

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA**



**Vývoj systému omezování a limitování dávek osob pracujících se zdroji
ionizujícího záření a obyvatelstva**

Bakalářská práce

Autor práce: Antonín Teplý

Vedoucí práce: Ing. Jan Singer, Csc

V Českých Budějovicích dne 4. května 2009

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vývoj systému omezování a limitování dávek osob pracujících se zdroji ionizujícího záření a obyvatelstva vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích

.....

Antonín Teplý

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat Ing. Janu Singerovi, Csc. za laskavé vedení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat doc. Přemyslovi Záškodnému za konzultaci ohledně statistického zpracování výsledků a Ing. Simoně Šťastné, která mi pomohla statistickou metodu dokončit.

Seznam zkratk

CSOD – celostátní služba osobní dozimetrie

ICRP – International Commission on Radiological Protection

ÚRO – ústav radiační onkologie

FNB – Fakultní nemocnice Na Bulovce

SÚJB – státní úřad pro jadernou bezpečnost

NCRP – National Council on Radiation Protection & Measurements

ÚDZ – ústav dozimetrie záření

HDR – high dose rate

CT – computer tomography

IBSS – international basic safety standard

ČR – česká republika

LET – lineární přenos energie

Development of system reduction and limitation of doses in persons working with sources of ionizing radiation and in inhabitants

This dissertation discusses a system of limits and its development, i.e. how did the radiation dose limits change due to the safety of staff working with ionizing radiation and how did the limits of exposure of the population change.

The introduction part of this dissertation deals with basic principles of radiation protection, namely with its optimization – with ALARA system.

In the Current situation chapter there is a system of limits for reduction of radiation (Sec. 18 and 22 of the State Office for Nuclear Safety Decree No 307/2002 Sb.) and derived limits.

The main part of this project focuses on monitoring of the practical development of the system of limits. In the Radiation Oncology Institute of the Faculty Hospital Na Bulovce (Ústav radiační onkologie Fakultní nemocnice Na Bulovce) archive I received data from the CSOD. I processed listing of both free-month and one-month doses received by the staff and I studied the way the doses decrease and mainly how does the number of personnel in whose cases the doses exceeded their limits decrease. I involved three most numerous groups of personnel. The first group consists of radiology assistants and analysts, the second group consists of medical doctors and physicists and the third group consists of medical nurses who were monitored only till 2003. The greatest decrease can be noticed since 2003 when the listings of radiation doses started being evaluated on monthly basis. I think that monthly evaluation of doses is a great landmark in the issue of protection of personnel involved with ionizing radiation. I transferred the data about these doses into several charts. I divided exceeded doses into individual scales and processed them statistically.

There is a table in the discussion part of this dissertation work where even historical dose limits and dose equivalents are converted to mSv units (i.e. mSv/year) so that it would be possible to compare the limits. The process of radiation protection of the personnel in the Institute is also dealt with.

OBSAH

1. Úvod.....	7
1.1 Základní principy radiační ochrany.....	7
1.2 Cíl radiační ochrany.....	9
1.3 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně v současné době..	13
2. Současný stav systému limitů.....	14
3. Cíle práce a hypotéza.....	18
4. Metodika.....	18
5. Historie osobní dozimetrie.....	19
6. Vývoj systému limitů dávek.....	21
7. Výsledky naměřených dávek.....	29
7.1 Zpracovávaná data.....	31
7.2 Statistické zpracování výsledků.....	38
8. Diskuze.....	45
9. Závěr.....	47
10. Seznam použité literatury.....	48
Klíčová slova.....	49
Příloha 1.....	50
Příloha 2.....	52
Příloha 3.....	54

1. Úvod

Tuto práci jsem si zvolil z důvodu, že systém limitování a omezování dávek osob pracujících se zdroji ionizujícího záření pomáhá pracovníky chránit. Ochrana před ionizujícím zářením nemůže být bez vývoje a pokroku tohoto systému dostatečná pro pracovníky, kteří se s tímto druhem záření denně setkávají. Proto je důležité stále tento systém zdokonalovat a zlepšovat tak tím jejich ochranu před ionizujícím zářením. Pro samotné pracovníky je pak velmi důležité limity tohoto systému dodržovat. Vzhledem k tomu, že se ionizující záření nachází i ve volné přírodě, kde jsou jeho zdrojem různé radioaktivní látky, určitá znalost široké veřejnosti o systému limitů není rozhodně na škodu. Tato práce může být i pro ni zdrojem informací.

1.1 Základní principy radiační ochrany [7,9]

V souvislosti s ozářením rozdělujeme lidské aktivity na:

- aktivity vedoucí ke zvýšení celkového ozáření zaváděním nových zdrojů záření nebo jejich souborů, zaváděním nových nebo změnou stávajících expozičních cest z existujících zdrojů, nebo zvyšováním počtu ozařovaných osob (činnosti, *practices*),
- aktivity vedoucí ke snížení celkového ozáření odstraňováním stávajících zdrojů záření nebo jejich souborů, ovlivňováním nebo změnou stávajících expozičních cest z existujících zdrojů, nebo snižováním počtu ozařovaných osob (zásahy, *interventions*).

Typy ozáření při činnostech:

1. Profesní ozáření (profesionální expozice, *occupational exposure*), osoby vystavené profesnímu ozáření = *radiační pracovníci* - kategorie A a B):

Pracovníky kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny; ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie B.

2. Lékařské ozáření (*medical exposure*) je vystavení pacientů ionizujícímu záření jako součást lékařské diagnostiky nebo léčení na nich prováděných.
3. Ozáření obyvatelstva (*public exposure*): ozáření člena veřejnosti z radiačních zdrojů s vyloučením profesionálního a lékařského ozáření a ozáření z přírodních zdrojů záření (mimo přírodní zdroje, které jsou vědomě a záměrně využívány, a přírodní zdroje, které se vyskytují na pracovištích se zdroji ionizujícího záření, na nichž není možné ozáření z těchto zdrojů zanedbat).

Zásahy:

Opatření vedoucí k odvrácení nebo snížení ozáření při radiační nehodě musí být prováděna vždy, pokud očekávané ozáření osob se blíží úrovním, při nichž dochází k bezprostřednímu poškození zdraví tímto ozářením, nebo dokud lze od těchto opatření očekávat více přínosů než škod. Uskutečnění zásahu musí být optimalizováno tak, aby čistý přínos byl maximalizován.

1.2 Cíl radiační ochrany [7]:

Vyloučit deterministické účinky a riziko stochastických účinků udržovat na rozumně přijatelné úrovni.

Cíl (smysl) radiační ochrany vychází ze současných poznatků o účincích ionizujícího záření. Je jej dosahováno uplatňováním následujících principů radiační ochrany:

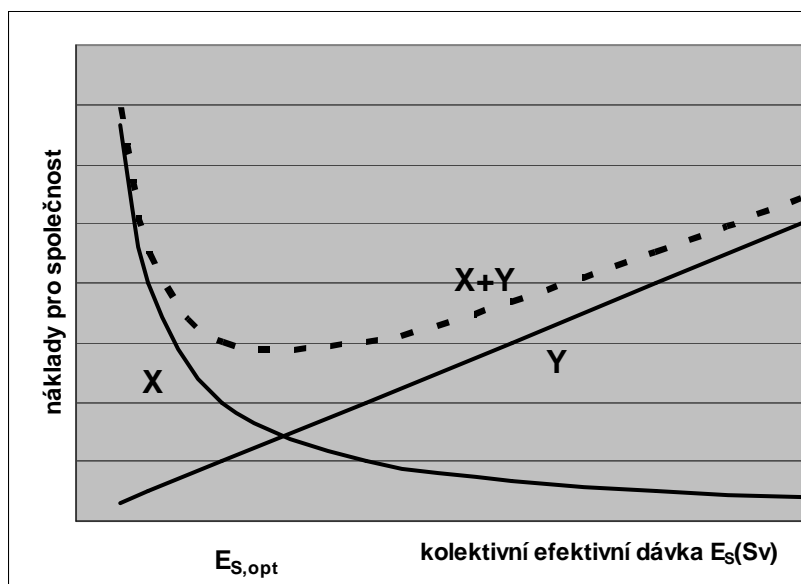
- **Zdůvodnění činnosti** (*justification of a practice*): Každý, kdo využívá jadernou energii, nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření, nebo zásahy k omezení přírodního ozáření, nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.
- **Limitování ozáření**: Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity.
- **Optimalizace ochrany** (*optimisation of protection*): „Princip ALARA“
ALARA je zkratka slov „as low as reasonably achievable“ a říká, že každý, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření, musí „dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení ekonomických a společenských hledisek.“

V roce 1980 byl princip ALARA přijat do IBSS. Ve směrnici Euratomu 96-29 se označoval za základní kámen systému radiační ochrany. Po celá osmdesátá léta a začátek

let devadesátých byl přijat do mnoha národních předpisů a programů radiační ochrany, zejména v jaderném průmyslu.

Princip optimalizace vychází ze současných poznatků o pravděpodobnosti (riziku) stochastických účinků, které je vyjadřováno pravděpodobností účinku vztáženou na jednotku kolektivní efektivní dávky v jednotkách (10^{-2} Sv^{-1}). Pro praxi to znamená, že pravděpodobnost vyjádřená v těchto jednotkách se číselně rovná procentuálnímu počtu případů ve skupině, z nichž každý jedinec je ozářen efektivní dávkou 1 Sv.

Názorně princip optimalizace můžeme vysvětlit na obrázku 1:



Obrázek 1 – princip optimalizace

X - náklady na ochranu

Y - náklady (škody) ze zdravotní újmy v důsledku ozáření

Ochrana je optimalizována, pokud celkové náklady pro společnost (X+Y) jsou minimální.

Čistý společenský přínos činnosti spojené s ozářením lze vyjádřit

$$B = V - (P + X + Y),$$

kde V je hrubý společenský přínos, P jsou náklady na činnost (V a P nejsou, na rozdíl od X a Y , funkcí kolektivní efektivní dávky). Optimalizovaná kolektivní efektivní dávka $E_{S,opt}$ je pak nalezena z podmínky, že pro $E_{S,opt}$ musí platit

$$(dX/dS) + (dY/dS) = 0$$

K vyjádření finanční ztráty pro společnost v důsledku ozáření je třeba znát tzv. finanční ekvivalent jednotky kolektivní efektivní dávky („cena jednoho Sv kolektivní dávky“). Stanovuje se obvykle jako společenská finanční ztráta vyplývající z rizika stochastických účinků a důsledku předčasné smrti. Cenu újmy můžeme popsat tímto vzorcem. $Y = \alpha \cdot S + \beta \cdot \sum_j N_j \cdot f_j(H_j)$

α - konstanta vyjadřující cenu jednotky kolektivní dávky S , β - cena přidělená jiným složkám újmy, f_j - funkce individuální dávky, závisící na úrovni odmítání rizika a/nebo na národních či manažerských předpisech, H_j - dávka připadající na N jednotlivců ve skupině j .

V ČR je konstanta α stanovena [11] pro různé způsoby ozáření.

- 0,5 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce nepřesáhne jednu desetinu příslušných limitů ozáření,
- 1 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne jednu desetinu, ale nikoliv tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- 2,5 mil. Kč/Sv pro radiační činnosti, kdy průměrná efektivní dávka u jednotlivce přesáhne tři desetiny příslušných limitů ozáření,
- 1 mil. Kč/Sv pro lékařské ozáření,
- 0,5 mil. Kč/Sv pro ozáření z přírodních zdrojů ionizujícího záření, které nejsou záměrně využívány,
- 2,5 mil. Kč/Sv pro havarijní ozáření.

Jako průkaz rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany lze použít tzv. směrné hodnoty uvedené pro řadu činností ve vyhl. č. 307/2002 Sb. Nejsou-li směrné hodnoty překročeny, lze považovat radiační ochranu za optimalizovanou a není nutné provádět optimalizační analýzu.

Pro lékařské ozáření při radiodiagnostice plní funkci směrných hodnot tzv. diagnostické referenční úrovně, které jsou uvedeny v Příloze č. 9 vyhl. č. 307/2002 Sb. pro skiografii, skiaskopii, tomografii, mamografii a pro nukleární medicínu.

- **Zajištění bezpečnosti zdrojů:** Bezpečnostní kultura musí usměrňovat přístupy a chování při používání zdrojů. Ochrana a bezpečnost zdrojů má být zajištěna řádným řízením, dobrou technikou, systémem zabezpečení jakosti a výcvikem a vzděláváním personálu.

1.3 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně v současné době. [7]

Tabulka 1 – veličiny a jednotky používané v radiační ochraně v současné době.

veličina	označení veličiny	jednotka	označení jednotky	rozměr
aktivita	A	becquerel	Bq	(s ⁻¹)
<p>Podíl středního počtu radioaktivních přeměn v určitém množství radionuklidu za časový interval a tohoto intervalu.</p> <p>měrné aktivity: hmotnostní (Bq/kg), objemová (Bq/m³), plošná (Bq/m²)</p> <p>[1 Ci=1 curie, 1 Ci=3,7.10¹⁰ Bq]</p>				
dávka (absorbovaná dávka)	D	gray	Gy	(J/kg)
<p>Podíl střední sdělené energie, kterou předá ionizující záření látce a hmotnosti této látky.</p>				
expozice	X	-	-	(C/kg)
<p>Podíl absolutní hodnoty celkového elektrického náboje iontů vzniklých ve vzduchu při zabrzdění všech elektronů a pozitronů uvolněných fotony ve vzduchu a hmotnosti tohoto vzduchu.</p> <p>[1 R=1 rentgen, historicky jako množství záření X nebo gama, které vytvoří určitý náboj v určitém množství vzduchu, 1 R=2,58.10⁻⁴ C.kg⁻¹, 1 C.kg⁻¹=3876 R, expozice 1 R odpovídá dávce 8,73 mGy ve vzduchu a 9,57 mGy ve tkáni.</p> <p>Přibližně: 1 R = 10 mGy = 0,01 Gy]</p>				
kerma	K	gray	Gy	(J/kg)
<p>Podíl celkové kinetické energie všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v látce a hmotnosti této látky.</p> <p>[starší jednotky kermy jsou stejné jako starší jednotky dávky]</p>				
ekvivalentní dávka	H _T	sievert	Sv	(J/kg)
<p>Součin radiačního váhového faktoru w_R a střední (absorbované) dávky D_{T,R} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R. :</p>				

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R}$$

Je-li pole ionizujícího záření je složeno z více druhů záření nebo energií, musíme započítat všechny druhy R :

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

efektivní dávka	E	sievert	Sv	(J/kg)
Součet součinů tkáňových váhových faktorů w_T a ekvivalentní dávky H_T ve všech ozářených tkáních nebo orgánech T, popisuje celotělové ozáření.				
$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_{R,T} w_T \cdot w_R \cdot D_{T,R}$				

$H_p(0,07)$ – osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm

$H_p(10)$ - osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm

2. Současný stav systému limitů

System limitů pro omezování ozáření (§ 18 a § 22 vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb.)

System je stanoven limity ozáření, odvozenými limity a autorizovanými limity.

Limity ozáření jsou závaznými kvantitativními ukazateli z radiačních činností, jejichž překročení není ve stanovených případech přípustné. V současné době jsou v ČR limity: ^[11]

- Obecné limity (vztahují se na celkové ozáření z radiačních činností=činnosti při využívání umělých i přírodních zdrojů záření, nevztahují se na profesní, lékařské a havarijní ozáření),

- Limity pro radiační pracovníky (limity pro profesní ozáření, tj. ozáření v přímé souvislosti s výkonem práce),
- Limity pro učně a studenty (od 16 do 18 let věku), jak je zřejmé z tabulky 2.

Tabulka 2 – limity ozáření

limitovaná veličina	obecný limit	limit pro radiační pracovníky	limit pro učně a studenty
součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv/rok	100 mSv/5 let 50 mSv/1rok	6 mSv/rok
ekvivalentní dávka v oční čočce	15 mSv/rok	150 mSv/rok	50 mSv/rok
průměr. ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže	50 mSv/rok	500 mSv/rok	150 mSv/rok
ekvivalentní dávka v prstech až předloktí a v chodidlech až po kotníky	-	500 mSv/rok	150 mSv/rok

Dále jsou definovány odvozené limity jako pomocné kvantitativní ukazatele, vyjádřenými v měřitelných veličinách a sloužícími ve vybraných případech k prokazování, že limity pro radiační pracovníky nebyly překročeny: [11]

Tabulka 3 – odvozené limity

ozáření	limitovaná veličina	odvozený limit
zevní	H _p (0,07) – osob. dávk. ekv. v hloubce 0,07 mm	500 mSv/rok
	H _p (10) – osob. dávk. ekv. v hloubce 10 mm	20 mSv/rok
vnitřní	příjem radionuklidů požitím	podíl 20 mSv a konverzního faktoru h _{ing} pro příjem daného radionuklidu požitím
	příjem radionuklidu vdechnutím	podíl 20 mSv a konverzního faktoru h _{inh} pro příjem daného radionuklidu vdechnutím
ozáření produkty přeměny radonu	roční příjem ekvivalentní aktivity radonu	3 MBq
	latentní energie produktů přeměny radonu	17 mJ
	expozice produktům radonu	2,5 MBq.h.m ⁻³
	celoroční průměrná ekvivalentní objemová aktivita radonu	1260 Bq.m ⁻³
ozáření směsí dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady	příjem vdechnutím za kalendářní rok	1850 Bq

Pro vnitřní ozáření nebo kombinaci vnitřního a zevního ozáření jsou speciální limity.

Omezování ozáření ve speciálních případech:

- mimo své pracovní povinnosti pečují o ozářené pacienty = 1 mSv/rok do 18 let věku, 5 mSv/rok u starších.
- těhotné pracující na pracovištích I.-IV. kat. Po oznámení zaměstnavateli nepřekročí dávka plodu 1 mSv.
- kojící matka pracující na pracovištích I.-IV. kat. bude přeřazena mimo kontrolované pásmo s otevřenými zářiči.
- nehavarijní vyjímečná ozáření v rámci mimořádné práce v malých skupinách a vymezených prostorech umožňují efektivní dávku 500 mSv/5 let. Týká se poučeného dobrovolníka kategorie A staršího 18 let, u kterého nepřekročí v daných 5 letech osobní ekvivalentní dávka 500 mSv.
- dávky z vyjímečných ozáření a havárií se evidují zvlášť a nepřičítají s k dávkám z běžného provozu.

Pro současné zevní a vnitřní ozáření musí platit:

$H_p(0,07) \leq 500 \text{ mSv}$ a $H_p(10) + \sum h_{j,\text{inh}} I_{j,\text{inh}} + \sum h_{j,\text{ing}} I_{j,\text{ing}} \leq 20 \text{ mSv}$, kde $I_{j,\text{inh}}$, popř. $I_{j,\text{ing}}$ je roční příjem jednotlivého radionuklidu vdechnutím, popř. požitím.

Autorizované limity jsou závazné kvantitativní ukazatele stanovené v příslušném povolení pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý zdroj ionizujícího záření (zpravidla jako výsledek optimalizace radiační ochrany).

3. Cíle práce a hypotéza

Cílem práce je popsat historii a vývoj osobní dozimetrie, monitorování pracovníků se zdroji ionizujícího záření a limitů dávek pro tyto pracovníky a pro obyvatelstvo.

Dalším cílem je popsat metodu statistiky výsledků klesajících dávek pracovníků se zdroji ionizujícího záření v ÚRO FNB za posledních 11 let.

Vytvořil jsem si hypotézu: S vývojem systému omezování a limitování dávek jsou pracovníci se zdroji ionizujícího záření chráněni stále dokonaleji.

4. Metodika

Ve své práci jsem zpracovával dávky, které obdrželi pracovníci ÚRO ve FNB. Tyto dávky vyhodnocuje CSOD, která se nachází v budově ÚDZ, umístěná v areálu výše zmíněné nemocnice. Dávky jsou vyhodnocovány každý měsíc a výpisy vyhodnocení jsou pak zasílány spolu s novými filmy na ÚRO osobě pověřené tyto výpisy archivovat a dohlédnout aby každý pracovník s dozimetrem si vyměnil v dozimetru starý film za nový. Staré filmy pak předá CSOD na vyhodnocení. Dávky jsem zpracovával právě z těchto výpisů, které jsou archivovány a to z období let 1997 až 2007. Dozimetry se každý měsíc vyhodnocují od roku 2003, předtím se vyhodnocovaly každé čtvrtletí. Od roku 2003 se dozimetry vyhodnocují ve 2 skupinách. 1. tvoří radiologičtí asistenti, 2. tvoří lékaři a fyzici. Před rokem 2003 se dozimetry vyhodnocovaly i zdravotním sestřím a ještě dříve i jiným pracovníkům. Tito pracovníci, však jen velmi zřídka obdrželi dávku některé z referenčních úrovní. Většinou se jednalo o dávku v úrovni pozadí. Do své práce jsem zařadil 3 nejpočetnější skupiny pracovníků s ionizujícím zářením. A to lékaře a fyziky (tvoří 1 skupinu), radiologické asistenty (laboranty) a zdravotní sestry. Této skupině však byly, jak už jsem popsal výše dozimetry odebrány. V roce 2002 přestali chodit na ozařovny, a jejich dávky tak výrazně poklesli, v tomto roce ani 1 sestra

nepřekročila svou dávkou referenční úroveň. Jejich práce tedy už není spojována s ionizujícím zářením. Ozařovny navštěvují už pouze laboranti, a lékaři s fyziky. Stejně skupiny pracovníků navštěvují i simulátor, CT vyšetřovnu, hypertermii. Oddělení brachyterapie se trochu vymyká, zde nosí dozimetr každý z 6 pracovníků, kteří zde pracují. Každý z těchto pracovníků je totiž v určitou chvíli na operačním sále, kde je umístěn afterloadingový ozařovač HDR. Sestra když připravuje sál, sanitář když přiváží pacienta, lékař když provádí aplikaci, fyzik popř. laborant když napojuje pacienta přenosovými trubicemi na ozařovač. Sanitář a sestry na brachyterapii jsou vyhodnocovány ve skupině spolu s laboranty.

Z jednotlivých výpisů, které se skladují v archivu ÚRO jsem nejdříve vytvořil tabulky, kde jsem vypsál kolik pracovníků a jakými dávkami překročilo limit H_p 10. Pracovníky jsem rozdělil do 3 skupin. Z těchto tabulek jsem posléze vytvořil obrázky 2 – 5, abych ukázal, jak klesal počet monitorovaných osob a jak klesali dávky pracovníků. Poté jsem vytvořil tabulku 16, tak abych mohl výsledky zpracovat statistickou metodou, vzhledem k tomu, že zdravotním sestřám byly osobní dozimetry po roce 2002 odebrány, zahrnul jsem do svého statistického zpracování jen skupiny 2, lékaře s fyziky a laboranty. Rozdělil jsem období let 1997 – 2007 na čtvrtletí a spočítal, kolik pracovníků překročilo limit v každé skupině a jejich součet za určité čtvrtletí. Poté jsem tyto výsledky zpracoval statistickou metodou. Popis statistické metody je podrobně popsán v kapitole 7.2.

5. Historie osobní dozimetrie ^[8,9]

Osobní dozimetrie je v porovnání s ostatními přírodními a technickými vědami poměrně nový vědní obor. Obsahuje v sobě prvky fyziky, chemie, elektroniky a biologie. Vznik tohoto oboru započal ve 20. letech 20. století spolu s rozvojem měřících metod ionizujícího záření.

Od 2. světové války se rozrostl počet pracovníků se zdroji ionizujícího záření, a tudíž nastalo i zvýšení zájmu o osobní dozimetrii a další monitorovací metody. V 60.

letech se k měření fotonů používaly ionizační komůrky ve tvaru vajíček, nebo tužkové ionizační komory.

Osobní dozimetrie vznikla v 70. letech jako vědní obor. Přispělo k tomu více faktorů, rozvoj jaderné energetiky, zvýšení výroby umělých radionuklidů a jejich aplikace ve zdravotnictví. Vznikaly i dozimetry havarijní, které umožňovaly měřit dávky nad 1 Sv. Rozšířil se rozsah typů a energií záření, rozsah měřených dávek, který směřoval k hodnotám nižším než 1 mSv. Zahájen byl také vývoj osobních dozimetrů.

Filmové, termoluminiscenční a elektronické dozimetry, jež měřily i záření beta, nahradily do té doby používané ionizační komůrky. Vznikaly osobní dozimetry pro měření neutronů. Pro havarijní dávky fotonů a neutronů se vyvíjely dozimetry chemické, aktivační, radiofotoluminiscenční, křemíkové diody nebo skla, která se zabarvovala v ionizujícím záření. Dnes si práci kdekoliv kde se vyskytuje ionizující záření nedokážeme bez osobního dozimetru představit

Brzy došlo k zjištění, že vnější ozáření člověka je někdy doprovázeno i vnitřním ozařováním radionuklidy, které jsou usazeny v orgánech a tkáních. Proto se odborníci začali zajímat o vnitřní kontaminaci zvláště v jaderných elektrárnách. Vnitřní kontaminace se zjišťovala měřením fotonového záření, nebo záření alfa a beta, a to buď vyzařovaného z těla nebo v exkretech. Hodnota dávky se stanovila z hustoty toku záření z určitého orgánu, nebo z celého těla z určitého množství moči, exkrementů, popř. z jiného exkretu. Podle standardních modelů se pak hustota toku záření přepočítala na aktivitu uloženou v těle, dále na aktivitu přijatou do organismu a potom na dávku.

Od minulých dob, až k dnešku se měnily metody detekce vnitřního ozáření – od ionizačních, později scintilačních až k polovodičovým. Vzhledem k vysokému pozadí z okolí (kosmické záření, stavební materiály) se používá stínění detektorů nebo vzorků, nebo obojího. Také dochází ke stínění detektorů i celého člověka v celotělových kobkách, které byly umístěny nad povrchem země nebo pod ní.

6. Vývoj systému limitů dávek^[2,3,5,6,12,13]

Rozvoj systému limitování a omezování dávek začal krátce po objevu X-záření, již v roce 1902 bylo poprvé u pracovníka se zdrojem ionizujícího záření spatřeno nádorové onemocnění. V období let 1911-1914 zemřelo 54 radiologů na nádorová onemocnění. V letech 1920-1940 se objevila radiační poškození kůže u radiologů i pacientů.

Zřejmě první kdo navrhl omezující míru ozáření v zájmu ochrany zdraví byl Arnold Mutscheller, americký radiolog^[5]. V roce 1924 navrhl toleranční dávku, kterou může člověk tolerovat po delší dobu, aniž by utrpěl poškození. Její hodnota byla 1/100 kožní erytemové dávky za 30 dní. Návrh byl na základě konzultací s rentgenology v řadě pracovišť. Prahová dávka pro kožní erytém je závislá na řadě podmínek a pohybuje se v rozmezí 2-6 Gy. Mutschellerovu toleranční dávku spojujeme s hodnotou 0,2 R/den (1 R = $2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$). (1 R = 0,01 Gy, 1 R/týden = 50 R/ročně, dle vzorce $H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$ se provede přepočítání na ekvivalentní dávku, $W_r = 1$ 50 R/ročně = 50 rem, 1 rem = 10 mSv, 0,2 R/den = 500 mSv ročně). Nezávisle na tomhle podal v roce 1925 návrh na toleranční dávku švédský fyzik Rolf Sievert. Pozdější předseda Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (ICRP). Odhadl, že asi 1 000-10 000 let expozice přírodního ozáření vede k vyvolání kožního erytému. Na tomto základě odvodil, že 1/10 kožní erytemové dávky za rok je přípustná pro pracovníky s ionizujícím zářením. Dávky Mutschellera a Sieverta jsou v podstatě totožné. I když tyto návrhy vychází z rozvahy a nikoliv z pozorování biologických odpovědí na ozáření ovlivnily ochranu před zářením na dlouhá léta. V roce 1931 Mutschellerův návrh, limit 0,2 R denně přijal Americký poradní výbor pro ochranu před zářením X a radia (NCRP). Jako první limit ho stanovuje i ICRP v roce 1934.

Jediný limit, který se před rokem 1945 opíral o přímé biologické informace, je ustanovení amerického poradního výboru, aby limitní hodnota pro obsah ^{226}Ra v těle činila 0,1 mikrogramů. Byla stanovena dávka 0,6 rad/týdně (1 rad = 0,01 Gy) na kost a dřeň jako limit ozáření. Tato hodnota vychází ze sledování větší skupiny osob. Tyto osoby přijaly radionuklid do těla nanášením radioaktivních svítících barev na číselníky hodinek a přístrojů v 10. a 20. letech. 1/10 mikrogramu ^{226}Ra způsobuje v kostech dávkový ekvivalent 300 mSv ročně. Tato hodnota je základem pro výpočet limitů pro ostatní osteotropní radionuklidy a pro limitování dávky v kosti.

V roce 1950 ICRP doporučuje snížit limit pro celotělové ozáření na 0,3 R týdně. Dosavadní doporučená hodnota 1 R týdně se jevila jako příliš blízká k pravděpodobnému prahu škodlivých účinků. Poprvé se objevuje pojem kritický orgán, představující orgán či tkáň, jejichž ozáření je pro organismus nejzávažnější v daných ozařovacích podmínkách. Limit 0,3 R týdně byl akceptován jako přiměřený pro ozáření kteréhokoliv kritického orgánu s výjimkou kůže. Pro ni byl doporučen limit vyšší 1,5 R týdně. Pokračující vývoj se zabýval jednotlivými orgány a dopadem na limit pro celotělové ozáření.

V roce 1954 se poprvé v doporučení objevuje pojem gonády, a to ve spojitosti k zhoršení fertility. V roce 1956 v dodatku k doporučení z roku 1954 dojde ke snížení limitu v gonádách na 0,1 R týdně se ohledem k zábraně škod člověka během jeho reprodukčního období. V roce 1958 se sníží limit z 0,3 na 0,1 R týdně i pro kostní dřeň. Stalo se tak na základě epidemiologických studií u amerických rentgenologů vystavovaných vyšším expozicím, které ukazovali na vyšší výskyt leukémie u těchto pracovníků.

Gonády a kostní dřeň udávali limit pro celotělové ozáření jelikož byly považovány za kritické orgány právě pro celotělové ozáření. V roce 1958 se ustoupilo od týdenní dávky. Vznikla regulační rovnice $D = 5 (N-18) [rem]$, kde D je limit kumulovaného dávkového ekvivalentu, N je věk exponované osoby s tím, že 18 je věk

při zahájení prací s ionizujícím zářením. Byl stanoven souběžný limit 3 rem za 13 po sobě jdoucích týdnů a později za kalendářní čtvrtletí. (1 rem = 10 mSv)

Limit dávky v kůži byl snížen v roce 1954 na 0,6 R týdně, jako důsledek snížení dávky v kostní dřeni na 0,3 R týdně, jejíž efektivní hloubka pod povrchem kůže byla stanovena na 5 cm. Pro oční čočku byl snížen limit v roce 1954, kdy se přidala k nejcitlivějším orgánům. V roce 1956 byl k limitu 15 rem ročně ještě přiřazen doplněk vedoucí k jeho snížení v případě použití záření s větším LET. V roce 1958 byl pro štítnou žlázu uveden limit 30 rem ročně, přidala se tak ke kůži a kosti, pro tyto orgány byl uveden stejný limit. Ostatní orgány měli limit 15 rem ročně (dříve 0,3 R týdně).

ICRP stanovila roku 1954 limit pro jednotlivce z populace, jehož hodnota byla ve výši 1/10 limitu pro pracující. Tento limit byl zvolen bez zkušeností s biologickými informacemi.

Doporučení z roku 1958 ICRP stanovila limit genetické dávky 5 rem za 30 let. Genetická dávka populaci je dávka, která kdyby byla způsobena každému členu populace od početí do středního věku rodičovství, by vedla ke stejným dědičným důsledkům jako dávky skutečně obdržené. (tzn. dávky, které na genetickou dávku převádíme). Střední věk rodičovství je střední věk obou rodičů vzhledem k narození všech dětí.

Limit genetické dávky v sobě nezavrhoval dávky z lékařské expozice záření ani dávky z přírodního radioaktivního pozadí, stejně jako ostatní limity. Tyto dávky měly být udržovány na nejnižší možné úrovni. Hodnota vznikla z myšlenky o zdvojující dávce, tzn. dávce k zdvojení výskytu dědičných poškození, což bylo neslučitelné s dlouhodobější existencí populace. Jednou z hodnot zdvojující dávky byla gonádová dávka z přírodního pozadí 100 mrem ročně, což se rovná 3 rem za 30 let. Tato hodnota se příliš neliší od hodnoty ICRP.

V roce 1958 ICRP uvedla příkladové rozdělení mezi profesionální expozici, expozici obyvatel ze zevních, a z vnitřních zdrojů a rezervu. Toto rozdělení přijaly některé státy za základ limitování ozáření obyvatel. V doporučení z roku 1977 ustoupila od limitu genetické dávky s tím, že za tento limit lze pokládat součet příspěvků k populační dávce, které pocházejí z odůvodněných zdrojů a u kterých je optimalizována jejich ochrana. Jinak řečeno že pojem limit je zbytečný, pokud je důsledně uplatněn systém limitování dávek, který tvoří základ doporučení ICRP.

Zpráva ICRP z roku 1977 [2] uvádí doporučení ročního dávkového ekvivalentu 50 mSv v případě rovnoměrného celotělového ozáření. Rozložení ročních dávkových ekvivalentů odpovídá ve velkých pracovních skupinách velmi obecně logaritmickému rozložení s aritmetickým průměrem okolo 5 mSv a s málo hodnotami přibližujícími se limitu.

Pro limit dávkového ekvivalentu v roce 1977 doporučila ICRP hodnotu 0,5 Sv (50 rem) za rok pro všechny tkáně s výjimkou oční čočky, pro tu byla doporučena dávka 0,3 Sv (30 rem). Tyto limity měli omezit deterministické účinky a omezit stochastické účinky na akceptovatelnou úroveň.

Pro stochastické účinky ICRP doporučila limitování dávek na principu, že riziko má být stejné, je-li ozářeno celé tělo rovnoměrně, nebo existuje-li nerovnoměrné ozáření.

Tato podmínka se splní, pokud
$$\sum_T w_T \cdot H_T \leq H_{wb,L}$$

w_T – váhový součinitel, který představuje poměrnou část rizika stochastických účinků z tkáně T z celkového rizika, pokud je ozářeno celé tělo rovnoměrně. Vztahuje se

k standardnímu člověku [1], H_T – roční dávkový ekvivalent v tkáni T, $w_{wb,L}$ -

doporučený roční limit dávkového ekvivalentu pro rovnoměrné celotělové ozáření, který činil 50 mSv (5 rem).

Doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 26, 1977: [2]

Tabulka 4 – doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 26, 1977

Tkáně a orgány	W_T
gonády	0,25
mléčná žláza (prs)	0,15
červená kostní dřeň	0,12
plíce	0,12
štítná žláza	0,03
povrch kosti	0,03
ostatní	0,30

Doporučení pro ostatní tkáň je, aby hodnota dávkového ekvivalentu $W_T = 0,06$ byla použitelná na každý z pěti orgánů či tkání ostatku přijímajících nejvyšší dávkové ekvivalenty, aby nebyla zanedbána expozice všech dalších tkání.

Dále zpráva uvádí, že pokud u zevního záření chybí informace o skutečné distribuci dávkového ekvivalentu v těle, můžeme stanovit maximální hodnotu dávkového ekvivalentu, která by nastala v hloubce větší než 1 cm v kouli o průměru 30 cm, tzn. hluboký index dávkového ekvivalentu $H_{I,d}$. Mělký index dávkového ekvivalentu $H_{I,s}$, tzn. maximální dávkový ekvivalent v obálce od 0,07 mm do 10mm hloubky koule o průměru 30cm by měl být omezen 500 mSv, aby byla zajištěna ochrana kůže. Tyto limity obou indexů dávkového ekvivalentu by měly v praktických situacích omezit roční dávkový ekvivalent v očních čočkách na hodnotu menší než 300 mSv.

U vnitřní expozice vyplývající z příjmu radionuklidů se ochrana může založit na ročních limitech příjmu. Ty jsou stejné jako limity pro deterministické účinky.

Pokud nastane zevní i vnitřní expozice současně, nedojde k překročení dávkových limitů, pokud budou splněny tyto podmínky:

$$\frac{H_{I,d}}{H_{E,L}} + \sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1$$

$$\frac{H_{I,s}}{H_{sk,L}} \leq 1$$

$H_{I,d}$ – roční hluboký index dávkového ekvivalentu, $H_{I,s}$ – roční mělký index dávkového ekvivalentu, $H_{E,L}$ – roční limit efektivního dávkového ekvivalentu (50 mSv), $H_{sk,L}$ – roční limit dávkového ekvivalentu v kůži (500 mSv), I_j – roční příjem radionuklidu j, $I_{j,L}$ – roční limit příjmu radionuklidu j.

Zpráva ICRP uvádí, že doporučený limit dávkového ekvivalentu pro jednoho obyvatele má hodnotu 5 mSv (0,5 rem) za rok.

Ve zprávě ICRP č. 60 [3] byla zvolena hodnota limitu dávkového ekvivalentu v orgánech a tkáních 500 mSv za rok s výjimkou očních čoček, tam byl dávkový limit stanoven hodnotou 300 mSv/rok později snížen na 150 mSv/rok. Byl snížen limit dávkového ekvivalentu pro jednoho obyvatele na 1 mSv/rok mimo záření při práci a záření lékařského.

Doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 60, 1991: [3]

Tabulka 5 – doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 60, 1991

Tkáně a orgány	W_T
gonády	0,20
červená kostní dřeň	0,12
tlusté střevo	0,12
plíce	0,12

žaludek	0,12
močový měchýř	0,05
prs	0,05
játra	0,05
jícen	0,05
štítná žláza	0,05
kůže	0,01
povrch kosti	0,01
ostatní	0,05

V roce 1991 ICRP [3] doporučila nové limity, které se lišily od těch z předchozího doporučení. Platí dodnes a jsou vypsány v tabulkách 1 a 2.

V roce 2007 vydává ICRP nové doporučení jako svou 103. publikaci

Doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 103, 2008: [4]

Tabulka 6 - Doporučené hodnoty W_T dle ICRP Publication 103, 2008

Tkáně a orgány	W_T	ΣW_T
Kostní dřeň, tračník, plíce, žaludek, prs, ostatní tkáně*	0,12	0,72
Gonády	0,08	0,08
Močový měchýř, jícen, játra, štítná žláza	0,04	0,16
Povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0,01	0,04

*ostatní tkáně: nadledviny, vně hrudníkové tkáně, žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, sval, ústní sliznice, slinivka břišní, prostata, tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/děložní čípek.

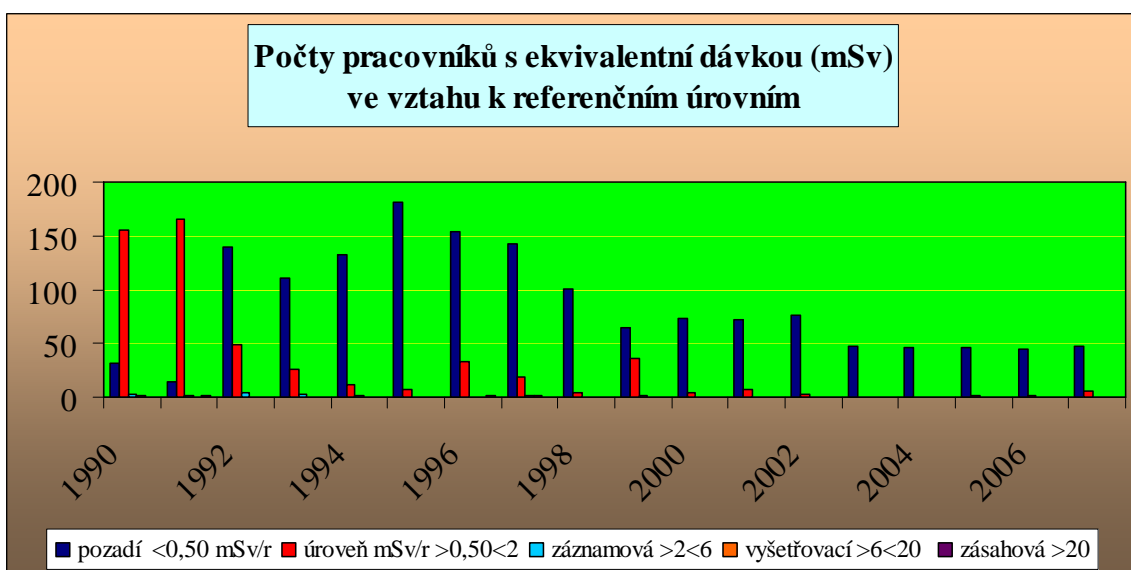
Limity zůstávají stejné, pouze je zdůrazněn roční limit E pro pracující se zdroji ionizujícího záření a to 20 mSv jako průměrná hodnota z definovaných 5-ti let a z toho pak 100 mSv za 5 let, případně nepřekročení 50 mSv jednotlivého roku.

7. Výsledky naměřených dávek [12]

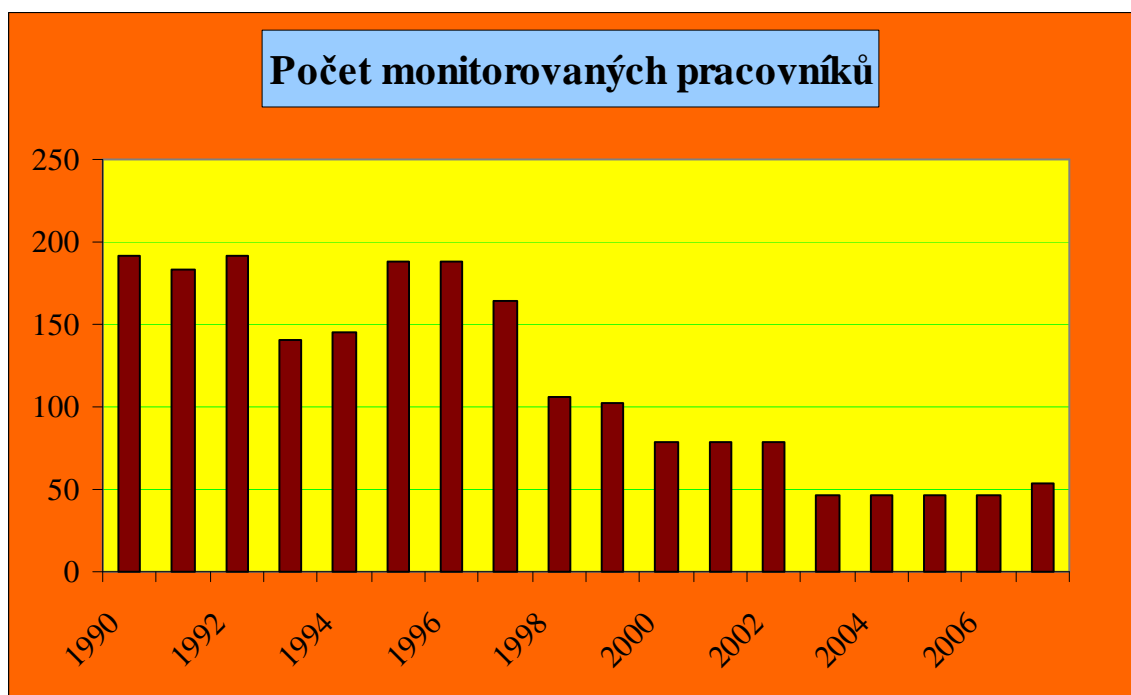
Při zpracovávání výsledků naměřených dávek, jsem mezi archivovanými čtvrtletními a měsíčními výpisy našel i tabulku kde byly roční počty pracovníků s ekvivalentní dávkou $H_p(10)$, ve vztahu k referenčním úrovním, která sahala až do roku 1990. Rozhodl jsem se ji do své práce připojit jako zajímavost a na jejím základě vytvořil obrázek 2 a obrázek 3, ten ukazuje, jak se snižoval počet pracovníků kategorie A, kteří jsou povinni nosit filmový dozimetr.

Tabulka 7 – roční počty pracovníků s ekvivalentní dávkou $H_p(10)$, ve vztahu k referenčním úrovním

	pozadí	úroveň mSv/r	záznamová	vyšetřovací	zásahová	
	<0,50 mSv/r	>0,50<2	2-6	6-20	>20	celkem
1990	31	156	3	2	0	192
1991	14	166	1	0	2	183
1992	139	49	4	0	0	192
1993	111	26	3	0	0	140
1994	132	12	1	0	0	145
1995	181	7	0	0	0	188
1996	154	33	0	0	1	188
1997	142	19	2	1	0	164
1998	101	5	0	0	0	106
1999	65	36	1	0	0	102
2000	74	4	0	0	0	78
2001	72	7	0	0	0	79
2002	76	3	0	0	0	79
2003	47	0	0	0	0	47
2004	46	0	0	0	0	46
2005	46	1	0	0	0	47
2006	45	1	0	0	0	46
2007	48	6	0	0	0	54



Obrázek 2 – počty pracovníků s ekvivalentní dávkou (mSv) ve vztahu k referenčním úrovním



Obrázek 3 – počet monitorovaných pracovníků

7.1 Zpracovávaná data [12]

V tabulkách 7 – 14 jsou veškerá data, která jsem zpracovával.

Jedná se o dávky H_p (10) pracovníků se zdroji ionizujícího záření v ÚRO FNB.

Tabulka 8 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 1997

1997	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden- 15. duben	překročili 2 z 29	překročili 2 z 19	nikdo z 30
	0,18	0,27	
	0,96	0,35	
15. duben-15. červenec	překročilo 12 z 31	překročilo 6 z 16	překročilo 15 z 29
	0,21	0,22	0,18
	0,19	0,21	0,27
	0,18	0,18	0,18
	0,22	0,22	0,18
	0,19	0,18	0,21
	0,32	0,2	0,21
	0,19		0,19
	0,2		0,21
	0,21		0,2
	0,18		0,22
	0,44		0,19
	2,18		0,35
			0,19
			0,35
			0,22
15. červenec-15. říjen	překročili 3 z 26	nikdo z 16	překročili 2 z 29
	0,19		0,18
	13,94		0,18
	0,19		
15. říjen – 15. leden	překročili 4 z 26	překročili 2 z 15	překročil 1 z 29
	0,19	0,42	0,21
	0,19	0,47	
	0,24		
	0,5		

Tabulka 9 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 1998

1998	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden- 15. duben	překročili 4 z 30	překročilo 9 z 16	překročilo 12 z 28
	0,25	0,29	0,2
	0,18	0,22	0,19
	0,21	0,18	0,21
	0,43	0,22	0,19
		0,19	0,18
		0,19	0,2
		0,25	0,19
		0,26	0,19
		0,24	0,18
			0,18
			0,23
			0,24
15. duben-15. červenec	nikdo z 27	nikdo z 18	nikdo z 28
15. červenec-15. říjen	překročili 4 z 30	nikdo z 18	překročil 1 z 28
	0,18		0,2
	1,06		
	0,19		
	0,45		
15. říjen 1998- 15. leden	překročil 1 z 26 (0,25)	nikdo ze 17	nikdo ze 27

Tabulka 10 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 1999

1999	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden-15.duben	překročil 1 z 27	překročili 2 z 16	nikdo z 28
	0,39	0,18	
		0,19	
	překročili 4 z 27	překročili 2 z 16	překročili 7 z 10
	0,2	0,2	0,17
15. duben - 15. červenec	0,23	0,35	0,18
	0,19		0,2
	1,18		0,26
			0,25
			0,26
			0,2
	překročilo 20 z 28	překročilo 12 z 17	překročilo 19 z 26
	0,28	0,28	0,23
15. červenec - 15 říjen	0,3	0,25	0,26
	0,31	0,33	0,19
	0,21	0,26	0,19
	0,19	0,22	0,26
	0,25	0,25	0,18
	0,24	0,24	0,25
	0,35	0,26	0,29
	0,23	0,21	0,22

	0,23	0,21	0,24
	0,21	0,28	0,18
	0,24	0,25	0,25
	0,28		0,45
	0,22		0,24
	0,23		0,24
	0,21		0,31
	0,21		0,26
	0,22		0,22
	0,32		0,32
	0,22		
15. říjen - 15. leden 2000	překročilo 5 z 28	překročilo 6 z 16	překročili 4 z 24
	0,18	0,22	0,18
	0,22	0,22	0,27
	0,19	0,19	0,18
	0,19	0,21	0,3
	0,85	0,23	
		0,2	

Tabulka 11 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 2000

2000	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden - 15. duben	nikdo z 26	překročili 4 z 18	překročil 1 z 24
		0,29	0,18
		0,23	
		0,22	
		0,24	
15. duben - 15. červenec	překročilo 18 z 26	překročilo 16 z 17	překročilo 19 z 25
	0,31	0,18	0,28
	0,32	0,2	0,25
	0,24	0,18	0,31
	0,25	0,21	0,21
	0,22	0,23	0,22
	0,3	0,32	0,26
	0,29	0,18	0,18
	0,23	0,31	0,27
	0,19	0,28	0,2
	0,26	0,29	0,21
	0,32	0,3	0,23
	0,21	0,22	0,29
	0,2	0,27	0,22
	0,2	0,22	0,18
	0,18	0,37	0,2
	0,26	0,48	0,25
	0,28		0,31
	0,2		0,21
			0,33
15. červenec - 15. říjen	nikdo z 23	nikdo z 17	nikdo z 25
15. říjen - 15. leden	nikdo z 24	nikdo z 17	nikdo z 26

Tabulka 12 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 2001

2001	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden - 15. duben	nikdo z 27	překročil 1 ze 17	nikdo z 24
		0,21	
15. duben - 15. červenec	nikdo z 28	překročilo 5 z 18	překročili 2 z 24
		0,18	0,18
		0,17	0,26
		0,19	
		0,45	
		0,59	
15. červenec - 15. říjen	překročilo 16 z 27	překročilo 14 z 19	překročilo 7 z 23
	0,23	0,19	0,29
	0,24	0,32	0,49
	0,33	0,22	0,2
	0,18	0,19	0,28
	0,18	0,2	0,21
	0,3	0,24	0,34
	0,34	0,32	0,32
	0,19	0,28	
	0,37	0,22	
	0,26	0,19	
	0,32	0,18	
	0,24	0,22	
	0,52	0,28	
	0,33	0,46	
	0,23		
	0,2		
15. říjen - 15. leden	nikdo z 27	překročili 2 z 19	nikdo z 24
		0,41	
		0,62	

Tabulka 13 - vyhodnocené čtvrtletní dávky za rok 2002

2002	lékaři a fyzici	laboranti	zdravotní sestry
15. leden - 15. duben	překročil 1 z 27	překročili 2 z 19	nikdo z 24
	0,19	0,24	
		0,37	
15. duben - 15. červenec	nikdo z 29	nikdo z 18	nikdo z 24
15. červenec - 15. říjen	překročil 1 z 26	překročil 1 z 16	nikdo z 26
	0,18	0,21	
15. říjen - 15. leden	nikdo z 30	nikdo z 22	nikdo z 27

Od roku 2003 se začali dávky vyhodnocovat 1 měsíčně a pro vyhodnocování zůstali 2 kategorie, lékaři a fyzici, radiologičtí asistenti a laboranti.

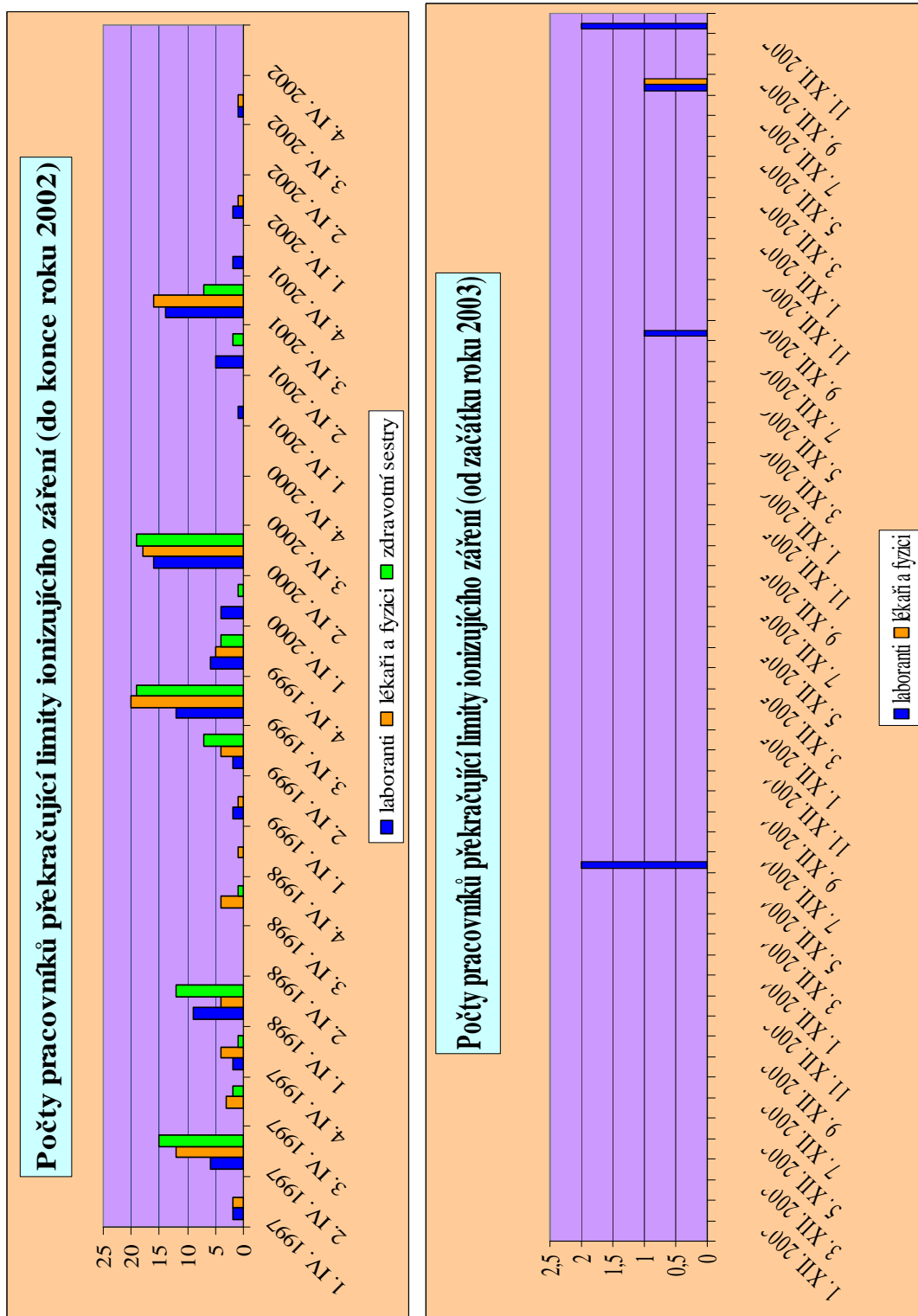
Tabulka 14 - vyhodnocené měsíční dávky za roky 2003, 2004, 2005

2003	lékaři a fyzici	laboranti
15. leden - 15. únor	nikdo z 28	nikdo z 18
15. únor - 15. březen	nikdo z 29	nikdo z 17
15. březen - 15. duben	nikdo z 29	nikdo z 17
15. duben - 15. květen	nikdo z 29	nikdo z 17
15. květen - 15. červen	nikdo z 28	nikdo z 16
15. červen - 15. červenec	nikdo z 28	nikdo z 16
15. červenec - 15. srpen	nikdo z 27	nikdo z 16
15. srpen - 14. září	nikdo z 27	nikdo z 15
15. září - 14. října	nikdo z 28	nikdo z 16
15. října - 14. listopadu	nikdo z 27	nikdo z 16
15. listopadu - 14. prosince	nikdo z 27	nikdo z 16
15. prosince - 14. ledna	nikdo z 28	nikdo z 16
2004	lékaři a fyzici	laboranti
15. leden - 15. únor	nikdo z 28	nikdo z 16
15. únor - 15. březen	nikdo z 28	nikdo z 16
15. březen - 15. duben	nikdo z 28	nikdo z 16
15. duben - 15. květen	nikdo z 28	nikdo z 16
15. květen - 15. červen	nikdo z 27	nikdo z 18
15. červen - 15. červenec	nikdo z 27	nikdo z 18
15. červenec - 15. srpen	nikdo z 27	překročili 2 z 18 (0,18), (0,18)
15. srpen - 14. září	nikdo z 28	nikdo z 18
15. září - 14. října	nikdo z 28	nikdo z 17
15. října - 14. listopadu	nikdo z 28	nikdo z 17
15. listopadu - 14. prosince	nikdo z 27	nikdo z 17
15. prosince - 14. ledna	nikdo z 27	nikdo z 18
2005	lékaři a fyzici	laboranti
15. leden - 15. únor	nikdo z 27	nikdo z 18
15. únor - 15. březen	nikdo z 29	nikdo z 18
15. březen - 15. duben	nikdo z 29	nikdo z 18
15. duben - 15. květen	nikdo z 29	nikdo z 18
15. květen - 15. červen	nikdo z 29	nikdo z 18
15. červen - 15. červenec	nikdo z 29	nikdo z 18
15. červenec - 15. srpen	nikdo z 29	nikdo z 18
15. srpen - 14. září	nikdo z 29	nikdo z 18
15. září - 14. října	nikdo z 29	nikdo z 18
15. října - 14. listopadu	nikdo z 26	nikdo z 18
15. listopadu - 14. prosince	nikdo z 27	nikdo z 18
15. prosince - 14. ledna	nikdo z 27	nikdo z 18

Tabulka 15 - vyhodnocené měsíční dávky za roky 2006, 2007

2006	lékaři a fyzici	laboranti
15. leden - 15. únor	nikdo z 26	nikdo z 16
15. únor - 15. březen	nikdo z 26	nikdo z 16
15. březen - 15. duben	nikdo z 25	nikdo z 17
15. duben -15. květen	nikdo z 25	nikdo z 17
15. květen - 15. červen	nikdo z 25	nikdo z 17
15. červen - 15. červenec	nikdo z 25	nikdo z 18
15. červenec - 15. srpen	nikdo z 25	nikdo z 18
15. srpen - 14. září	nikdo z 26	nikdo z 18
15. září - 14. října	nikdo z 26	Překročil 1 z 18 (0,55)
15. října - 14. listopadu	nikdo z 27	nikdo z 18
15. listopadu - 14. prosince	nikdo z 28	nikdo z 18
15. prosince - 14. ledna	nikdo z 27	nikdo z 18
2007	lékaři a fyzici	laboranti
15. leden - 15. únor	nikdo z 27	nikdo z 18
15. únor - 15. březen	nikdo z 28	nikdo z 18
15. březen - 15. duben	nikdo z 29	nikdo z 19
15. duben -15. květen	nikdo z 30	nikdo z 19
15. květen - 15. červen	nikdo z 30	nikdo z 19
15. červen - 15. červenec	nikdo z 28	nikdo z 19
15. červenec - 15. srpen	nikdo z 30	nikdo z 20
15. srpen - 14. září	nikdo z 30	nikdo z 21
15. září - 14. října	překročil 1 z 30 (0,19)	překročil 1 z 22 (0,22)
15. října - 14. listopadu	nikdo z 31	nikdo z 23
15. listopadu - 14. prosince	nikdo z 24	nikdo z 23
15. prosince - 14. ledna	nikdo z 23	překročili 2 z 23 (0,17),(0,18)

Obrázky 4 a 5 ukazují počty pracovníků s ionizujícím zářením, kteří překročili limity.



Obrázek 4 – počty pracovníků překračující limity ionizujícího záření (do roku 2002)

Obrázek 5 - počty pracovníků překračující limity ionizujícího záření (od roku 2003)

7.2 Statistické zpracování výsledků. [10,18]

K ověření hypotézy, že hodnoty veličiny x jsou náhodným výběrem určitého rozdělení pravděpodobnosti, slouží testy dobré shody. Princip spočívá ve výpočtu veličiny χ , která je dána vztahem:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (1)$$

kde n_i jsou empirické (zjištěné) a np_i teoretické četnosti hodnot veličiny x . k označuje počet tříd, v kterých jsou rozděleny hodnoty veličiny x .

Pro výpočet teoretických četností np_i je třeba nejprve určit s jakou pravděpodobností bude mít náhodná veličina právě hodnotu x . V případě Poissonova rozdělení je tato pravděpodobnost rovna:

$$p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}, \quad (2)$$

kde λ je střední hodnota Poissonova rozdělení. Tuto pravděpodobnost je třeba vypočítat pro každou hodnotu veličiny x . Sečtením pravděpodobností, které odpovídají hodnotám x v dané třídě $i = 1 \dots k$, se získá požadovaná hodnota P_i . Hodnota n ve vzorci (1) se nazývá celková četnost a její hodnota odpovídá součtu četností v každé třídě i .

V dalším kroku se vyhledá tabulková hodnota statistické veličiny χ^2_{teor} . Ta závisí na počtu stupňů volnosti ν . Pokud parametry rozdělení které testujeme, jsou známy, mluvíme o *úplně specifikovaném problému* a stupně volnosti ν se vypočítají podle vztahu: $\nu = 1 - k$, kde k je celkový počet tříd, do kterých jsou rozděleny hodnoty x . Pokud parametry rozdělení známy nejsou, jedná se o *neúplně specifikovaný problém* a stupně volnosti jsou dány vztahem:

$$\nu = k - p - 1 \quad (3),$$

kde p je počet odhadovaných parametrů.

Pro vypočtený počet stupňů volnosti a určitou hladinu významnosti α (většinou $\alpha=0,05$) se ve statistických tabulkách vyhledá hodnota χ^2_{teor} a srovná se s vypočtenou hodnotou χ^2 . Pokud vypočtená hodnota χ^2 je menší než teoretická hodnota χ^2_{teor} vyhledaná v tabulkách, pak hypotézu, že hodnoty veličiny x jsou náhodným výběrem Poissonova rozdělení pravděpodobnosti potvrzujeme. V opačném případě hypotézu zamítáme.

Podmínkou pro použití tohoto testu dobré shody, který je také často označován jako *chi-kvadrát test*, je, že vypočtená, teoretická četnost np_i je v každé třídě $i=1...k$ větší než 5. Pokud některá třída i tuto podmínku nespĺňuje, je třeba ji sloučit se sousední třídou.

Tabulka 16 – počty lékařů, fyziků a laborantů překračujících limity za jednotlivá období

čtvrtrok	lékaři a fyzici	laboranti	celkem
1. IV. 1997	2	2	4
2. IV. 1997	12	6	18
3. IV. 1997	3	0	3
4. IV. 1997	4	2	6
1. IV. 1998	4	9	13
2. IV. 1998	0	0	0
3. IV. 1998	4	0	4
4. IV. 1998	1	0	1
1. IV. 1999	1	2	3
2. IV. 1999	4	2	6
3. IV. 1999	20	12	32
4. IV. 1999	5	6	11
1. IV. 2000	0	4	4
2. IV. 2000	18	16	34
3. IV. 2000	0	0	0
4. IV. 2000	0	0	0
1. IV. 2001	0	1	1
2. IV. 2001	0	5	5
3. IV. 2001	16	14	30
4. IV. 2001	0	2	2
1. IV. 2002	1	2	3
2. IV. 2002	0	0	0
3. IV. 2002	1	1	2

4. IV. 2002	0	0	0
1. IV. 2003	0	0	0
2. IV. 2003	0	0	0
3. IV. 2003	0	0	0
4. IV. 2003	0	0	0
1. IV. 2004	0	0	0
2. IV. 2004	0	0	0
3. IV. 2004	0	2	2
4. IV. 2004	0	0	0
1. IV. 2005	0	0	0
2. IV. 2005	0	0	0
3. IV. 2005	0	0	0
4. IV. 2005	0	0	0
1. IV. 2006	0	0	0
2. IV. 2006	0	0	0
3. IV. 2006	0	1	0
4. IV. 2006	0	0	0
1. IV. 2007	0	0	0
2. IV. 2007	0	0	0
3. IV. 2007	1	1	2
4. IV. 2007	2	0	2

Pro statistické zpracování výsledků jsem zvolil Poissonovo rozdělení náhodného výskytu.

Statistická jednotka (SJ) – čtvrtrok

Statistický znak (SZ) – počet pracovníků, kteří překročili normu

Hodnota statistického znaku (HSZ)

$$HSZ \in \{0,1,\dots,34\}$$

Nejprve jsem spočítal střední hodnotu veličiny x . Poté jsem pro každou hodnotu x spočítal pravděpodobnost jejího výskytu podle Poissonova rozdělení (vzorec 1).

Následně jsem spočítal četnosti hodnoty x .

$$\lambda = \frac{189}{44} = 4,3$$

$$\lambda \approx 4$$

$$p_i = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^{x_i}}{x_i!}$$

$$p_0 = e^{-4} \cdot \frac{4^0}{0!} = 0,018$$

$$p_1 = 0,073$$

$$p_2 = 0,147$$

$$p_3 = 0,195$$

$$p_4 = 0,195$$

$$p_5 = 0,156$$

$$p_6 = 0,104$$

$$p_7 = 0,060$$

$$p_8 = 0,030$$

$$p_9 = 0,013$$

$$p_{10} = 5,29 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{11} = 1,92 \cdot 10^{-3}$$

$$p_{12} = 6,42 \cdot 10^{-4}$$

$$p_{13} = 1,97 \cdot 10^{-4}$$

$$p_{14} = 5,64 \cdot 10^{-5}$$

$$p_{15} = 1,5 \cdot 10^{-5}$$

$$p_{16} = 3,76 \cdot 10^{-6}$$

$$p_{17} = 8,85 \cdot 10^{-7}$$

$$p_{18} = 1,97 \cdot 10^{-7}$$

$$p_{19} = 4,14 \cdot 10^{-8}$$

$$p_{20} = 8,28 \cdot 10^{-9}$$

$$\begin{aligned}p_{21} &= 1,58 \cdot 10^{-9} \\p_{22} &= 2,87 \cdot 10^{-10} \\p_{23} &= 4,99 \cdot 10^{-11} \\p_{24} &= 8,31 \cdot 10^{-12} \\p_{25} &= 1,33 \cdot 10^{-12} \\p_{26} &= 2,05 \cdot 10^{-13} \\p_{27} &= 3,03 \cdot 10^{-14} \\p_{28} &= 4,33 \cdot 10^{-15} \\p_{29} &= 5,97 \cdot 10^{-16} \\p_{30} &= 7,96 \cdot 10^{-17} \\p_{31} &= 1,03 \cdot 10^{-17} \\p_{32} &= 1,28 \cdot 10^{-18} \\p_{33} &= 1,56 \cdot 10^{-19} \\p_{34} &= 1,83 \cdot 10^{-20}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}np_0 &= 0,792 \\np_1 &= 3,212 \\np_2 &= 6,468 \\np_3 &= 8,58 \\np_4 &= 8,58 \\np_5 &= 6,864 \\np_6 &= 4,576 \\np_7 &= 2,64 \\np_8 &= 1,32 \\np_9 &= 0,581 \\np_{10} &= 0,233 \\np_{11} &= 0,084 \\np_{12} &= 0,028 \\np_{13} &= 8,67 \cdot 10^{-3} \\np_{14} &= 2,48 \cdot 10^{-3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
np_{15} &= 6,6 \cdot 10^{-4} \\
np_{16} &= 1,65 \cdot 10^{-4} \\
np_{17} &= 3,89 \cdot 10^{-5} \\
np_{18} &= 8,67 \cdot 10^{-6} \\
np_{19} &= 1,82 \cdot 10^{-6} \\
np_{20} &= 3,64 \cdot 10^{-7} \\
np_{21} &= 6,95 \cdot 10^{-8} \\
np_{22} &= 1,26 \cdot 10^{-8} \\
np_{23} &= 2,2 \cdot 10^{-9} \\
np_{24} &= 3,66 \cdot 10^{-10} \\
np_{25} &= 5,85 \cdot 10^{-11} \\
np_{26} &= 9,02 \cdot 10^{-12} \\
np_{27} &= 1,33 \cdot 10^{-12} \\
np_{28} &= 1,91 \cdot 10^{-13} \\
np_{29} &= 2,63 \cdot 10^{-14} \\
np_{30} &= 3,5 \cdot 10^{-15} \\
np_{31} &= 4,53 \cdot 10^{-16} \\
np_{32} &= 5,63 \cdot 10^{-17} \\
np_{33} &= 6,86 \cdot 10^{-18} \\
np_{34} &= 8,05 \cdot 10^{-19}
\end{aligned}$$

Potom co jsem spočítal četnosti hodnoty x , jsem vytvořil tabulku 17, abych spočítal vypočtenou četnost np_i . Protože podmínkou pro použití testu dobré shody je, že teoretické četnosti musí být vyšší než 5, proto hodnoty veličiny x rozdělil do tříd jak je ukázáno v tab.17. Pravděpodobnostní funkci pro každou třídu jsem získal součtem pravděpodobností pro příslušné hodnoty.

Tabulka 17– vypočtené četnosti np_i závislosti na třídě i

třída i	hodnota x_i náleží množině prvků	skutečná četnost n_i	pravděpodobnostní funkce $p_i(4,x)$	vypočtená četnost np_i
1	{0,1,2,}	29	0,24	10,48
2		3	0,20	8,60
3		4	0,20	8,60
4		5	0,16	6,88
5	{6,...,34}	8	0,21	9,45

Vytvořil jsem si tabulku 18, pro výpočet χ_{exp} podle vzorce 1.

Tabulka 18 – výpočet χ_{exp}

třída i	suma kvadrátu rozdílů četností
1	32,75
2	3,64
3	3,64
4	5,02
5	0,22
suma = χ_{exp}	45,28

Protože se v tomto případě jedná o neúplně specifikovaný problém, stupně volnosti jsem určil podle vzorce 3. Počet tříd $k=5$, počet odhadovaných parametrů $p=1$ (λ). Tedy:

$$\nu = 5 - 1 - 1 = 3$$

Ve statistických tabulkách jsem tedy hledal hodnotu $\chi_{\text{teor}}(3; \alpha=0,05)$, kde α je hladina významnosti. Našel jsem hodnotu $\chi_{\text{teor}} = 7,81$

Protože naše vypočtená hodnota χ je vyšší, než hodnota teoretická, hypotézu o shodě rozdělení zamítáme. Tento výsledek jsem určil s 95% pravděpodobností.

8. Diskuze

Historický vývoj limitů dávek ionizujícího záření

Tabulka 19 – historický vývoj limitů dávek ionizujícího záření

1924	Limit 0,2 R/den (1 R/týdně) pro celotělové ozáření (500 mSv/rok)			
1945	Limit 0,6 rad/týdně na kost a dřev (300 mSv/rok)			
1950	Limit 0,3 R/týdně pro celotělové ozáření (150 mSv/rok)	Dávkový ekvivalent 300 mSv/rok	Limit 1,5 R/týdně (750 mSv/rok) na kůži	
1954	Limit 0,6 R/týdně na kůži (300 mSv/rok)	Limit pro obyvatele = 1/10 limitu pro pracující		
1956	Limit 0,1 R/týdně na gonády (50 mSv/rok)			
1958	Limit 0,1 R týdně na kostní dřev (50 mSv/rok)	Limit 30 rem/rok (300 mSv/rok) na štítnou žlázu	Limit 15 rem/rok (150 mSv/rok) pro ostatní orgány	Limit genetické dávky 5 rem/30 let (50 mSv/30 let)
1977	Limit 50 mSv/rok pro celotělové ozáření	Limit dávkového ekvivalentu 0,5 Sv (500 mSv) pro všechny orgány	Limit 0,3 Sv (30mSv) pro oční čočku	Limit 5 mSv/rok pro obyvatele
1991	Limit dávkového ekvivalentu 500 mSv/rok v orgánech a tkáních	Limit 300 mSv/rok pro oční čočku později snížen na 150 mSv/rok	Limit 1 mSv/rok pro obyvatele	

Převody na mSv byly provedeny dle:

1 rem = 10 mSv

1 R ~ 1 rad

1 Gy = 100 rad

1 R = 10 mGy = 0,01 Gy

Převody týdenních limitů na roční jsou přepočítány pomocí **50** týdnů!

Přepočet proveden dle vzorce $H_T = w_R \cdot D_{T,R}$

Z tabulky č. 19 je vidět vývoj jednotlivých limitů, které jsou orientačně přepočítány na příkon osobního dávkového ekvivalentu (mSv), aby se jednotlivé hodnoty daly aspoň přibližně porovnat. Dnes už se tyto limity nezmenšují, protože se využívá optimalizace ochrany. Tento vývoj dle mého názoru přispěl velkou měrou k menším dávkám záření pracovníků se zdroji ionizujícího záření. Není to však dle mého soudu jediný důvod těchto menších dávek. Na obr. 4 a 5, které byly zpracovány z podkladů CSOD je vidět že k výraznému poklesu došlo po roce 2003. Proto si myslím, že velkým mezníkem v ochraně pracujících je právě měsíční vyhodnocování dávek. Dále si myslím že ke snížení dávek došlo i díky vývoji ozařovacích podmínek, kde je dávka závislá na čase t a vzdálenosti l^2 dle vzorce $D \sim \frac{t}{l^2}$, a rovněž na stínění $D \sim e^{-\mu x}$ kde e je základ přirozeného logaritmu, μ - lineárně zeslabovací koeficient a x - tloušťka stíněného materiálu, např. dnes se používá na odděleních brachyradioterapie automatického afterloadingu, tudíž personál není tolik vystavován záření, jako tomu bylo u afterloadingu manuálního. Dále jsou pracovníci neustále proškolení o bezpečnosti práce. Každý se proto snaží dodržovat 3 zásady – čas – co nejkratší dobu se zdržovat u zdroje ionizujícího záření, stínění – snaží se nosit olovené vesty, vzdálenost – být v největší možné vzdálenosti od zdroje záření.

Tento trend bude nadále pokračovat tak jako od roku 2003 a limity budou překračovány jen velmi výjimečně.

9. Závěr

Tato práce pojednává o vývoji systému limitování dávek, a lze jednoznačně říci, že k pokroku tohoto systému došlo. Zároveň se však musí dodat, že došlo k pokroku celé oblasti radiační ochrany. Dále se zlepšily celkové podmínky pro pracovníky s ionizujícím zářením. Došlo i k vývoji nových diagnostických a ozařovacích přístrojů.

Cíle práce byly naplněny a hypotéza byla potvrzena.

10. Seznam použité literatury

- 1) ICRP Publication 23: Reference Man Anatomical Physiological and Metabolit Characteristics, Annals of ICRP, Pergamon Press, 1975
- 2) ICRP Publication 26: Recommendations of the international commission on Radiological Protection, Annals of ICRP, Pergamon Press, 1977
- 3) ICRP Publication 60: Recommendations of the international commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 21, 1-3, Pergamon Press, 1991.
- 4) ICRP Publication 103: Recommendations of the international commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, 21, 1-3, Pergamon Press, 2008
- 5) KLENER, V. a spolupracovníci. Hygiena záření. 1. vydání. Praha: Avicentrum/zdravotnické nakladatelství, 1988. 472 s. ISBN 08-087-88
- 6) KLENER, V. a kolektiv autorů. Principy a praxe radiační ochrany. 1. vydání. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000, 624 s. ISBN 80-2383-703-6
- 7) MATZNER, J. Radiační ochrana. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích zdravotně sociální fakulta, 2007. 42 s.
- 8) SINGER, J. Dozimetrie ionizujícího záření, 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích zdravotně sociální fakulta, 2005. 67 s. ISBN 80-7040-752-2
- 9) SINGER, J., HEŘMANSKÁ, J. Principy radiační ochrany. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích zdravotně sociální fakulta, 2004. 111 s. ISBN 80-7040-708-5
- 10) ZÁŠKODNÝ, P., FREITINGER SKALICKÁ, Z., KOSOVSÁ, D. Úvod do praktika z radiologické fyziky. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích zdravotně sociální fakulta, 2005. 54 s. ISBN 80-7040-79-2
- 11) Vyhláška SÚJB § 18 č.307/2002 Sb.
- 12) archiv ÚRO FNB - čtvrtletní a měsíční výpisy dávek osob pracujících se zdroji ionizujícího záření
- 13) www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/robozp08.html, 25. února 2006

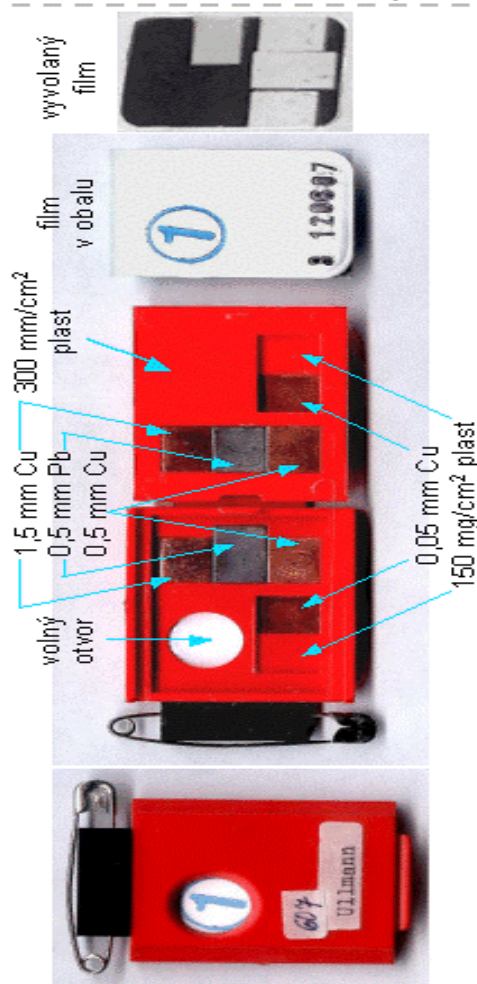
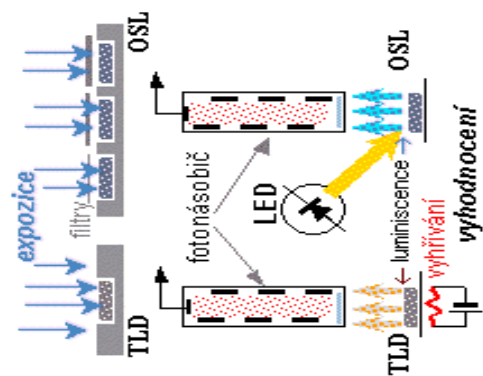
- 14) <http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/node15.html> - statistické tabulky
- 15) <http://astronuklfyzika.cz/DozimetrFilmovy.gif> - filmový dozimetr
- 16) <http://www.upol.cz/typo3temp/pics/d5980e3ef7.png> - prstencový dozimetr
- 17) <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/urychl/k22.htm> - tužkový dozimetr
- 18) https://akela.mendelu.cz/~gabris/skola/mag/2.sem/statka2/ustav/st2_015.doc - rozdělení pravděpodobnosti diskrétní náhodné veličiny na příkladě

Klíčová slova

Radiační ochrana, systém limitů, osobní dozimetrie, osobní dávkový ekvivalent, filmový dozimetr

Příloha 1.

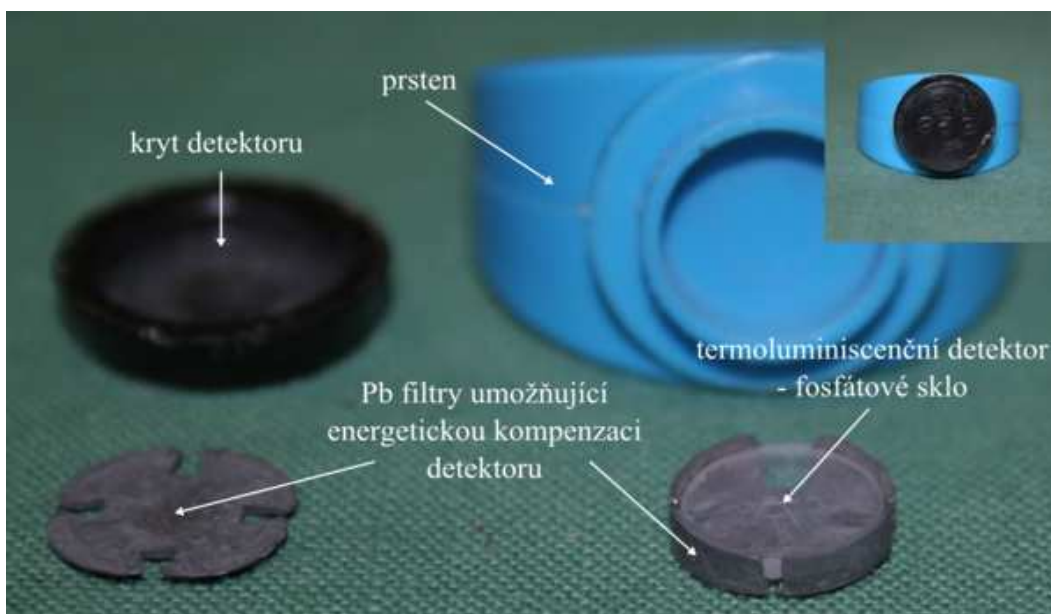
Fotografie příkladů osobních dozimetrů. [15,16,17]



Obrázek 6 – filmový dozimetr



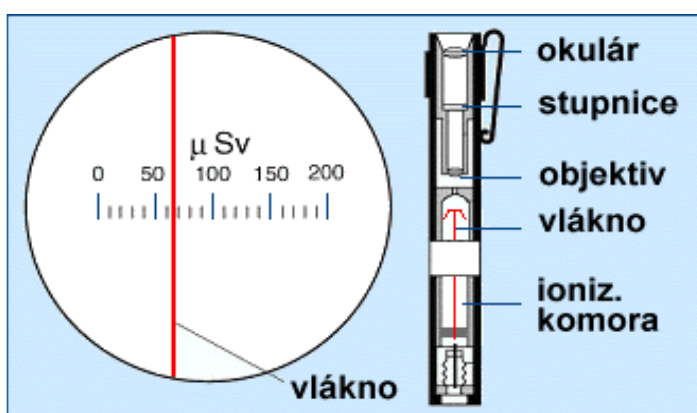
Obrázek 7 – filmový dozimetr 2



Obrázek 8 – prstencový dozimetr



Obrázek 9 – tužkový dozimetr



Obrázek 10 – schéma tužkového dozimetru

15. 10. 1998 – 15. 1. 1999

CELOSTÁTNÍ SLUŽBA OSOBNÍ DOZIMETRIE
 spol. s r. o.
 NA TRUHLÁRCE 39/64
 180 84 PRAHA 8

 *
 *
 * Ústav radiální 588/0
 * onkologie
 * p. Drnec Ivo
 * Na Truhlárce 100
 * 180 00 PRAHA 8
 *

Věc: vyhodnocení osobních dávkových ekvivalentů ionizujícího záření za období 15. říjen 1998 - 15. leden 1999

Z Vámi zaslanych filmových dozimetrů jsme vyhodnotili níže uvedené osobní dávkové ekvivalenty Vašich pracovníků:

CDZ obd.	Jméno	rodné číslo	Hp(10) (mSv)	Hp(0,07) (mSv)	E (mSv)	pozn.
3	Albrechtová Hana	495326/249	< 0.10			
3	Kuchlerová Lada	735325/0685	< 0.10			
4	rez.		< 0.10			
4	Jeřábek Michal	640823/0807	< 0.10			
5	Volf Rudolf	420410/133	< 0.10			
6	Marková Jana	465106/036	< 0.10			
7	rez.		< 0.10			
8	Uller Miroslav	461015/122	< 0.10			
9	Vích Pavel	770215/0423	< 0.10			
10	Černá Alena	485616/017	< 0.10			
11	Urbanová Božena	325606/026	< 0.10			
12	rez.		< 0.10			
13	Drnec Ivo	340704/020	< 0.10			
15	rez.		< 0.10			
18	Nováková Zuzana	445603/132	< 0.10			
31	Šigut Robert	770518/0065	< 0.10			
33	Rebičková Ludmila	535210/186	< 0.10			
34	Zemanová Jitka	535915/097	< 0.10			
41	Bulanová Marie	416231/011	< 0.10			
42	Stoklasova Jana	436101/181	< 0.10			
44	Zimolová Libuše	485509/164	< 0.10			

UPOZORNĚNÍ !!! - Při veškerém kontaktu s námi uvadejte vždy vaše číslo (uvedeno vpravo nad vaši adresou).
 - Sniženi počtu požadovaných dozimetrů nutno oznámit nejpozději 30 dnů před začátkem příslušného sledovacího období.
 - Oznamte nám jakékoli změny zej. adresy, IČ, fax, a tel. čís.

Vyřizuje: L. Vacíková, M. Rezníčková
 Telefon: (02) 66311785; ústředna 66311783-4
 V Praze dne 12/02/99.

RNDr. J. TROUSIL, CSc.
 ředitel CSOD s.r.o.

SÚJB RC-Praha

Obrázek 12 – 3 měsíční výpis dávek

Příloha 3.

Statistická tabulka, použitá pro nalezení $\chi_{\text{teor.}}$ [14]

Tabulka 20 – statistická tabulka

Kvantily $\chi^2_{1-\alpha}$ rozdělení χ^2 o df stupních volnosti

$\chi^2_{1-\alpha}(df)$	α		
df	0,05	0,01	0,001
1	3,84	6,63	10,83
2	5,99	9,21	13,82
3	7,81	11,34	16,27
4	9,49	13,28	18,47
5	11,07	15,09	20,51
6	12,59	16,81	22,46
7	14,07	18,48	24,32
8	15,51	20,09	26,12
9	16,92	21,67	27,88
10	18,31	23,21	29,59
11	19,68	24,73	31,26
12	21,03	26,22	32,91
13	22,36	27,69	34,53
14	23,68	29,14	36,12
15	25,00	30,58	37,70
16	26,30	32,00	39,25
17	27,59	33,41	40,79
18	28,87	34,81	42,31
19	30,14	36,19	43,82
20	31,41	37,57	45,31

21	32,67	38,93	46,80
22	33,92	40,29	48,27
23	35,17	41,64	49,73
24	36,42	42,98	51,18
25	37,65	44,31	52,62
30	43,77	50,89	59,70
35	49,80	57,34	66,62
40	55,76	63,69	73,40
45	61,66	69,96	80,08
50	67,50	76,15	86,66
60	79,08	88,38	99,61
70	90,53	100,43	112,32
80	101,88	112,33	124,84
90	113,15	124,12	137,21
100	124,34	135,81	149,45