



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

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

**Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu  
záření a osob v ostatních profesích**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

**Autor:** Bc. Marcela Voráčková

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

České Budějovice 2021

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „*Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření a osob v ostatních profesích*“ 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 diplomové práce, a to v nezkrácené podobě 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 diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 10. 5. 2021

.....

Bc. Marcela Voráčková

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala především svému vedoucímu práce prof. Dr.rer.nat. Friedo Zölzerovi, DSc. za jeho ochotu, trpělivost, cenné informace a rady při tvorbě práce. Děkuji i lékařům za poskytnuté rozhovory a předané znalosti. A v neposlední řadě i všem, kteří se podíleli na kontrole mé práce.

# **Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření a osob v ostatních profesích**

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá zkoumáním rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření a nebezpečím, která nesou ostatní profese.

Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teorie vysvětluje pojem ionizující záření a zabývá se jeho zdroji. Dále pojednává o účincích a následcích jeho expozice a o ochraně před ním. Také je uvedena krátká kapitola o pracovištích se zdroji záření.

Praktická část je koncipována formou kvalitativního výzkumu. Cílem bylo srovnání rizik v profesích, při kterých jsou osoby vystaveny ionizujícímu záření, a rizik u osob v jiných profesích. Během výzkumu jsem zjišťovala dávky záření, radiační rizika u zaměstnanců, předpokládané počty úmrtí, příčinu expozice, následky a možnost opatření.

Dále jsem zkoumala úmrtnost u jiných vybraných profesí. Uvedeny jsou počty úmrtí na nádorová a jiná onemocnění a úrazy. Ke konci jsou zařazeny tři rozhovory se závodními lékaři pražských nemocnic a jaderné elektrárny obsahující informace o této problematice z jejich dlouholeté praxe.

V diskuzi jsou výsledky porovnány a zhodnoceny. Ukázalo se, že rizika úmrtí ozářených pracovníků, dávkami, které skutečně dostávají, jsou nízká a jejich pozice se tedy považují za bezpečné ve srovnání s ostatními profesemi. U jiných zaměstnání naopak byly zjištěny vysoké počty úmrtí během pracovní doby. V případě rizika úmrtí ozářených pracovníků „tolerabilními“ dávkami jsou již hodnoty ve srovnání s ostatními profesemi vyšší.

I přes přínos práce může být její výzkum negativně ovlivněn malým souborem profesí - nebyly zahrnuty všechny existující pozice, jako např. učitelé, zedníci, strojvedoucí, zaměstnanci pečující o zvěř a další. U jiných než radiačních profesí, byla zahrnuta rizika z přírodních, sociálních a profesních zdrojů a ne jen z profesních. Proto je nezbytné další zkoumání rizik a diskutování správného nastavení limitů u radiačních pracovníků.

## **Klíčová slova**

ionizující záření; radiační pracovníci; riziko; ostatní profese; úmrtnost

# **Comparison of risks of people occupationally exposed to ionizing radiation to people working in other professions**

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the examination of risks impacting persons professionally exposed to ionizing radiation and the dangers posed by other professions.

It is divided into a theoretical and practical part. The theory explains the concept of ionizing radiation and considers its sources. It also discusses the effects and subsequent exposures and protection. There is a brief chapter on workplaces with radiation sources.

The practical part is designed in the form of qualitative research. The aim was to compare the risks in occupations in which people are exposed to ionizing radiation with the risks of persons in other professions. During the research, I determined radiation doses, radiation risks in employees, the number of expected deaths, the cause of exposure, the consequences and the possibility of preventive measures.

I also examined mortality in other selected professions. I determined the number of deaths caused by cancer and other diseases and injuries. At the end there are three interviews with the physicians of Prague hospitals and a nuclear power station providing information on this issue from their many years of experience.

In the discussion part, the results are being compared and evaluated. The risks of death of irradiated workers, the benefits they actually receive, have been shown to be low, and their positions are therefore considered safe compared to other professions. For other jobs, on the other hand, a high number of deaths during working hours has been ascertained. In the case of the risk of death of irradiated workers with “tolerable” doses, the values are already higher in comparison with other professions.

Despite the benefits of the work, its research may be negatively affected by a small selection of professions - not all existing positions have been included, such as teachers, bricklayers, train drivers, game carers and others. Therefore, it is important to further investigate the risks and discuss the correct setting of limits for radiation workers.

## **Key words**

ionizing radiation; radiation workers; risk; other professions; mortality

## Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická část .....	11
1.1 Ionizující záření .....	11
1.1.1 Dělení ionizujícího záření .....	11
1.1.2 Přirozená a umělá radioaktivita .....	12
1.1.3 Přírodní radionuklidy .....	12
1.1.4 Radon .....	12
1.1.5 Kosmické záření .....	13
1.1.6 Druhy umělých zdrojů ionizujícího záření .....	13
1.1.7 Druhy radioaktivních přeměn .....	14
1.1.8 Interakce ionizujícího záření s obaly a jádry atomů .....	14
1.2 Účinky a následky expozice ionizujícího záření.....	15
1.2.1 Fyzikální účinky ionizujícího záření.....	15
1.2.2 Chemické účinky ionizujícího záření .....	16
1.2.3 Biologické účinky ionizujícího záření .....	16
1.2.4 Akutní nemoc z ozáření .....	17
1.2.5 Akutní lokální změny.....	18
1.2.6 Poškození plodu in utero.....	19
1.2.7 Sekundární a pozdní poškození ionizujícím zářením, absolutní a relativní riziko, koeficient rizika .....	19
1.2.8 Proces kancerogeneze .....	20
1.2.9 Absolutní a relativní riziko, koeficient rizika .....	20
1.2.10 Kontaminace radioaktivními látkami.....	21
1.3 Ochrana před ionizujícím zářením.....	22
1.3.1 Deterministické a stochastické účinky.....	22
1.3.2 Expoziční situace, principy radiační ochrany .....	23
1.3.3 Limity ionizujícího záření.....	23
1.3.4 Program monitorování a kategorizace radiačních pracovníků .....	25
1.4 Pracoviště se zdroji ionizujícího záření .....	26
1.4.1 Podmínky bezpečného provozu .....	26
1.4.2 Dokumentace pracovišť se zdroji ionizujícího záření .....	27
2 Cíl práce.....	28

2.1	Výzkumné otázky .....	28
3	Metodika .....	29
3.1	Metody a techniky sběru dat .....	29
3.2	Charakteristika výzkumného souboru a průběh výzkumu.....	29
3.3	Postupy užití během výzkumu .....	30
3.3.1	Literární rešerše .....	30
3.3.2	Strukturovaný rozhovor .....	30
3.3.3	Grafické zobrazení dat .....	30
4	Výsledky .....	31
4.1	Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření .....	32
4.1.1	Horníci v uranových dolech.....	32
4.1.2	Piloti letadel a palubní personál.....	33
4.1.3	Zdravotnický personál .....	34
4.1.4	Zaměstnanci jaderného průmyslu .....	38
4.1.5	Zaměstnanci provádějící karotáže .....	39
4.1.6	Zaměstnanci provádějící defektoskopii .....	39
4.1.7	Rizika pro radiační pracovníky při vyčerpání dávkových limitů .....	43
4.2	Srovnání úmrtnosti u ostatních profesí .....	45
4.2.1	Nádorová onemocnění u ostatních profesí.....	45
4.2.2	Rizikové faktory vztahující se ke zvýšení úmrtnosti u jiných než nádorových onemocnění v ostatních profesí .....	51
4.2.3	Míra úmrtnosti u různých onemocnění v ostatních profesí .....	52
4.2.4	Míra úmrtnosti u ostatních profesí rozdělených dle pohlaví .....	55
4.2.5	Identifikace nejnebezpečnějších profesí a úrazů souvisejících s nimi.....	56
4.3	Rozhovory s odborníky.....	61
4.3.1	Rozhovor č. 1 .....	61
4.3.2	Rozhovor č. 2 .....	62
4.3.3	Rozhovor č. 3 .....	63
5	Diskuze .....	65
5.1	Radiační pracovníci .....	66
5.2	Ostatní pracovníci .....	68
5.3	Srovnání rozhovorů.....	70
5.4	Srovnání všech profesí.....	70
6	Závěr .....	72

7	Seznam literatury .....	73
8	Přílohy.....	81
9	Seznam příloh, obrázků a tabulek.....	91
9.1	Seznam příloh .....	91
9.2	Seznam obrázků ve vlastním textu .....	91
9.3	Seznam obrázků v rámci příloh .....	91
9.4	Seznam tabulek .....	92
10	Seznam zkratk .....	94



## Úvod

Téma diplomové práce „*Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření a osob v ostatních profesích*“ jsem si vybrala z důvodu jeho aktuálnosti v dnešní době a nemalému dopadu ionizujícího záření ovlivňující profesní život.

Umělé zdroje ionizujícího záření nacházejí čím dál tím větší uplatnění v rámci moderního světa. Objevují se především ve zdravotnictví, dále v jaderném průmyslu a využívají je i jiná průmyslová odvětví či služby.

Ionizující záření nám může práci usnadňovat, ale jeho důsledky na zdraví a životy osob mohou být fatální. Horníky uranových dolů, piloty a palubní personál a další pracovníky, kteří přicházejí do styku s umělými zdroji ionizujícího záření, mohou během vykonávání své profese ze zdravotního hlediska negativně ovlivňovat jeho důsledky.

Při práci je důležité dodržování ochranných opatření a monitorování záření. Někdy ale i přes veškerou snahu se nepodaří škodlivý vliv ionizujícího záření odvrátit a mohou vznikat zdravotní problémy, které ohrožují život. Rizikům se nelze zcela vyhnout, ale musí být tolerovatelná.

V tomto kontextu je nutné porovnání rizik u ostatních profesí, a to především rizika vzniku nádorových onemocnění. Tato onemocnění jsou zapříčiněna nejen ionizujícím zářením, ale také mimo jiné i chemickými a biologickými faktory. Proto je důležité uvést i tato fakta.

Kromě nádorových onemocnění se vyskytují u ostatních profesí i jiná rizika související s konkrétní náplní pracovní činnosti. Jedná se například o úrazy elektrickým proudem, pády z výšek, poranění a mnohé další uvedené v práci.

V průběhu rozvoje radiační ochrany se postupně zvyšuje úroveň bezpečnosti práce, a proto lze předpokládat, že rizika ozáření zaměstnanců stále klesají. Ochranné pomůcky jsou stále efektivnější a modernější, klade se důraz na dodržování přesných pracovních postupů. S tím souvisejí důsledné kontroly vedením nebo příslušným orgánem zaměstnanců a pracovišť.

Na druhé straně se mění i znalosti o rizicích záření. Momentálně například je riziko indukce fatálního nádoru za jednotkovou dávku považováno za pětkrát vyšší než v té době, kdy dávkové limity pro osoby profesně vystavené ionizujícímu záření byly poprvé stanoveny.

Je proto důležité znovu srovnávat rizika v různých profesích a diskutovat správné nastavení limitů pro maximální ochranu osob a nejefektivnějšího využití zdrojů ionizujícího záření.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Ionizující záření

**Ionizujícím zářením** rozumíme tok hmotných částic či fotonů elektromagnetického záření. Pokud mají dostatečnou energii, mohou ionizovat atomy okolního prostředí.

Jádra, která jsou v čase nestabilní a mění se na jiná jádra, se nazývají **radioaktivní atomy**. Jejich přeměnu doprovází emise částice, kvanta elektromagnetické záření nebo zachycení elektronu z obalu atomu. Snahou je dosažení stabilního stavu atomu (Rosina et al., 2005).

V organismech energetická kvanta zasahují nejen jednotlivé biomolekuly, ale také jejich těsné okolí. Zasahují tedy především vodní molekuly, u kterých dojde kvůli ionizaci k vytvoření radikálů. Pokud jsou zářením zasaženy enzymy nebo deoxyribonukleová kyselina (DNA), přímo nebo nepřímo prostřednictvím radikálů, mohou mít dalekosáhlé biologické následky (Scholz, 2003).

### 1.1.1 Dělení ionizujícího záření

Rozdělují se dva typy ionizujícího záření, a to přímo ionizující a nepřímo ionizující. **Přímo ionizující záření** je tvořeno nabitými částicemi, jako jsou elektrony, pozitrony, protony, částice  $\alpha$ . Jejich kinetická energie je dostačující pro ionizaci.

Naopak nenabité částice (neutrony a fotony) tvoří **nepřímo ionizující záření** a nemohou tedy ionizovat samostatně. Ionizace probíhá na podkladě průchodu těchto částic látkou, při kterém dochází k absorpci energie elektrony a jejich uvolnění z atomu nebo k jaderné přeměně a uvolnění protonů (Fukátka, 2007).

Z jiného hlediska lze rozdělit ionizující záření na korpuskulární a fotonové. **Korpuskulární ionizující záření** je popsáno elektrickým nábojem, klidovou hmotností a kinetickou energií. Částice se dělí na těžké (částice  $\alpha$ , protony, neutrony), středně těžké (mezony) a lehké (elektrony, pozitrony).

**Fotonové ionizující záření** je duálního charakteru. Rozeznává se záření  $\gamma$ , které má menší vlnovou délku a vzniká v jádře atomu. A dále rentgenové záření, které vzniká interakcí elektronu s těžkými atomy na anodě (Rosina et al., 2005).

### 1.1.2 Přírozená a umělá radioaktivita

**Přírozeně radioaktivními látkami** nazývají spontánně se měnící jádra, která nacházíme v přírodě. Přírozeně radioaktivní prvky lze rozdělit do tří skupin. První skupinou jsou radionuklidy s vysokým protonovým číslem, které vytvářejí rozpadové radioaktivní řady končící stabilním izotopem olova, např. uran-138 nebo thorium-132. Do druhé skupiny řadí přírozené radionuklidy s nižším protonovým číslem, jejichž přeměnou se získávají stabilní jádra, např. draslík-40. Do třetí skupiny spadají lehké přírozené radionuklidy, které nejsou stálou složkou zemské atmosféry a biosféry, např. uhlík-14 nebo vodík-3.

**Uměle radioaktivní jádra** popisuje jako jádra vyrobená jadernými reakcemi v urychlovačích částic nebo v jaderných reaktorech. Využívá se ostřelování prvků protony, deuterony, neutrony, urychlenými částicemi  $\alpha$  a urychlenými elektrony nebo ionty. Pravděpodobnost jaderné reakce lze určit účinným průřezem reakce daného izotopu za daných podmínek (Rosina et al., 2005).

### 1.1.3 Přírodní radionuklidy

Přírodní radionuklidy vznikají činností přírody. Řadíme mezi ně **kosmogenní radionuklidy** vznikající v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky ve vnějším obalu Země. Dále se popisuje **terestriální záření**, které dělíme na primordiální radionuklidy a radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořící přeměnové řady (Havránková, 2018b).

### 1.1.4 Radon

Radon je přírodní plyn bez barvy, chuti a zápachu. Vzniká radioaktivní přeměnou rádia, který vzniká nepřímo z uranu a je obsažen v zemské kůře. Z povrchu země se uvolňuje do atmosféry, kde jeho koncentrace klesá. Uvolňuje se také ze stavebních materiálů, a proto se hromadí v domech (Jiránek, 2017).

Havránková (2018b) dodává, že existují **tři izotopy**, a to radon-222, který je součástí uran-radiové řady a poločasem rozpadu 3,8 dne. Dalším izotopem je radon-220, který je členem thoriové řady a jeho poločas rozpadu je 55,6 sekund. Radon-219 je třetím izotopem, jeho poločas rozpadu je 3,92 sekund a je součástí aktiniové řady. Všechny izotopy jsou zdrojem záření  $\alpha$ .

Radon se přeměňuje na dceřiné produkty, které se usazují v průduškách a v plicích a způsobují zde ozáření. Odhaduje se, že způsobí 10-15 % ze všech rakovin plic.

K vyvolání nemoci dochází až za 10-30 let pobytu v prostředí se zvýšenou koncentrací radonu (Jiránek, 2017).

Při detekci v bytech se využívá veličina objemová aktivita radonu ( $\text{Bq/m}^3$ ). Existuje řada detektorů (polovodičové, scintilační, stopové), kterými lze ve spojení se zesilovačem energií i počet fotonových záblesků v detekční látce měřit. Na základě toho se může výpočtem získat objemová aktivita radonu (Fukátko, 2007). V České republice se udává průměrná koncentrace objemové aktivity radonu  $140 \text{ Bq/m}^3$ . Jsme tedy jedna ze zemí s **nejvyšší koncentrací** radonu (Havránková, 2018b).

#### *1.1.5 Kosmické záření*

Kosmickým zářením rozumíme proud částic o velmi vysokých energiích, které dopadají na Zemi z kosmu. Zemská atmosféra nám před zářením poskytuje určitou ochranu. Roční průměrný dávkový ekvivalent na úrovni moře činí asi  $280 \mu\text{Sv}$  (Rosina et al., 2005).

Z hlediska radiační zátěže jsou důležité tři složky kosmického záření. Jsou jimi **galaktické kosmické záření** pocházející z hlubokých oblastí vesmíru mimo sluneční soustavu. Skládá se z protonů, jader helia, těžších jader prakticky všech prvků soustavy a elektronů. Další složkou je **sluneční kosmické záření**, které pochází ze slunečních erupcí. Zahrnuje protony a těžší nabitě částice. Poslední složkou jsou částice z **radiačních (van Allenovy) pásů** tvořeny protony a elektrony zachycenými magnetickým polem Země (Spurný, 2000).

#### *1.1.6 Druhy umělých zdrojů ionizujícího záření*

Umělým zdrojem ionizujícího záření mohou být uměle vyrobené radionuklidy a zařízení jako jsou rentgenky, urychlovače nabitých částic, jaderné reaktory atd.

V **rentgenkách** jsou elektrony emitovány z katody k terčíku anody, v němž je buzeno elektromagnetické záření. Rozlišuje se brzděné a charakteristické záření. Rentgenky jsou zdrojem záření pro radiodiagnostiku, ve kterém se využívá především brzděné záření. K mamografickému vyšetření se používá záření charakteristické.

**Jaderné reaktory** jsou zařízení, ve kterých probíhá řízené štěpení jader. Jsou obrovským zdrojem neutronů a záření  $\gamma$ . Mohou se zde vyrábět radionuklidy pro lékařství a další obory.

**Urychlovače** se dělí na kruhové a lineární. Ke kruhovým patří betatron a cyklotron, ve kterých se elektrony urychlují po kruhové dráze. V lineárním urychlovači putují

elektrony poháněné elektromagnetickou vlnou po přímkové dráze. Urychlovače elektronů mohou sloužit k výrobě radionuklidů pro lékařské účely a také jako zdroj brzděného záření (Konečný, 2006). Přehled průměrného ročního ozáření z jednotlivých zdrojů je uveden v Příloze 1.

#### 1.1.7 Druhy radioaktivních přeměn

Při přeměně radioaktivních jader dochází k emisi částice a někdy i kvant elektromagnetického záření  $\gamma$ . Vždy je zachován elektrický náboj, počet nukleonů, hybnost a energie.

U **přeměny  $\alpha$**  dochází ke spontánní emisi těžké částice z jádra. Vyskytuje se u těžkých přirozených radionuklidů. Po přeměně vzniká dceřiné jádro a emise jádra helia (částice  $\alpha$ ) (Rosina et al., 2005; Fukátko, 2007).

U umělých radionuklidů a u lehkých jader přirozených radionuklidů se setkáváme s přeměnou  $\beta$ . Při **přeměně  $\beta^-$**  je emitován elektron a antineutrino a jaderný neutron se mění na proton. Při **přeměně  $\beta^+$**  je emitován pozitron a neutrino a jaderný proton se mění na neutron. Dále rozeznáváme **záchyt elektronu** z elektronového obalu do jádra, při kterém se přemění jaderný proton na neutron. Přitom je vyzářeno neutrino a dochází k emisi charakteristického rentgenového záření.

Při **přeměně  $\gamma$**  zůstává jádro po **přeměnu  $\alpha$**  nebo  **$\beta$**  v energetickém vzbuze­ném stavu. Je při ní emitován foton a hmotná částice. Toto záření má velkou energii a pronikavost (Havránková, 2018b).

#### 1.1.8 Interakce ionizujícího záření s obaly a jádry atomů

**Částice  $\alpha$**  mají vysokou specifickou lineární ionizaci. Ionizační ztráty energie částice při průchodu absorbu­jícím prostředím jsou velké, tudíž dolet částice je malý. Při dopadu na kůži je zachyceno v horních vrstvách epidermis. Nebezpečné je však při vnitřní kontaminaci.

**Elektrony u záření  $\beta$**  mají mnohem menší specifickou lineární ionizaci, jejich dosah je tedy větší. Uplatňuje se zde pružný rozptyl elektronů a vznik brzděného záření.

**Záření  $\gamma$**  interaguje s absorpční látkou pomocí fotoelektrického jevu, Comptonova efektu nebo tvorby elektron-pozitronových párů. Toto záření má mnohem větší pronikavost oproti ostatním druhům. Pro stínění potřebujeme materiály s vysokým protonovým číslem (Hušák a Singer, 2005).

Při reakci ionizujícího záření s jádrem atomů je nutná srážka částice s terčovým jádrem a aktivující částice s dostatečně velkou energií. Výsledkem je pak nové jádro a emise částice nebo kvanta záření  $\gamma$ .

U interakce **neutronů s jádrem** rozeznáváme několik způsobů reakce a sice: pružné srážky, potenciálový rozptyl, pružný rozptyl, nepružný rozptyl, radiační záchyt, štěpnou reakci.

Interakce **kladně nabitých částic s jádrem** atomu jsou většinou syntetického charakteru. Jedná se o reakce deuteronů či protonů s terčovým jádrem.

**Jaderné reakce záření  $\gamma$**  se nazývají fotojadernými a dochází při nich k emisi nukleonů z jádra (Rosina et al., 2005).

## ***1.2 Účinky a následky expozice ionizujícího záření***

Účinky ionizujícího záření jsou fyzikální, chemické a biologické. Následky tohoto záření dělíme na akutní nemoc z ozáření, akutní lokální změny, poškození in utero, sekundární a pozdní poškození.

### ***1.2.1 Fyzikální účinky ionizujícího záření***

Účinek ionizujícího záření je z fyzikálního hlediska dán dávkou záření, druhem záření, rozdělením dávky v čase a distribucí dávky v organismu. Dávkou se rozumí podíl energie, kterou ionizující záření deponuje v látce o určité hmotnosti. Její jednotkou je Gray (Gy).

U každého **druhu záření** je důležitý jeho způsob depozice energie v hmotě. Množství energie, kterou ionizující částice předá tkáni na dráze jednoho mikrometru, se nazývá lineární přenos energie. Je také přímo úměrný ionizační hustotě, tj. počtu iontových párů vzniklých na dráze ionizující částice délky jednoho mikrometru. Dalšími důležitými faktory jsou hloubková pronikavost záření a relativní biologická účinnost, které se používají ke srovnávání rozdílů biologických účinků.

**Rozdělení dávky v čase** je charakterizováno dávkovým příkonem daným počtem Gy za jednotku času. Frakcionované ozáření označuje pak opakované krátkodobé ozáření s různými časovými odstupy.

Pro stupeň nerovnoměrnosti **distribuce dávky** v těle využíváme faktor neuniformity, který popisujeme podílem dávky maximální k dávce minimální (Kuna, 2018).

### 1.2.2 Chemické účinky ionizujícího záření

Důležitou roli zde hraje **kyslík**, který je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících radiosenzitivitu buněk. Tkáně s menším obsahem kyslíku jsou více radiorezistentní. Jeho přítomnost zvyšuje vznik volných radikálů a brání reparativním procesům (Rosina et al., 2005).

**Radikálem** se stává molekula, ze které byl z páru elektronů jeden vyražen. V případě, že se jedná o vazební elektrony, dochází k rozpadu molekuly. Díky novým vnitro- nebo mezimolekulárním iontovým vazbám nebo díky rozpadu molekuly následuje ztráta funkce enzymů a DNA. Zde mluvíme o přímém účinku.

Záření v živém organismu naráží hlavně na molekuly vody. Hydroxylový radikál vznikající při radiolýze vody reaguje s biomolekulami, kterým vyráží vazební elektron nebo se v nich usazuje. Následkem je pak v prvním případě rozpad molekuly nebo ve druhém hydroxylace. Tento proces nazýváme radiolýza vody a mluvíme o nepřímém účinku.

Radikály vyrážejí elektrony z jiných molekul a ty se pak samotné stávají sekundárními radikály. Takto vzniká řetězec reakcí, který může zaniknout až v případě, že radikál zachytí elektron chudý na energii nebo se navzájem zneutralizují dva radikály (Scholz, 2003).

### 1.2.3 Biologické účinky ionizujícího záření

Pohlcením dávky ionizujícího záření se aktivuje proces fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických účinků na organismus. Záření vyvolává poškození a smrt buněk nebo naopak adaptační a obranné mechanismy (Karhan et al., 2014).

Na úrovni molekulární se jedná o poškození molekul, které pak ztrácejí své vlastnosti. Na subcelulární úrovni se mění biochemické pochody a na buněčné úrovni dochází ke snížení počtu buněk proliferujících buněčných populací, což vede ke změně funkce orgánů a následně ke vzniku nemoci z ozáření (Rosina et al., 2005).

Účinky ionizujícího záření na biomolekulární úrovni zahrnují hlavně poškození DNA v podobě jeho přerušování fosfodiesterové vazby. Nastává buď jednořetězcový nebo dvojřetězcový zlom. Při reparaci dochází k řadě biochemických procesů, které zajišťují opravu a zamezují dalším následkům. V případě **dvojřetězcového zlomu** se uskutečňuje homologní nebo nehomologní rekombinace. Během procesu **homologní rekombinace** se k opravě zasaženého úseku DNA využívá informace o nepoškozeném



homologním úseku DNA. Je možná pouze v pozdní S fázi a G<sub>2</sub> fázi buněčného cyklu z důvodu nutnosti použití sesterské chromatidy.

Při **nehomologní rekombinaci** se dohromady spojují konce zlomu, i když nejsou všechny informace kompletní.

Poškození **bází a jednořetězcové zlomy** se vyznačují pouze jedním poškozeným řetězcem. Během opravy se nejprve zjistí rozsah poškození, poté dojde k očištění místa a následné kompletaci bází z nepoškozeného řetězce.

Během opravy dvojřetězcových zlomů různých chromozomů může dojít i k chromozomovým aberacím, např. spojením částí různých chromozom. Naopak při opravě jednořetězcových zlomů a bází se mohou vyskytovat bodové mutace.

Na buněčné úrovni se setkáváme s buněčnou smrtí reprodukčního typu, která je charakterizována jako ztráta reprodukční schopnosti z důvodu selhávání mitózy v určitém okamžiku. Druhým typem buněčné smrti je apoptóza, což je aktivní proces známý jako řízená smrt buňky (Zölzer, 2018).

Výsledný efekt ionizujícího záření je ovlivněn **stavem ozařovaného organismu, pohlavím, věkem a zdravotním stavem**. V průběhu života se radiorezistence mění, nejvyšší je v dospělosti. Ženy jsou mírně odolnější než muži. Zdravý jedinec v dobré kondici bude také méně citlivý k účinku ionizujícího záření než starý a nemocný člověk. Dále radiorezistenci zvyšuje i podávání látek biologického původu, hlavně bílkovinné povahy do organismu. Tento způsob se označuje jako biologická radioprotekce (Kuna, 2018).

#### *1.2.4 Akutní nemoc z ozáření*

Akutní nemoc z ozáření je deterministický efekt, který se rozvíjí po jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho převážné části dávkou minimálně 0,7-1 Gy. Lze ji rozdělit do čtyř po sobě jdoucích fází (Karhan et al., 2014).

První fází je **období prodromální**. Trvá méně než 24-48 hodin, objevuje se ihned, popřípadě několik hodin po ozáření. Projevuje se nevolností, zvracením, slabostí, žízní, suchem v ústech, bolestí hlavy a průjmy. Se zvyšující se dávkou záření jsou obtíže intenzivnější a mají delší dobu trvání. V případě dávek vyšších než 6 Gy se kromě uvedených příznaků objevují ihned po ozáření výrazné funkční poruchy.

Dále navazuje **období latentní**. Fáze je dlouhá v závislosti na dávce ozáření s tím, že u malých dávek může trvat až pár týdnů, zatímco u velkých dávek jen pár hodin.

Nemocný je bez obtíží nebo příznaky ustupují, díky zapojení obranných mechanismů organismu. Se zvyšující se dávkou záření se doba období latence zkracuje.

Následuje **období manifestní**. To je charakterizováno problémy s imunitou, dlouhodobými horečkami, krvácivými projevy, zánětlivými změnami sliznice ústní dutiny, poškození trávicího traktu, kardiovaskulárními problémy. Jaké z těchto problémů se projeví, opět závisí na dávce. Tato fáze může trvat 4-6 týdnů a je způsobena zhroucením obranných mechanismů.

Poslední fází je **období rekonvalescence**. Nastává u osob, které nebyly vystaveny smrtelné dávce záření. Dochází k pozvolnému uzdravování. Buď se organismus uzdraví úplně, nebo částečně. Ženy mohou zůstat neplodné, těhotenství může končit potratem nebo narozením postiženého plodu, je také větší pravděpodobnost výskytu nádorových onemocnění u ozářených osob.

Autoři vymezují klinické formy akutní nemoci z ozáření. Jedná se o **dřeňový syndrom**, který vzniká u osob po expozici 0,7 Gy a je charakterizován útlumem krvetvorby vedoucí až k pancytopenii. Dochází ke vzniku infekcí, špatné funkci imunitního systému, krvácení, anémii a špatnému hojení ran.

Dále popisují **gastrointestinální syndrom** vznikající po expozici od 8 Gy. Pro tento typ je typická ztráta tekutin, krvácení ze zažívacího traktu a průjem na základě poklesu počtu enterocytů, snížení tloušťky sliznice a poškozené kapilár v submukóze. Tím je porušena bariérová funkce bránící vstupu mikrobů a dochází ke ztrátě tekutin a elektrolytů.

Posledním typem je **neurovaskulární syndrom**, který vzniká dle Havránkové (2018a) po ozáření 30 Gy, dle Navrátila a Österreicher (2005) po ozáření 80 Gy. Klinický obraz je závislý na mechanismech, které se rozvíjejí na základě poškození cévního řečiště a centrální nervové soustavy, projevuje se především třesem, poruchami vědomí, psychickými poruchami a křečemi (Navrátil a Österreicher, 2005; Havránková, 2018a).

Stupně závažnosti nemoci z ozáření dělíme na lehký stupeň (1-2 Gy), střední stupeň (2-4 Gy), těžký stupeň (4-10 Gy) a velmi těžký stupeň (10->80 Gy) (Zölzer et al., 2007).

#### *1.2.5 Akutní lokální změny*

Akutní lokální změny vznikající na kůži po jednorázovém ozáření se nazývají **akutní radiační dermatitida**. Nejprve se objevuje primární erytém trvající 3-5 dní

(od 3 Gy). Po něm následuje fáze suché deskvamace trvající do 3-4 týdnů (od 10 Gy), dále sekundární erytém, který se vyznačuje známkami zánětu. Následuje exudativní dermatitis charakterizovaná otokem, puchýři, hypoplazií dermis, zánětem a depilací (od 20 Gy). Další fází je hojení, které u vyšších dávek začíná až 6-8 týdnů po expozici (Karhan et al., 2014; Havránková, 2018a).

Při nekrotické formě dermatitidy dochází k poškození hlubokých vrstev kůže a zejména vznik vředů v důsledku cévních změn a infekcí (od 50 Gy). Existuje také **chronická radiační dermatitida** objevující se po dlouhodobém ozařování rukou během práce se zdroji ionizujícího záření. Vyskytuje se po expozici 30-50 Gy a jejími projevy jsou tenká a hladká epidermis, ložiskovou depigmentací a hyperpigmentací nebo sinější epidermis s kožními záhyby a ložiskovými hyperkeratózami (Karhan et al., 2014).

#### *1.2.6 Poškození plodu in utero*

Při poškození embrya nebo plodu záleží na dávce ozáření a na době mezi početím a expozicí. V prvních dvou týdnech dochází ke smrti. Od 3.-8. týdne je ovlivněná organogeneze, tj. poškození vývoje různých orgánů a tkání, např. oči, močové ústrojí, kosti. K poškození inteligence dochází dle Karhana (2014) mezi 8.-15. týdnem, dle Havránkové (2018a) mezi 8.-25. týdnem. Po celou dobu vývoje mohou být indukována nádorová onemocnění (Karhan et al., 2014; Havránková, 2018a).

Odhaduje se, že minimální letální expozice je 0,1 Gy a zcela letální je 1 Gy pro jednotýdenní zárodek (Zölzer et al., 2007).

#### *1.2.7 Sekundární a pozdní poškození ionizujícím zářením, absolutní a relativní riziko, koeficient rizika*

**Sekundární poškození** ionizujícím zářením znamená, že je po krátké (hodiny, dny) nebo dlouhé latenci (roky, desetiletí) dotčen celý organismus. Je to z důvodu funkčního poškození mnoha buněk nebo z důvodu naklonování jedné zmutované buňky.

U **pozdního poškození** je organismus postižen až za dlouhou dobu. Jedná se o poškození stochastická. Předchází tomu to, že poškozená informace vyvolala v potomstvu buňky nekontrolovatelné dělení a imunitní systém organismu následně rozhoduje o tom, zda tato buňka odumře nebo se naklonuje a způsobí vznik nádorovému onemocnění (Scholz, 2003).

### 1.2.8 Proces kancerogeneze

Proces kancerogeneze se skládá ze dvou kroků, mezi nimiž je určitá doba, řádově roky. Prvním krokem je **iniciace** – změna genomu somatické buňky, která je nevratná. Během druhého kroku, **promoce**, se ze změněné buňky začíná vyvíjet nádor (Mornstein, 2004).

Zhoubné nádory se vyvíjejí jako nekontrolované zdvojování poškozené buňky na základě vzniku buňky s mutovanou informací, která je přenášena na nové generace buněk a někdy i spolu s oslabením imunitního systému organismu. K vyvolání neoplastických procesů stačí i jednorázové celotělové ozáření. Po něm v jednotlivých buňkách nastávají chemické a metabolické změny, díky kterým vznikají změny genetického materiálu v buňkách a tvorba prostředí pro sekundární nádorové změny.

Mezi nejčastěji objevující se zhoubné nádory organismu po jednorázovém celotělovém ozáření patří nádory prsní žlázy, kůže, žaludku, tlustého střeva a rekta. Duodenum, ileum, játra, močový systém a kosti jsou postiženy pouze zřídka. Po ozáření nevznikne nádor ihned, ale až po několikaletém období latence, která je např. u leukemie 5-15 let, u nádorů plic 10-30 let (Zölzer et al., 2007).

### 1.2.9 Absolutní a relativní riziko, koeficient rizika

Populační riziko tvorby zhoubných nádorů se vyjadřuje jako relativní nebo absolutní riziko za pomoci rizikových koeficientů.

**Absolutní riziko** znamená, jaké je riziko nádorového onemocnění, bez ohledu na spontánní riziko. Tj. její výskyt např. na 1 milion obyvatel, jen z expozice zářením. Konkrétně 5 % na 1 Sievert (Sv), nebo 50 000 na 1 milion obyvatel na 1 Sv (Mornstein, 2004).

Dle Vědeckého výboru OSN (Organizace spojených národů) pro zkoumání účinků ionizujícího záření (UNSCEAR) je počet úmrtí na zhoubný nádor asi 3-5 případů na 100 osob ozářených dávkou 1 Sv tzn., že absolutní riziko je 3-5 % (Cohen-Unger a Evrensel, 2016).

Jiné odhady tohoto **koeficientu rizika** radiačně indukovanému smrtelnému nádorovému onemocnění se v dnešní době pohybuje mezi  $5-10 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ , nebo-li  $50-100 \cdot 10^{-6} \text{ mSv}^{-1}$ , tzn., že při ozáření milionu osob (každá dávkou 1 mSv) zemře v důsledku ozáření zhruba 50-100 osob na nádorové onemocnění (Zölzer et al., 2007).

Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP) doporučuje počítat s koeficientem  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  (ICRP 109, 2007). Koeficient rizika vzniku letální rakoviny

závisí na věku a pohlaví jedince. Koeficient je vyšší, čím mladší je postižený jedinec. Ženy jsou náchylnější hlavně z důvodu citlivosti prsní tkáně. Pro ženy ve věku 30-40 let je koeficient roven 4 % a pro muže 3 % na 1 Sv. Pro ženy i muže ve věku 80 let a více je roven 1 % na 1 Sv.

Na úrovni 100 mGy (dle UNSCEAR pásmo pod 100 mGy - malá dávka) je již významné zvýšení rizika vzniku nádorového onemocnění. V omezeném počtu studií bylo ale prokázáno riziko i v úrovni několika desítek mGy (dle UNSCEAR pásmo pod 10 mGy - velmi malá dávka). Směrem k nižším dávkám se už projevuje různorodost spontánního rizika a vliv řady menších nekontrolovatelných faktorů, které nám nedovolují oddělit vliv záření. Předpokládá se ale lineární bezprahová závislost rizika na dávce od 0 Gy (Klener, 2008).

Dále se určuje **relativní riziko**. To udává, kolikrát se riziko vzniku nádorového onemocnění po obdržení radiační dávky zvýší oproti přirozenému výskytu (Mornstein, 2004). Riziko smrti na spontánně vzniklou rakovinu je přibližně 20 % (Súkupová, 2018). Pokud je radiační riziko 5 % na 1 Sv, znamená to, že celkové riziko bude 25 %, a relativní riziko bude  $25/20 = 1,25$ .

Byly stanoveny také koeficienty rizika vzniku nádorového onemocnění a úmrtí z důvodu radiačně indukovaného nádorového onemocnění po částečném ozáření těla tzn. rizika pro určité orgány a tkáně (Súkupová, 2018).

Tyto koeficienty charakterizují karcinogenní účinek jako zvýšení pravděpodobnosti vzniku nádoru na jednotku dávky v příslušném orgánu nebo tkáni. Například s každým 1 Gy celkového ozáření se zvýší riziko smrti na leukémii až trojnásobně. U chronické myeloidní leukémie je toto riziko zvýšeno až 10,5krát (Kališová, 2015).

#### *1.2.10 Kontaminace radioaktivními látkami*

Kontaminace radioaktivními látkami znamená vnik radioaktivní látky dovnitř nebo na povrch těla ohrožující život a zdraví. Poškození osoby závisí na chemické formě, velikosti částic, aktivitě a druhu radionuklidu a záření.

S **vnější kontaminací** se setkáváme na pracovních plochách, pomůckách a oblečení. A odtud (nebo přímo) na kůži osob, u kterých může vést k radiační dermatitidě. Ke kontrole povrchové kontaminace se využívají radiometry nebo stěry. Dekontaminací pak lze snížit ozáření povrchu, na kterém radioaktivní látka ulpěla.

K **vnitřní kontaminaci** dochází při vniku radioaktivní látky do organismu člověka, který pracuje s vyššími aktivitami otevřených zářičů. Radioaktivní látka se pak

kumuluje v cílových orgánech, posléze se její část vyloučí z organismu ven, část ale může v těle přetrvat. Ke kontaminaci dojde díky ingesci, inhalaci nebo penetrací skrz poraněnou kůži. Zjišťujeme ji pomocí scintilačního detektoru, celotělových detektorů záření nebo měřením aktivity krve a moči. Při podezření na vnitřní kontaminaci je nutné zajistit biologický materiál a podat profylaktika (Freitinger Skalická, 2018).

### ***1.3 Ochrana před ionizujícím zářením***

Radiační ochrana je obsažena v zákoně č. 263/2016 Sb. Atomový zákon a vyhláškou č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Pro péči o pracovníka s rizikem ionizujícího záření je důležitý zájem vrcholového managementu o zdraví svých zaměstnanců, dále preventivní prohlídky závodním lékařem a v neposlední řadě i podíl samotných zaměstnanců.

Cílem bezpečnosti a ochrany zdraví při práci se zdroji ionizujícího záření je zajištění dostačující úrovně ochrany zdraví a zároveň využití zdrojů ionizujícího záření a jaderné energie.

Ochrana zaměstnanců před zářením spočívá ve vybavenosti a používání osobních a ostatních **ochranných prostředků**, dodržování **pracovních činností, monitorování** kontaminace osob a předmětů a **osobní dozimetrie**. Probíhají také jejich pravidelná školení o bezpečnostních a zdravotních rizicích.

Nutnou podmínkou je také pravidelná kontrola složek radiační hygieny v rámci zařízení a Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v rámci státu (GolISOVÁ, Kraft, 2010).

#### ***1.3.1 Deterministické a stochastické účinky***

Hlavní myšlenkou ochrany před ionizujícím zářením je zcela vyloučit **deterministické účinky**, které vznikají po překročení tzv. prahové dávky, a omezit výskyt **stochastických účinků**, které se považují za bezprahovou lineární funkci dávky. Stochastické účinky dělíme na somatické (indukce mutace, které způsobí vznik nádorů) a dědičné (indukce mutace, které se objeví v dalších generacích) (Podzimek, 2005).

U deterministických účinků je funkce postižené buňky narušena a objevuje se až po krátké době latence. U dané dávky se dá závažnost poškození předpovědět. U stochastického poškození není funkce buněk krátkodobě ovlivněna. Dávka zde nemá žádný vliv na stupeň závažnosti nebo průběh nemoci. Na dávce závisí, s jakou pravděpodobností se změna genetické soustavy buněk vyskytne (Scholz, 2003).

Deterministickým účinkům můžeme zabránit stanovením nízkých limitů dávky, aby nebyla dosažena prahová dávka pro jejich vznik. Omezení stochastických účinků lze zajistit systémem limitování dávek, tak aby pravděpodobnost zdravotních účinků byla „tolerabilní“ (pro profesně vystavené osoby) nebo „akceptabilní“ (pro veřejnost) (Podzimek, 2005). Přehled deterministických a stochastických účinků je uveden v Příloze 2 a přehled změn působících na lidský organismus vlivem ionizujícího záření je uveden v Příloze 3.

### *1.3.2 Expoziční situace, principy radiační ochrany*

Rozlišují se tři expoziční situace. První je **plánovaná expoziční situace**, která zahrnuje záměrné zavádění a provoz zdrojů. Dalším typem jsou **nehodové expoziční situace**, které se mohou vyskytovat během plánovaných situací, ze svévolného činu nebo při náhlých situacích. Poslední kategorií jsou **existující expoziční situace**, které se již naskytly, a pojednává se o jejich regulaci.

Plánované expoziční situace zahrnují profesní ozáření, což znamená radiační expozici pracovníků v důsledku jejich práce. Dále sem patří ozáření obyvatel výsledkem působení různých zdrojů záření. Poslední kategorií je lékařské ozáření při diagnostických, intervenčních a léčebných výkonech (Havránek, 2018).

Obecným principem ochrany před ionizujícím zářením je ochrana vůči zevnímu ozáření, povrchové a vnitřní kontaminaci. Ochrana před zevním ozářením je založena na ochraně časem, stíněním a vzdáleností. Ochrana před vnitřní kontaminací znamená zpracovávat co nejmenší dostačující aktivitu radioaktivní látky, omezit rozptyl radioaktivního materiálu a dodržet předepsaný režim práce (Podzimek, 2005).

Konkrétně rozlišujeme tři principy radiační ochrany. Prvním z nich je **princip zdůvodnění**, při kterém by se mělo dosáhnout prospěchu, aby se vyrovnala způsobená újma. Dalším je **optimalizace radiační ochrany**. To znamená tak nízké ozáření, jaké je rozumně dosažitelné, při uvážení ekonomických a sociálních hledisek. Třetím principem jsou **dávkové limity**, které jsou ukazateli pro omezení ozáření organismu v rámci plánovaných expozičních situací - kromě lékařských (Havránek, 2018).

### *1.3.3 Limity ionizujícího záření*

**Limitem ozáření** se rozumí kvantitativní ukazatel, který se snaží omezit celkové ozáření osob z činností v rámci plánovaných expozičních situací. Limity dělíme na obecné limity pro obyvatele, limity pro radiační pracovníky a limity pro žáky a

studenty. Limitům ozáření nepodléhá lékařské ozáření (Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon).

Charakterizují se také odvozené limity, které jsou ukazatelem vyjádřeným v měřitelných veličinách a slouží pro orientaci nepřekročení limitů radiačních pracovníků. Jako poslední jsou popsány autorizované limity; těmi se rozumí kvantitativní ukazatel, který je výsledkem optimalizace radiační ochrany pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření.

V této kapitole je uveden pojem **efektivní dávka**, což je součet součinů tkáňových váhových faktorů a ekvivalentní dávky v ozářených tkáních a orgánech.

**Ekvivalentní dávkou** se rozumí součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni pro ionizující záření nebo součet takových součinů. Pro obě dávky se používá 1 Sv.

Obecný **limit pro obyvatele** za jeden kalendářní rok je pro součet efektivních dávek 1 mSv. Dále pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže je limit 50 mSv bez ohledu na velikost ozářené plochy a v oční čočce 15 mSv.

Limity pro **radiační pracovníky** se považují za nepřekročené, pokud nejsou překročeny kvantitativní ukazatele vyjádřené v měřitelných veličinách. Stanoveny jsou limity pro efektivní dávku na 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce. Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže je stanoveno 500 mSv za jeden kalendářní rok (tj. tento limit platí např. pro ekvivalentní dávku na ruce a na nohy) a pro ekvivalentní dávku v oční čočce na 15 mSv.

V případě překročení limitů ozáření, musí být radiační pracovník dočasně vyřazen z práce se zdrojem ionizujícího záření do doby, než je posouzena jeho zdravotní způsobilost.

**Limity pro žáky a studenty** ve věku od 16 do 18 let pracující se zdrojem ionizujícího záření jsou určeny pro součet efektivních dávek na 6 mSv. Pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm<sup>2</sup> kůže je stanoven limit na 150 mSv (tj. na ruce a nohy), a pro ekvivalentní dávku v oční čočce na 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce.

Pokud je žákovi či studentovi méně než 16 let, platí pro něj obecní limity pro obyvatele. V případě, že je starší 18 let, platí pro něj limity shodné s radiačními pracovníky.



**Odvozené limity** pro vnější ozáření jsou stanoveny pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm na 500 mSv za rok, v hloubce 3 mm na 20 mSv a v hloubce 10 mm také na 20 mSv.

Odvozené limity pro vnitřní ozáření jsou stanoveny za jeden kalendářní rok při požití na  $0,02/h_{ing}$  a při vdechnutí na  $0,02/h_{inh}$  (kde  $h_{ing}$  je konverzní faktor pro příjem jednotlivého radionuklidu požitím a  $h_{inh}$  je konverzní faktor pro příjem jednotlivého radionuklidu vdechnutím).

**Autorizované limity** stanovuje SÚJB (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje). Bývají nižší než dávková optimalizační mez, což je horní hranice očekávaných dávek, kterými může zdroj ionizujícího záření ovlivňovat osoby a která se zároveň definuje pro přípravy optimalizace v rámci radiační ochrany.

**Výjimečné ozáření** znamená předpokládané ozáření radiačního pracovníka a současné překročení stanovených limitů (Havránek, 2018).

#### *1.3.4 Program monitorování a kategorizace radiačních pracovníků*

Lze odhadnout pravděpodobnou úroveň individuálních dávek u různých profesí v případě, že jsou zachovány pracovní postupy a pravidla bezpečnosti ochrany práce. V rámci programu monitorování zkoumáme osoby a pracovní prostředí.

**Monitorování osob** slouží ke stanovení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením individuálního zevního a vnitřního ozáření každé osoby přicházející do kontaktu se zdrojem ionizujícího záření.

Osobní dávky pracovníků zkoumáme na základě vyhodnocení údajů z osobních dozimetrů každého zaměstnance, které se zpravidla nosí na přední levé horní straně hrudníku. Nejčastěji se využívají filmové či termoluminiscenční dozimetry.

Při **monitorování pracovního prostředí** určujeme odhadem horní mez dávky. K řízení a ochraně před ionizujícím zářením jsou zavedeny referenční úrovně, které vymezují kritéria pro určitá opatření a postupy. Stanovujeme úroveň záznamovou, vyšetřovací a zásahovou jako hodnoty nebo kritéria pro určité předem stanovené postupy nebo opatření (Kodl, 2007).

Monitorování vnějších i vnitřních prostor zařízení obsahuje údaje o používaných měřicích přístrojích, jejich umístění, rozsazích měření, odolnosti, dále také o řešení přenosu dat a způsobu zpracování a vyhodnocení dat. Součástí je i monitorování výpustí (Státní ústav radiační ochrany (SÚRO), 2021).

Na pracovištích, kde se vyskytují zdroje ionizujícího záření, se stanovuje **kontrolované pásmo** vyžadující zvláštní ochranná a bezpečnostní opatření. Kontrolovaným pásmem se rozumí pracoviště se zdrojem ionizujícího záření, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv za rok nebo ekvivalentní dávka by zde mohla být vyšší než 3/10 limitu pro radiační pracovníky pro kůži nebo končetiny, popřípadě vyšší než 15 mSv pro oční čočku.

A dále se stanovuje **sledované pásmo**, ve kterém se zajišťuje pouze monitorování pracoviště. Sledovaným pásmem se rozumí pracoviště se zdrojem ionizujícího záření, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 1 mSv za jeden rok, nebo kde by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než 1/10 limitu ozáření pro radiační pracovníky pro oční čočku, kůži a končetiny (Zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon).

Při kategorizaci radiačních pracovníků se musí brát v úvahu očekávané ozáření během normálního provozu a potenciální ozáření. **Pracovník kategorie A** je radiační pracovník, který může obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně, ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv pro oční čočku nebo ekvivalentní dávku vyšší než 3/10 limitu pro kůži a končetiny. Jinak pro ně platí limity pro radiační pracovníky, které byly uvedeny výše.

**Pracovníci kategorie B** jsou všichni ostatní radiační pracovníci mimo ty, kteří jsou uvedeni v předchozím odstavci, je-li atomovým zákonem požadována jejich kategorizace. Pro ně platí limity, které byly uvedeny výše pro žáky a studenty (Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje).

#### ***1.4 Pracoviště se zdroji ionizujícího záření***

Pracoviště se zdroji ionizujícího záření se rozdělují do čtyř kategorií. Každé pracoviště je povinno důsledně vést příslušnou dokumentaci a dbát na zdraví svých zaměstnanců.

##### ***1.4.1 Podmínky bezpečného provozu***

Bezpečnost provozu se řídí **Vyhláškou č. 307/2002 Sb.** Patří sem problematika odůvodnění radiační činnosti a optimalizace radiační ochrany, limitování dávek, dále klasifikace používaných zdrojů ionizujícího záření, kategorizace pracovišť a radiačních pracovníků, informace pracovníků o riziku jejich práce a systému vzdělávání, vymezení sledovaných a kontrolovaných pásem, prováděním regulačních opatření a monitorování podmínek, lékařský dohled, dohled nad radiační ochranou, vybavení

pracoviště přístroji a v neposlední řadě také vybavení pracovníků osobními ochrannými prostředky.

Tato vyhláška také stanovuje kritéria pro kategorizaci pracovišť. Ta se klasifikují vzestupně **I., II., III. a IV. kategorie** podle ohrožení života a životního prostředí. Hodnotí se dle zdrojů ionizujícího záření, míry ozáření osob, možnosti vzniku radioaktivního odpadu, možnosti kontaminace pracoviště radioaktivními látkami, rizika vzniku radiační havárie a další (Kuna a Navrátil et al., 2005).

Při používání zdrojů ionizujícího záření vždy existuje určitá pravděpodobnost vzniku **mimořádné radiační události**.

Proto musí být zpracována tato problematika do programu zabezpečování jakosti. Zároveň je nutné mít zpracovaný vnitřní havarijný plán pro veškerá pracoviště pracující se zdroji ionizujícího záření a také je důležité zajistit havarijní připravenost pracovišť.

Dle nynějších právních předpisů jsou pro určité činnosti nutná povolení SÚJB. Jde o povolení k provozu pracoviště s významným zdrojem ionizujícího záření, k provedení rekonstrukce ovlivňující radiační ochranu, k vyřazování pracoviště z provozu a k nakládání se zdroji ionizujícího záření (Žáčková et al., 2000).

Každý zaměstnanec pracující s ionizujícím zářením musí být pod lékařským dohledem. Lékařské prohlídky zahrnují vstupní, periodické, mimořádné a výstupní vyšetření. Tuto péči poskytuje oprávněný lékař (Ptáček et al., 2014).

#### *1.4.2 Dokumentace pracovišť se zdroji ionizujícího záření*

Pracoviště musí důkladně vést několik dokumentací zahrnující ochranu, bezpečnost před zářením, preventivní opatření a řešení mimořádných událostí a mnohé další. Mezi ně patří Dokumentace pro povolení nakládání se zdroji ionizujícího záření, Dokumentace pro povolení k provozu pracoviště III. nebo IV. kategorie, Dokumentace pro povolení uvádění radionuklidů do životního prostředí a Program monitorování a Program zabezpečování jakosti (Kuna a Navrátil et al., 2005).

## **2 Cíl práce**

Zmapování dané problematiky a porovnání rizik v profesích, při kterých jsou osoby vystaveny ionizujícímu záření, a rizik u osob v jiných profesích.

### ***2.1 Výzkumné otázky***

1. Jaké je radiační riziko u osob profesně vystavených ionizujícímu záření?
2. Jaká jsou rizika u ostatních profesí?

## **3 Metodika**

### ***3.1 Metody a techniky sběru dat***

Výzkumná část je zpracována na základě kvalitativního výzkumu. Údaje jsou získány pomocí literární rešerše z odborných publikací a článků na dané téma.

Dále jsou informace poskytnuty pomocí rozhovorů se závodními lékaři nemocnic, kteří se zabývají pracovním lékařstvím a nemocemi z povolání a dále se závodním lékařem jaderné elektrárny.

Údaje jsou porovnány a zrekapitulovány pomocí přehledných grafických zobrazení v podobě grafů a tabulek. Na závěr jsou data porovnána, zhodnocena a diskutována.

### ***3.2 Charakteristika výzkumného souboru a průběh výzkumu***

Výzkumná část zahrnuje popis profesí, které nesou riziko zdravotních následků, a to především riziko nádorových onemocnění a leukémií působením ionizujícího záření na jedince.

Jedná se o profese: horníci uranových dolů, profesionální piloti letadel a palubní personál, zdravotnictví, jaderný průmysl, defektoskopie a karotáže. Zahrnuty jsou typické efektivní dávky u každé profese a míra rizika úmrtí na nádorové onemocnění, dále příčina ozáření a zdravotní důsledky vyplývající z ozáření.

V další části jsou uvedena zdravotní rizika u ostatních profesí. Nejprve jsou diskutovány různé příčiny nádorových onemocnění a leukémií u vybraných profesí, mimo ty, které vyžadují práci se zdroji ionizujícího záření. Poté jsou popsána další zdravotní rizika zahrnující různá onemocnění a úrazy způsobené vlivem konkrétního profesního zařazení a navíc i počty úmrtí.

V poslední části výzkumu jsou uvedeny rozhovory s lékaři dvou pražských nemocnic - IKEM a Všeobecná fakultní nemocnice - a Jaderné elektrárny Temelín. Uskutečnily se v průběhu února a března roku 2021. Rozhovory se zaměřily na vliv ionizujícího záření na zdraví zaměstnanců daného zařízení a na rizikové faktory ostatních zaměstnanců, kteří nepracují se zdroji ionizujícího záření.

Vše je doplněno o přehledné grafy a tabulky pro snadnější a jasnější představu a rychlejší orientaci v této problematice.

Výsledky jsou získány prostřednictvím porozumění zkoumanému problému. Je vytvořen celkový obraz o daném jevu, který je identifikován a popsán. Díky rozhovorům jsou teoretické znalosti z odborných publikací a článků, včetně zahraniční

literatury, obohaceny o zkušenosti z dlouholeté praxe a informace jsou tak komplexnější.

### **3.3 Postupy užití během výzkumu**

#### *3.3.1 Literární rešerše*

Jedná se o psaný dokument, jehož obsahem jsou informace a detailní porozumění konkrétního jevu v oblasti, na kterou se rešerše zaměřuje. Odborných publikací je celá řada a každý autor zkoumá problematiku z jiného úhlu pohledu.

V této práci byla literární rešerše využita jak pro teoretickou část, tak i pro část mého výzkumu. Literární rešerši jsou podloženy i některé mé názory a shrnutí v kapitole Diskuze.

Důraz je kladen na odbornost a pokud možno co nejvyšší aktuálnost literatury. Vše je smysluplně a chronologicky řazeno a rozděleno do podkapitol.

#### *3.3.2 Strukturovaný rozhovor*

Rozhovorem se zachycují informace od vybraných respondentů. Je zájem o jejich postoj k danému problému a předání zkušeností a znalostí jak teoretických, tak nabytých dosavadní dlouholetou praxí.

Využila jsem strukturovaný rozhovor o 12 otázkách k zadanému tématu, tak aby byla získána data o zaměstnancích vhodná pro porovnání jak v konkrétním zařízení, tak mezi zařízeními navzájem. Otázky pro rozhovor jsou uvedeny v Příloze 4.

#### *3.3.3 Grafické zobrazení dat*

Do grafického zobrazení dat spadají grafy a tabulky zahrnující určité vybrané údaje. Slouží především k lepší vizualizaci a samozřejmě ke shrnutí získaných dat.

Umožňují přehledně znázornit výsledky a následně mohou pomoci, jak s konkrétními údaji dále naložit.

Ne každý graf se hodí pro všechna data, proto se musí zvolit ten nejvhodnější. V této práci je použit graf sloupcový, který přehledně zobrazuje získané informace a hodnoty.

Dále jsou v práci využity jednoduché tabulky pro doplnění grafů a textu.

## 4 Výsledky

Jedním z největších problémů zdraví obyvatel jsou zhoubná nádorová onemocnění vznikající v důsledku profesního zařazení.

Asi **120 000 případů nádorových onemocnění** se každoročně vyskytne v Evropské Unii (EU) v důsledku pracovní pozice ohrožené expozicí karcinogenů. Z toho pak zemře kolem 80 000 osob za rok.

Mezi faktory ovlivňující zdraví patří radiace, karcinogenní látky, stres a další. Bylo zjištěno, že zhoubná onemocnění mohou zapříčinit i expozice látkám negativně ovlivňující činnost endokrinních žláz (pesticidy) nebo nanomateriálům během pracovní činnosti (Příloha 5).

Následkem toho se apeluje na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci (Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci, 2021).

V různých zemích se odhaduje, že 2-10 % zhoubných nádorových onemocnění nese profesní etiologii. U nás v České republice se v letech 1991-2002 podařilo prokázat a uznat za nemoc z povolání jen 0,12 % z celkového počtu zhoubných onemocnění. V letech 2005-2007 toto číslo kleslo na 0,0005 % - což je podíl 114 případů profesních nádorů na souhrnném počtu 219 538 všech nově zjištěných zhoubných novotvarů.

V naší zemi v letech 1991-2007 bylo zaznamenáno 1 038 osob s profesním nádorovým onemocněním. Dlouhodobý trend byl v těchto letech sestupný (Příloha 6). Nejvíce nádorů bylo zjištěno v roce 1991 (100 případů), nejméně v roce 2008 (24 případů).

U mužů bylo diagnostikováno 986 (95 %), u žen 52 (5 %) profesních zhoubných nádorů. Věk zasažených zaměstnanců se pohyboval od 33 do 87 let, střední věk byl 67 let.

Nejčastěji se objevovaly **zhoubné nádory průdušek a plic, nádory močového měchýře a kůže**. Doba vystavení profesnímu etiologickému agens byla od jednoho měsíce do 53 let. Průměrná doba od začátku vystavení profesnímu karcinogenu do určení diagnózy onemocnění byla 49 let (Příloha 7). Jiné zdroje uvádějí období latence u leukemie 5-15 let, u nádorů plic 10-30 let (Zölzer et al., 2007).

Vzhledem k takto dlouhé době latence nelze vždy dostatečně prokázat, zda se jedná o nádorová onemocnění zapříčiněná zaměstnáním. Nemocný bývá často ve starobním důchodu nebo pracuje v jiné profesi. Dalším důvodem je fakt, že profesní nádory mají

stejný klinický obraz, histologický nález, průběh i terapii jako nádory, které se vyskytují v obecné populaci, kde mohou být způsobeny různými faktory (Brhel et al., 2011).

#### ***4.1 Srovnání rizik osob profesně vystavených ionizujícímu záření***

V této kapitole jsou charakterizovány profese: horníci uranových dolů, profesionální piloti letadel a palubní personál, zdravotnictví, jaderný průmysl, defektoskopie a karotáže. U jednotlivých profesí jsou popsány dávky ozáření, rizika zvýšení pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění, dále příčiny a zdravotní následky.

##### ***4.1.1 Horníci v uranových dolech***

Příčinou onemocnění horníků v uranových dolech byla expozice **radioaktivitě z přírodního uranu a z jeho rozpadových produktů** ve formě **radonu, uranových aerosolů** a ozáření z přítomných **přírodně radioaktivních materiálů** (Procházka, 2006).

Rozpadem uranu vznikají další radioaktivní prvky (thorium, radium, radon, polonium, bismut, olovo). Jsou to zářiče  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ . Uran představoval jen malou část vytěžené horniny (0,10-0,15 %) a zdraví ohrožovaly také další doprovodné látky a sloučeniny, např. těžké kovy nebo oxid křemičitý.

Hlavní riziko u profesně vystavených osob nesl především radioaktivní plyn radon, který po inhalaci vniká do dýchacího ústrojí a v plicích může dále přecházet do krevního oběhu. Rozpadem radonu se tvoří celá řada rozpadových produktů a to nejprve polonium-218 a  $\alpha$  záření. Poločas rozpadu polonia jsou zhruba tři minuty, během rozpadu vzniká opět  $\alpha$  záření a tvoří se radioaktivní izotop olova-214. Ten se dále rozpadá na bismut-214 za vzniku  $\beta$  záření, dále na polonium-214 a opět  $\beta$  záření a nakonec na olovo-210 za vzniku  $\alpha$  záření.

Zdravotní rizika jsou podrobně popsána u pracovníků, kteří těžili a zpracovávali uranovou rudu. Ale již nejsou zcela zdokumentována rizika u obyvatel, kteří žijí v okolí uranových dolů a byli tedy nepřímo vystaveni škodlivým látkám při rozpadu uranu.

Těžba uranu probíhala v několika oblastech naší země – Příbram, Dolní Rožínka, Stráž pod Ralskem, Hamr, Zadní Chodov, Jáchymov, Horní Slavkov. S výjimkou Stráže pod Ralskem se těžil uran podzemním dobýváním (Šuta, 2015).



Horníci uranových dolů byli při těžbě vystaveni dávkám ionizujícího záření v České republice kolem 5,5 mSv za rok, což nese velmi nízké riziko pro úmrtí na nádorové onemocnění, asi  $2,75 \cdot 10^{-2}$  % (Petrová, 2014), ale rizika se kumulují, tzn., že po 40 letech práce je dávka 220 mSv a celkové riziko tedy kolem 1 %. Dávky jsou tím nižší, čím lepší bylo odvětrávání v uranových dolech, tzn., že horníci pracující v dolech v 50. letech měli výrazně větší dávky než ti v poslední dekádě uranového hornictví.

Nyní trpí řadou organických a funkčních poruch nebo chorob a příčinou jejich smrti je často **rakovina plic** nebo **leukémie**, které jsou u nich uznávány jako nemoc z povolání. Dále se objevují i **bazaliomy**, taktéž uznávané jako nemoc z povolání. Kromě toho se mohou vyskytovat u těchto zaměstnanců i zhoubné **nádory hrtanu**.

První nálezy zhoubných nádorů v respiračním traktu se nejčastěji objevují až po minimálně deseti letech od začátku dlouhodobé expozice (Procházka, 2006).

Podle statistik připadá 75-80 % profesních zhoubných nádorových onemocnění zapříčiněných ionizujícím zářením právě do oblasti těžby a úpravy uranových rud.

S postupným útlumem těžby uranu a uzavíráním uranových dolů výskyt nádorových onemocnění u horníků klesá (u rakoviny plic je to až o 80 %) (Šuta, 2015).

Jako další je u nich diagnostikována i **silikóza** zapříčiněna vdechováním malých částecek oxidu křemičitého, která je taktéž zahrnuta v nemocích z povolání uranových horníků (Petrová, 2014).

Za prekancerózu je pokládána **chronická bronchitida**, která může zapříčinit nádorové onemocnění plic. Studie prokázala, že podle věkových a expozičních skupin byla zjištěna statisticky významná závislost výskytu chronické bronchitidy na délce vykonávání této profese v uranových dolech (Andrlík, 2020).

#### *4.1.2 Piloti letadel a palubní personál*

Nejintenzivnějším zdrojem radiace v atmosféře Země jsou **sluneční vítr** představující proud vysoce nabitých elektronů vymrštěných ze sluneční koróny a **kosmické záření**, které může proniknout magnetickým polem a dopadnout na Zemi.

Častou událostí je, že část slunečního větru proniká do horních vrstev atmosféry, kde nabité elektrony reagují s atomy kyslíku a dusíku a vyzářují sekundární a terciární záření.

Tato radiace, především v podobě gama záření, způsobuje vyšší radiační expozici a hrozbu pro osoby, které často létají, protože ochranná vrstva atmosféry je ve vyšších výškách slabší (Schwarzmann, 2017).

Úroveň expozice je ovlivněna několika faktory, např. výška letu, zeměpisná šířka dráhy letu – trasy přes **póly jsou ozařovány nejvíce** (dávky získané během letu v okolí pólů jsou 3-5krát vyšší, než při letových trasách kolem rovníku).

Dalšími faktory jsou pak sluneční aktivita nebo počty skvrn na slunci (i 100krát může zvýšit úroveň radiace silná sluneční bouře). Při opakovaných a častých letech se dávka sčítá a může zapříčinit vznik rizika **nádorového onemocnění nebo šedého zákalu** (Phillips, 2014).

Na dálkových letech ve vyšších zeměpisných šířkách obdrží piloti, palubní personál i cestující za každých 12,5 hodin letu ve výšce 11 kilometrů dávku 0,03–0,10 mSv. Ve středních zeměpisných šířkách je výše zmíněná dávka obdržena jednou za 25 hodin, při letu kolem rovníku pak jen jednou za 100 hodin. Snížením letové hladiny se může intenzita dávky korigovat, každé dva kilometry ji mohou snížit na polovinu.

Profesionální letci jsou ročně zasaženi dávkou kolem 2 mSv z kosmického záření. To znamená velmi nízké radiační riziko  $1,0 \cdot 10^{-2}$  % pro úmrtí na nádorové onemocnění. Kumulovaná dávka za celý pracovní život (což může být více než 40 let) se pohybuje kolem 80 mSv. To znamená nízké riziko 0,4 % pro úmrtí na nádorové onemocnění.

Největší dávka byla naměřena u pilota Concordu, a to 17 mSv za rok, což je dávka nesoucí již nízké riziko  $8,5 \cdot 10^{-2}$  % pro úmrtí na nádorové onemocnění. Piloti sportovních letadel jsou vystaveni několikanásobně nižšímu ozáření, než piloti dopravních letadel. (Schwarzmann, 2017).

#### *4.1.3 Zdravotnický personál*

Ionizujícímu záření jsou vystaveni zaměstnanci určitých profesí ve zdravotnictví, a to oboru **radioterapie, nukleární medicíny a radiodiagnostiky** a dále zdravotníci využívající **intervenční metody** v různých oborech.

Reálná úroveň expozice zdravotníků ionizujícímu záření je obecně nízká a zdravotní rizika plynoucí z této expozice, jsou skoro nulová. Efektivní dávky a příčiny ozáření zdravotníků jsou mezi jednotlivými obory a odděleními významně rozdílné. Je to z důvodu rozdílných pracovních metod a postupů (Příloha 8) (GolISOVÁ, Kraft, 2010).

Obecně v medicíně obdrží zaměstnanec za rok dávku průměrně 0,8 mSv (prostý průměr z Tabulky 1), což je dávka nesoucí minimální riziko  $0,4 \cdot 10^{-2}$  % pro úmrtí na nádorové onemocnění. Kumulovaná dávka za celý pracovní život (opět více než 40 let) se může pohybovat kolem 32 mSv. To znamená nízké riziko 0,16 % pro úmrtí na nádorové onemocnění.

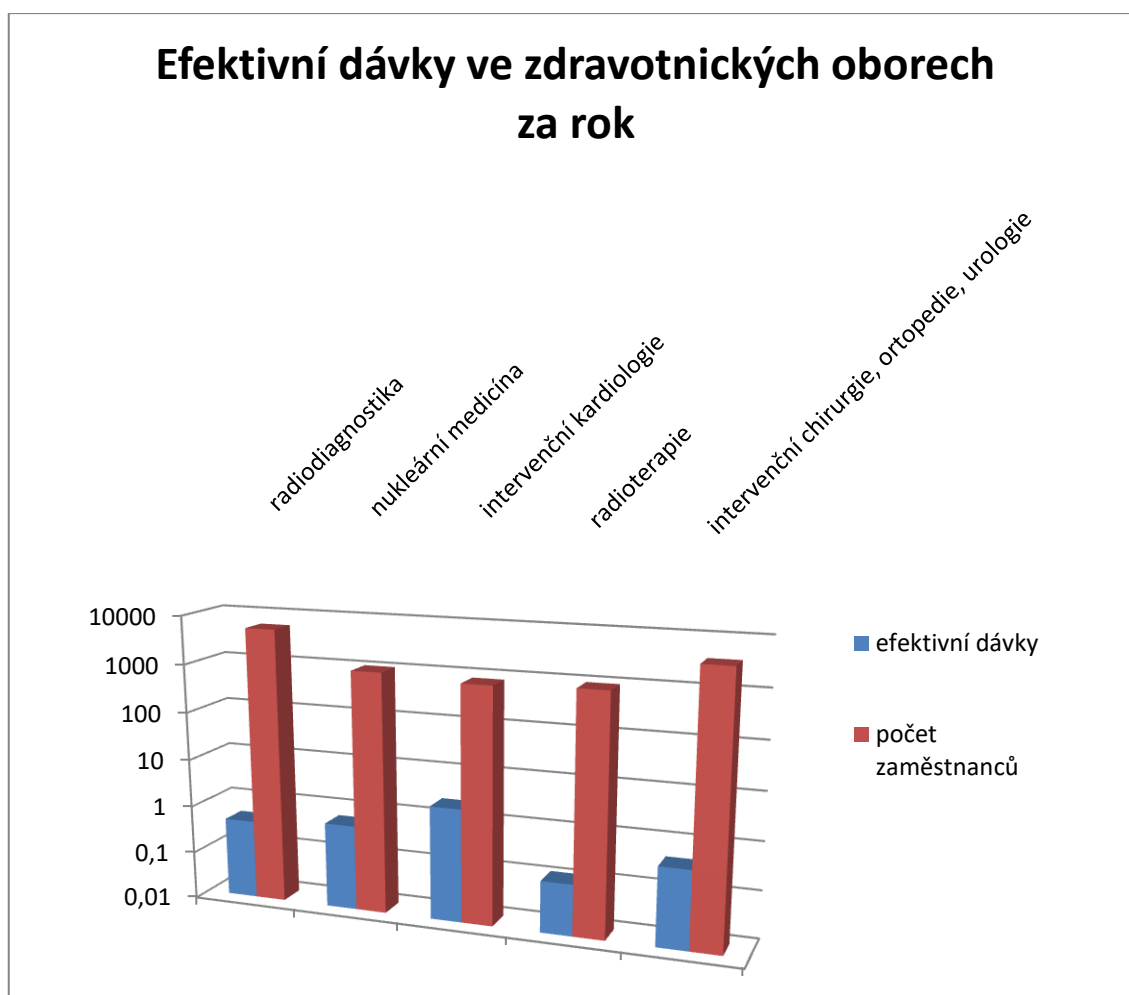
Pracovník, u kterého došlo k překročení limitů, se podrobí mimořádnému lékařskému vyšetření. Poté jsou pro něj stanoveny podmínky pro další práci se zdrojem ionizujícího záření (Petrová, 2014).

Níže uvedená Tabulka 1 a Obrázek 1 zaznamenávají dávky, počet pracovníků a radiační riziko u konkrétního oboru za rok. A Tabulka 2 a Obrázek 2 zase popisují kumulované efektivní dávky a míru rizika za celý pracovní život.

**Tabulka 1: Efektivní dávky ve zdravotnických oborech za rok**

<b>Zdravotnický obor</b>	<b>Efektivní dávka (mSv)</b>	<b>Počet pracovníků</b>	<b>Radiační riziko (%)</b>	<b>Míra rizika</b>	<b>Předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok</b>
Radiodiagnostika	0,45	5485	$0,2 \cdot 10^{-2}$	Minimální	2,25
Nukleární medicína	0,61	1025	$0,3 \cdot 10^{-2}$	Minimální	3,05
Intervenční kardiologie	2,37	804	$1,1 \cdot 10^{-2}$	Velmi nízké	11,85
Radioterapie	0,12	929	$0,06 \cdot 10^{-2}$	Minimální	0,60
Intervenční chirurgie, ortopedie, urologie	0,44	3718	$0,2 \cdot 10^{-2}$	Minimální	2,20

(vlastní zdroj)



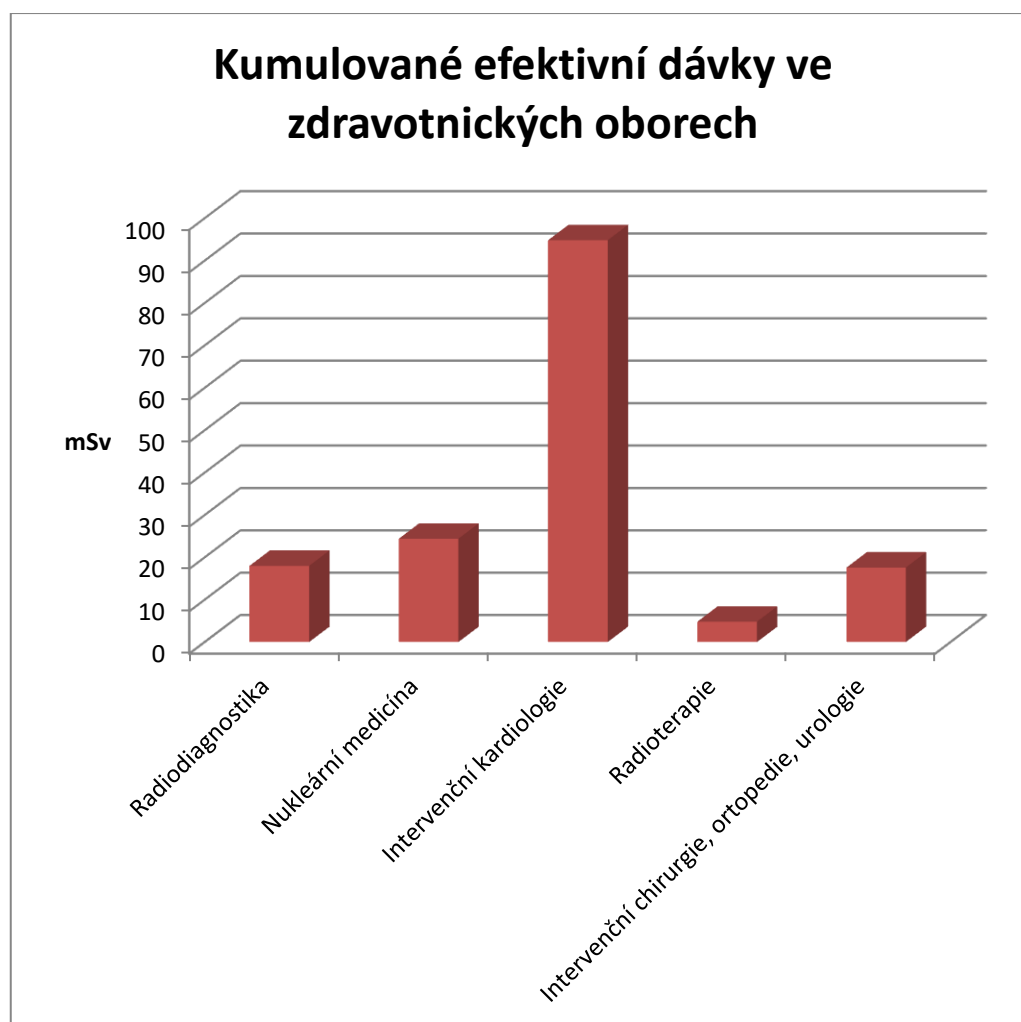
Obrázek 1: **Efektivní dávky ve zdravotnických oborech za rok**  
(vlastní zdroj)

Obrázek a výše uvedená tabulka znázorňují v modrých sloupcích průměrné roční efektivní dávky (mSv), které obdrží zaměstnanci v pěti vybraných zdravotnických oborech, kde se pracuje s ionizujícím zářením. Červené sloupce označují počet pracovníků v jednotlivých oborech v České republice. Největší dávku dostávají dle grafu pracovníci intervenční kardiologie. Nejmenší dávkou z těchto oborů jsou zasaženi zdravotníci radioterapie. Nejvyšší počet zaměstnanců pracuje v oblasti radiodiagnostiky, nejnižší v oblasti intervenční kardiologie. Výše uvedená tabulka navíc zahrnuje i předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok, radiační riziko a jeho slovně vyjádřenou míru podle Tabulky 5 u jednotlivých oborů.

Tabulka 2: Efektivní dávky ve zdravotnických oborech kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

Zdravotnický obor	Efektivní dávka (mSv)	Radiační riziko (%)	Míra rizika
Radiodiagnostika	18,0	0,09	Nízké
Nukleární medicína	24,4	0,12	Nízké
Intervenční kardiologie	94,8	0,47	Nízké
Radioterapie	4,8	0,02	Velmi nízké
Intervenční chirurgie, ortopedie, urologie	17,6	0,08	Nízké

(vlastní zdroj)



Obrázek 2: Efektivní dávky ve zdravotnických oborech kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

(vlastní zdroj)

Tabulka a obrázek popisují kumulované dávky během celého pracovního života (počítám přibližně 40 let). V tabulce je dále uvedeno radiační riziko a jeho slovně vyjádřená míra. Nejvyšší riziko opět vidíme u intervenční kardiologie a nejnižší u radioterapie.

#### 4.1.4 Zaměstnanci jaderného průmyslu

Jaderná elektrárna je zařízení, ve kterém je třeba zabezpečit nejen všechny požadavky radiační ochrany, ale zároveň je také nutné splnit technické, organizační a další normy týkající se vlastní technologie elektrárny.

Výše zmíněné předpoklady se nazývají jaderná bezpečnost. Ta zajišťuje snahu zabránit nekontrolovatelnému průběhu štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek a ionizujícího záření do životního prostředí.

Ochrana pracovníků v jaderné elektrárně spočívá v **kontrole osobní efektivní dávky** zaměstnance, která musí být udržována na rozumně dosažitelné nízké úrovni (SÚRO, 2021).

Spousta epidemiologických nebo radiobiologických studií ukázala na fakt, že zaměstnanci, kteří jsou vystaveni nízkým dávkám ionizujícího záření, bývají ohroženi především **leukémií**, popřípadě i jinými druhy **nádorového onemocnění**.

Dle dlouhodobého výzkumu se zjistilo, že zaměstnanci jaderných elektráren ve Francii, Velké Británii a Spojených státech amerických jsou průměrně vystaveni kumulativní dávce záření 16 mGy v době studie během 27 let (Kališová, 2015).

Jiný výzkum ukázal, že průměrná roční dávka pro české pracovníky v jaderných elektrárnách dosahuje asi 0,2 mSv. Tato dávka nese pro úmrtí na nádorové onemocnění minimální riziko  $0,1 \cdot 10^{-2} \%$  (Petrová, 2014). Pouze malá část zaměstnanců obdrží dávku podstatně větší a to i přes 1 mSv (SÚJB, 1994).

Kumulovaná dávka za celý pracovní život (opět více než 40 let) se může pohybovat kolem 8 mSv. To znamená velmi nízké riziko 0,04 % pro úmrtí na nádorové onemocnění.

Při použití konvenčních analýz nebyl zaznamenán žádný vliv ionizujícího záření na zdravotní stav zaměstnanců jaderných elektráren Temelín a Dukovany. Pravděpodobně je to tím, že efektivní dávky jsou tak nízké, že se riziko vzniku zhoubného onemocnění statisticky neobjeví oproti pozadí spontánních nádorů (Magersteinová a Machová Wittingerová, 2015).

#### 4.1.5 Zaměstnanci provádějící karotáže

Radioaktivní karotáž našla své uplatnění v **geologickém průzkumu**. Metoda spočívá ve spuštění sondy s neutronovým zářičem do vrtu a následném měření sekundární radioaktivity v geologických vrstvách.

Pomocí metody se zjišťuje stáří geologických vrstev na základě měření aktivity plyných radionuklidů v půdě. Dále se určuje vlhkost půdy díky rozptylu neutronů a možná přítomnost zdrojů podzemní vody či ropy (Kusala, 2004).

Technik karotáže obsluhující zařízení je ohrožen následky plynoucími s prací se zdroji ionizujícího záření. Jeho průměrná roční dávka se pohybuje kolem 1,3 mSv. Tato dávka znamená velmi nízké riziko  $0,65 \cdot 10^{-2} \%$  pro úmrtí na nádorové onemocnění (Petrová, 2014).

Kumulovaná dávka za celý pracovní život (opět více než 40 let) se může pohybovat kolem 52 mSv. To znamená nízké riziko 0,26 % pro úmrtí na nádorové onemocnění.

#### 4.1.6 Zaměstnanci provádějící defektoskopii

Jedná se o metodu, při které se sleduje možná **vada materiálu**, aniž by se poškodil nebo porušil. Pomocí průmyslové defektoskopie se na materiál vysílá záření  $\gamma$  a na jeho druhé straně je vložena kazeta s filmem. Různým stupněm zčernání filmu se projeví skryté vady tohoto materiálu (Kusala, 2004).

Proto i pracovníci provádějící tuto činnost jsou ohroženi ionizujícím zářením. Průměrná roční dávka u nich dosahuje asi 0,8 mSv. Tato dávka nese minimální riziko  $0,4 \cdot 10^{-2} \%$  pro úmrtí na nádorové onemocnění. (Petrová, 2014).

Kumulovaná dávka za celý pracovní život (opět více než 40 let) se může pohybovat kolem 32 mSv. To znamená nízké riziko 0,16 % pro úmrtí na nádorové onemocnění.

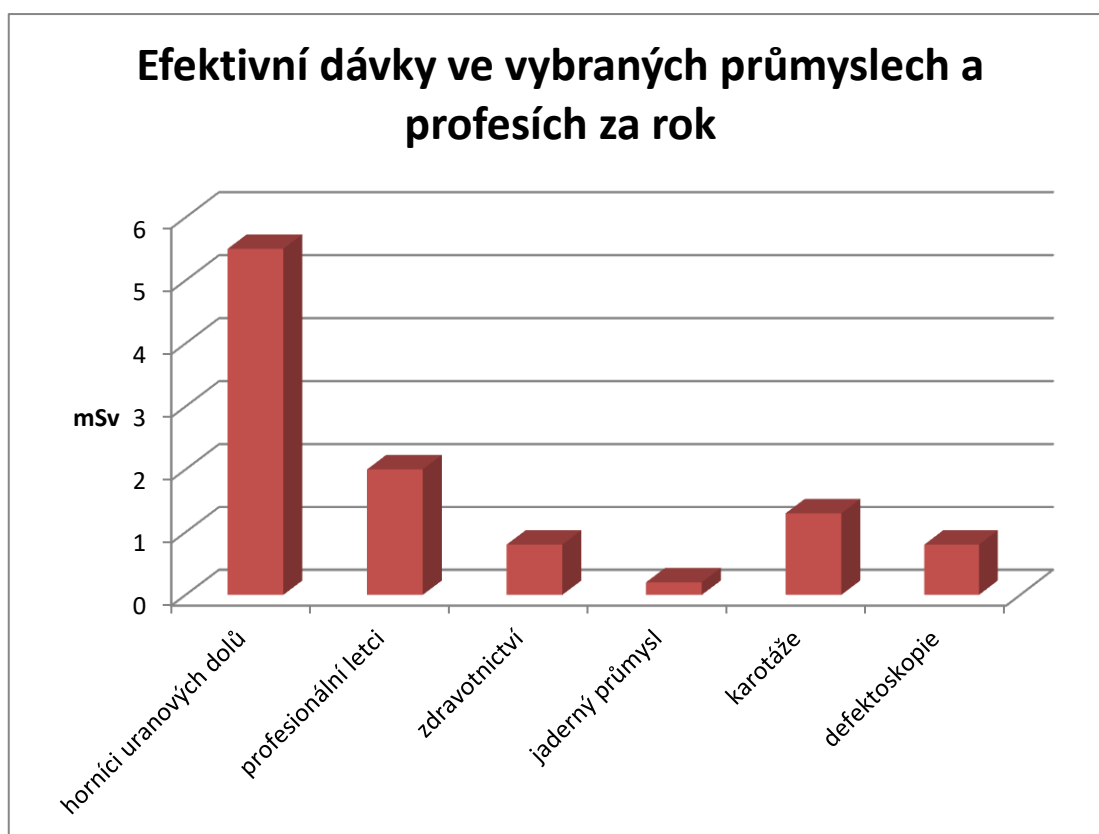
K výše zmíněným profesím jsou zde zakomponovány tabulky a graf. Dávky a radiační rizika za rok jsou uvedeny v Tabulce 3 a v Obrázku 3. Kumulované dávky a rizika za celý pracovní život jsou zaznamenány v Tabulce 4 a Obrázku 4.

Dále je uvedena míra rizika při ozáření takto malými dávkami (Tabulka 5). V případě dosažení limitů radiačních pracovníků popisují i maximální rizika pro zvýšení pravděpodobnosti nádorového onemocnění (Tabulka 6).

Tabulka 3: Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích v České republice za rok

Průmysl nebo profese	Efektivní dávka (mSv)	Radiační riziko (%)	Míra rizika	Předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok
Horníci uranových dolů	5,5	$2,75 \cdot 10^{-2}$	Velmi nízké	27,5
Profesionální letci	2,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$	Velmi nízké	10,0
Zdravotnictví	0,8	$0,4 \cdot 10^{-2}$	Minimální	4,0
Jaderný průmysl	0,2	$0,1 \cdot 10^{-2}$	Minimální	1,0
Karotáže	1,3	$0,65 \cdot 10^{-2}$	Velmi nízké	6,5
Defektoskopie	0,8	$0,4 \cdot 10^{-2}$	Minimální	4,0

(vlastní zdroj)



Obrázek 3: Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích za rok (vlastní zdroj)

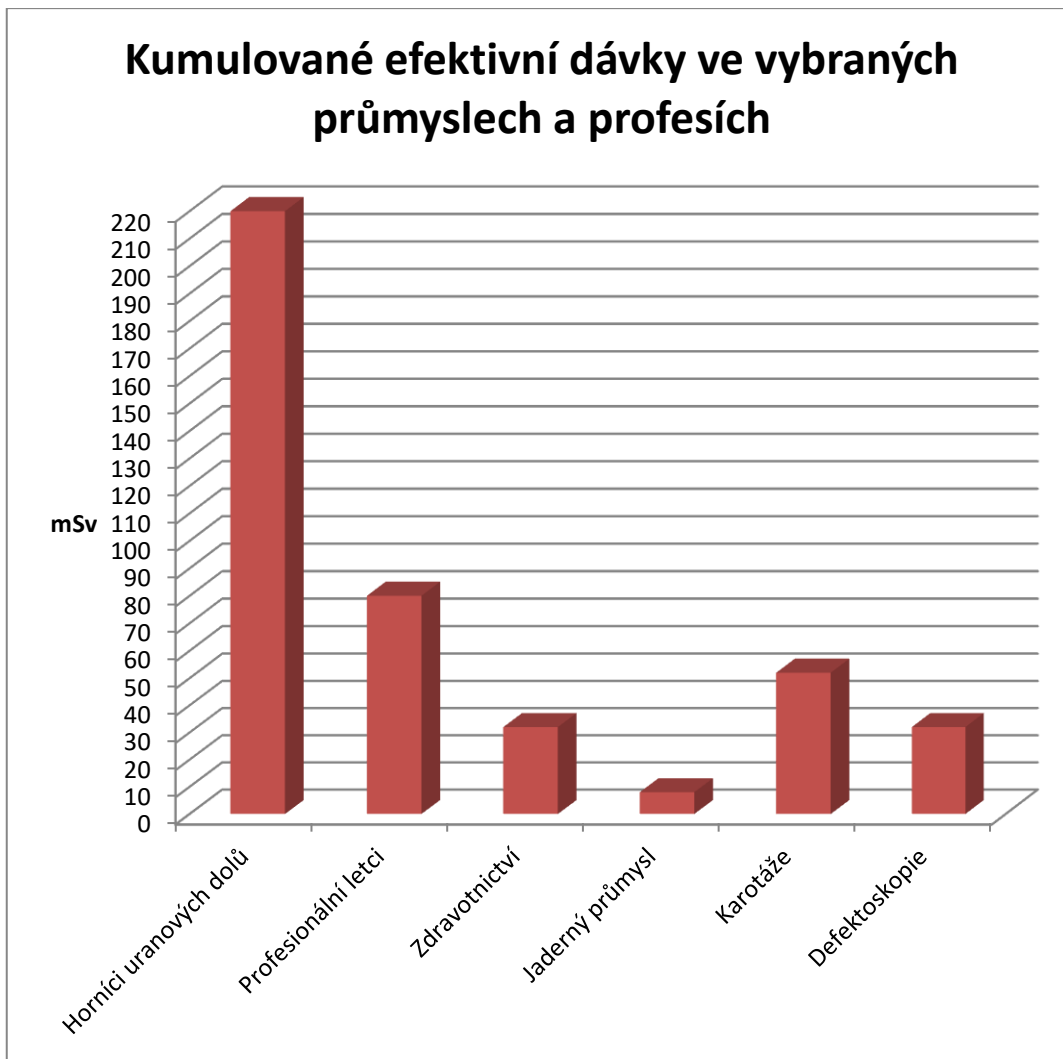


Obrázek a výše uvedená tabulka znázorňují průměrné roční efektivní dávky, kterými jsou zasaženi pracovníci v těchto šesti oblastech, ve kterých se pracuje s ionizujícím zářením. Nejmenší dávku obdrží zaměstnanci jaderného průmyslu, největší pak dle grafu profesionální letci. Tabulka pak navíc obsahuje i předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok, radiační riziko uvedené v procentech a jeho míru podle Tabulky 5.

**Tabulka 4: Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích v České republice kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)**

<b>Průmysl nebo profese</b>	<b>Efektivní dávka (mSv)</b>	<b>Radiační riziko (%)</b>	<b>Míra rizika</b>
Horníci uranových dolů	220,0	1,10	-
Profesionální letci	80,0	0,40	Nízké
Zdravotnictví	32,0	0,16	Nízké
Jaderný průmysl	8,0	0,04	Velmi nízké
Karotáže	52,0	0,26	Nízké
Defektoskopie	32,0	0,16	Nízké

(vlastní zdroj)



Obrázek 4: Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

(vlastní zdroj)

Tabulka a obrázek popisují kumulované efektivní dávky za celý pracovní život (počítala jsem opět přibližně 40 let). Tabulka navíc obsahuje kumulované radiační riziko a jeho slovně vyjádřenou míru. Nejvyšší je u horníků uranových dolů a nejnižší u pracovníků jaderného průmyslu.

Tabulka 5: Velikost rizika při ozáření malými dávkami ionizujícího záření během vykonávané profese

Efektivní dávka (mSv)	Míra rizika	Radiační riziko (%)	Předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok
nižší než 0,1	Zanedbatelné	nižší než $0,05 \cdot 10^{-2}$	Nižší než 0,5
0,1-1,0	Minimální	$0,05 \cdot 10^{-2}$ - $0,5 \cdot 10^{-2}$	0,5-5,0
1,0-10,0	Velmi nízké	$0,5 \cdot 10^{-2}$ - $5,0 \cdot 10^{-2}$	5,0-50,0
6,0	Velmi nízké	$3,0 \cdot 10^{-2}$	30,0
10,0-100,0	Nízké	$5,0 \cdot 10^{-2}$ - $50,0 \cdot 10^{-2}$	50,0-500,0
20,0	Nízké	$10,0 \cdot 10^{-2}$	100,0
50,0	Nízké	$25,0 \cdot 10^{-2}$	250,0

(Žáčková, 2009; vlastní zdroj)

Tabulka ukazuje sedm kategorií efektivních dávek v mSv. Ke každé kategorii je přiřazena míra a číselné rozmezí rizika pro teoretické zvýšení pravděpodobnosti vzniku zhoubného onemocnění při ozáření takto malými dávkami. Dále je zde uveden předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok. Efektivní dávka v tabulce nepřesahuje 100 mSv.

#### 4.1.7 Rizika pro radiační pracovníky při vyčerpání dávkových limitů

Limity pro profesně vystavené osoby byly v 70. letech minulého století stanoveny tak, že člověk, který „vyčerpá“ svůj limit, nese riziko, které ve srovnání s ostatními profesemi není příliš velké, ani příliš nízké. ICRP ještě odhadovala absolutní riziko, jako 1 % na 1 Sv. Tzn., že náš aktuální odhad je pětikrát vyšší než v té době, kdy byly stanoveny limity (ICRP, Publication 26, 1977).

Skutečné dávky jsou malé, protože jsme se je učili během posledních dekád optimalizovat (mají být tak nízké, jak je rozumně dosažitelné), ale nicméně je můžeme legálně exponovat do limitů, což znamená, že rizika u těchto limitů považujeme za „tolerabilní“.

Pro účely radiační ochrany se využívá tzv. **lineární bezprahový model a koeficient rizika**, který je uvedený níže ve výpočtu. Tento model uvažuje, že jakákoliv

dávka může způsobit zvýšenou pravděpodobnost vzniku zhoubných nádorů a tato pravděpodobnost je přímo úměrná získané dávce.

Model je používán k vysvětlení stochastických účinků záření, je založen na epidemiologických studiích, ve kterých ale nebyli osoby takto nízkým dávkám skutečně vystaveni. Jde tedy o extrapolaci směrem k nízkým dávkám.

Nyní ovšem nebylo prokázáno, zda v úrovni nízkých dávek model odpovídá realitě. Dále v oblasti takto nízkých dávek je zvýšení pravděpodobnosti vzniku nádorových onemocnění tak malé, že ho nelze klinicky rozeznat od spontánního výskytu nádorů v populaci. Projevy a průběh daného onemocnění jsou stejné bez ohledu na to, jak nádor vznikl.

Během rozvoje radiační ochrany se postupně zlepšovala úroveň bezpečnosti práce, a proto můžeme předpokládat, že rizika ozáření zaměstnanců celkem klesala. Stále je ale nutné znovu srovnávat rizika v různých profesích, zejména když se u nich pracovní rizika během posledních dekad výrazně snížila, a diskutovat správné nastavení limitů.

#### ***Výpočet rizika:***

Jelikož předpokládám, že je absolutní radiační riziko po jednotkové dávce (1 Sv) 5 %, potom platí:

$$\text{radiační riziko (v \%)} = 5 (\%) \times \text{dávka (v mSv)} / 1000.$$

Výpočty byly použity pro výše uvedené tabulky 1-5 a níže uvedenou tabulku 6.

#### ***Výpočet předpokládaného počtu úmrtí na 100 000 osob za rok:***

Předpokládám, že efektivní dávka 20 mSv indukuje 100 úmrtí na 100 000 (5 % / Sv) obyvatel za rok (jak je vidět v Tabulce 5 a 6), potom platí:

$$\text{počet úmrtí} = 100 (\text{úmrtí}) \times \text{dávka (v mSv)} / 20.$$

Výpočty byly použity pro výše uvedené tabulky 1, 3, 5 a níže uvedenou tabulku 6.

Tabulka 6: **Velikost maximálního rizika při dosažení limitů u radiačních pracovníků**

Maximální limity radiačních pracovníků	Radiační riziko (%)	Předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok
20 mSv ze zevního a vnitřního ozáření za rok	$10 \cdot 10^{-2}$	100
100 mSv ze zevního a vnitřního ozáření za pět let	$50 \cdot 10^{-2}$	500
50 mSv ze zevního a vnitřního ozáření za rok	$25 \cdot 10^{-2}$	250

(vlastní zdroj)

Tabulka znázorňuje maximální limity pro radiační pracovníky stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Ke každému limitu je přiřazena hodnota radiačního rizika a předpokládaný počet úmrtí na 100 000 osob za rok v případě, že pracovník dosáhne tohoto maximálního limitu.

#### 4.2 *Srovnání úmrtnosti u ostatních profesí*

V této kapitole jsou uvedeny profese, při kterých zaměstnanci nepřijdou do kontaktu s ionizujícím zářením. Jsou zde popsána jiná rizika pro zvýšení pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění a dále i ostatní onemocnění a pracovní úrazy včetně počtu úmrtí.

##### 4.2.1 *Nádorová onemocnění u ostatních profesí*

Kromě ionizujícího záření mohou nádorová onemocnění vyvolat i jiní činitelé jako například biologické faktory a chemikálie. Především zde jde o genotoxické látky, které mají přímo karcinogenní vliv. Nyní se diskutuje o vlivu látek narušující endokrinní systém, které pak mohou vyvolat jako vedlejší faktory zhoubné nádory prsu, vaječníků, endometria, varlat, prostaty a štítné žlázy. Mezi tyto látky patří **pesticidy, polychlorované bifenyly a arzen**.

Dále se uvažuje i zvýšení rizika vzniku nádorového onemocnění při práci s **nanomateriálem**. Proto zaměstnanci pracující s těmito látkami a výrobky jsou ohroženi rizikem vzniku nádorových onemocnění.

Také byl popsán i **socioekonomický vliv** na výskyt nádoru a to konkrétně melanomu. Častěji jsou osoby s melanomem zaznamenány ve vyšších socioekonomických vrstvách společnosti. Naopak lidé nižších tříd a venkované na melanom dříve umírají. Může to být způsobeno menší informovaností a lhostejnějším přístupem k nemoci. V tomto případě se ale nejedná o vysloveně pracovní riziko. Můžeme to chápat jako vliv socioekonomické sféry na výběr povolání u nižších a vyšších tříd (Kuhl a Lisner, 2017).

Důvodem zvýšené úmrtnosti jsou právě nepříznivé socioekonomické podmínky a to ve více než v 80 %, než konkrétní druh profese. Ten zaujímal méně než 20 % úmrtí (Johnson et al., 1999; Holmes et al., 2011).

Nedávno bylo také zjištěno, že i práce během **nočních** směn může mít za následek jako vedlejší faktor karcinom. Pracovníci směny trpí narušením rytmu spánku a bdění, nespavostí a nedostatkem melatoninu. Toto vše může zvyšovat riziko rakoviny prsu.

Dalším faktorem zvyšující riziko vzniku nádoru je **sedavé zaměstnání**. To zvyšuje pravděpodobnost karcinomu distálního tlustého střeva a konečníku a karcinomu varlat.

Také se předpokládá malý vliv **stresu** jako faktoru zvyšující riziko pozdějšího vzniku nádorového onemocnění (Kuhl a Lisner, 2017).

Kromě **vlivů zvyšující riziko vzniku nádorových onemocnění** ovlivňují míru mortality i **náhodná zranění**, dále **stres** a jiné **psychické problémy**, **vztahy mezi kolegy** a **fyzická náročnost profese** (Johnson et al., 1999).

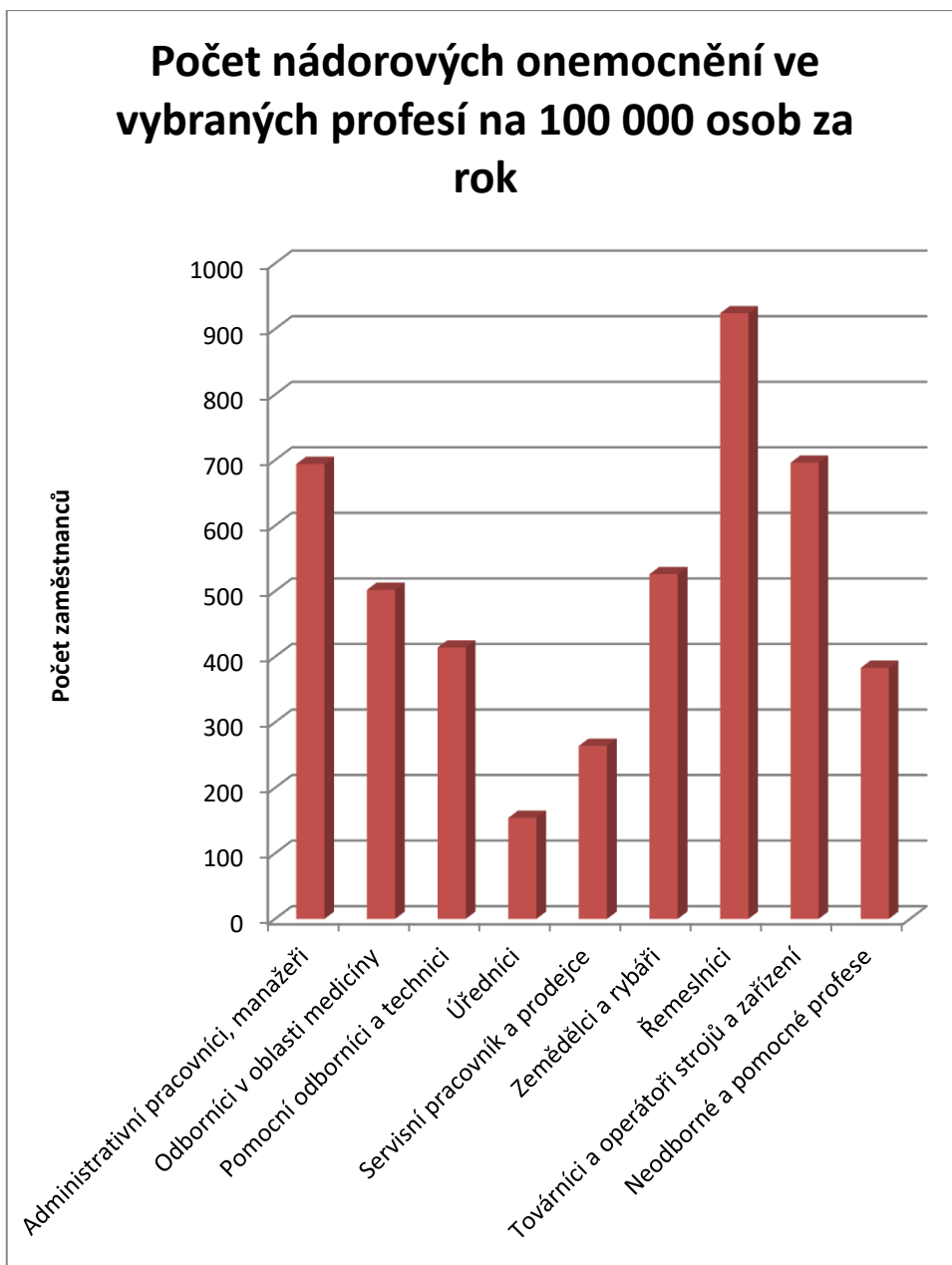
Standardizovaný počet nádorových onemocnění u občanů bez ohledu na zaměstnání je dle studie stanoven na 571,2 na 100 000 osob za rok (Institut biostatistiky a analýz, 2018).

Tabulka 7 a Obrázek 5 popisují počet nádorových onemocnění v různých profesích. Možná etiologie a rizikové průmysly zvyšující pravděpodobnost konkrétního nádorového onemocnění jsou uvedeny v Tabulce 8 a 9.

**Tabulka 7: Standardizovaný počet nádorových onemocnění u vybraných profesí na 100 000 osob za rok**

<b>Profese</b>	<b>Počet nádorových onemocnění na 100 000 osob za rok</b>
Administrativní pracovníci, manažeři	694
Odborníci v oblasti medicíny	502
Pomocní odborníci a technici	410
Úředníci	154
Servisní pracovník a prodejce	264
Zemědělci a rybáři	526
Řemeslníci	924
Továrníci a operátoři strojů a zařízení	696
Neodborné a pomocné profese	383

(Holmes et al., 2011)



**Obrázek 5: Standardizovaný počet nádorových onemocnění ve vybraných profesích na 100 000 osob za rok**

(Holmes et al., 2011)

Tabulka a obrázek znázorňují standardizovaný počet nádorových onemocnění u konkrétních devíti profesních oblastí na 100 000 osob za rok zkoumaný v průběhu pěti let (2001–2005). Nejnižší výskyt nádoru je u úředníků a nejvyšší naopak u řemeslníků. Příčinou vzniku nádorových onemocnění jsou nejen pracovní faktory uvedené výše v textu, ale také socioekonomický vliv, popřípadě stres a jiné psychické faktory.



Tabulka 8: **Zvýšené riziko nádorového onemocnění u ostatních profesí**

<b>Profese, průmysl</b>	<b>Konkrétní onemocnění</b>
Výroba hliníku	Plíce, močový měchýř
Výroba insekticidů	Plíce
Výroba auraminu	Močový měchýř
Výroba baterií	Respirační a trávicí soustava, prostata
Pivovary	Horní zažívací trakt
Rafinace, výroba berylia	Plíce
Výroba a oprava obuvi	Leukemie, nos, nosní dutiny, močový měchýř
Řezníci	Plíce
Keramika	Plíce
Uhelný průmysl	Kůže, močový měchýř, plíce
Výroba koksu	Kůže, močový měchýř, plíce, ledviny
Elektrikáři	Leukémie, mozek, játra, žlučové cesty
Galvanické pokovování	Plíce
Produkce ethylen oxidu	Leukémie, žaludek
Produkce epichlorohydrinu	Plíce, leukémie
Farmáři	Leukémie, lymfomy
Rybáři	Kůže
Výroba nábytku	Nosní dutiny
Plynaři	Plíce, močový měchýř, šourek
Sklářství	Plíce
Kadeřnice	Močový měchýř, vaječníky, non-hodgkinův lymfom, plíce
Slévárenství	Plíce
Výroba isopropanolu	Paranasální dutiny, hrtan, plíce
Výroba purpuru	Močový měchýř
Automechanici	Plíce
Zdravotníci mimo zdroje ionizujícího záření	Kůže, leukémie
Malíři	Plíce, močový měchýř, žaludek
Rafinace ropy	Močový měchýř, leukémie, mozek

Tiskařství	Leukémie, plíce, ústa, ledviny
Pokrývači, silničáři	Plíce
Výroba buničiny a papíru	Lymfomy, plíce
Pracovníci železnice, obsluha čerpacích stanic, řidiči autobusů, nákladních vozidel a bagrů	Plíce, močový měchýř, leukémie
Gumárenský průmysl	Močový měchýř, žaludek, hrtan, leukémie, plíce
Výroba syntetického latexu, vytvrzování pneumatik	Močový měchýř
Textilní průmysl	Močový měchýř, ústa
Pracovníci vinic používající insekticidy arsenu	Plíce, kůže

(Kuhl a Lisner, 2017)

Tabulka popisuje zvýšené riziko vzniku zhoubného nádorového onemocnění u konkrétního orgánu nebo leukémie, jehož příčinou jsou uvedené profese nebo průmysl. V této tabulce nejsou uvedeny profese, během kterých zaměstnanci přicházejí do styku se zdroji ionizujícího záření. Nejčastěji se vyskytují zhoubná nádorová onemocnění plic a leukémie.

Tabulka 9: Etiologické faktory profesně vzniklých zhoubných onemocnění

Zhoubné onemocnění	Etiologický faktor
Karcinom jazyka	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)
Karcinom tonzily	PAU
Karcinom anu a rekta	2, 3, 7, 8 tetrachlordibenzo-p-dioxin
Karcinom nosní dutiny	Tvrdá dřeva - dub
Karcinom hrtanu	Ionizující záření; chrom; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Karcinom plic	Ionizující záření; PAU; azbest, koksárenské plyny; chrom, nikl; kobalt; bischlormetyléter
Karcinom kůže	Ionizující záření

Mezoteliom pleury a pobřišnice	Azbest
Karcinom varlat	PAU
Karcinom ledvin	PAU; 2, 3, 7, 8 tetrachlordibenzo-p-dioxin
Karcinom pánvičky	PAU
Karcinom močového měchýře	PAU; aromatické amino- a nitrosloučeniny
Karcinom mozku	Ionizující záření
Karcinom štítné žlázy	2, 3, 7, 8 tetrachlordibenzo-p-dioxin
Leukémie	Ionizující záření; benzen

(Brhel et al., 2011)

Tabulka popisuje údaje o etiologických faktorech způsobující nádorová onemocnění a leukémie. Kromě chemických agens, a to především PAU, se jako příčina objevuje samozřejmě i ionizující záření.

#### 4.2.2 Rizikové faktory vztahující se ke zvýšení úmrtnosti u jiných než nádorových onemocnění v ostatních profesích

Kromě vlivů zvyšující riziko vzniku nádorových onemocnění lze diskutovat i rizikové faktory ovlivňující míru mortality jiných než nádorových nemocí.

Slovenská studie uvádí, že na zdraví zaměstnanců mají vliv především faktory životního stylu. Jedním z faktorů je **kouření**, které zaujímá poměr kuřáků a nekuřáku 1:1 až 1:3.

Dalším faktorem je **vysoký krevní tlak**. Studie zaznamenala, že pravděpodobně existuje úzká souvislost mezi vykonávanou prací a výskytem hypertenzních onemocnění při profesi.

**Nadměrná hmotnost** zaujímá další místo. Riziko výskytu nadváhy a obezity je vyšší u profesí s vynucenou pohybovou aktivitou a u pozic, kde není převaha statické zátěže.

Dalším faktorem je **pohybová aktivita**. Většina respondentů vykonává sedavou práci.

**Duševní napětí, stres a jiné psychické problémy** mají také vliv na zdraví pracovníků. Neméně důležité jsou i **vztahy mezi kolegy a fyzická náročnost profese**.

Dalšími faktory jsou **výživa a biologické rizikové faktory** jako je například cholesterol (Roda, 2001).

#### *4.2.3 Míra úmrtnosti u různých onemocnění v ostatních profesích*

Úmrtnost se liší podle různých profesí. V této podkapitole jsou popsány různé profese a u nich nejčastěji se objevující poruchy orgánů a soustav těla (Tabulka 10 a 11).

Tovární dělníci a operátoři strojů jsou nejvíce ohroženi chorobami oběhového systému, ischemickou chorobou srdeční, metabolickými nemocemi, chorobami dýchacího ústrojí a endokrinního systému.

Rybáři a zemědělci mají uvedenou příčinu úmrtí jako vliv vnějších podmínek. Pro řemeslníky zahrnující tiskaře, krejčí, elektrikáře, strojaře a kováře jsou nejčastějším důvodem úmrtí nádorová onemocnění a choroby zažívacího traktu.

Pro neodborné pomocné profese s nízkou kvalifikací jako jsou uklízeči, popeláři, dělníci a domovníci, jsou nejvíce nebezpečné dle studie především nemoci urogenitálního systému a dále pak choroby nervového systému a psychiatrická onemocnění s poruchami chování.

Úředníci jsou nejvíce ohroženi vyšším rizikem infarktu, bolestí zad a obezitou z důvodu převážně jejich sedavé polohy během výkonu práce.

Zaměstnanci ve službách a obchodníci nemají dle výzkumu přesně stanovenou chorobu, ale ohroženi jsou problémy s očima, ušima, kůží, krví, pohybovým systémem a pojivovou tkání.

Pomocní odborníci a technici trpí především na onemocnění srdce a choroby cévního řečiště.

Administrativní pracovníci, manažeři sužují opět nemoci srdce.

Dále sem patří právníci, u kterých se nejčastěji projevují deprese a vysoká míra stresu.

Z důvodu práce ve směnách, stresu, syndromu vyhoření, depresím a přesčasům se řadí mezi náročné profese i oblast medicíny.

Číšník, servírka a barman také spadají mezi nebezpečné profese z důvodu dlouhodobého pobytu v zakouřeném prostředí a tím vznikajícím problémům s dýchacím ústrojím a očima. Ohrožují je také noční směny a nepravidelný denní režim. Díky tomu je zde zvýšené riziko psychických problémů a únavy (Holmes et al., 2011;

Kardiochirurgie.cz, 2020). Přehled mortality na různá onemocnění je uveden v Příloze 9.

**Tabulka 10: Počet úmrtí na ostatní onemocnění u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok**

	<b>Administrativní pracovníci, manažeři</b>	<b>Odborníci v oblasti medicíny</b>	<b>Pomocní odborníci a technici</b>	<b>Úředníci</b>	<b>Servisní pracovník a prodejce</b>
Infekce a parazité	15	15	11	6	5
Endokrinní a metabolické choroby	46	42	48	30	35
Poruchy chování	2	6	9	4	4
Choroby nervového systému	29	30	27	8	17
Srdeční choroby	353	206	192	109	183
Cerebrovaskulární choroby	45	34	36	28	31
Choroby cévního řečiště	70	53	60	40	55
Choroby dýchacího systému	32	21	30	24	20
Choroby zažívacího systému	25	20	23	9	18
Choroby urogenitálního systému	5	5	2	1	5
Vývojové vady, chromosomální	6	5	9	7	1

abnormality					
Vnější příčiny	217	207	259	83	238

(Holmes et al., 2011)

**Tabulka 11: Počet úmrtí na ostatní onemocnění u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok**

	Zemědělci a rybáři	Řemeslníci	Tovární dělníci operátoři strojů	Neodborné a pomocné profese
Infekce a parazité	16	15	10	10
Endokrinní a metabolické choroby	51	64	120	62
Poruchy chování	7	17	9	9
Choroby nervového systému	27	39	29	21
Srdeční choroby	270	410	456	248
Cerebrovaskulární choroby	53	80	74	41
Choroby cévního řečiště	92	137	131	67
Choroby dýchacího systému	46	69	74	36
Choroby zažívacího systému	31	57	31	25
Choroby urogenitálního systému	5	4	7	9
Vývojové vady,	10	8	7	6

chromosomální abnormality				
Vnější příčiny	519	570	551	289

(Holmes et al., 2011)

Výše uvedené tabulky uvádějí počet úmrtí u vybraných profesí na konkrétní onemocnění na 100 000 zaměstnanců za rok. Nejčastěji příčinou smrti jsou srdeční nemoci a vnější příčiny.

#### 4.2.4 Míra úmrtnosti u ostatních profesí rozdělených dle pohlaví

Míra úmrtí podle zaměstnání je obecně u žen i u mužů podobná. **Nejvyšší riziko je u nízko kvalifikovaných manuálních pozicí a nejnižší naopak u vysoce postavených zaměstnanců s velmi dobrým platovým zařazením.** Samozřejmě ne všechny profese svědčí oběma pohlavím (Katikireddi et al., 2017).

Britská a novozélandská studie ukázaly, že **muži** pracující ve zdravotnictví jako lékaři, zubaři, lékárníci, veterináři, optici mají velmi nízkou pravděpodobnost úmrtí v rámci své profese. Dále byla stanovena nejnižší míra mortality u zákonodárců, administrativních pracovníků, manažerů a podnikatelů.

Velmi dobře dopadli i odborníci ve veřejných službách včetně právníků, architektů a účetních. Relativně nízkou hodnotu mají i muži pracující ve středně kvalifikovaných profesích jako je elektrotechnika.

Naopak nejvyšší profesní úmrtnost je u nekvalifikovaných stavebních a továrních dělníků a dále u pomocníků v kuchyních či barech, u skladníků, manipulantů, řidičů.

Vysoká úmrtnost byla i u mužů bez zaměstnání, dále u montážních dělníků, zaměstnanců ve strojírenství, na stavbách, u operátorů strojů, u řidičů, rybářů a zemědělců (Holmes et al., 2011; Katikireddi et al., 2017). Naopak dle americké studie je míra úmrtnosti u zemědělců nízká, což je v rozporu s předchozími studiemi (Johnson et al., 1999).

Co se týká **žen**, tak dle britské a americké studie jsou na tom nejlépe podnikatelky, učitelky, manažerky, administrativní pracovnice a ředitelky. Nízké procento úmrtnosti měly i zdravotní sestry a ostatní zdravotnické pozice, dále i ženy pracující ve službách a profese zabývající se péčí o děti, zatímco práce v administrativě měla již o něco větší pravděpodobnost úmrtí.

Nejvyšší míra úmrtí je zaznamenána opět u málo kvalifikovaných profesí, jako jsou dělnické pozice, úklidové práce, číšnice a také u zaměstnankyň v oblasti textilu. Vysoká úmrtnost je u žen bez zaměstnání (Johnson et al., 1999; Katikireddi et al., 2017).

#### 4.2.5 Identifikace nejnebezpečnějších profesí a úrazů souvisejících s nimi

Průzkum identifikoval 25 nejnebezpečnějších pracovních pozic dle míry úmrtí. Zaměstnanci na těchto pozicích jsou náchylní ke smrtelným nehodám, pádům, kontaktu s nebezpečnými látkami a zařízeními, popřípadě také k násilným konfliktům s ostatními spolupracovníky.

**Míra úmrtnosti je u těchto profesí více než dvojnásobná** ve srovnání s jinými povoláními. A v některých případech i více než 20krát vyšší.

Drtivá většina zaměstnanců je ve svém pracovním prostředí relativně v bezpečí. Ve všech průmyslových odvětvích ve veřejném i soukromém sektoru došlo průměrně k 3,6 úmrtí na každých 100 000 pracovníků na plný úvazek. Tabulka 12 a Obrázek 6 ukazují počet smrtelných úrazů u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok a jejich rizikové faktory.

I přes veškerá přísná bezpečnostní opatření dochází k závažným nehodám a fatálním chybám. Je to z důvodu využívání nebezpečných látek a strojů nebo práce v potencionálně nebezpečném prostředí. Tato rizika nejsou čistě jen z profesních činností, ale jde o kombinaci z přírodních, sociálních a profesních zdrojů dohromady (Stebbins et al., 2018; Copeland a Donofrio, 2020; Kardiochirurgie.cz, 2020; Suneson, 2020).

Tabulka 12: Úrazy a onemocnění u vybraných profesí

Profese	Choroby, úrazy, nebezpečí	Počet úmrtí na 100 000 zaměstnanců za rok
Montážní dělníci a operátoři strojů	Choroby oběhového systému, ischemická choroba srdeční, metabolická onemocnění, choroby dýchacího ústrojí, endokrinního systému	Bez statistických dat
Rybáři	Vliv vnějších podmínek,	86,0

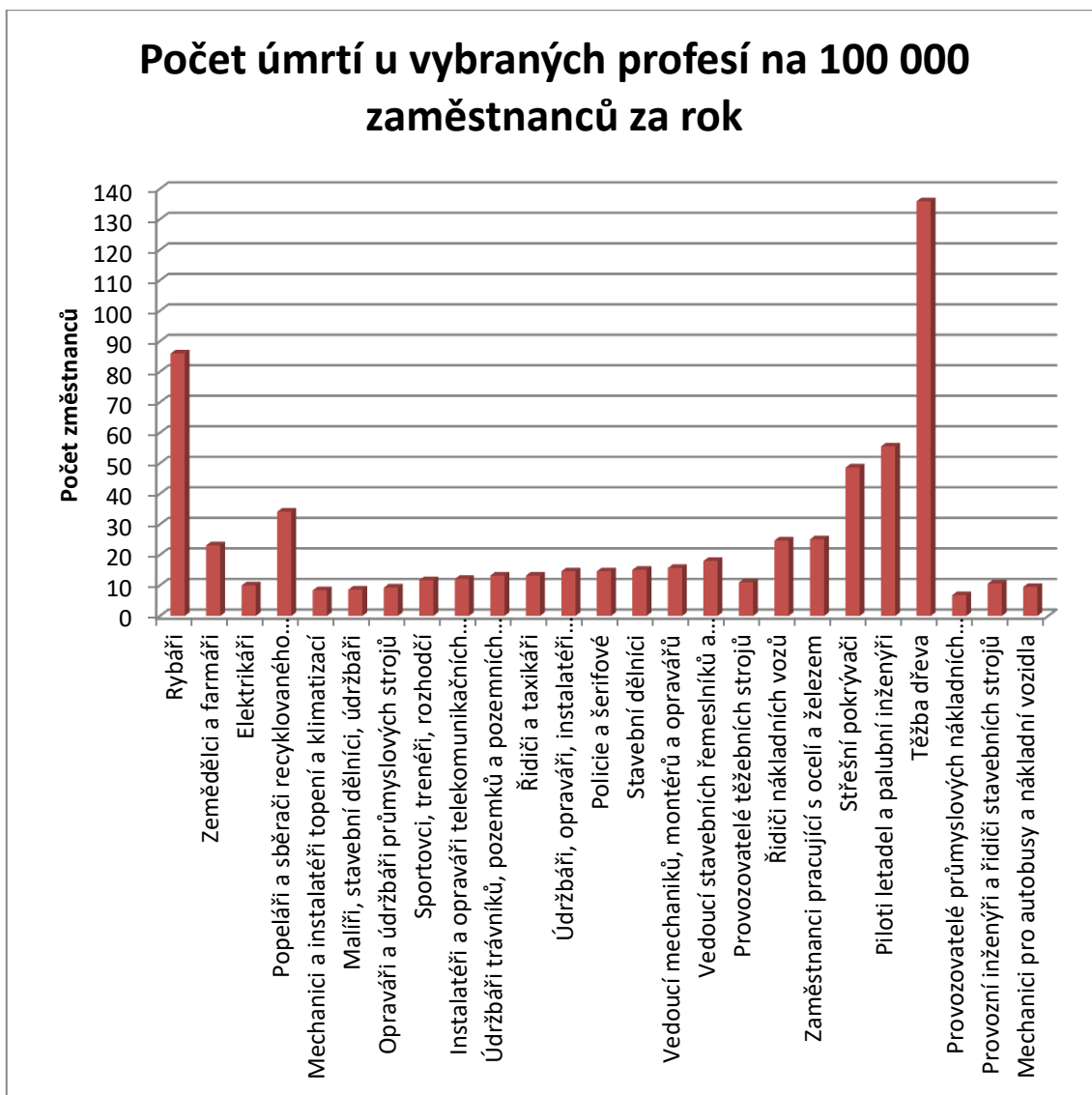


	fyzická náročnost, nemožnost poskytnutí první pomoci v nemocnici	
Zemědělci a farmáři	Poranění zemědělským strojem, vliv vnějších podmínek	23,1
Elektrikáři	Nádorová onemocnění, choroby zažívacího traktu, úrazy elektrickým proudem, popáleniny, pády, nevhodná pracovní pozice, stísněné prostory	10,0
Tiskaři, krejčí, kováři, strojaři	Nádorová onemocnění, choroby zažívacího traktu	Bez statistických dat
Uklízeči	Choroby urogenitálního systému, nervového systému, psychiatrická onemocnění	Bez statistických dat
Popeláři a sběrači recyklovaného materiálu	Choroby urogenitálního systému, nervového systému, psychiatrická onemocnění, dopravní nehody a pády	34,1
Domovníci	Choroby urogenitálního systému, nervového systému, psychiatrická onemocnění	Bez statistických dat
Dělníci	Choroby urogenitálního systému, nervového systému, psychiatrická onemocnění, fyzicky náročná práce	Bez statistických dat
Úředníci	Cerebrovaskulární problémy, infekční choroby, paraziti, vrozené vady potomků	Bez statistických dat
Zaměstnanci služeb a obchodu	Onemocnění očí, uší, kůže, krve, pojivové tkáně a	Bez statistických dat

	pohybového systému	
Mechanici a instalatéři topení a klimatizací	Vdechování škodlivých látek, pobyt v extrémních teplotách a stísněném prostoru	8,4
Malíři, stavební dělníci, údržbáři	Pády z výšek, vystavení škodlivým látkám	8,6
Opraváři a údržbáři průmyslových strojů	Úrazy elektrickým proudem, popáleniny, pády, nevhodná pracovní pozice, stísněné prostory	9,3
Sportovci, trenéři, rozhodčí	Nehody při závodech motorových vozidel	11,7
Instalatéři a opraváři telekomunikačních linek	Pády z vysokých výšek	12,1
Údržbáři trávníků, pozemků a pozemních komunikací	Poranění ostrým motorovým nářadím nebo strojem	13,2
Řidiči a taxikáři	Dopravní nehody, napadení cestujícím	13,2
Údržbáři, opraváři, instalatéři elektrického vedení	Úraz elektrickým proudem, pády z výšek	14,6
Policie a šerifové	Postřelení	14,6
Stavební dělníci	Pády z výšek, poranění ostrým nářadím a stroji	15,1
Vedoucí mechaniků, montérů a opravářů	Poranění strojem, napadení	15,7
Vedoucí stavebních řemeslníků a těžebních pracovníků	Náraz automobilu z důvodu práce u silnice, poranění pádem nástroje nebo materiálu	18,0
Provozovatelé těžebních strojů	Uhelny prach, nestabilní tunely, podzemí, stísnění prostory	11,0
Řidiči nákladních vozů	Dopravní nehody	24,7
Zaměstnanci pracující s ocelí a	Pády z výšek	25,1

železem		
Střešní pokrývači	Pády z vysokých výšek	48,6
Piloti letadel a palubní inženýři	Nehody během letu, přepracování a únava	55,5
Těžba dřeva	Poranění strojem, pád stromu či větve, nemožnost poskytnutí první pomoci v nemocnici	135,9
Provozovatelé průmyslových nákladních vozidel a traktorů	Dopravní nehody	6,8
Provozní inženýři a řidiči stavebních strojů	Nadměrná námaha, podvrtnutí, zlomeniny, tržné rány	10,6
Mechanici pro autobusy a nákladní vozidla	Výbuch, požár, pád	9,5
Hasiči	Úrazy, popáleniny, pády suti	Bez statistických dat
Sedavá zaměstnání	Infarkt myokardu, bolesti zad, obezita	Bez statistických dat
Právníci	Deprese, vysoká míra stresu	Bez statistických dat
Zdravotní sestry, lékaři	Práce ve směnách, noční služby, syndrom vyhoření, přesčasy, deprese	Bez statistických dat
Číšník, servírka, barman	Práce během nočních směn, zakouřené prostředí, nepravidelný denní režim	Bez statistických dat
Vojáci	Sebevraždy z důvodu posttraumatické poruchy	Bez statistických dat
Řidiči dálkové dopravy	Dopravní nehody, vdechování jedovatých výfukových zplodin, nedostatek spánku, konzumace ve stáncích s rychlým občerstvením	Bez statistických dat

(Stebbins et al., 2018; Copeland a Donofrio, 2020; Kardiochirurgie.cz, 2020; Suneson, 2020)



Obrázek 6: Počet úmrtí u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok

(Stebbins et al., 2018; Copeland a Donofrio, 2020; Kardiochirurgie.cz, 2020; Suneson, 2020)

Tabulka a obrázek popisují úrazy a onemocnění u vybraných profesí, u kterých se zaměstnanci nesetkávají se zdroji ionizujícího záření. Jako nejčastější úrazy jsou vyhodnoceny především uklouznutí a pády z výšek. Popřípadě také nehody způsobené ostrým nářadím nebo stroji užívanými u konkrétního druhu profese. Dále je zde uveden počet úmrtí na 100 000 zaměstnanců dané oblasti. Nejvyšší úmrtnost z těch, u kterých máme statistické údaje, je u těžby dřeva. Nejnižší naopak u provozovatelů průmyslových nákladních vozidel a traktorů.

### **4.3 Rozhovory s odborníky**

V této části jsou přepsány strukturované rozhovory se dvěma lékaři pražských nemocnic a Jaderné elektrárny Temelín.

#### *4.3.1 Rozhovor č. 1*

Respondent při rozhovoru uvádí, že v rámci druhů profesí, při kterých jsou zaměstnanci vystaveni zdrojům ionizujícímu záření, si sami zaměstnavatelé v daném zařízení definují pracovní pozice, kdy je řada z nich spojena se vstupem do kontrolovaného pásma. Zde je možná zvýšená expozice ionizujícího záření. Do toho prostoru chodí dělníci, montéři, elektrikáři, chemici, uklízečky, ostraha objektů, management atd.

U pracovníků vstupujících do kontrolovaného pásma se nevyskytují jiné zdravotní obtíže než u ostatních zaměstnanců.

Jako ochranná opatření se uplatňuje ochrana časem, stíněním a vzdáleností.

K překročení limitů z ozáření u pracovníků v zařízení nedochází, sleduje se jak roční dávka, tak dávkový příkon. Při překročení by se zaměstnanec vyřadil s běžného pracovního provozu.

V případě, že by došlo k překročení limitů z ozáření u zaměstnanců, je v zařízení vytvořen vnitřní dokument pro případ povrchové, vnitřní kontaminace a ozáření. Zatím byla zaznamenána historicky pouze u jednotlivců povrchová kontaminace. Kontaminace v Bq/cm<sup>2</sup> byla nevýrazná a dekontaminační postupy byly aplikovány z důvodu, aby nedocházelo k rozšíření kontaminantu do okolí. Nejednalo se o žádné riziko vzniku zdravotního poškození.

Zdravotní problémy a úrazy zaměstnanců, kteří nepřijdou do styku se zdroji ionizujícího záření, jsou stejné jako u všech ostatních zaměstnanců, zcela různorodé, vše co přináší život.

Respondent uvádí, že není rozdíl v manifestaci nádorových onemocnění u skupiny lidí pracujících se zdroji ionizujícího záření v porovnání s referenční skupinou, kdy zaměstnanci nejsou radiačními pracovníky.

Výskyt nádorových onemocnění je identický u obou skupin. Není znám v tomto zařízení častější výskyt nemoci u jedné z těchto skupin.

Během pracovních preventivních prohlídek zaměstnanec zařazený jako radiační pracovník kategorie A musí absolvovat prohlídku jednou ročně. Jedná se o fyzikální vyšetření a laboratorní testy.

#### 4.3.2 Rozhovor č. 2

Během rozhovoru respondent uvádí, že zaměstnanci radiodiagnostiky, CT (výpočetní tomografie) pracoviště, radioizotopového pracoviště, úseku katetrizačních sálů a některých chirurgických pracovišť, kde se operuje za kontroly rentgenových zařízení, přichází denně do styku se zdroji ionizujícího záření mnoho zaměstnanců daného zařízení.

Osoby, které pracují se zdroji ionizujícího záření, nemají jiné zdravotní obtíže než ostatní zaměstnanci. Vykazují běžné nemoci, které nesouvisí s pracovní náplní.

Jako ochranné pomůcky běžně používají ochranné obleky, vesty a dozimetry.

V zařízení se vyskytly zatím čtyři případy za 20 let, kdy u pracovníků došlo k překročení limitů ozáření. Avšak doposud neměli žádné zdravotní problémy související s překročením limitů z ozáření.

Po překročení limitů z ozáření se doporučuje dle dotázaného respondenta vyšetření v rámci konkrétního postižení, tj. například hematologické, kožní nebo oční vyšetření, dle míry poškození. Při větším rozsahu se pak zajišťuje vyšetření na pracovišti pracovního lékařství - Kliniky nemocí z povolání ve Fakultní nemocnici Královské Vinohrady.

Zaměstnanci, u kterých došlo k překročení limitů z ozáření, pracovali právě na pozicích uvedených výše.

V rámci úrazů a onemocnění mají pracovníci, kteří nepřichází do kontaktu s ionizujícím zářením, běžná poranění jako třeba píchnutí či říznutí o použité pomůcky - jehly, katetry, skalpely apod. Jde především o zdravotní sestry, lékaře a sanitáře.

V zařízení se nevyskytují žádná nádorová onemocnění u zaměstnanců pracujících se zdroji ionizujícího záření.

U zaměstnanců, kteří nejsou v kontaktu se zdroji ionizujícího záření, se vyskytují nádorová onemocnění jako u ostatní nezdavatnické populace, nezávisle na jejich pracovní pozici.

Také se nevyskytují nijak častěji nádorová onemocnění u radiačních pracovníků v porovnání s ostatními zaměstnanci zařízení.

Pracovní preventivní prohlídky se řídí vyhláškou č. 79/2013 Sb., o provedení některých ustanovení zákona č. 373/2011 Sb., o specifických zdravotních službách, (vyhláška o pracovně lékařských službách a některých druzích posudkové péče) a dle zákona č. 373/2011 Sb., zákon o specifických zdravotních službách. U zaměstnanců zařazených do druhé rizikové kategorie jsou prohlídky jednou za dva roky a

u zaměstnanců spadající do třetí rizikové kategorie, což jsou osoby radiodiagnostiky, pracovníci nakládající s radioizotopy apod., jednou za rok.

#### 4.3.3 Rozhovor č. 3

Dotázaný respondent sděluje, že zaměstnanci radiodiagnostiky, radioterapie, lékaři pracující při svých výkonech s přístroji s ionizujícím zářením a samozřejmě i servisní technici pečující o tyto přístroje, přichází denně do kontaktu se zdroji ionizujícího záření.

Zdravotní problémy mají tito zaměstnanci stejné, jako běžná populace. V případě, že by měli problémy zapříčiněné ionizujícím zářením, znamenalo by to selhání veškerých opatření proti vlivu ionizujícího záření.

Veškerá ochranná opatření se řídí legislativou.

Zatím v zařízení dle respondenta nedošlo k překročení limitů z ozáření. V případě, že by se takový případ vyskytl, bylo by překročení limitu minimální a považovalo by se to opět za selhání opatření.

Pokud dojde hypoteticky k překročení limitů z ozáření, mohou se objevit problémy jako radiační dermatitida. Tu ovšem jen tak nevidíme, především z toho důvodu, že by překročení muselo být značně veliké. Může k ní dojít především po katastrofách, např. v Černobyli.

Postup zdravotní péče po překročení limitů z ozáření se řídí opět legislativou. Existuje pět zařízení, která se specializují na ozářené osoby a to jak z důvodu vnitřního tak i vnějšího ozáření. Dále celotělového a částečného ozáření.

Nejčastějšími nemocemi a úrazy zaměstnanců, kteří nejsou vystaveni zdrojům ionizujícího záření, jsou hypertenze a škrábnutí o ostrý předmět, injekční stříkačku. A dále všechny běžné nemoci a úrazy jako u ostatní populace.

Vlivem ionizujícího záření se u zaměstnanců nádorová onemocnění neobjevují. Konkrétně nejsou v dnešní době prokázána, není možné je odlišit od spontánního výskytu. V případě, že by k nim došlo, je to z důvodu opět nějaké katastrofy, např. v Černobyli.

Nádorová onemocnění u zaměstnanců, kteří nepřicházejí do kontaktu se zdroji ionizujícího záření, jsou stejná jako u ostatní populace. Nejčastěji se jedná o zhoubná onemocnění plic, prsu, děložního čípku a tlustého střeva.

Ionizující záření neovlivňuje výskyt zhoubných onemocnění, proto se neobjevují častěji u osob vystavených v zaměstnání jeho zdrojům. Záleží především na všech ostatních faktorech a predispozicích.

Preventivní prohlídky se řídí legislativou – vyhláškou 79/2013 Sb. a zákonem č. 373/2011 Sb. Jsou jednou za rok u radiačního pracovníka kategorie A a obnášejí preventivní vyšetření s kontrolními laboratorními testy.



## 5 Diskuze

Nemoci z povolání zahrnují širokou škálu zdravotních problémů, z nichž se mnohé klinicky neodlišují od chorob běžně se vyskytujících v populaci. Pro jejich diagnostiku je nutné znát veškeré biologické, chemické i fyzikální nebo jiné rizikové faktory, které se objevují při výkonu povolání (Nagy a Kudász, 2016).

V práci jsem zkoumala vliv ionizujícího záření na zdravotní stav u různých profesí a dále rizika v ostatních profesích.

Ionizující záření je nedílnou součástí dnešního života. V průběhu let se jeho využití z umělých zdrojů stále zvyšuje především v průmyslu a ve zdravotnictví. Našlo své uplatnění jak v terapii pacientů, tak i v diagnostice nejrůznějších problémů, nemocí a v usnadnění lékařských výkonů. V rámci průmyslu se využívá pro zjišťování vad, v geologickém průmyslu nebo se uvolňuje při tvorbě energie v jaderných elektrárnách.

Díky přírodním zdrojům se setkáváme s ionizujícím zářením na palubách letadel, především ve vyšších letových hladinách nebo v oblastech kolem pólů. Dále jsou ozářeni horníci v uranových dolech, přičemž u nás jsou již zavřené, ale jinde ve světě stále těžba ještě probíhá.

Snaha o snížení jeho negativního vlivu na lidské zdraví je vyšší než dříve a zlepšuje se i bezpečnost práce a to nejen v oblasti ionizujícího záření. Díky modernizaci a stále novějším technologiím se dbá na to, aby negativní dopady ionizujícího záření byly co nejnižší. Cílem je tedy zabezpečit maximální úroveň ochrany zdraví při práci a umožnit přínos z využití zdrojů ionizujícího záření a jaderné energie.

Ionizující záření představuje pro každého člověka určité radiační riziko. Proto jsou nastaveny limity pro radiační pracovníky i pro ostatní populaci. Jsou i jistým způsobem prevence před vznikem zdravotních problémů a nemocí způsobených ionizujícím zářením.

Vzhledem k ochraně zdraví pracovníků je nezbytné přijmout na veškerých pracovištích, kde se vyskytují zdroje ionizujícího záření taková bezpečnostní opatření, která povedou trvale ke snižování expozice na nejnižší rozumně dosažitelnou úroveň, a tím k minimalizování negativních deterministických i stochastických účinků záření.

Pro zajištění co nejmenších rizik v zaměstnání je důležitá spolupráce všech složek vysokého, středního i nízkého managementu. A samozřejmě i samotných zaměstnanců. Vyžaduje se i řada organizačních, personálních, technických a ochranných opatření. Důraz kladou na dodržování příslušné legislativy.

## 5.1 Radiační pracovníci

V diplomové práci jsem nejprve zjišťovala radiační riziko osob přicházejících do kontaktu se zdroji ionizujícího záření. Nejvyšší míru radiačního rizika měli horníci uranových dolů, pro které je hlavním rizikem radioaktivní plyn radon. Radiační riziko tedy dosahuje za rok  $2,75 \cdot 10^{-2} \%$  a za celý pracovní život je přibližně 1,10 %.

Dávky v prvních dekádách uranové těžby byly, pokud víme, několikrát vyšší (Petrová, 2014). Mohlo to být způsobeno například špatnou informovaností o škodlivém vlivu radonu a dalších látek přítomných v dolech. Nebo lhostejným přístupem a menšímu důrazu na bezpečnost práce, zvláště tam, kde se jednalo o nucené práce. Velký vliv jistě mělo v té době i nedostatečné odvětrávání dolů.

Jinde ve světě (např. Kanada, Kazachstán, Austrálie), kde stále ještě těžba probíhá, by se tedy měl klást důraz především na zvýšení odvětrávání dolů a na dodržování bezpečnostních opatření, včetně nošení funkčních ochranných pomůcek.

Na druhém místě se umístili profesionální letci a palubní personál. U nich je míra radiačního rizika nižší a dosahuje za rok  $1,0 \cdot 10^{-2} \%$  a za celý pracovní život přibližně 0,40 %. Je to způsobeno několika ovlivnitelnými i neovlivnitelnými faktory, a to výškou a zeměpisnou šířkou letu, počtem slunečních skvrn nebo sluneční aktivitou. Proto snížením letové hladiny nebo výběrem trasy dále od pólu lze radiační riziko eliminovat. Další možností je nelétat příliš často.

Pro zaměstnance karotáží je radiační riziko přibližně  $0,65 \cdot 10^{-2} \%$  za rok a 0,26 % za celý pracovní život. Technici karotáží jsou ohroženi obsluhou zařízení se zdrojem ionizujícího záření. Riziko můžeme eliminovat například zvýšením ochranných pomůcek, zvýšením vzdálenosti od zdroje nebo zkrácením pobytu u zdroje ionizujícího záření.

Na dalším místě se umístila defektoskopie a současně i zdravotnictví. Radiační riziko pracovníků defektoskopie se pohybuje za rok kolem  $0,40 \cdot 10^{-2} \%$  a za celý pracovní život přibližně 0,16 %. Technik defektoskopie může riziko omezit opět obecnými principy ochrany před ionizujícím zářením.

Radiační riziko zdravotníků je stejně jako u defektoskopie průměrně  $0,40 \cdot 10^{-2} \%$  za rok a 0,16 % za celý pracovní život. Zdravotnictví se dělí na několik oborů, kde se pracuje se zdrojem ionizujícího záření.

Nejvyšší riziko nese obor intervenční kardiologie ( $1,10 \cdot 10^{-2} \%$  za rok, 0,47 % za celý pracovní život), za ním následuje oblast nukleární medicíny ( $0,30 \cdot 10^{-2} \%$  za rok, 0,12 % za celý pracovní život). Radiodiagnostika ( $0,20 \cdot 10^{-2} \%$  za rok, 0,09 %

za celý pracovní život) a intervenční chirurgie, ortopedie, urologie ( $0,20 \cdot 10^{-2} \%$  za rok,  $0,08 \%$  za celý pracovní život) dosáhly přibližně stejných výsledků. Radioterapie nese nejnižší riziko z vyjmenovaných oborů ( $0,06 \cdot 10^{-2} \%$  za rok,  $0,02 \%$  za celý pracovní život).

V těchto oblastech medicíny opět lze uplatnit obecné principy ochrany před ionizujícím zářením, ale právě zde je nutná pečlivost, trpělivost a preciznost, vzhledem k nakládání s lidským zdravím a proto ne vždy se dají úkony urychlit nebo provádět z větší vzdálenosti. Tudíž je nezbytné dodržovat alespoň nošení ochranných pomůcek a oděvů.

Nejnižší radiační riziko jsem definovala u zaměstnanců jaderného průmyslu. Pohybuje se kolem  $0,10 \cdot 10^{-2} \%$  za rok a přibližně  $0,04 \%$  za celý pracovní život. Opět se zde uplatňují principy ochrany před ionizujícím zářením a důraz je kladen i na prevenci vzniku havárií.

Nejvyšší riziko je tedy pro zaměstnance, kteří jsou v kontaktu s přírodními zdroji ionizujícího záření, jako jsou horníci a letecký personál. Může to být například z toho důvodu, že přírodní zdroje neumíme nijak ovlivnit, nemůžeme snížit intenzitu jejich záření. Ale můžeme například zvýšit odvětrávání v dolech nebo upravit letové trasy a tím snížit riziko vzniku úmrtí na nádorová onemocnění.

Nicméně výše zmíněná radiační rizika jsou u všech profesí velmi nízká a nepředstavují výraznou hrozbu pro ohrožení zdraví nebo života.

Dle Žáčkové (2009) v České republice dostane osoba za rok z přírodního pozadí průměrnou efektivní dávku přibližně  $3,40 \text{ mSv}$ . Přírodním pozadím se rozumí kosmické záření, také záření emitované přírodními radionuklidy, které se nacházejí v životním prostředí a jsou obsaženy v půdě, horninách, stavebních materiálech, ve vodě i ve vzduchu.

Toto ozáření nese podle mých výpočtů velmi nízké radiační riziko  $1,70 \cdot 10^{-2} \%$ . Za celý pracovní život tedy dostane osoba dávku  $136 \text{ mSv}$ , což nese radiační riziko přibližně  $0,68 \%$  z ozáření pouze z přírodních zdrojů. K tomu se přičítá i riziko z dalších zdrojů, jako například nejrůznější lékařská vyšetření, pobyt na pláži nebo let dopravním letadlem (Příloha 10). Za 40 let pracovního života je radiační riziko větší z přírodního pozadí než z výše uvedených profesí s výjimkou horníků uranových dolů.

Při takto malých dávkách nelze jasně odlišit riziko vzniku či úmrtí na zhoubná onemocnění vzhledem k jejich spontánnímu výskytu, což potvrzuje ve své studii i Klener (2008). Tomu pak odpovídá i nízké radiační riziko u zmiňovaných profesí.

V případě, že by došlo k nějakým zdravotním problémům vlivem ozáření (např. radiální popáleniny), bylo by to způsobeno nejspíše nějakou závažnou havárií a ne běžným provozem zdrojů ionizujícího záření. A tyto případy jsou vzácné, což potvrzuje ve své studii i Kohánka a Kudász (2017).

## **5.2 Ostatní pracovníci**

V rámci ostatních profesí jsem nejprve zkoumala vliv profesí na nádorová onemocnění. Zjistila jsem, že existuje několik pracovních i mimopracovních (socioekonomických, psychických) vlivů, které mohou zvýšit pravděpodobnost vzniku zhoubného onemocnění.

Nejvyšší počet tohoto onemocnění nesou řemeslníci, dále tovární dělníci a operátoři strojů a zařízení a na třetím místě jsou vysoko postavení administrativní pracovníci a manažeři. V porovnání s ostatní populací bez ohledu na zaměstnání je výskyt nádorových onemocnění u těchto tří profesí lehce zvýšen.

U řemeslníků, továrních dělníků a operátorů strojů to může být způsobeno jejich těžkou manuální prací, denním kontaktem s potencionálně nebezpečnými chemikáliemi či plyny, prací v zaprášeném a nevětraném prostředí a dále také nočním provozem. Mimo tohoto jsou nejvíce ohroženi úmrtím na srdeční a choroby cévního řečiště, dále mají vliv i vnější příčiny.

Administrativní pracovníci a manažeři mohou být vznikem zhoubného onemocnění ohroženi především sedavým zaměstnáním a dále psychickými faktory jako je vypětí a stres. Kromě tohoto onemocnění jsou u nich příčinou smrti také srdeční choroby a vnější vlivy.

Během výzkumu jsem zjistila, že mezi nejčastěji zasažené orgány nádorovým bujením patří plíce a močový měchýř. Dále se objevuje často i leukémie.

Na zvýšení pravděpodobnosti vzniku karcinomu plic vlivem pracovního zařazení se může podílet ionizující záření, azbest, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), koksárenské plyny, chrom, nikl, kobalt a bischlormetyléter. Na karcinomu močového měchýře také PAU a dále aromatické amino- a nitrosloučeniny. Leukémii může způsobovat ionizující záření a benzen. Obecně se podle výzkumu PAU řadí mezi nejčastější karcinogeny.

Dle Evropské agentury pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (2021) v roce 2017 Evropská komise slíbila chránit pracovníky před nádorovými onemocněními zapříčiněnými profesním životem. Toho bylo zčásti docíleno revidováním směrnice

o karcinogenech a mutagenech za účelem stanovení limitů, v případě běžných chemikálií způsobujících nádorová onemocnění na pracovištích v Evropě.

Mimo vzniku nádorových onemocnění můžeme diskutovat i zvýšení rizika jiných chorob vlivem zaměstnání. Podle mých výsledků platí, že nejvyšší riziko úmrtí nesou těžké manuální a nízko kvalifikované pozice a nízké riziko nesou vysoko postavení zaměstnanci s dobrým platovým zařazením.

Může to být způsobeno tím, že pracovníci vyšších pozic mají více finančních prostředků na odbornou lékařskou péči a lepší informovanost o možných zdravotních rizicích. Navíc nepracují ve znečištěném prostředí.

Nalezla jsem tři nejčastější problémy, které se vyskytovaly u zkoumaných profesí. Jsou jimi onemocnění srdce, cévního řečiště a dále nemoci způsobené vnějšími vlivy. Příčinou může být jejich vybrané zaměstnání, ale domnívám se, že zde hrají větší roli spíše jiné vlivy. A to faktory životního stylu včetně nevhodné životosprávy moderního světa a na ni nasedající civilizační nemoci. Tyto příčiny pak mohou vést nejen k těmto obtížím, ale i k jiným zdravotním problémům.

Dále jsem zkoumala míru úmrtnosti v závislosti na pohlaví. Dospěla jsem k závěru, že riziko úmrtí u mužů i u žen je přibližně stejné, pohlaví tedy nehraje roli v riziku mortality. Opět spíše záleželo na výši kvalifikace a pracovním zařazení. V dnešní době jsou profese rozděleny podle fyzických schopností mužů i žen. Ženy nemusí absolvovat fyzicky náročné práce, které by jim mohly způsobovat poškození zdraví.

Při zkoumání jiných rizik, než rizik vzniku nádorových onemocnění v ostatních profesích jsem zjistila, že nevíce nebezpečné je povolání těžby dřeva. Je to z důvodu pády stromů a větví, poraněním se o ostré stroje a nemožností včasného poskytnutí nemocniční péče.

Jako druhá nejnebezpečnější profese v porovnání s ostatními zkoumanými se jevil rybolov. Opět z důvodu neposkytnutí rychlé nemocniční péče, fyzické náročnosti a vlivem vnějších podmínek na moři.

Třetí nejnebezpečnější profesí se stali profesionální piloti letadel a palubní inženýři. Hlavně z důvodu práce v nočním provozu, nedostatku odpočinku a přepracovanosti a samozřejmě také kvůli nehodám během letu.

### **5.3 Srovnání rozhovorů**

Dále jsem v rámci rozhovorů se závodními lékaři zkoumala v praxi rizika a opatření pracovníků, kteří jsou v kontaktu se zdroji ionizujícího záření a ostatních pracovníků.

Všichni tři lékaři se shodli na tom, že pracovníci ohrožení ionizujícím zářením nemají jiné zdravotní obtíže, které by souvisely s ozářením, než ti ostatní. Na veškerých pracovištích se zdroji záření se využívá ochrana časem, stíněním a vzdáleností.

V jednom zařízení se vyskytlo několik případů překročení limitů z ozářením, ale u těchto zaměstnanců se neprojevily žádné následky. Tito zaměstnanci se pohybovali na pracovištích radiodiagnostiky, CT vyšetření, radioizotopového pracoviště, úseku katetrizačních sálů a chirurgických odděleních.

Výskyt nádorových onemocnění je u obou skupin zaměstnanců zcela identický. Respondenti neuvedli zvýšené riziko vzniku nádorového onemocnění u pracovníků, kteří jsou vystaveni zdrojům ionizujícího záření. Nepozorovali ani častější výskyt určitých typů nádorových onemocnění u radiačních pracovníků.

V rámci pracovních úrazů a nemocí u ostatních pracovníků se jedná o drobná poranění, která zásadně neohrožují zdraví a život osoby.

### **5.4 Srovnání všech profesí**

Pro porovnávání rizik osob pracujících v ostatních profesích a „tolerabilních“ rizik radiačních pracovníků vycházím z předpokladu, že dávka 20 mSv indukuje 100 smrtelných zhoubných onemocnění na 100 000 osob za rok. Z toho vyplývá, že při dosažení horní hranice limitů u radiačních pracovníků, jsou profese pro tyto zaměstnance nebezpečnější, než ostatní v této práci uvedené profese, kde nejsou osoby vystaveny ionizujícímu záření. Veškerá ostatní povolání uvedená v Tabulce 12 nedosahují takového rizika kromě jedné – těžba dřeva, která nese riziko 135,9 úmrtí na 100 000 osob za rok.

Skutečné dávky radiačních pracovníků jsou ale přibližně 10-20krát nižší, proto je riziko smrtelných nádorových onemocnění u radiačních pracovníků kolem 5-10 na 100 000 osob za rok. Tato hodnota rizika je již přibližně stejná jako u ostatních pracujících, proto se profese, kde jsou zaměstnanci vystaveni zdrojům ionizujícího záření, považují za bezpečné. Ale stále musíme brát ohled na to, že jakákoliv dávka záření může způsobit zvýšenou pravděpodobnost vzniku zhoubných nádorů a tato pravděpodobnost je přímo úměrná získané dávce.

Nejvyšší riziko jsem našla u horníků uranových dolů. U nich je riziko 27,5 úmrtí na 100 000 osob za rok, ale vyšší úmrtnost měli z ostatních profesí (opět souhrn profesních, přírodních a sociálních faktorů) i rybáři (86,0 úmrtí), zemědělci a farmáři (23,1 úmrtí), popeláři a sběrači recyklovaného materiálu (34,1 úmrtí), řidiči nákladních vozů (24,7 úmrtí), zaměstnanci v oblasti oceli a železa (25,1 úmrtí), střešní pokrývači (48,6 úmrtí) a piloti letadel s palubními inženýry (55,5 úmrtí).

Z těchto údajů můžeme usuzovat, že - v případě skutečně obdržených dávek – jsou na tom radiační pracovníci lépe, než spousta jiných profesí z hlediska počtu úmrtí během pracovní doby. Riziko smrti vlivem ionizujícího záření je u nich nižší v porovnání s riziky při práci v ostatních zmíněných profesích.

U žádné profese ale nelze říct, že by byla zcela bez rizik nebo naopak velmi nebezpečná. Každá má svá pozitiva i negativa. Je však důležité respektovat a dodržovat zásady bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. U radiačních pracovníků je i nezbytností kontrolovat a diskutovat nastavené limity.

## 6 Závěr

Ve své diplomové práci jsem zkoumala otázku vlivu ionizujícího záření, kterému jsou vystaveny osoby ve svých profesích, a toto jsem porovnávala s nebezpečnými faktory v ostatních profesích. Cílem tedy bylo stanovit radiační rizika u zaměstnanců vystavených ionizujícímu záření a dále stanovit rizika u ostatních profesí.

Radiační riziko bylo dle mého výzkumu za jeden rok i kumulované za celý pracovní život nejvyšší u horníků uranových dolů. A nejnižší u pracovníků jaderného průmyslu.

Míra rizika úmrtí na nádorová onemocnění ale u všech profesně vystavených osob ionizujícímu záření byla shledána tak nízkou, že ji v podstatě nelze odlišit od rizika vzniku spontánně se vyskytujících nádorových onemocnění.

V rámci sledování rizik u ostatních profesí jsem zjistila, že nejvíce nebezpečná povolání měli zaměstnanci těžby dřeva, rybolovu a piloti letadel s palubními inženýry.

Tyto tři profese a mnohé další, již méně nebezpečné, nesly větší riziko úmrtí, než bylo riziko radiačních pracovníků vystavených skutečným dávkám záření. V případě srovnání s „tolerabilními“ dávkami (dosažení horní hranice limitů) nesli již radiační pracovníci větší riziko než ostatní profese.

Zkoumala jsem také i vznik nádorových onemocnění u jiných profesí. Nejvyšší riziko měli řemeslníci. Nejčastěji byly zasaženy nádorem plíce a močový měchýř. PAU se řadily mezi nejčastější karcinogeny.

Kromě nádorových onemocnění jsem sledovala i ohrožení jinými chorobami vlivem zaměstnání. Zjistila jsem, že nejvyšší úmrtnost měly těžké manuální a nízko kvalifikované pozice. Nejvíce se vyskytovaly onemocnění srdce, cévního řečiště a faktory vnějších podmínek.

Práce může být negativně ovlivněna subjektivním výběrem povolání. Nebyly zahrnuty veškeré existující profese a u jiných profesí, než radiačních, šlo o kombinaci rizik z přírodních, sociálních a profesních zdrojů a ne čistě jen profesních. Je také stále nutné průběžně aktualizovat rizika a počty úmrtí v jednotlivých profesích, stejně tak jako kontrolovat radiační riziko.



## 7 Seznam literatury

1. ANDRLÍK, J., 2020. Výskyt chronické bronchitidy u horníků uranových dolů. In: *IAEA.org* [online]. Vienna. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/03/020/3020500.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/03/020/3020500.pdf)
2. BRHEL, P. et al., 2011. Zhoubné nádory jako nemoci z povolání v České republice v letech 1991 až 2009. *Solen Medical Education* [online]. 5(5), 285-289 [cit. 2021-02-17]. ISSN 1803-5256. Dostupné z: [http://www.solen.cz/artkey/xon-201105-0011\\_Zhoubne\\_nadory\\_jako\\_nemoci\\_z\\_povolani\\_v\\_Ceske\\_republice\\_v letech\\_1991\\_az\\_2009.php?back=%2Fsearch.php%3Fquery%3D%20Psychofarmakologie%20v%20onkologii%2C%20mo%BEnosti%20ovlivn%ECn%ED%20bolesti%26sfrom%3D3720%26page%3D30](http://www.solen.cz/artkey/xon-201105-0011_Zhoubne_nadory_jako_nemoci_z_povolani_v_Ceske_republice_v letech_1991_az_2009.php?back=%2Fsearch.php%3Fquery%3D%20Psychofarmakologie%20v%20onkologii%2C%20mo%BEnosti%20ovlivn%ECn%ED%20bolesti%26sfrom%3D3720%26page%3D30)
3. COHEN-UNGER, S., EVRENSEL, A., 2016. *Ionizující záření: účinky a zdroje* [online]. Program OSN pro ochranu životního prostředí. [cit. 2020-12-26]. 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](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation_Czech_27_Dec_2016_Web.pdf)
4. COPELAND, D., DONOFRIO, C., 2020. Most Dangerous Jobs in America. In: *Work and Money.com* [online]. 26.6. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.workandmoney.com/s/most-dangerous-jobs-29090b32c94f4ff6>
5. EVROPSKÁ AGENTURA PRO BEZPEČNOSTA OCHRANU ZDRAVÍ PŘI PRÁCI, 2021. Nádorová onemocnění související s prací. In: *Osha.europa.eu* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://osha.europa.eu/cs/themes/work-related-diseases/work-related-cancer>
6. FREITINGER SKALICKÁ, Z., 2018. Vnější a vnitřní kontaminace radioaktivními látkami. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 45-48. ISBN 978-80-7394-696-8.
7. FUKÁTKO, T., 2007. *Detekce a měření různých druhů záření*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura. 189 s. ISBN 978-80-7300-193-3.

8. GOLISOVÁ J., KRAFT, O., 2010. Management péče o zaměstnance ve zdravotnických pracovištích s ionizujícím zářením. *Cor et Vasa* [online]. **52**(9), 564–567 [cit. 2021-01-25]. ISSN 1803-7712. Dostupné z: [https://actavia.e-coretvasa.cz/artkey/cor-201009-0016\\_management-of-care-for-healthcare-personnel-at-risk-of-exposure-to-ionizing-radiation.php](https://actavia.e-coretvasa.cz/artkey/cor-201009-0016_management-of-care-for-healthcare-personnel-at-risk-of-exposure-to-ionizing-radiation.php)
9. HAVRÁNEK, J., 2018. Základy radiační ochrany. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 61-66. ISBN 978-80-7394-696-8.
10. HAVRÁNKOVÁ, R., 2018a. Deterministické a stochastické účinky ionizujícího záření. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 38-44. ISBN 978-80-7394-696-8.
11. HAVRÁNKOVÁ, R., 2018b. Zdroje ionizujícího záření. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 21-26. ISBN 978-80-7394-696-8.
12. HOLMES, E. et al., 2011. Mortality Rates According to Occupation in New Zealand Males: 2001–2005. *The New Zealand Medical Journal*. Journal of the New Zealand Medical Association [online]. **124**(1328), 16-28 [cit. 2020-11-17]. ISSN 1175-8716. Dostupné z: <https://www.nzma.org.nz/journal-articles/mortality-rates-according-to-occupation-in-new-zealand-males-2001-2005>
13. HUŠÁK, V., SINGER, J., 2005. Zdroje, interakce a detekce ionizujícího záření. In: KUNA, P. et al. *Klinická radiobiologie*. Praha: MANUS, s. 8-33. ISBN 80-86571-09-2.
14. ICRP, 1977. *Recommendations of the ICRP*. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3) [online]. 17.1. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: [https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_1\\_3](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_1_3)
15. INSTITUT BIostatistiky a analýz, 2018. Incidence zhoubných nádorů celosvětově i nadále roste: rakovinou onemocní 1/5 mužů a 1/6 žen. In: *Kolorektum.cz* [online]. Brno: Masarykova univerzita. 5.12. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.kolorektum.cz/index.php?pg=aktuality&aid=484#reference>

16. JIRÁNEK, M., 2017. *Opatření proti radonu pro novostavby*. Praha: Stavební fakulta ČVUT v Praze. 15 s.
17. JOHNSON, N. J. et al., 1999. The Impact of Specific Occupation on Mortality in the U.S. National Longitudinal Mortality Study. *Demography* [online]. **36**(3), 355-367 [cit. 2020-11-17]. ISSN 1533-7790. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/2648058?seq=1>
18. KALIŠOVÁ, O., 2015. Výzkum u pracovníků v jaderném průmyslu. Dlouhodobé vystavení nízkým dávkám záření může zvýšit riziko vzniku leukémie. In: *Toolkit.ecn.cz* [online]. Zima. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: [https://toolkit.ecn.cz/img\\_upload/4c07d5dd532ffb7f6ffe7d1c99a61e26/noviny15zimawww.pdf](https://toolkit.ecn.cz/img_upload/4c07d5dd532ffb7f6ffe7d1c99a61e26/noviny15zimawww.pdf)
19. KARDIOCHIRURGIE, 2020. 15 profesí, které (ne)prospívají zdraví. In: *Kardiochirurgie.cz* [online]. Praha: Kardiochirurgie o.s., 17.11. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://www.kardiochirurgie.cz/novinky/15-profesi-ktere-ne-prospivaji-zdravi-707>
20. KATIKIREDDI, S. V. et al., 2017. Patterns of Mortality by Occupation in the UK, 1991–2011: A Comparative Analysis of Linked Census and Mortality Records. *The Lancet Public Health* [online]. **11**(2), 501-512 [cit. 2020-11-17]. ISSN 2468-2667. Dostupné z: [https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(17\)30193-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(17)30193-7/fulltext)
21. KLENER, V., 2008. Malé dávky záření a riziko rakoviny. *Vesmír* [online]. **87**(3) 189-195 [cit. 2020-12-26]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2008/cislo-3/male-davky-zareni-riziko-rakoviny.html>
22. KODL, O., 2007. Monitorování ionizujícího záření. In: KODL, O. et. al. *Radiační ochrana při zubních radiodiagnostických vyšetřeních*. Vyd. 3. přeprac. Praha: Havlíček Brain Team, s. 50-51. ISBN 978-80-87109-04-5.

23. KOHÁNKA, V., KUDÁSZ, F., 2017. Work-related Skin Diseases. In: *OSHwiki.eu* [online]. 1.6. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: [https://oshwiki.eu/wiki/Work-related\\_skin\\_diseases](https://oshwiki.eu/wiki/Work-related_skin_diseases)
24. KONEČNÝ, J., 2006. *Radiační fyzika*. České Budějovice: ZSF JU. 109 s. ISBN 80-7040-843-X.
25. KUHL, K., LISNER, L., 2017. Work-related Cancer. In: *OSHwiki.eu* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: [https://oshwiki.eu/wiki/Work-related\\_cancer](https://oshwiki.eu/wiki/Work-related_cancer)
26. KUNA, P., 2018. Faktory ovlivňující biologický účinek záření. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 49-54. ISBN 978-80-7394-696-8.
27. KUNA, P., NAVRÁTIL, L. et al., 2005. *Klinická radiobiologie*. Praha: MANUS. 222 s. ISBN 80-86571-09-2.
28. KUSALA, J., 2004. Miniencyklopedie. Jaderná energetika. In: *CEZ.cz* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k23.htm>
29. MALÁTOVÁ, I., MATZNER, J., 2000. Ochrana obyvatel. In: KLENER, V., *Princip a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, s. 405-413. ISBN 80-238-3703-6.
30. MAGERSTEINOVÁ, D., MACHOVÁ WITTINGEROVÁ, M., 2015. Detailní sledování zaměstnanců v českých jaderných elektrárnách zelenou nedostalo. In: *Toolkit.ecn.cz* [online]. Zima. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: [https://toolkit.ecn.cz/img\\_upload/4c07d5dd532ffb7f6ffe7d1c99a61e26/noviny15zimawww.pdf](https://toolkit.ecn.cz/img_upload/4c07d5dd532ffb7f6ffe7d1c99a61e26/noviny15zimawww.pdf)
31. MORNSTEIN, V., 2004. Biologické účinky ionizujícího záření. In: HRAZDIRA, I., MORNSTEIN, V., *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 396 s. ISBN 80-902896-1-4.

32. NAGY, K., KUDÁSZ, F., 2016. Introduction to Occupational Diseases. In: *OSHwiki.eu* [online]. 1.3. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: [https://oshwiki.eu/wiki/Introduction\\_to\\_occupational\\_diseases](https://oshwiki.eu/wiki/Introduction_to_occupational_diseases)
33. NAVRÁTIL, L., ÖSTRERREICHER J., 2005. Klinické projevy akutní nemoci z ozáření (ANO). In: KUNA, P. et al. *Klinická radiobiologie*. Praha: MANUS, s. 46-95. ISBN 80-86571-09-2.
34. PETROVÁ, K., 2014. Osobní monitorování a zdravotní dohled nad radiačními pracovníky. In: *SUJB.cz* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/1\\_sledovani\\_a\\_hodnoceni\\_davek\\_RP\\_petrova\\_2014.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/1_sledovani_a_hodnoceni_davek_RP_petrova_2014.pdf)
35. PETROVÁ, K., 2017. Nový atomový zákon a prováděcí předpisy. In: *SUJB.cz* [online]. 8.3. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/NAZ\\_kurzy/NAZ\\_NOVRO\\_2017\\_petrova.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/NAZ_kurzy/NAZ_NOVRO_2017_petrova.pdf)
36. PHILLIPS, T., 2014. Ozáření při letu letadlem. In: *Třípól. cz* [online]. 27.7. [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/202-ozareni-pri-letu-letadlem>
37. PODZIMEK, F., 2005. Ochrana před ionizujícím zářením. In: NAVRÁTIL, L. et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada Publishing, a.s., s. 370-371. ISBN 80-247-1152-4.
38. PROCHÁZKA, H., 2006. Uranové doly z dnešního pohledu. In: *Kpvcr.cz* [online]. 19.1. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.kpvcr.cz/uranove-doly-zdnesniho-pohledu/>
39. PTÁČEK, J. et al., 2014. Ochrana před ionizujícím zářením v nukleární medicíně. In: KORANDA et al. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 46 – 60. ISBN 978-80-244-4031-6.

40. KORANDA et al. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 46 – 60. ISBN 978-80-244-4031-6.
41. RODA, Š., 2001. Zdravotný stav pracovníkov vybraných profesných skupín. In: *Životné podmienky a zdravie*. Bratislava: Ústav hygieny Lekárskej fakulty UK, s. 332-335. ISBN 80-7159-126-2
42. ROSINA, J., HEŘMANSKÁ, J., HAVRÁNKOVÁ, R., 2005. Ionizující záření, radionuklidy, terapie ionizujícím zářením. In: NAVRÁTIL, L. et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada Publishing, a.s., s. 331-389. ISBN 80-247-1152-4.
43. SCHOLZ, R., 2003. *Ohrožení života radioaktivním zářením*. Studie zpracovaná z pověření společnosti Mezinárodní lékaři pro odvrácení jaderné války, Lékaři za sociální odpovědnost (IPPNW). 3. vyd., nové, přeprac. a rozšíř. České Budějovice: Sdružení Jihočeské matky. 142 s.
44. SCHWARZMANN, M., 2017. Posádky letadel ohrožují radiační mraky, zjistili vědci. In: *E15.cz* [online]. 8.2. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/posadky-letadel-ohrozuj-radiacni-mraky-zjistili-vedci-1328555>
45. SPURNÝ, F., 2000. Kosmická složka přírodního pozadí. In: KLENER, V., *Princip a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, s. 546-555. ISBN 80-238-3703-6.
46. STEBBINS, S. et al., 2018. Workplace Fatalities: 25 Most dangerous Jobs in America. In: *USA Today Money* [online]. 9.1. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://eu.usatoday.com/story/money/careers/2018/01/09/workplace-fatalities-25-most-dangerous-jobs-america/1002500001/>
47. SÚJB, 1994. Bezpečnost jaderných zařízení. Tolerovatelnost rizika z jaderných elektráren. In: *IAEA.org* [online]. Praha: Nuklin v Ústavu jaderných informací. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/25/074/25074007.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/25/074/25074007.pdf)

48. SÚJB, 2021. Stručný přehled biologických účinků záření. In: *SÚJB.cz* [online]. Praha. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>
49. SÚKUPOVÁ, L., 2018. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech*. Praha: Grada Publishing, a.s. 273 s. ISBN 978-80-247-2842-1.
50. SUNESON, G., 2020. Precarious Professions: These Are 25 of the Most Dangerous Jobs in America. In: *USA Today Money* [online]. 24.1. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: <https://eu.usatoday.com/story/money/2020/01/24/most-dangerous-jobs-25-most-risky-jobs-in-america/41040903/>
51. SÚRO, v. v. i., 2021. Jaderné elektrárny. In: *SURO.cz* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/jaderne-elektrarny>
52. ŠUTA, M., 2015. Informační list – Dopady těžby a zpracování uranu na lidské zdraví. In: *temelin.cz* [online]. České Budějovice: Calla – Sdružení pro záchranu prostředí. [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://temelin.cz/images/PDF/uran%20a%20zdravi.pdf>
53. TAKALA, J., 2017. Eliminating Occupational Cancer in Europe and Globally. In: *Oshwiki.eu* [online]. 30.5. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: [https://oshwiki.eu/wiki/Eliminating\\_occupational\\_cancer\\_in\\_Europe\\_and\\_globally](https://oshwiki.eu/wiki/Eliminating_occupational_cancer_in_Europe_and_globally)
54. ULLMANN, V., 2021. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření*. Biologické účinky ionizujícího záření – radiační ochrana [online]. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/RadiacniOchrana.htm>
55. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, částka 172, s. 6618-6904. ISSN 1211-1244.

56. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, částka 102, s. 3938-4060. ISSN 1211-1244.

57. ZÖLZER, F. et al., 2007. Mechanizmy účinků ionizujícího záření. In: *zsf.jcu.cz* [online]. České Budějovice: ZSF JU. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://www.zsf.jcu.cz/cs/ustavy/ustav-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvateilstva/informace-pro-studenty/ucebni-texty/ochrana-obyvateilstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/mechanizmy-ucinku-ionizujiciho-zareni.doc/view>

58. ZÖLZER, F., 2018. Účinky ionizujícího záření na subcelulární a celulární úrovni. In: HAVRÁNKOVÁ, R. et al. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: ZSF JU, s. 27-37. ISBN 978-80-7394-696-8.

59. ŽÁČKOVÁ, H. et al., 2000. Radiační ochrana při lékařském ozáření v radioterapii. In: KLENER, V., *Princip a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, s. 345-380. ISBN 80-238-3703-6.

60. ŽÁČKOVÁ, H., 2001. Ozáření populace. *Rentgen Bulletin* [online]. Praha: Státní ústav radiační ochrany, 6, 1-4 [cit. 2021-02-17]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rentgen9-2001.pdf>

61. ŽÁČKOVÁ, H., 2009. Ionizující záření a míra rizika. *Rentgen Bulletin* [online]. Praha: Státní ústav radiační ochrany, 9, 1-6 [cit. 2021-02-04]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg\\_bulletin\\_2009.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rtg_bulletin_2009.pdf)



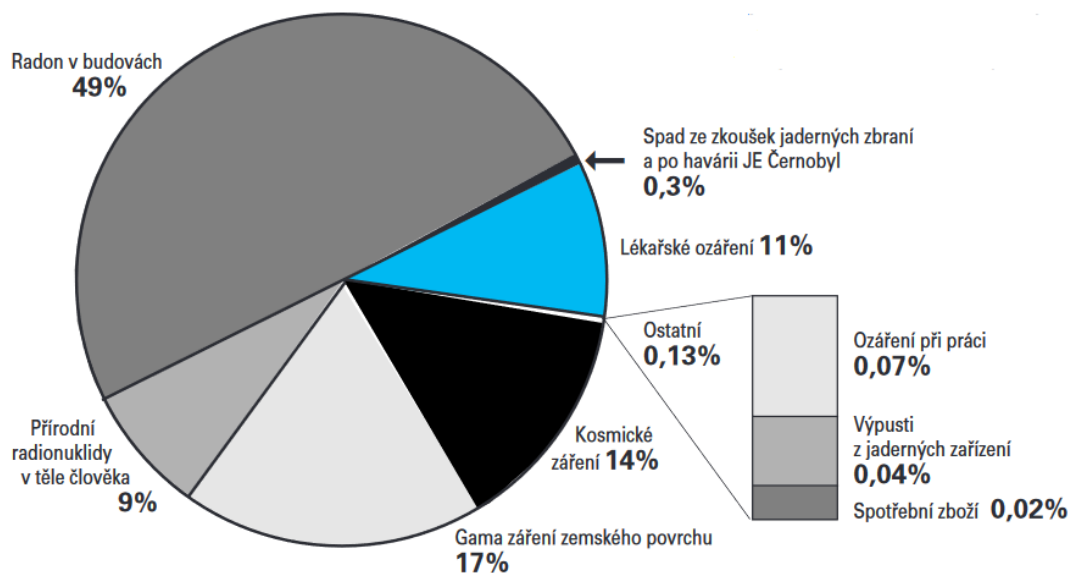
## 8 Přílohy

### Příloha 1: Průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů

# Průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů

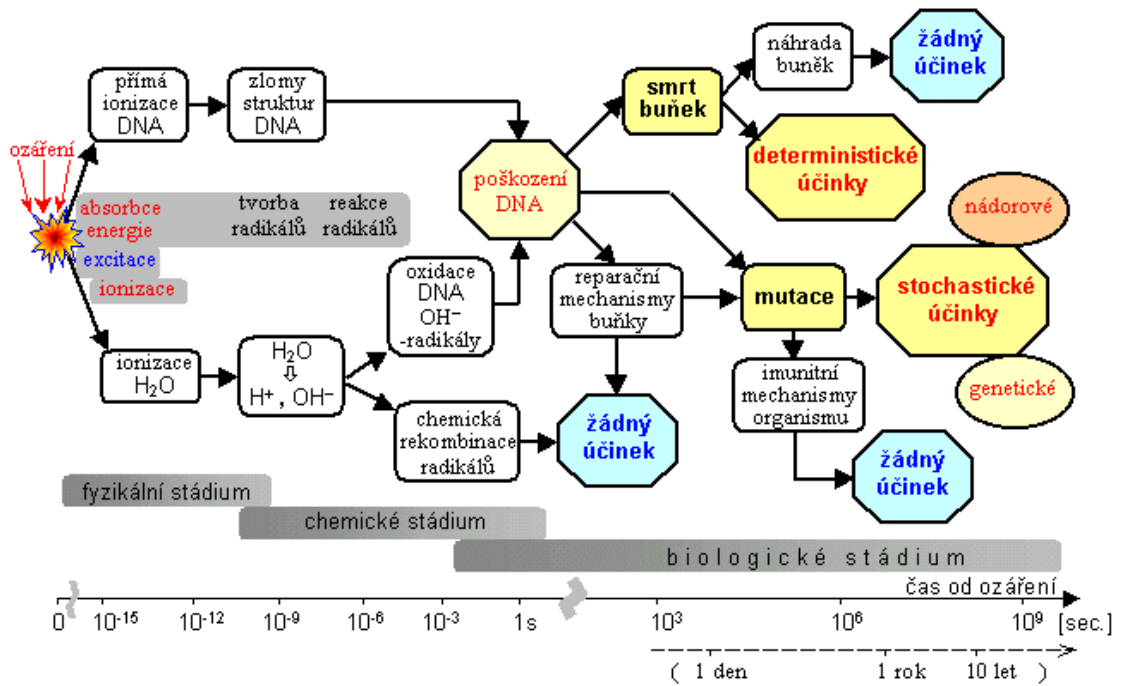
Přírodní zdroje:	mSv/rok
● Kosmické záření	0,39
● Gama záření zemského povrchu	0,46
● Přírodní radionuklidy v těle člověka	0,23
● Radon v budovách	1,3
Umělé zdroje:	
● Spad ze zkoušek jaderných zbraní a po havárii JE v Černobylu	0,007
● Lékařské ozáření	0,3
● Ozáření při práci	0,002
● Výpusti z jaderných zařízení	0,001
● Spotřební zboží	0,0005

Obrázek 7: Průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů (Žáčková, 2001)

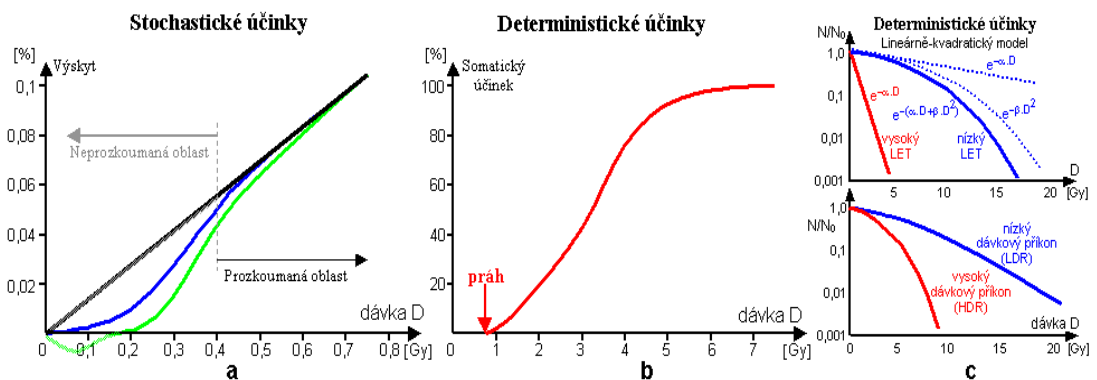


Obrázek 8: Grafické znázornění míry průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů (Žáčková, 2001)

**Příloha 2: Působení ionizujícího záření na živý organismus**



Obrázek 9: Účinky ionizujícího záření na živý organismus (Ullmann, 2021)



Obrázek 10: Stochastické a deterministické účinky (Ullmann, 2021)

**Příloha 3: Změny působící na lidský organismus vlivem ionizujícím zářením**

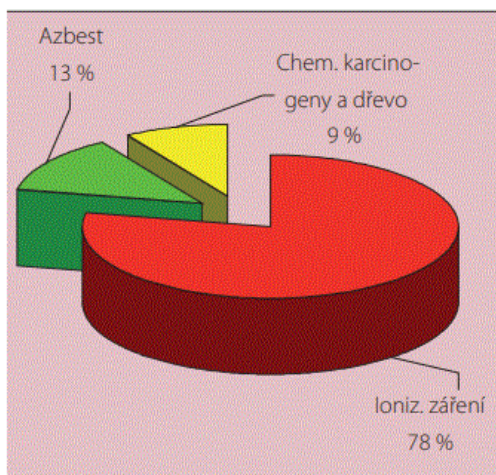
Somatické		Genetické
Akutní	Chronické	
Postradiační syndrom (1 Gy)	Útlum krvetvorby	Genetické důsledky u potomstva
Změny v krevním obraze (0,5 Gy)	Zánět kůže	
Lokální změny (kůže 3 Gy, gonády 0,25 Gy)	Zákal oční čočky (1,5 Gy)	
Poškození vývoje zárodku či plodu	Nádorová onemocnění různých orgánů	
Deterministické		Stochastické

**Obrázek 11: Rozdělení účinků na organismus člověka (Golisoá a Kraft, 2010)**

#### **Příloha 4:** Otázky pro rozhovor se závodními lékaři (vlastní zdroj)

1. Zaměstnanci jakých pracovních pozic jsou vystaveni zdroji ionizujícímu záření v zařízení, ve kterém pracujete?
2. Jaké zdravotní problémy mají nejčastěji zaměstnanci, kteří pracují se zdroji ionizujícího záření?
3. Jaká ochranná opatření před ionizujícím zářením jsou uskutečněna v zařízení, ve kterém pracujete?
4. Vyskytují se v zařízení, ve kterém pracujete, zaměstnanci, u kterých došlo k překročení limitů ozáření? Pokud ano, kolik jich přibližně je a jak velké bylo překročení limitů?
5. Jaké mají zaměstnanci, u kterých došlo k překročení limitů ozáření, zdravotní problémy související s ozářením?
6. Jaký je postup zdravotní péče v zařízení, ve kterém pracujete, po zjištění překročení limitů ozáření?
7. Jakou pracovní pozici mají zaměstnanci, u kterých došlo k překročení limitů ozáření?
8. Jaké zdravotní problémy a pracovní úrazy mají nejčastěji zaměstnanci, kteří nejsou vystaveni ionizujícímu záření a jaké je jejich pracovní zařazení?
9. Jaká nádorová onemocnění se vyskytují u zaměstnanců pracujících se zdroji ionizujícího záření v zařízení, ve kterém pracujete?
10. Jaká nádorová onemocnění se vyskytují u zaměstnanců, kteří nepřijdou do kontaktu se zdroji ionizujícího záření v zařízení, ve kterém pracujete?
11. Vyskytují se častěji nádorová onemocnění u zaměstnanců, kteří jsou nebo nejsou ve styku se zdroji ionizujícího záření?
12. Jak časté jsou preventivní prohlídky zaměstnanců u Vás, jako závodního lékaře a co vše preventivní prohlídka obnáší?

**Příloha 5:** Faktory ovlivňující vznik profesních nádorových onemocnění

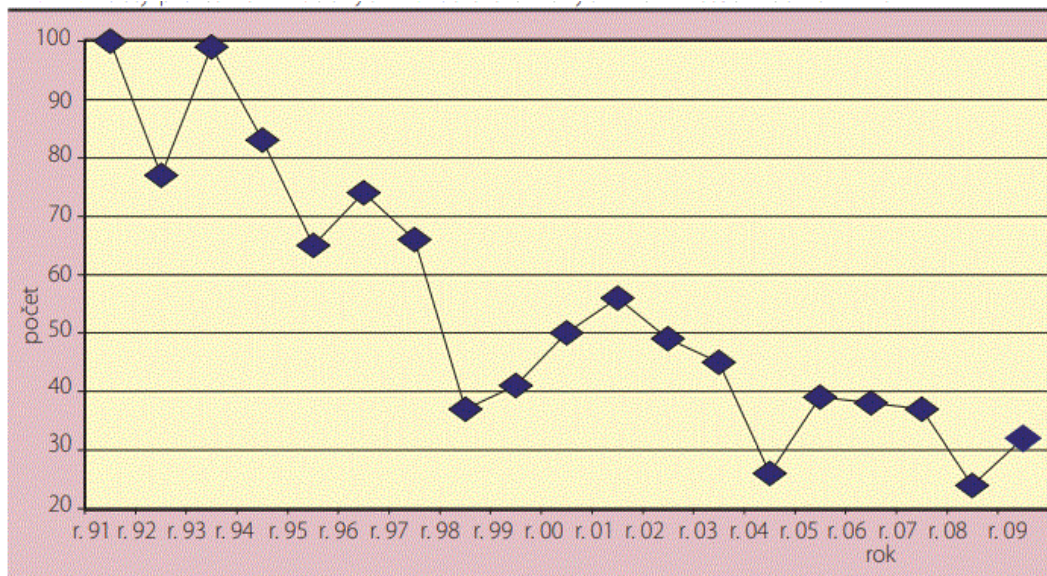


Obrázek 12: Etiologie profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009 (Brhel et al., 2011)

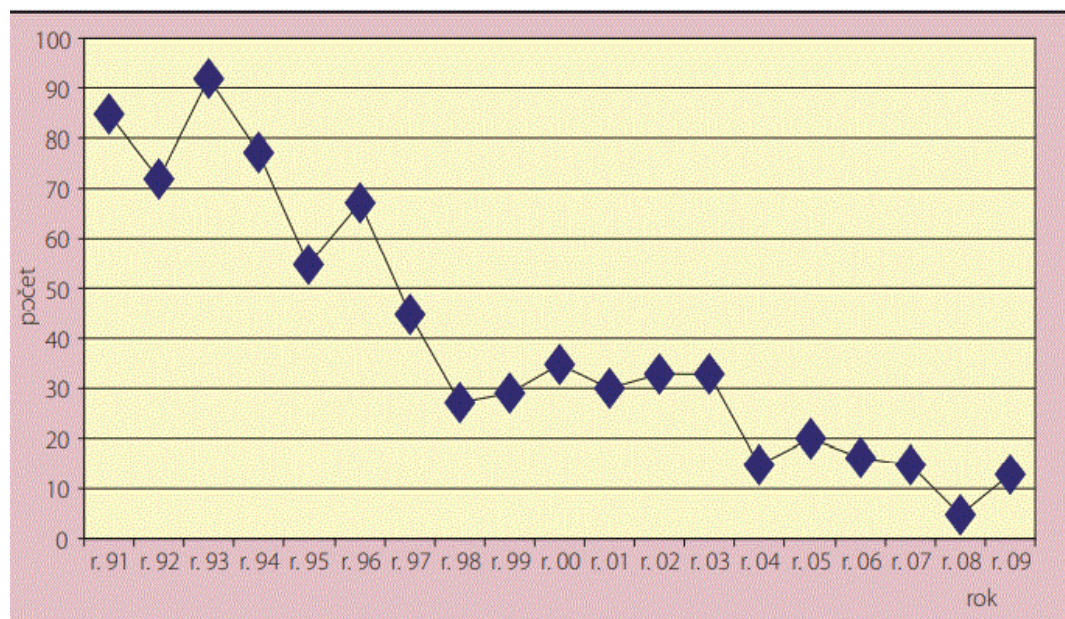
Profesní etiologická noxa	Počet	%
Radioaktivní látky	810	78,0
Azbest	136	13,1
Koksárenské plyny a PAU	46	4,4
Aromatické amino – a nitrosloučeniny	33	3,2
Chrom nebo jeho sloučeniny	3	0,3
2, 3, 7, 8-tetrachlordibenzo-p-dioxin	3	0,3
Chlormetyléter	2	0,2
Nikl nebo jeho sloučeniny	1	0,1
Benzen	1	0,1
Kobalt	1	0,1
Anorganické kyseliny	1	0,1
Dřevo (dub)	1	0,1
<b>Celkem</b>	<b>1 038</b>	<b>100,0</b>
PAU – polycyklické aromatické uhlovodíky		

Obrázek 13: Faktory zapříčňující vznik profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009 (Brhel et al., 2011)

**Příloha 6:** Grafické zobrazení počtu profesně vzniklých zhoubných onemocnění



Obrázek 14: Počet profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009 (Brhel et al., 2011)



Obrázek 15: Počet profesního karcinomu plic vznikající vlivem ionizujícího záření z roků 1991–2009 (Brhel et al., 2011)

## Příloha 7: Profesně vzniklá zhoubná onemocnění

Profesní nádor/věk v době hlášení (roky)	MIN	MAX	Medián	Průměr	SD
Rakovina plic z RAL	36	87	68	67	6,1
Rakovina kůže z RAL	60	83	76	74,8	4,8
Leukemie	52	77	66,5	64,8	9,3
Mezoteliom pleury nebo pobřišnice	33	87	61	61,5	9,9
Rakovina plic způsobená azbestem	47	79	63	62,6	9,7
Nádory způsobené chemickými karcinogeny	52	76	54	60,7	10,9

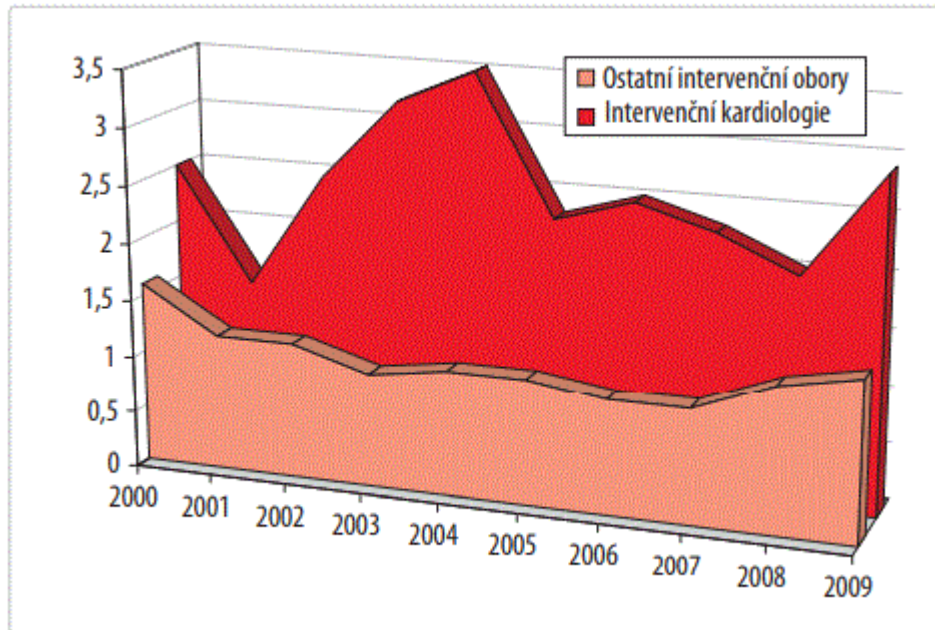
MIN – nejnižší věk; MAX – nejvyšší věk; SD – směrodatná odchylka; RAL – radioaktivní látky

Obrázek 16: Věk zaměstnanců s profesně vzniklým zhoubným nádorem (Brhel et al., 2011)

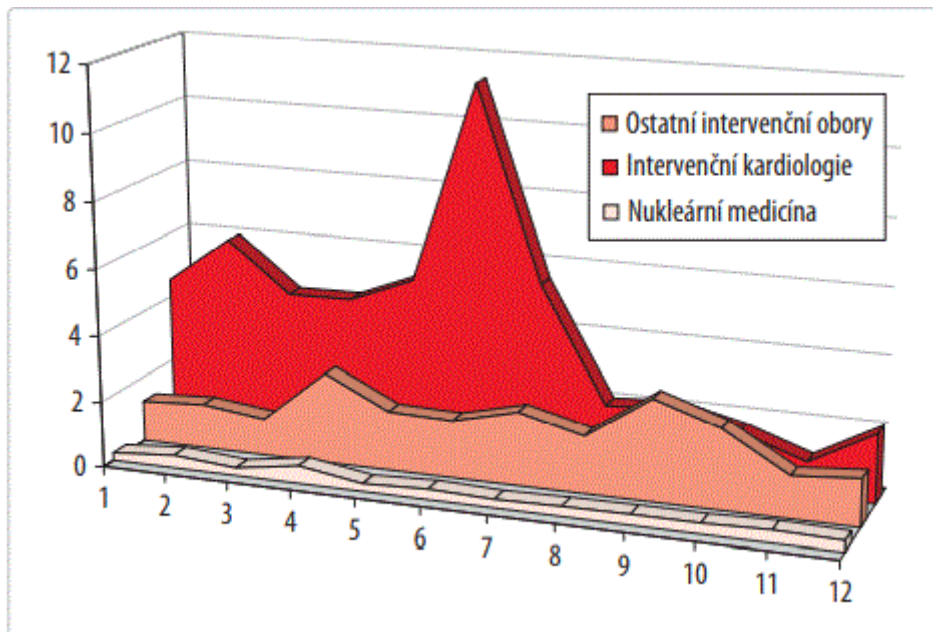
Typ – lokalizace	Počet	%
Zhoubný novotvar průdušky a plic	854	82,3
Mezoteliom pohrudnice nebo pobřišnice	81	7,8
Zhoubný novotvar močového měchýře	41	3,9
Zhoubný novotvar kůže	38	3,7
Leukemie	7	0,7
Zhoubný novotvar ledviny	4	0,4
Zhoubný novotvar hrtanu	3	0,3
Zhoubný novotvar tonzily	3	0,3
Zhoubný novotvar varlete	2	0,2
Zhoubný novotvar jazyka	1	0,1
Zhoubný novotvar nosní dutiny	1	0,1
Zhoubný novotvar mozku	1	0,1
Zhoubný novotvar štítné žlázy	1	0,1
Zhoubný novotvar anorekta	1	0,1
<b>Celkem</b>	<b>1 038</b>	<b>100,0</b>

Obrázek 17: Souhrnný počet profesních zhoubných nádorů z roků 1991–2009 (Brhel et al., 2011)

**Příloha 8:** Profesní expozice ve vybraných lékařských oborech



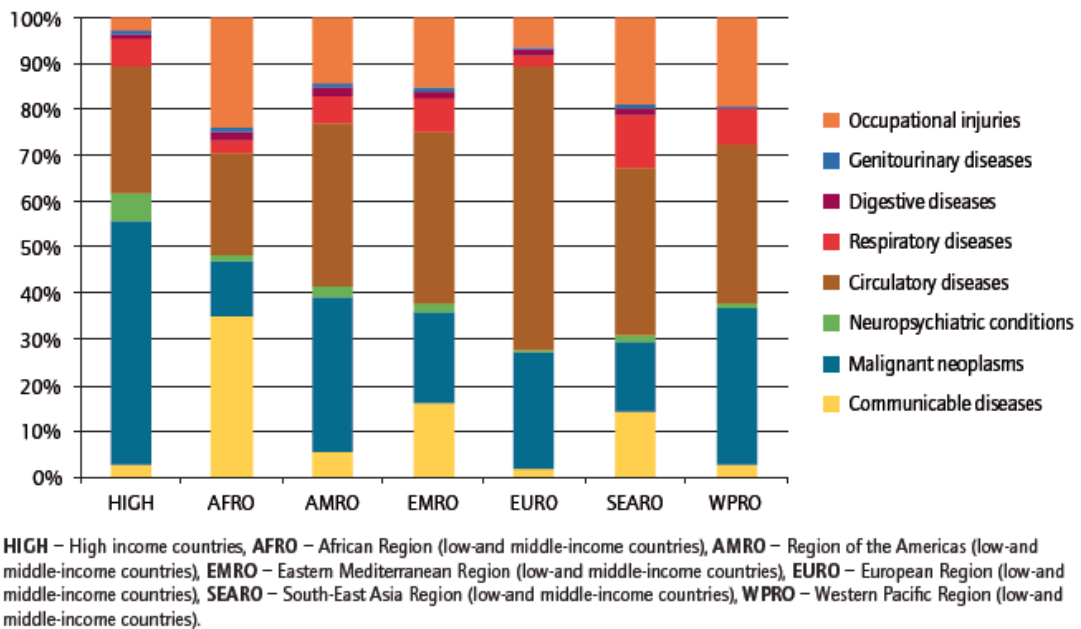
Obrázek 18: Maximální hodnoty účinných dávek (mSv) profesní expozice v ČR v intervenční kardiologii a v ostatních oborech (Golisořá a Kraft, 2010)



Obrázek 19: Maximální hodnoty účinných dávek (mSv) u zaměstnanců vybraných oborů ve Fakultní nemocnici Ostrava za jeden rok (Golisořá a Kraft, 2010)

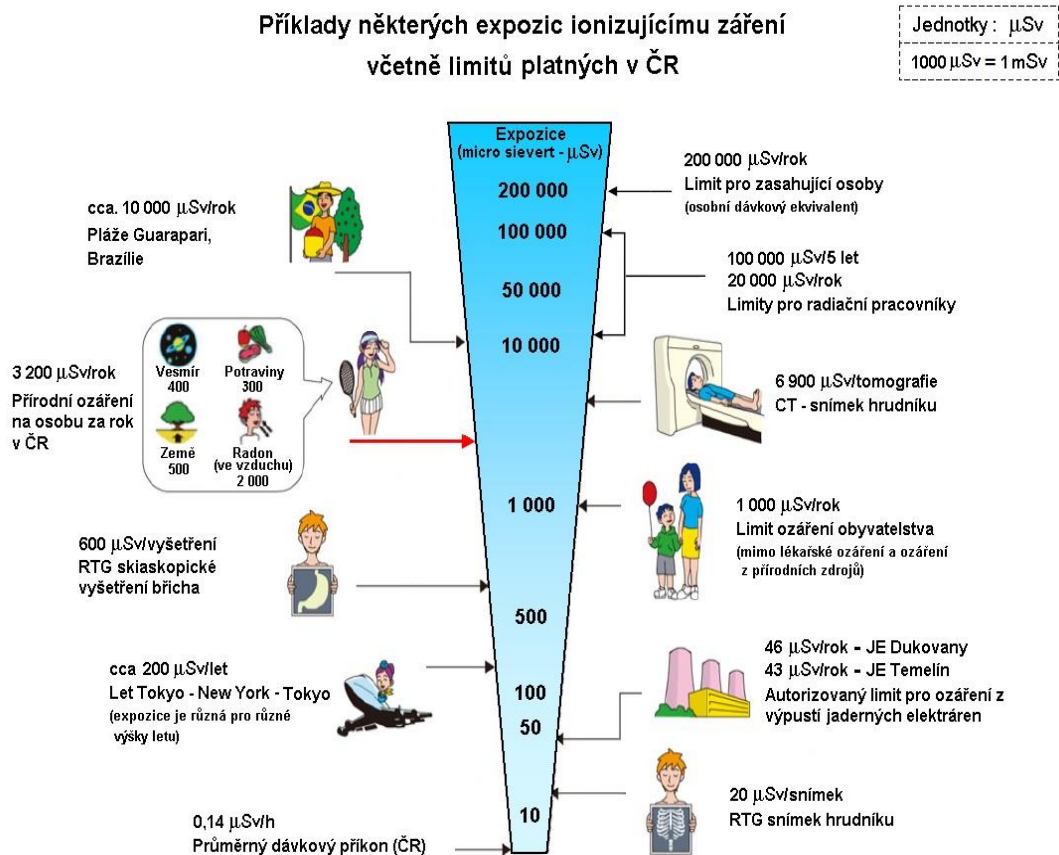


**Příloha 9:** Grafické zobrazení mortality na profesní zhoubná nádorová a jiná onemocnění



**Obrázek 20: Grafické znázornění procentuálního počtu úmrtí na nádorová a jiná onemocnění v rámci profesního života v různých zemích v roce 2014 (Takala, 2017)**

## Příloha 10: Vybrané expozice ionizujícím záření



Obrázek 21: Příklady některých expozic ionizujícím záření (SÚJB, 2021)

## **9 Seznam příloh, obrázků a tabulek**

### **9.1 Seznam příloh**

**Příloha 1:** Průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů

**Příloha 2:** Působení ionizujícího záření na živý organismus

**Příloha 3:** Změny působící na lidský organismus vlivem ionizujícím zářením

**Příloha 4:** Otázky pro rozhovor se závodními lékaři

**Příloha 5:** Faktory ovlivňující vznik profesních nádorových onemocnění

**Příloha 6:** Grafické zobrazení počtu profesně vzniklých zhoubných onemocnění

**Příloha 7:** Profesně vzniklá zhoubná onemocnění

**Příloha 8:** Profesní expozice ve vybraných lékařských oborech

**Příloha 9:** Grafické zobrazení mortality na profesní zhoubná nádorová a jiná onemocnění

**Příloha 10:** Vybrané expozice ionizujícímu záření

### **9.2 Seznam obrázků ve vlastním textu**

**Obrázek 1:** Efektivní dávky ve zdravotnických oborech za rok

**Obrázek 2:** Efektivní dávky ve zdravotnických oborech kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

**Obrázek 3:** Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích za rok

**Obrázek 4:** Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

**Obrázek 5:** Standardizovaný počet nádorových onemocnění ve vybraných profesích na 100 000 osob za rok zkoumaný v průběhu pěti let

**Obrázek 6:** Počet úmrtí u vybraných profesích na 100 000 zaměstnanců za rok

### **9.3 Seznam obrázků v rámci příloh**

**Obrázek 7:** Průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů (Žáčková, 2001)

**Obrázek 8:** Grafické znázornění míry průměrné roční ozáření z jednotlivých zdrojů

**Obrázek 9:** Účinky ionizujícího záření na živý organismus

**Obrázek 10:** Stochastické a deterministické účinky

**Obrázek 11:** Rozdělení účinků na organismus člověka

**Obrázek 12:** Etiologie profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009

**Obrázek 13:** Faktory zapříčiňující vznik profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009

**Obrázek 14:** Počet profesních zhoubných onemocnění z roků 1991–2009

**Obrázek 15:** Počet profesního karcinomu plic vznikající vlivem ionizujícího záření z roků 1991–2009

**Obrázek 16:** Věk zaměstnanců s profesně vzniklým zhoubným nádorem

**Obrázek 17:** Souhrnný počet profesních zhoubných nádorů z roků 1991 – 2009

**Obrázek 18:** Maximální hodnoty účinných dávek (mSv) profesní expozice v ČR v intervenční kardiologii a v ostatních oborech

**Obrázek 19:** Maximální hodnoty účinných dávek (mSv) u zaměstnanců vybraných oborů ve Fakultní nemocnici Ostrava za jeden rok

**Obrázek 20:** Grafické znázornění procentuálního počtu úmrtí na nádorová a jiná onemocnění v rámci profesního života v různých zemích v roce 2014

**Obrázek 21:** Příklady některých expozic ionizujícímu záření

#### **9.4 Seznam tabulek**

**Tabulka 1:** Efektivní dávky ve zdravotnických oborech za rok

**Tabulka 2:** Efektivní dávky ve zdravotnických oborech kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

**Tabulka 3:** Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích v České republice za rok

**Tabulka 4:** Efektivní dávky ve vybraných průmyslech a profesích v České republice kumulované za celý pracovní život (přibližně za 40 let)

**Tabulka 5:** Velikost rizika při ozáření malými dávkami ionizujícího záření během vykonávané profese

**Tabulka 6:** Velikost maximálního rizika při dosažení limitů u radiačních pracovníků

**Tabulka 7:** Standardizovaný počet nádorových onemocnění u vybraných profesí na 100 000 osob za rok zkoumaný v průběhu pěti let

**Tabulka 8:** Zvýšené riziko nádorového onemocnění u ostatních profesí

**Tabulka 9:** Etiologické faktory profesně vzniklých zhoubných onemocnění

**Tabulka 10:** Počet úmrtí na ostatní onemocnění u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok

**Tabulka 11:** Počet úmrtí na ostatní onemocnění u vybraných profesí na 100 000 zaměstnanců za rok

**Tabulka 12:** Úrazy a onemocnění u vybraných profesí

## **10 Seznam zkratek**

**CT** – Výpočetní tomografie

**DNA** – Deoxyribonukleová kyselina

**ICRP** - Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu

**EU** – Evropská Unie

**Gy** - Gray

**OSN** – Organizace spojených národů

**PAU** – Polycyklické aromatické uhlovodíky

**SÚJB** – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

**SÚRO** – Státní ústav radiační ochrany

**Sv** – Sievert

**UNSCEAR** – Vědecký výbor OSN pro zkoumání účinků ionizujícího záření