2014)

Závěry Řecké studie provádějící dozimetrické monitorování v termálních lázních na ostrově Lesbos shrnují, že zaměstnanci obdrží velmi minimální dávky záření a osobní hodnota efektivní dávky se nepohybuje výše než 5 mSv za rok. (Vogiannis et al., 2004)

Po srovnání Jáchymovského komplexu s výše zmíněnými výzkumy se zdá, že dozimetrické standardy limitující ozáření pracovníků jsou zcela v normě. Následující příklad výzkumného šetření v lázních ve Španělsku (z roku 1998) však ukazuje pravý opak.

Celkem bylo zkoumáno 54 španělských lázní využívajících léčivou radonovou vodu. Měřen byl radon jak ve vzduchu, tak i ve vodě. Výsledky dozimetrického zkoumání uvádějí, že hodnoty efektivních dávek leží mezi 1 – 44 mSv za rok. Jedná se tudíž o dvojnásobné překročení dávky než jaký stanoví roční limit ozáření pracovníků. Studie upozorňuje, že ve Španělsku nejsou zřízeny normy radiační ochrany pro obdržené hodnoty, a zákonné vedení by je mělo pro ochranu zaměstnanců, kteří jsou denně vystavováni ionizujícímu záření, zřídít. (Soto a Gómez, 1998) Jak je tomu dnes se pravděpodobně z literatury již nedozvíme.

2 PRAKTICKÁ ČÁST (Výzkumná otázka a metodika výzkumu)

2.1 Formulace hlavního cíle a dílčích cílů výzkumu

Hlavním cílem této bakalářské práce zabývající se radiační zátěží personálu pracujícího v Radonových lázních Jáchymov je statistické zpracování dat získaných z lázeňské akciové společnosti, zabývající se diferenciací zaměstnanců Radonových lázní Jáchymov, zpracováním profesní zátěže za posledních 26 let s možností porovnání výsledků v okolních státech.

2.2 Formulace výzkumných otázek

Výzkumná otázka byla položena následujícím způsobem:

V jakém rozmezí se pohybují profesní dávky zaměstnanců v radonových lázních?

2.3 Vymezení výzkumné metodiky a techniky

Základem této práce je analýza dozimetrických dat z Radonových lázní Jáchymov. Získat tato data byl určitý problém. Společně s vedoucím mé bakalářské práce profesorem Dr. rer. nat. Friedo Zölzerem, DSc. jsme se nejprve pokusili přímo kontaktovat pracoviště Radonových lázní. Kontakt se nám sice podařilo navázat, ale společnost slíbená data neposkytla. Na podruhé jsme kontaktovali paní Ing. Evu Zemanovou ze Státního úřadu jaderné bezpečnosti na pobočce v Českých Budějovicích, která nám požadovaná data poskytla v podobně několika typech dozimetrických listů jednotlivých zaměstnanců Radonových lázní. Dávky z dozimetrických listů jsem uspořádala do tabulek, které mi posloužily ke statistickému zpracování a k celkovému vyhodnocení radiační zátěže a jejího dlouholetého vývoje.

Získaná data v podobě dozimetrických listů pocházejí z databáze Státního registru ozáření pracovníků. Následující dva obrázky (obr. 5 a 6) jsou příkladem mého zdroje, a ukazují, že jsem měla možnost čerpat ze dvou zcela odlišných dokumentů.

Datum 01.03.2017 **Centrální registr ozáření pracovníků** Strana 1

108863 Jáchymov Property Management, a.s.
624772 Léčebné lázně Jáchymov a. s.
168 brachyterapie, Vyšetřovací ústav

Osobní dávky
Rok: 2008

Osobní kód	Příjmení, jméno, titul	E [mSv]	Ht [mSv]	EN [mSv]	E50 [mSv]	PD [mSv]	HP10[mSv]
4020653		3.15	2.35				5.60
9183503		5.07	1.50				
3401251		2.04	0.69				
2913862		0.75	0.85				
3732456		2.71	1.47				
1786603		1.07	1.09				
4582662		3.50	3.89				1.33
8100456		4.16	0.75				
Průměrná hodnota:		2.81	1.57				

E (efektivní osobní dávka)
Ht (ekvivalentní dávka na kůži)
E50 (úvazek efektivní dávky)
En (efektivní dávka způsobená neutrony)
PD (prstýnková dozimetrie)
HP10 (Osobní dávkový ekvivalent HP10)

Obrázek 5 Dozimetrický list z roku 2008

Zdroj: Databáze centrálního registru ozáření pracovníků, SÚJB České Budějovice

Centrální registr ozáření pracovníků Strana: 2
Datum: 01.03.2017

Osobní kód: 4020653 Jméno:
Příjmení:
Titul:
Vzdělání: SŠ

Pracoviště: Jáchymov Property Management, a.s.
Léčebné lázně Jáchymov a. s.
brachyterapie, Ústav ion. záření

Platí od: 01.01.1980 Neplatí po: 31.12.2999

Atribut	Hodnota	Platí od	Neplatí po
Typ expozice	Vnější	01.01.1997	31.12.2999
Profese	Z-Lázeňství	01.01.1980	31.12.2999
Druh záření	X, Gama - všechny energie	01.03.1985	31.12.2999
Zdroj záření	Uzavřený zářič	01.01.1991	31.12.2999
Zdroj záření	Otevřený zářič	01.01.1997	31.12.2999
Zdroj záření	Rentgen 120 - 400 keV	01.03.1985	31.12.2999

Dozimetrická data [mSv]:							DS (dozimetrická služba)
Rok	DS	E	Ht	E50	En	PD	
2006		2.34	2.10			4.46	E (efektivní osobní dávka)
2007		4.00	3.70			14.57	Ht (ekvivalentní dávka na kůži)
2008		3.15	2.35			5.60	E50 (úvazek efektivní dávky)
2009	1	2.72	1.99			6.17	En (efektivní dávka způsobená neutrony)
2010	1	2.76	3.04			23.75	PD (prstýnková dozimetrie)
2010	6	0.90					
2011	1	2.02	2.25			7.00	
2011	6	0.96					
2012	1	2.61	2.88			6.99	
2012	6	0.89					
2012	1	0.00				12.00	

Obrázek 6 Dozimetrický list - osobní

Zdroj: Databáze centrálního registru ozáření pracovníků, SÚJB České Budějovice

Na základě získaných dat jsem vytvořila několik typů tabulek. Ty byly konstruovány následujícím způsobem:

Z dostupných dozimetrických listů prvního typu jsem vypsala zaměstnance a uvedla je do prvního svislého sloupečku pod označením např. Subjekt 1. Celkový výzkum čítá 34 zaměstnanců. Do prvního řádku tabulky jsem uvedla jednotlivé ty roky, které jsme pro sledování vývoje radiačních dávek vybrali, tj. 26 let od roku 1991 – 2016. Následující dvě části tabulek slouží jako ilustrační příklad mého postupu.

Tabulka 6 Efektivní dávka v jednotlivých letech

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Subjekt 1	0,03	3,10	2,99	3,57	2,48	2,26	3,51	3,39
Subjekt 2	0,05	2,24	1,61	1,85	1,27	1,82	2,13	2,71
Subjekt 3	0,00	1,53	1,67	1,64	0,96	-	-	-
Subjekt 4	1,66	2,65	1,82	0,18	-	-	-	-
Subjekt 5	0,02	2,45	2,03	3,53	1,70	2,53	2,97	-
Subjekt 6	0,00	0,20	0,00	0,00	1,32	2,25	2,72	2,31
Subjekt 7	0,03	2,81	3,29	3,73	3,16	-	2,91	3,55
Subjekt 8	0,00	1,80	1,67	1,78	0,64	-	-	-
Subjekt 9	0,00	0,20	0,00	0,00	0,93	1,05	1,98	2,31
Subjekt 10	0,00	2,06	2,18	3,77	0,47	-	-	-
Subjekt 11	-	-	-	1,00	1,42	3,03	-	-
Subjekt 12	-	-	-	-	1,76	-	-	-
Subjekt 13	-	-	-	-	1,70	-	-	-
Subjekt 14	-	-	-	-	-	2,54	0,58	-
Subjekt 15	-	-	-	-	-	1,39	0,30	-
Subjekt 16	-	-	-	-	-	1,53	0,20	-
Subjekt 17	-	-	-	-	-	1,90	0,56	-

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 7 Ekvivalentní dávka na kůži v jednotlivých letech

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Subjekt 1	0,03	3,10	2,99	3,57	2,48	2,26	3,51	0,36
Subjekt 2	0,05	2,24	1,61	1,85	1,27	1,82	2,13	3,13
Subjekt 3	0,00	1,53	1,67	1,64	0,96	-	-	-
Subjekt 4	1,66	2,65	1,82	0,18	-	-	-	-
Subjekt 5	0,02	2,45	2,03	3,53	1,70	2,53	2,97	-
Subjekt 6	0,00	0,20	0,00	0,00	1,32	2,25	2,72	1,96
Subjekt 7	0,03	2,81	3,29	3,73	3,16	-	2,91	3,20
Subjekt 8	0,00	1,80	1,67	1,78	0,64	-	-	-
Subjekt 9	0,00	0,20	0,00	0,00	0,93	1,05	1,98	3,42
Subjekt 10	0,00	2,06	2,18	3,77	0,47	-	-	-
Subjekt 11	-	-	-	1,00	1,42	3,03	-	-
Subjekt 12	-	-	-	-	1,76	-	-	-
Subjekt 13	-	-	-	-	1,70	-	-	-
Subjekt 14	-	-	-	-	-	2,54	0,58	-
Subjekt 15	-	-	-	-	-	1,39	0,30	-
Subjekt 16	-	-	-	-	-	1,53	0,20	-
Subjekt 17	-	-	-	-	-	1,81	0,56	-

Zdroj: Vlastní výzkum

Z předchozích dvou typů tabulek jsem zpracovala další dvě tabulky pro ty zaměstnance – subjekty, kteří měli největší počet dat, a to z důvodu přehlednějšího posouzení dávek, které za dané roky obdrželi.

Z druhého typu dozimetrických listů jsem vytvořila tabulky, které se také týkají efektivní dávky a dávky ekvivalentní na kůži, viz ukázka tabulky 8 a 9. Tabulky tentokrát zachycují dávky za každý měsíc v daném roce po časové údobí 10 let, a to u zaměstnanců, kteří byli na pracovišti zaměstnání.

Tabulka 8 Měsíční efektivní dávka v letech

	Subjekt 1	Subjekt 27	Subjekt 25	Subjekt 2
I.06	0,08	-	/	0,05
II.06	0,19	-	/	0,11
III.06	0,26	-	/	1,06
IV.06	0,19	-	/	0,00
V.06	0,13	-	/	0,09
VI.06	0,27	-	/	1,86
VII.06	0,19	-	/	0,05
VIII.06	0,16	-	/	0,00
IX.06	0,31	-	/	1,17
X.06	0,19	-	/	0,00
XI.06	0,12	0,00	/	0,06
XII.06	0,25	0,00	/	1,14
I.07	0,05	0,00	/	0,00

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 9 Měsíční ekvivalentní dávka na kůži

	Subjekt 1	Subjekt 27	Subjekt 25	Subjekt 2
I.06	0,09	-	/	0,06
II.06	0,21	-	/	0,13
III.06	0,18	-	/	0,21
IV.06	0,22	-	/	0,00
V.06	0,15	-	/	0,10
VI.06	0,06	-	/	0,00
VII.06	0,22	-	/	0,06
VIII.06	0,17	-	/	0,00
IX.06	0,34	-	/	0,21
X.06	0,21	-	/	0,05
XI.06	0,14	0,00	/	0,06
XII.06	0,11	0,00	/	0,12
I.07	0,06	0,00	/	0,00

Zdroj: Vlastní výzkum

K dispozici jsem také měla údaje z prstových dozimetrů, ale pouze u několika vybraných zaměstnanců. Pro vývoj dávky snímané tímto typem dozimetru jsem vytvořila tabulku jako názorný příklad, který uvádím v kapitole výsledků.

Ze všech těchto tabulek jsem následně vytvořila grafy pro jednotlivé typy dávek ve sledovaném časovém období, a to jak naměřené hodnoty u vybraných subjektů, tak i průměrné hodnoty, které nám znázorňují jejich vývoj. Ze statistického šetření pomocí programu Excel jsem nadále provedla další výpočty těchto funkcí, které jsem také zapsala do tabulky: výpočet průměrné hodnoty, směrodatné odchylky, střední hodnoty a rozptylu pro celkový datový soubor a výpočet přidané funkce časového trendu. Všechna tato šetření uvádím v kapitole výsledků, které můžeme porovnat s hodnotami stanovenými ve vyhlášce o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, s lázněmi v zahraniční a s dávkami, které běžně obdrží horníci v uranových dolech.

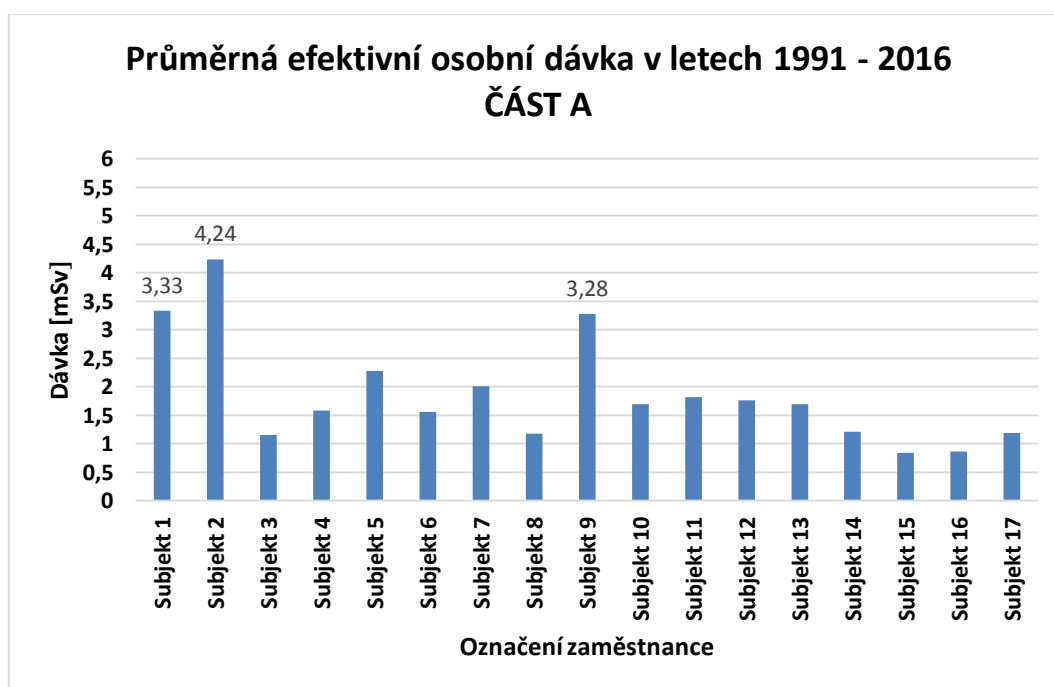
3 VÝSLEDKY

Z praktického hlediska statistického šetření získaných dat nám jde zejména o zmapování vývoje dávek ionizujícího záření obdržených u zaměstnanců, tudíž mé grafy se týkají zachycení této problematiky.

3.1 Výsledky z ročních dozimetrických listů

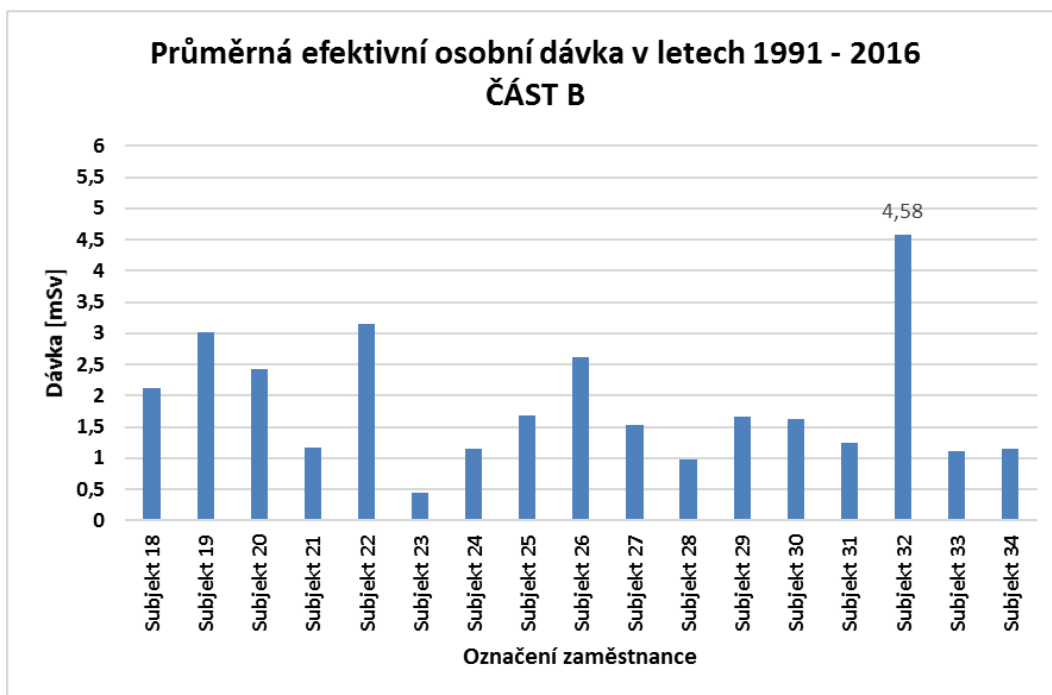
Pro úplné zhodnocení vývoje dávky ionizujícího záření obdržené personálem v Radonových lázních jsem zvolila průměrnou dávku za sledovaná léta 1991 – 2016, a to jak dávku efektivní, tak i přepočet ekvivalentní dávky na kůži. Pro velký počet dat jsem oba grafy znázorňující tyto situace rozdělila na část A a B.

Následující čtyři obrázky (obr. 7, 8, 9 a 10) se týkají osobní efektivní dávky a osobní ekvivalentní dávky na kůži každé osoby. Na ose x jsou znázorněni jednotliví zaměstnanci pracoviště, zatímco osa y znázorňuje jakou průměrnou dávku v jednotce mSv (miliSievert) obdrželi za dané období. V tomto případě musíme brát v úvahu fakt, že graf neposkytuje informace o plném rozsahu zaměstnanosti. Ne každý subjekt byl na pracovišti po celou dobu zaměstnán.



Obrázek 7 Průměrná osobní efektivní dávka v letech 1991 – 2016 ČÁST A

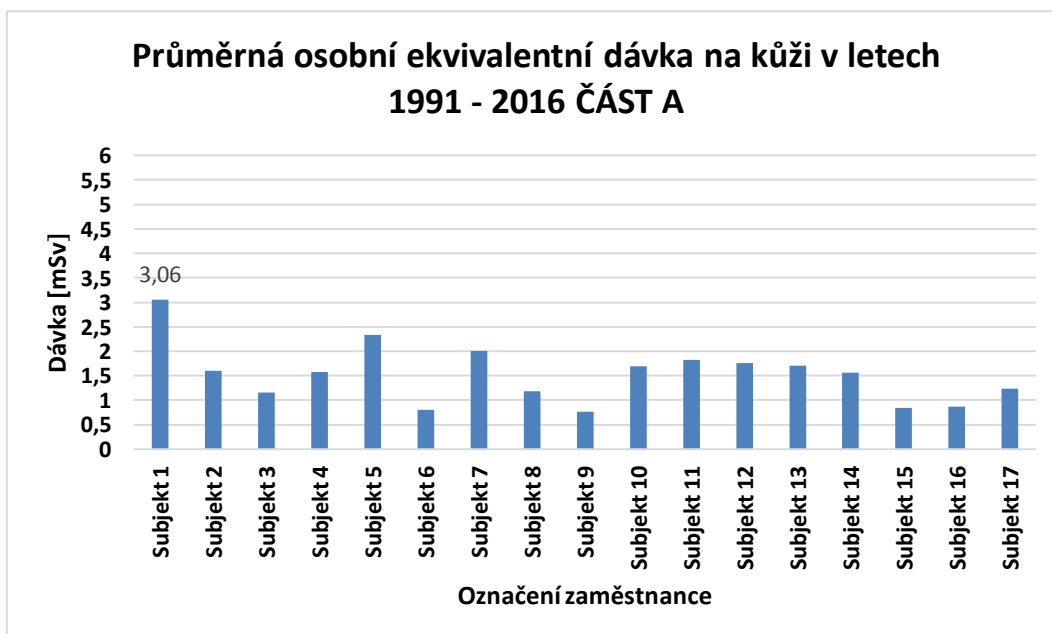
Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 8 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST B

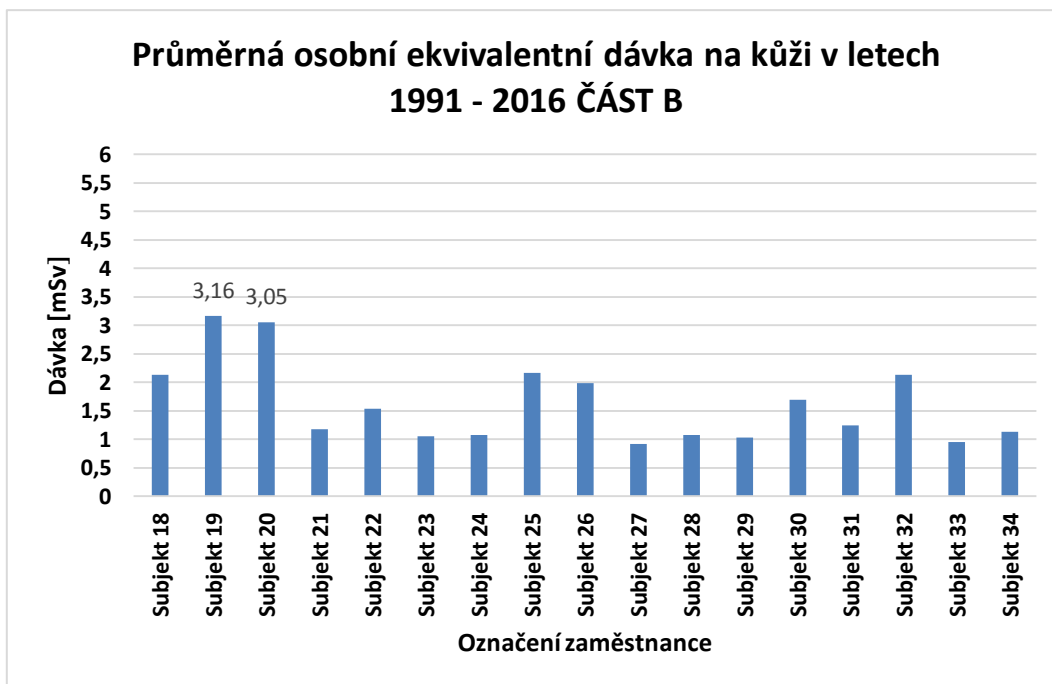
Zdroj: Vlastní výzkum

Z grafů je patrné, že nejvyšší průměrná efektivní osobní dávka je 4,24 mSv a druhá 4,58 mSv. Tudíž lze říci, že průměr za všechna léta nepřekročil ani celkový měsíční limit 6 mSv, to však nelze ale říci o samostatných měsíčních dávkách.



Obrázek 9 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST A

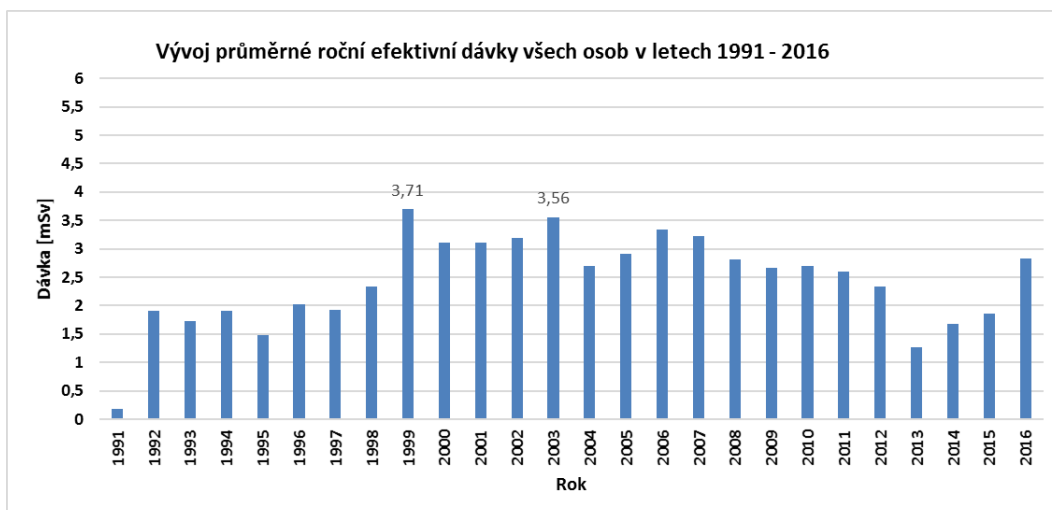
Zdroj: Vlastní výzkum



**Obrázek 10 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST B**

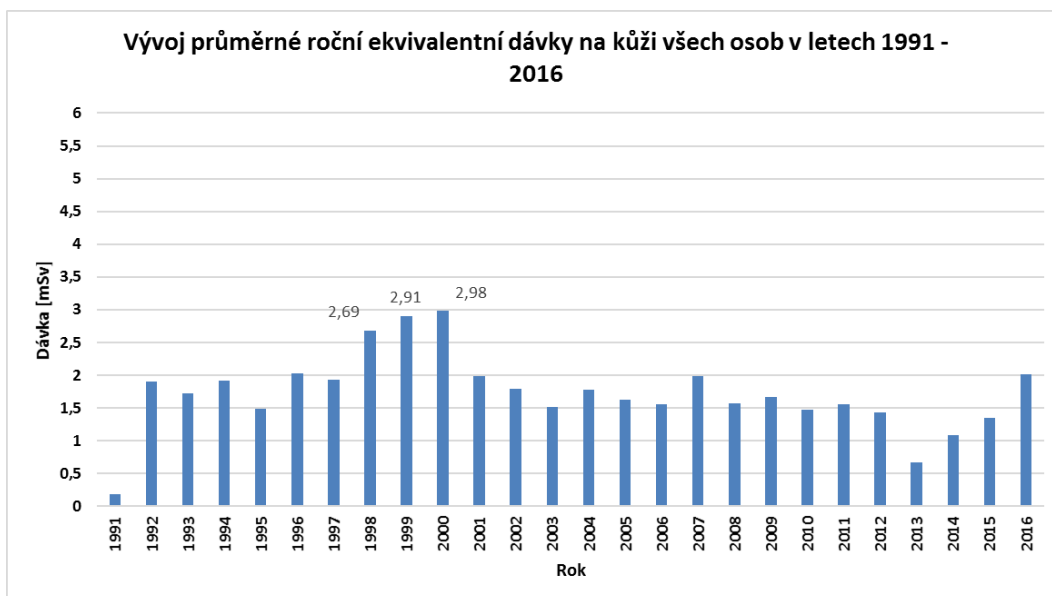
Zdroj: Vlastní výzkum

Na obrázcích 11 a 12 lze vidět jednotlivé vývoje průměrných dávek tentokrát u všech osob v letech 1991 – 2016. Jedná se opět o dávky efektivní a ekvivalentní dávky na kůži. Zde vidíme, že nejvyšší průměr efektivních dávek v jednotlivých letech je roven 3,71 mSv a 3,56 mSv, a to v roce 1999 a 2003.



Obrázek 11 Vývoj průměrné roční efektivní dávky všech osob v letech 1991 - 2016

Zdroj: Vlastní výzkum

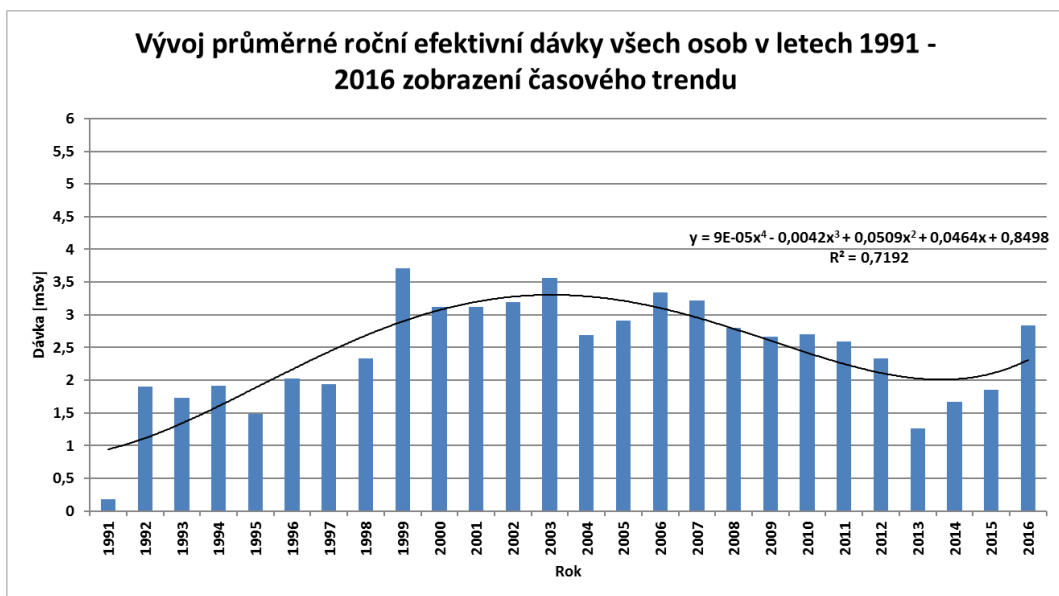


Obrázek 12 Vývoj průměrné roční ekvivalentní dávky na kůži všech osob v letech 1991 – 2016

Zdroj: Vlastní výzkum

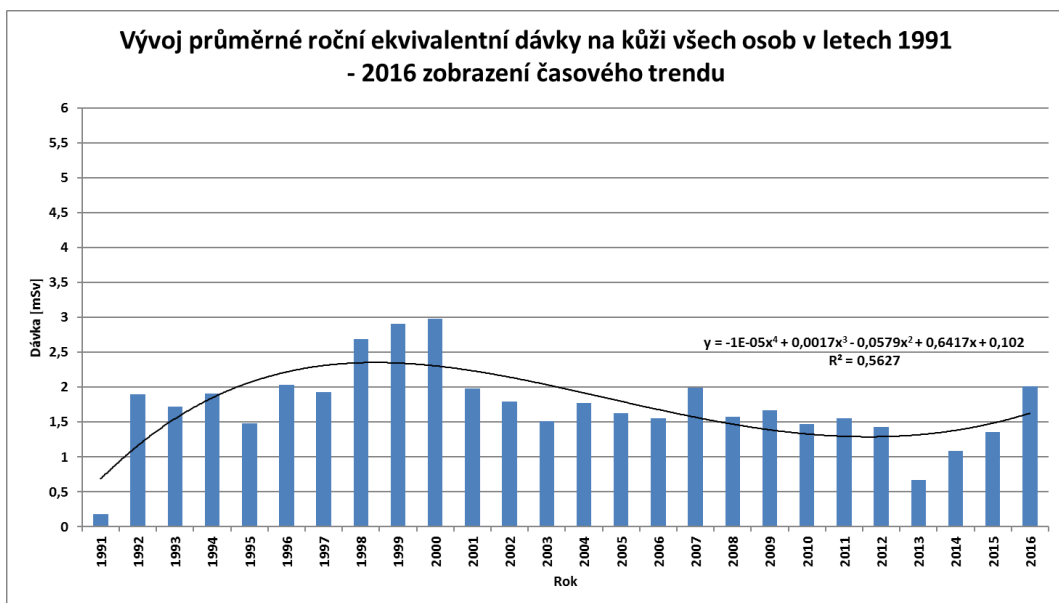
Pro průměr roční ekvivalentní dávky na kůži je patrná nejvyšší hodnota 2,98 mSv z roku 2000 a 2,91 mSv z roku 1999.

Obrázek číslo 13 a 14 vyobrazuje přidanou funkci časového trendu vývoje efektivní dávky a ekvivalentní dávky na kůži. Trend byl vytvořen polynomickou spojnici ve 4. stupni, která je vhodná pro soubor s kolísavými daty jako v mém případě. Z obou grafů je patrné, že vývoj periodicky vzrůstá a kolísá.



Obrázek 13 Vývoj průměrné roční efektivní dávky všech osob v letech 1991 – 2016 zobrazení časového trendu

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 14 Vývoj průměrné roční ekvivalentní dávky na kůži osob v letech 1991 – 2016 zobrazení časového trendu

Zdroj: Vlastní výzkum

Tabulka 10 Výsledky statistického šetření ročních efektivních dávek všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv

Rok	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozptyl	Střední hodnota
1991	0,18	0,70	0,27	0,01
1992	0,90	0,78	1,02	2,15
1993	1,73	0,84	1,15	1,75
1994	1,91	1,24	2,34	1,78
1995	1,48	0,50	0,58	1,37
1996	2,02	0,78	0,37	2,04
1997	1,93	1,00	1,44	2,28
1998	2,34	0,94	1,35	2,55
1999	3,71	1,81	2,81	3,54
2000	3,12	1,48	2,82	3,55
2001	3,12	1,73	3,37	2,61
2002	3,20	1,52	0,25	3,19
2003	3,56	3,29	9,30	2,61
2004	2,69	1,79	3,33	3,42
2005	2,91	1,73	2,95	3,16
2006	3,34	2,20	5,34	3,19
2007	3,22	1,93	4,31	3,60
2008	2,81	1,17	2,20	2,93
2009	2,67	1,52	3,09	2,31
2010	2,70	1,24	3,67	1,76
2011	2,60	0,89	2,02	2,04
2012	2,33	0,95	2,26	1,58
2013	1,26	1,00	2,15	0,73
2014	1,60	0,76	2,30	1,54
2015	1,86	0,48	1,85	1,55
2016	2,84	1,55	7,37	1,83

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistické šetření celého datového souboru ročních efektivních dávek všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv: celkový průměr – 2,39; celková směrodatná odchylka – 1,30; celková střední hodnota - 2,27; celkový rozptyl – 2,69.

Z toho průměrná osobní efektivní dávka všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv je rovna 1,86 se směrodatnou odchylkou 1,16.

Tabulka 11 Výsledky statistického šetření ročních ekvivalentních dávek na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv

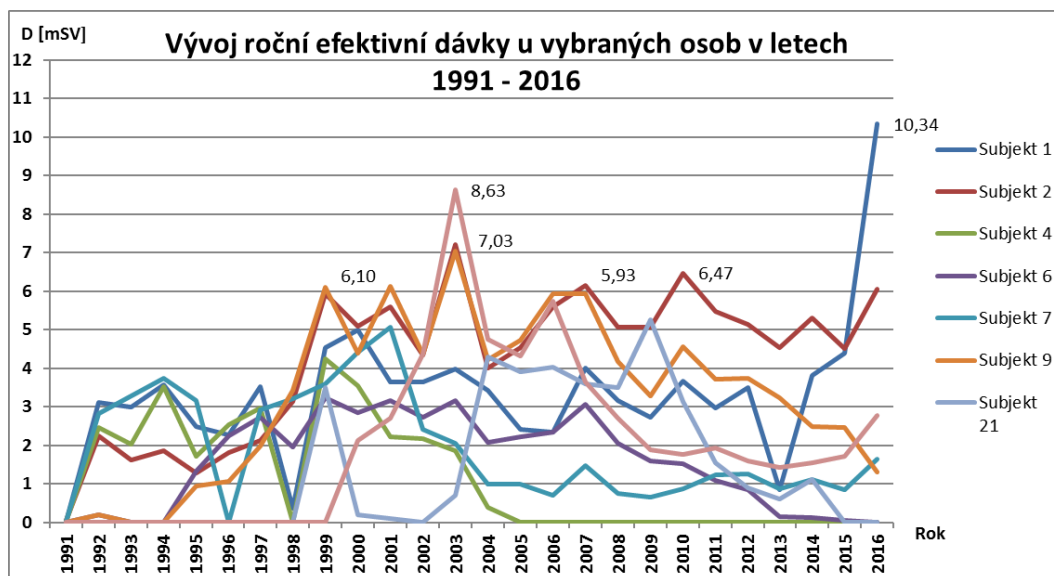
Rok	Průměr	Směrodatná odchylka	Rozptyl	Střední hodnota
1991	0,18	0,52	0,27	0,01
1992	1,90	1,01	1,02	2,15
1993	1,73	1,07	1,15	1,75
1994	1,91	1,53	2,34	1,78
1995	1,48	0,76	0,58	1,37
1996	2,03	0,60	0,37	2,08
1997	0,93	1,20	1,44	2,28
1998	2,69	0,67	0,44	2,51
1999	2,91	1,12	1,26	2,83
2000	2,98	1,44	2,08	2,80
2001	1,98	0,59	0,35	2,06
2002	1,79	0,85	0,73	1,57
2003	1,52	0,86	0,74	0,99
2004	1,78	1,33	1,78	1,21
2005	1,63	1,26	1,59	1,08
2006	1,56	1,39	1,93	0,93
2007	1,99	1,17	1,38	1,49
2008	1,57	1,08	1,17	1,28
2009	1,67	1,79	3,20	1,23
2010	1,47	1,19	1,43	1,10
2011	1,56	1,14	1,30	1,67
2012	1,43	0,98	0,95	1,27
2013	0,67	0,48	0,23	0,80
2014	1,09	1,05	1,11	1,24
2015	1,36	1,05	1,11	1,25
2016	2,01	1,77	2,98	2,07

Zdroj: Vlastní výzkum

Statistické šetření celého datového souboru ročních ekvivalentních dávek na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv: celkový průměr – 1,70; celková směrodatná odchylka – 1,07; celková střední hodnota - 1,57; celkový rozptyl – 1,27.

Z toho průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv je rovna 1,57 se směrodatnou odchylkou 0,95.

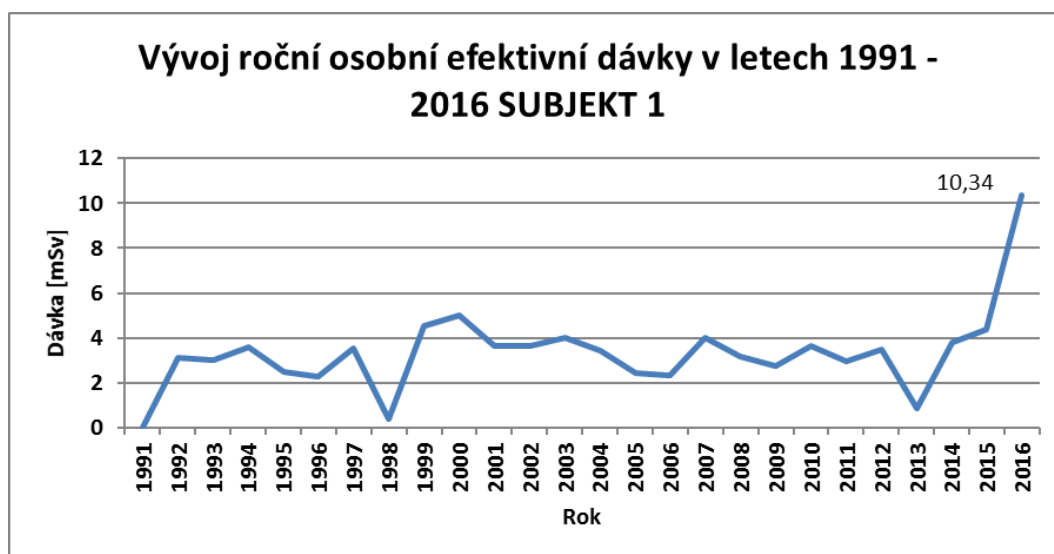
Ne všechna data byla z dozimetrických listů dostupná a to pravděpodobně z různých důvodů. Pro tento účel jsem vytvořila obrázek číslo 15, ve kterém jsem na graf znázorňující osy vynesla pouze ty osoby (subjekty), jejichž dozimetrické listy vykazaly nejvíce dat. Tento obrázek nám umožňuje názorné porovnání dávek IZ mezi jednotlivými zaměstnanci. V několika místech je vidět, že se hodnota dávky pohybuje na nule, to znamená, že subjekt se na pracovišti nevyskytoval, což jsem usoudila z nepřítomnosti jména v dozimetrických listech. Nejvyšší hodnotu zaznamenáme pak u Subjektu 1 a to 10,34 mSv v roce 2016. Dále pak 8,63 mSv u Subjektu 9. Na grafu lze vidět, jak se dávky u jednotlivých subjektů opravdu odlišují rok co rok, avšak musíme brát v úvahu dobu strávenou v blízkosti zdroje ionizujícího záření, kterou v této práci nebereme vůbec v potaz, a také rozložení zaměstnanců, kteří se mohou střídat na odlišných pracovištích.



Obrázek 15 Vývoj roční efektivní dávky u vybraných osob v letech 1991 - 2016

Zdroj: Vlastní výzkum

Z celého statistického šetření vývoje dávek ionizujícího záření jsem vybrala jeden subjekt, který pracoval v Radonových lázních po celou dobu, kterou v této práci sleduji - je jím Subjekt 1.

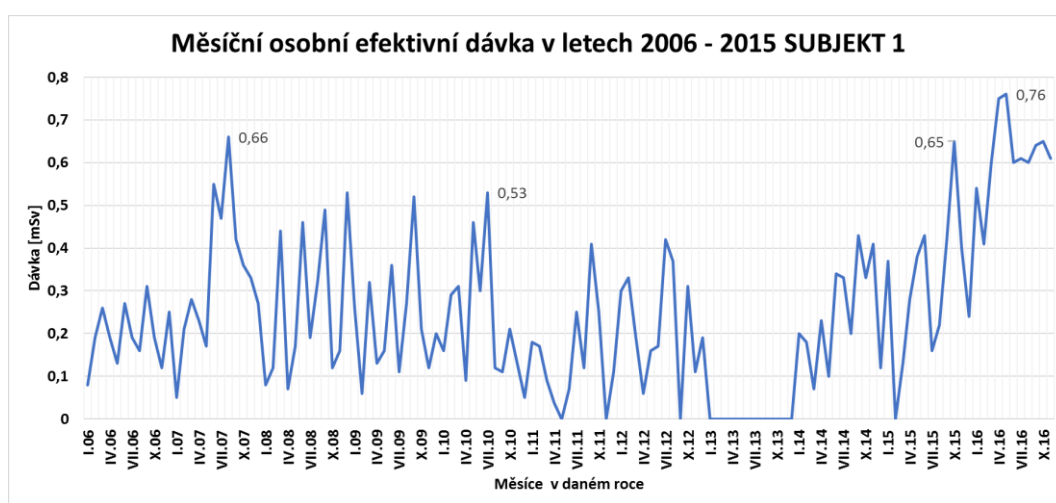


Obrázek 16 Vývoj roční osobní efektivní dávky v letech 1991 – 2016 SUBJEKT 1

Zdroj: Vlastní výzkum

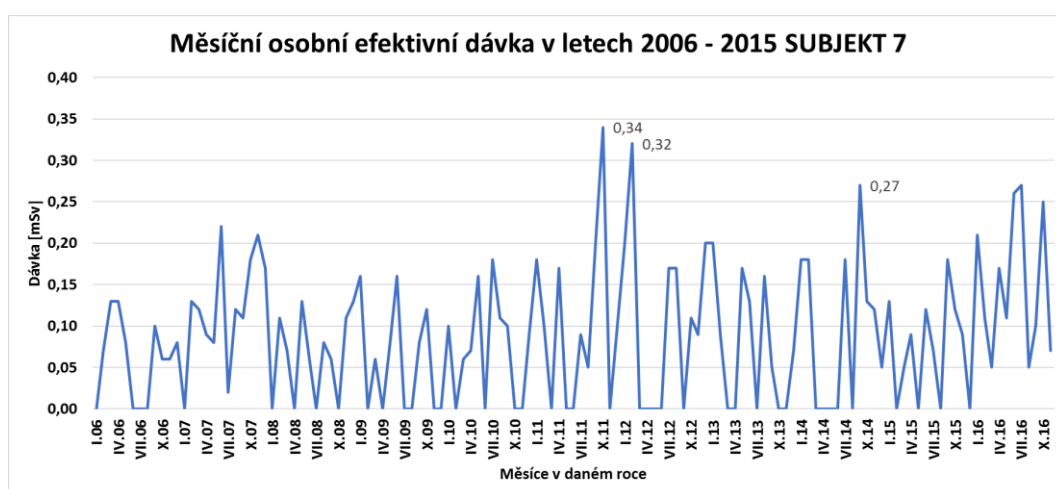
3.2 Výsledky z osobních dozimetrických listů

K většině uvedených zaměstnanců v ročních dozimetrických listech jsem měla možnost využít také data z měsíčních dozimetrických listů. V pomocné tabulce jsem zpracovala celkem 19 subjektů. Opět pro nedostatek dat u osob, které v určitém roce na tomto pracovišti nepracovali, jsem vybrala tři názorné ukázky vykazující největší počet údajů o dávce jak osobní efektivní, tak i osobní ekvivalentní na kůži. Výjimka zde nastává v letech, ve kterém bylo toto šetření provedeno. Aby bylo zpracování těchto osobních dávek možné, zvolila jsem kratší časové období, a to v letech 2006 – 2015. Tuto problematiku zobrazují obrázky 17 – 22.



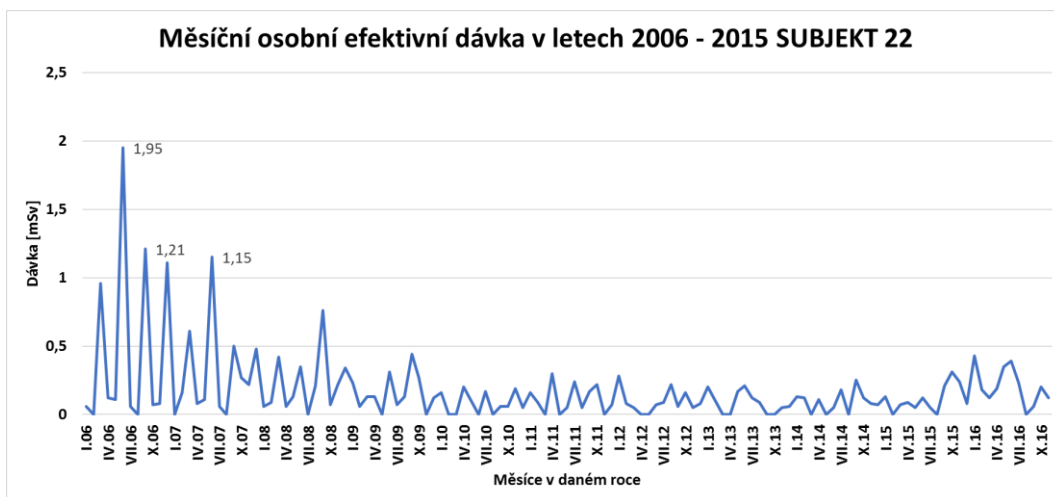
Obrázek 17 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 1

Zdroj: Vlastní výzkum



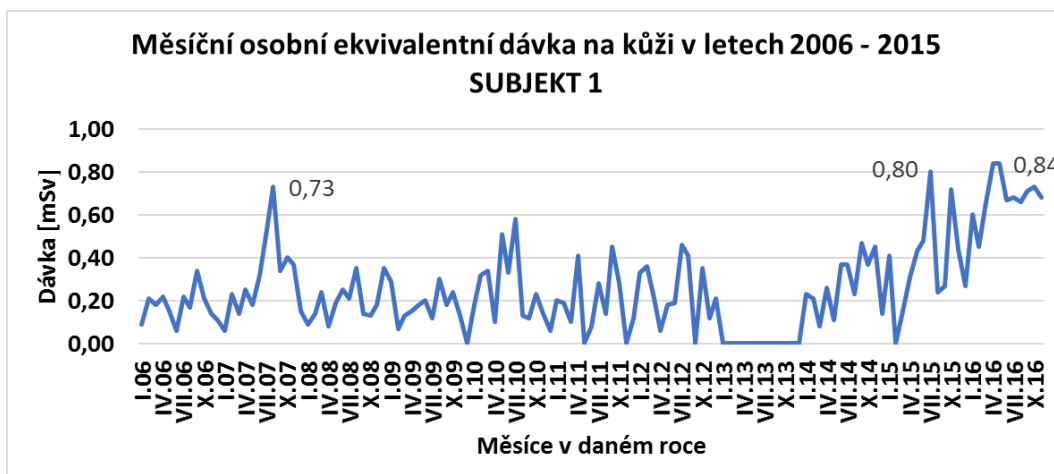
Obrázek 18 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 7

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 19 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 22

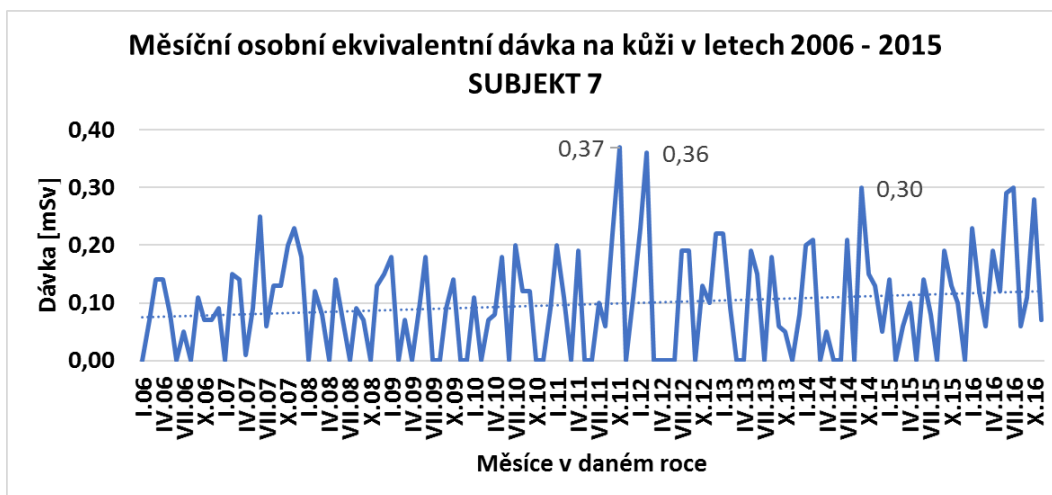
Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 20 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 - 2015

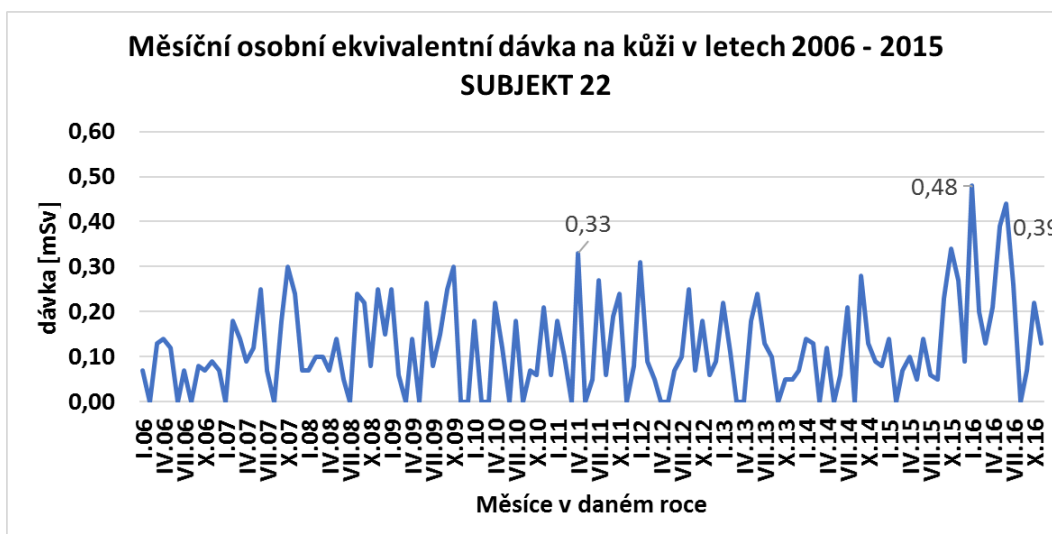
SUBJEKT 1

Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 21 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 – 2015
SUBJEKT 7

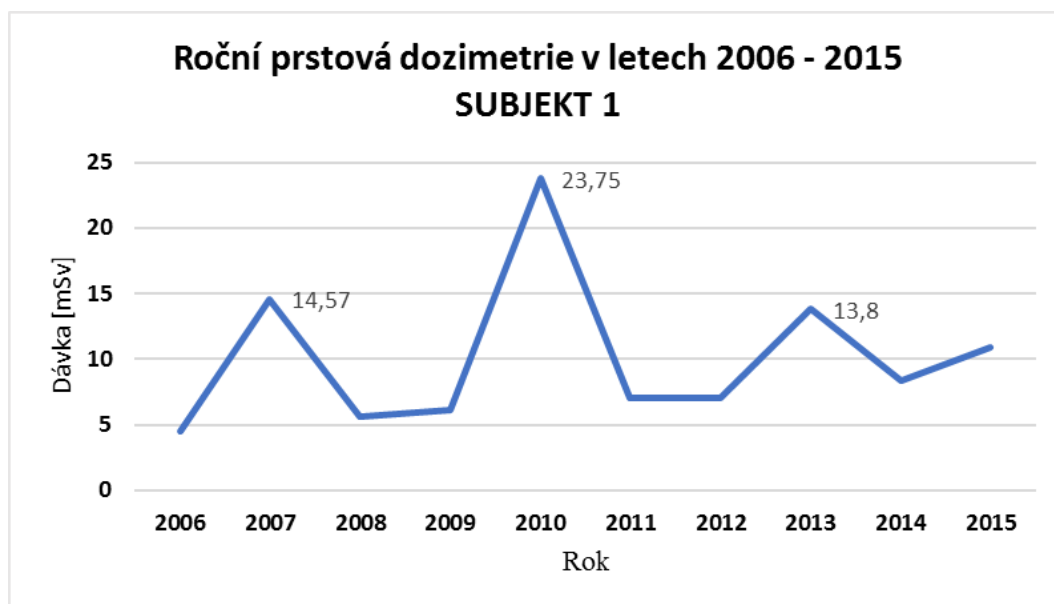
Zdroj: Vlastní výzkum



Obrázek 22 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 – 2015
SUBJEKT 22

Zdroj: Vlastní výzkum

Pro vybraný Subjekt 1 jsem z osobního dozimetrického listu vytvořila obrázek číslo 23, který znázorňuje vývoj dávky z ionizujícího záření zachycené prstovým dozimetrem. Nejvyšší hodnota je vykázána v roce 2010 a to 23,75 mSv. Takto vysoká hodnota dávky může být způsobena delším časem, tedy i větší pracovní vytížeností, kterou strávil subjekt na pracovišti.



Obrázek 23 Roční prstová dozimetrie v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 1

Zdroj: Vlastní výzkum

4 DISKUZE

Bakalářská práce týkající se Radonových lázní Jáchymov je zaměřena na radiační zátěž tamního personálu. Předmětem výzkumu jsou dávky ionizujícího záření zachycující vývoj po 26 let, přesněji od roku 1991 do roku 2016.

Cílem práce bylo vytvořit přehledný obraz vývoje dávek ionizujícího záření a následně z nich vyplývající radiační zátěž empiricky zhodnotit a porovnat. Vývoj byl rozčleněn do několika skupin podle typů získaných dat: roční dávky osobní, roční dávky všech osob a vybrané měsíční dávky. Přičemž práce sleduje dávku efektivní a její přepočet ekvivalentní dávky na kůži.

Původním předpokladem byl získat data přímo od společnosti Radonových lázní Jáchymov, a. s., ta však ani po domluvě data neposkytla. Druhou možností, kterou bylo nasnadě využít, byl Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Vedoucí mé bakalářské práce pan profesor Dr. rer. nat. Friedo Zölzer, DSc., navázal kontakt s paní inženýrkou Evou Zemanovou, Ph.D. z regionálního centra SÚJB v Českých Budějovicích, která nám umožnila přístup do Centrálního registru ozáření pracovníků, ze kterého jsem data do svého výzkumu získala v podobě dozimetrických listů.

Zpracované dozimetrické listy do příslušných tabulek ukázaly, že celkové závěrečné vyhodnocení bude zkreslovat časová osa. Tento problém mohlo vyvolat několik logicky vyplývajících faktů: odchod zaměstnanců, nástup nových zaměstnanců, nepřítomnost či pracovní neschopnost zaměstnanců z jakýchkoliv důvodů, dlouhodobý přesun na pracoviště mimo kontrolované a sledované pásmo a další. Proto lze brát průměry kolektivních dávek všech osob i osob jednotlivých jako orientační.

Důležité je také připomenout, že ve statistickém šetření dat není zahrnut čas strávený v blízkosti zdroje ionizujícího záření, který by pravděpodobně objasnil, některé výsledky, které nám vývoj dávek ukazuje. Získané hodnoty efektivních dávek jsou velice individuální záležitostí, a jak již bylo psáno, záleží na mnoha faktorech. Nejvíce ze všeho se hodnoty odráží od doby strávené v blízkosti zdroje záření. Jako průměr můžeme považovat 2000 hodin ročně, při pracovní době 8 hodin denně, kdy je pracovník vystaven expozici ionizujícího záření. (Campos, 2010)

U balneoprovozů označených jako kontrolované pásmo se předpokládá, že u zaměstnanců dojde k překročení efektivní dávky 6 mSv za rok. Vyšší hodnoty pravdu byly naměřené, jak vyplynulo z dozimetrických listů, avšak musíme vzít v úvahu, že

v některých případech byla v dalších letech naměřena efektivní dávka menší než 1 nebo 0. Zaměstnanci tedy splňují dávkový limit 10 mSv za pět po sobě jdoucích let a současně 50 mSv za jeden kalendářní rok jak uvádí Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Lázeňské komplexy v zahraničí udávají dle literárně zpracovaných studií, že efektivní dávka nepřesahuje 5 mSv za rok (Řecko; 2013), ale i tak obdrží zaměstnanci dávku přes 1 mSv (Polsko, Řecko, Írán, Čína a Indie; 1999 - 2002). Ve srovnání s českými lázněmi v roce 2013 byla průměrná efektivní dávka 1,26 mSv a v letech 1999 až 2002 rovna 3,71 mSv, 3,12 mSv, 3,12 mSv a 3,20 mSv. Z toho vyplývá, že hodnoty zahraničních komplexů a českých radonových lázní jsou velmi podobné, jak se dalo předpokládat. Jedinou výjimku tvoří lázně ve Španělsku, kde naměřili dvojnásobné překročení limitů – až 44 mSv za rok. Tento výsledek z 50. let minulého století je z hlediska aktuálního neověření zanedbatelný.

Zajímavějším tématem je srovnání průměrných dávek s průměrnými dávkami v uranových dolech, a to konkrétně na Příbramsku. U všech pracovníků se průměrná efektivní dávka pohybuje kolem 7,42 mSv. Zvláště přepočtená průměrná efektivní dávka u lamačů (horníků) se pohybuje kolem 10,64 mSv. Hodnoty jsou přepočteny z proběhnuvšího výzkumu pana profesora Dr. rer. nat. Frieda Zölzera, DSc (2012).

Průměrná efektivní dávka u všech zaměstnanců v Radonových lázních je tedy trojnásobně menší než u všech pracovníků v příbramském uranovém dole. Průměrná efektivní dávka pro lamače je až čtyř a půlnásobně vyšší. Zde opět nezohledňujeme délku odpracovaných hodin v expozici.

Můžeme se domnívat, že tento fakt je způsoben odlišnými prostředky radiační expozice. Ačkoliv by se v obou případech jednalo o nucenou ventilaci, vzduch prosycený radonem a jeho rozpadovými produkty se v dolech tvoří neustále, i přesto, že odchází větracími šachtami a pracovníci jsou tak vystaveni záření po celou jejich pracovní dobu. Zatímco v radonových lázních radon uniká do ovzduší při přípravě a průběhu pacientovy lázně, a po té je vzduch vyvětrán. Pracovníci též mohou odejít do místnosti stíněné pro ionizující záření, čímž výrazně limitují vlastní expozici.

Avšak je nutné podotknout, že v dozimetrických listech zaměstnanců radonových lázní nejsou uvedeny hodnoty pro každý typ záření, zatímco v uranových dolech jsou hodnoty dány pro všechny typy záření – gama, dlouhodobé zářiče alfa a krátkodobé dceřiné produkty radonu. Efektivní dávka u zaměstnanců v dolech je tvořena z 80% rozpadovými produkty radonu. Informace z již výše zmíněného výzkumu pana (prof. Zölzer, 2012) Pro zaměstnance v radonových lázních nejsou takové údaje momentálně k dispozici.

Studie z roku 2013 pana prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzera, DSc., na základě testování poškození jader lymfocytů (biodozimetrie) u personálu radonových lázní, vykazuje vyšší dávky, nežli u pracovníků v uranových dolech. (Zölzer et al., 2013) Co může způsobovat rozdíl mezi dávkami naměřenými dozimetrickou službou a dávkami odhadovanými biodozimetrií není zatím jasné. Profesor Philipsborn z Univerzity v Regensburgu, Německo, který mnoho let sleduje radiační expozice zaměstnanců radonových lázní, se domnívá, že měření radonu ve vzduchu není pro tuto skutečnost reprezentativní. Tato domněnka vyplývá z faktu, že nejvyšší dávku dostane personál pověřený čištěním lázeňských prostorů – van, ve kterých se rozpadové produkty radonu drží na povrchu po vypuštění obsahu. (Informace pocházejí z osobního sdělení panu prof. Zölzerovi.) Tento aspekt není ale zatím detailně vyzkoumán.

5 ZÁVĚR

Problematika Radonových lázní Jáchymov nebyla doposud zpracována do podoby bakalářské práce, i přesto však shledávám toto téma velice zajímavé, jak z osobního hlediska, tak pro veřejnost.

Cílem práce bylo zhodnotit vývoj radiační zátěže zaměstnanců Radonových lázní, porovnat výsledná data ze statistického šetření se zahraničními komplexy téhož typu a se zaměstnanci v uranových dolech. Všechny cíle, které jsem pro tuto práci stanovila, byly splněny.

Výzkumná otázka zněla, v jakém rozmezí se pohybují profesní dávky zaměstnanců v Radonových lázních. Ze statistického šetření získaných dat a po jejich zhodnocení v kapitole výsledků lze odpovědět na výzkumnou otázku následujícím způsobem:

Časový trend profesních dávek zaměstnanců v Radonových lázních vykazují periodický vzrůst a pokles.

Průměrná roční efektivní dávka všech osob v letech 1991 – 2016 je 2,39 mSv \pm 1,30 s nejvyššími naměřenými hodnotami roční osobní efektivní dávky 3,71 mSv z roku 1991 a 3,56 mSv z roku 2003.

Průměrná osobní efektivní dávka všech osob v letech 1991 – 2016 1,86 \pm 1,16 mSv s nejvyššími naměřenými hodnotami 4,56 a 4,24 mSv.

Průměrná roční ekvivalentní dávka na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 je 1,70 mSv \pm 1,07 s nejvyššími obdrženyými hodnotami roční ekvivalentní dávky na kůži 2,98 mSv z roku 2000 a 2,91 mSv z roku 1999.

Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 1,57 \pm 0,95 s nejvyšší naměřenou hodnotou 3,16 mSv.

U sledovaného vybraného subjektu byla z celého datového souboru nejvyšší naměřená roční efektivní dávka v letech 1991 – 2016 10,34 mSv v roce 2016.

Ze sledovaných měsíčních dávek u vybraných subjektů byla naměřena nejvyšší osobní efektivní dávka v letech 2006 – 2015 1,95 mSv. U měsíční osobní ekvivalentní dávky na kůži byla nejvyšší naměřená hodnota v letech 2006- 2015 0,84 mSv.

Z roční prstové dozimetrie u vybraného subjektu byla nejvyšší naměřená hodnota v letech 2006 – 2015 23,75 mSv.

V závěru je nutno podotknout, že ačkoliv se hodnoty dávek pohybují poměrně vysoko ve srovnání s lidmi pracujícími v odlišných podmínkách, nelze říci, že by zaměstnanci radonových lázní překročili stanovené limity radiační ochrany stanovené Vyhláškou č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

6 SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

BÁLINT, G. P. et al. The effect of the thermal mineral water of Nagybaracska on patients with knee joint oseoarthritis - a double blind study. © *Clinical Rheumatology*. 2006, **26**, 1-5. DOI: 10.1007/s10067-006-0420-1.

CAMPOS, M. P. et al. ^{222}Rn and ^{212}Pb exposures at a brazilian spa. *Radiation Protection Dosimetry*. Sao Paulo, Brazil, 2010, **141**(2). DOI: 10.1093/rpd/ncq167. ISSN 210-214.

DAINTITH, John. *A Dictionary of Chemistry*. 6th ed. New York: Oxford University Press, 2008. ISBN 978019920463.

DRASKÁ, Lenka. Lázně Jáchymov - první radonové lázně světa v srdci Krušných hor. *Medicína a umění*. 2014, **2014**(2(30)), s. 15. ISSN 1803-3679.

DRAHSKÁ, Lenka. Ovlivnění chorob pohybového aparátu metodami jáchymovské balneoterapie. *Medicína a umění*. Léčebné lázně Jáchymov, a. s., Jáchymov, 2011, **2011**(5(15)), 46. ISSN 1803-3679.

DRAHSKÁ, Lenka. Ovlivnění chorob pohybového aparátu metodami jáchymovské balneoterapie. *Medicína a umění*. LC Agricola, Léčebné lázně a. s., Jáchymov, 2012, **2012**(5(3)), 42. ISSN 1803-3679.

FRANKE, A. et al. Long-term benefits of radon spa therapy in rheumatic diseases: results of the randomised, multi-centre IMuRa trial. *Rheumatology International*. 2013, **33**(11). DOI: 10.1007/s00296-013-2819-8.

FRANKE, A. et al. Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases - review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Rheumatology International Clinical and Experimental Investigation*. © Springer-Verlag, 2000, 1-12. DOI: 10.1007/s00296-003-0419-8

HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.

HALÍK, Jaroslav. Některá hygienická pozorování v radonových lázních. *Fysiatrický věstník*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1971, **49**(3), 115-120. ISSN 0072-0038.

HALÍK, Jaroslav. Přirozené a umělé radonové lázně. *Vojenské zdravotnické listy: = Military medical science letter: vědecký orgán československých vojenských lékařů, zvěrolékařů a lékárníků, vydávaný vojenským zdravotnickým poradním sborem za podpory ministerstva národní obrany*. 1966, **35**(2), 60-61. ISSN 0372-7025.

HORNÁTOVÁ, Hana. *Jáchymov: město stříbra, rádia a léčivé vody*. Jáchymov: ATYPO, 2000. ISBN 80-902-3781-9.

HRAZDÍRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská fyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2001. ISBN 80-902896-1-4.

Jáchymovská cesta za zdravím: Radonová voda, léčivá energie z nitra země. Jáchymov: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 Dostupné také z:
<http://www.laznejachymov.cz/prospekty-ke-stazeni/>

JÁCHYMOVSKÝ, VI. 70 let úspěšného léčení v Jáchymově. *Lázeňský časopis*. 1975, (8), 10-11. ISSN 0323-0945.

JANDOVÁ, Dobroslava. *Základy balneologie*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2014. ISBN 978-80-7013-573-0.

KAPLAN, Karel a Vladimír PACL. *Tajný prostor Jáchymov*. České Budějovice. 1993. ISBN 80-901234-2-2.

KNOP, Karel. Jáchymov - první radonové lázně na světě. *Sanquis: odborný a společenský časopis pro lékaře*. 2000, **2000**(7), 64-65. ISSN 1212-6535.

KŘÍŽEK, Vladimír. Radioaktivní lázně a dějiny jejich využívání. *Balneologické listy: metodicko-informační příručka*. 1988, **16**(5), 101-104. ISSN 0231-6595.

KUPKA A KOL., Petr. *Periodická soustava prvků*. Kupka, 2009. ISBN 978-80-87020-06-7.

Léčebné lázně Jáchymov [online]. Léčebné lázně Jáchymov a.s.: Léčebné lázně Jáchymov [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.laznejachymov.cz/>

Lázně Jáchymov - leták. Jáchymov: Léčební lázně Jáchymov, 2011.

Radiobiologie: Veličiny dozimetrie ionizujícího záření [online]. ©2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15/151.html>

Radon: léčivý zdroj z hlubin země, radon je energie, energie je život - informační leták pro pacienty. Jáchymov: Léčebné lázně Jáchymov, 2001.

SINGER, Jan. *Radiační ochrana.* (přednáška 1 a 7). České Budějovice: ZSF-JČU, 2015

SKÁCELOVÁ, Lada. *Sledování radiační zátěže personálu u perkutánních intervencí.* České Budějovice, 2008. Bakalářská práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc.MUDr. Martin Köcher, Ph.D.

SOTO, J. a J. GOMÉZ. Occupational doses from radon in spanish spas. *Health Physics Society.* Santander, Spain, 1998, **76**(4). ISSN 398-401.

STRAKA, Pavel. *Obecná chemie.* Praha: Paseka, 1995. ISBN 80-7185-003-9.

SÚJB: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha, ©2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/uvod/>

SÚRO: Státní úřad radiační ochrany, v. v. i.: National Radiation Protection institute [online]. Praha: Plone Foundation, ©2017 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz>

ŠIFFNEROVÁ, Hana. *Radioterapie II.: doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu „B5345 – Specializace ve zdravotnictví“ studijního oboru „Radiologický asistent“.* České Budějovice, 2007. Dostupné také z: https://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelstva/informace-katedry/informace-pro-studenty/ucebni_texty

ŠEDA, Josef a kol. *Dozimetrie ionizujícího záření.* Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983.

VOGIANNIS, E. et al. Radon exposuer on the thermal spas of Lesov Island - Greece. *Radiation Protection Dosimetry.* Athens, Greece, 2004, **111**(1), 121 - 127. DOI: 10.1093/rpd/nch737. ISSN 121-127.

Vyhláška 422/2016 Sb., O radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů 23.12.2016.* částka 172. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/sb0172-2016.pdf>

WALCZAK, Katarzyna, Jerzy OLSZEWSKI a Marek ZMYŚLONY. Estimate of radon exposure in geothermal spas in Poland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. Lodź, Poland, 2016, **29**(1), 161 - 166. DOI: <http://dx.doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00404>. ISSN 161-166.

WINKLMAYR, M. et al. Radon balneotherapy and physical activity for osteoporosis prevention: a randomized, placebo-controlled intervention study. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2015, **54**. DOI: 10.1017/s00411-014-0568-z.

Zákon č. 264/2016 SB., Atomový zákon. In: Sbírka zákonů 14.6.2016. částka 142. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/264-2016.pdf>

ZÖLZER, Friedo et al. Micronuclei in lymphocytes from radon spa personnel in the Czech Republic. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2013, **86**(6). DOI: 10.1007/s00420-012-0795-z

ZÖLZER, Friedo. *Radioekologie: doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia studijního programu „Ochrana obyvatelstva“ studijního oboru „Ochrana obyvatelstva se zaměřením na CBRNE“*. České Budějovice, 2007. Dostupné také z: https://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelstva/informace-katedry/informace-pro-studenty/ucebni_texty

7 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Koncentrace radonu v jednotlivých pramenech

Tabulka 2 Srovnání radiačního rizika rentgenových (RTG) vyšetření

Tabulka 3 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2011

Tabulka 4 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2012

Tabulka 5 Srovnání měření dozimetrických služeb v roce 2014

Tabulka 6 Efektivní dávka v jednotlivých letech

Tabulka 7 Ekvivalentní dávka na kůži v jednotlivých letech

Tabulka 8 Měsíční efektivní dávka v letech

Tabulka 9 Měsíční ekvivalentní dávka na kůži

Tabulka 10 Výsledky statistického šetření ročních efektivních dávek všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv

Tabulka 11 Výsledky statistického šetření ročních ekvivalentních dávek na kůži všech osob v letech 1991 – 2016 v jednotkách mSv

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozpadové produkty radonu

Obrázek 2 Informace pro pacienta podstupující rentgenové vyšetření

Obrázek 3 Filmový dozimetr

Obrázek 4 Prstového dozimetru

Obrázek 5 Dozimetrický list z roku 2008

Obrázek 6 Dozimetrický list – osobní

Obrázek 7 Průměrná osobní efektivní dávka v letech 1991 – 2016 ČÁST A

**Obrázek 8 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST B**

**Obrázek 9 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST A**

**Obrázek 10 Průměrná osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 1991 – 2016
ČÁST B**

Obrázek 11 Vývoj průměrné roční efektivní dávky všech osob v letech 1991 - 2016

**Obrázek 12 Vývoj průměrné roční ekvivalentní dávky na kůži všech osob v letech
1991 – 2016**

**Obrázek 13 Vývoj průměrné roční efektivní dávky všech osob v letech 1991 – 2016
zobrazení časového trendu**

**Obrázek 14 Vývoj průměrné roční ekvivalentní dávky na kůži osob v letech 1991 –
2016 zobrazení časového trendu**

Obrázek 15 Vývoj roční efektivní dávky u vybraných osob v letech 1991 - 2016

Obrázek 16 Vývoj roční osobní efektivní dávky v letech 1991 – 2016 SUBJEKT 1

Obrázek 17 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 1

Obrázek 18 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 7

Obrázek 19 Měsíční efektivní osobní dávka v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 22

**Obrázek 20 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 - 2015
SUBJEKT 1**

**Obrázek 21 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 – 2015
SUBJEKT 7**

**Obrázek 22 Měsíční osobní ekvivalentní dávka na kůži v letech 2006 – 2015
SUBJEKT 22**

Obrázek 23 Roční prstová dozimetrie v letech 2006 – 2015 SUBJEKT 1

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EOAR – Objemová aktivita radonu

EURATOM – Evropské společenství pro atomovou energii

ICRP – Mezinárodní komise pro radiační ochranu

IZ – Ionizující záření

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO – Státní úřad radiační ochrany