



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Studies

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

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zdravotně sociální fakulta  
Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

## Bakalářská práce

# Statistické šetření úniku měkké a tvrdé složky rentgenového záření mimo odborné pracoviště nemocnice v Sedlčanech

Vypracoval: Adam Vlček

Vedoucí práce: doc. RNDr. Přemysl Záškodný, CSc.

České Budějovice 2015

## Abstrakt

V současné době vzrůstají nároky na radiační ochranu obyvatelstva, studentů i radiologických pracovníků. Rizika spojená s expozicí ionizujícího záření se dostávají do povědomí obyvatel a stávají se zájmem odborných pracovníků, kteří vytvářejí velmi sofistikované modely pro krizové situace, radiační havárie, potenciální rizika atd. Cílem je zajistit co možná nejnižší ozáření obyvatelstva i radiačních pracovníků, eliminovat hrozbu radiační havárie a případně minimalizovat její dopady.

Tato práce se zaměřuje na jedno radiodiagnostické pracoviště nemocnice v Sedlčanech, kde došlo následkem stavební chyby k situaci, kdy okna v ozařovací místnosti postrádají ochranný prvek. Za nimi je pak volně přístupný prostor pro personál a pacienty. Z této situace vychází tato práce. Jejím cílem je měření unikajícího záření a na základě získaných hodnot záření charakterizovat jednak z hlediska statistického a následně vyhodnotit z hlediska radiační ochrany. Na základě toho byly vytyčeny jednotlivé dílčí cíle práce, jimiž jsou:

- 1) Šetření úniku rentgenového záření na základě modelového znázornění prostorové struktury nemocnice v Sedlčanech.
- 2) Vymezení základních statistických pojmů a statistických metod
- 3) Návrh na opatření na základě výsledků statistického šetření a na základě konzultace se zřizovatelem nemocnice.
- 4) Zhodnocení výsledků z hlediska radiační ochrany.

Ze současného stavu a výše zmíněných cílů pramení tři hypotézy, které je nutné ověřit pomocí vhodných metod, díky kterým bude možno hypotézy jednoznačně potvrdit či zamítnout. Zmíněné hypotézy byly vyřčeny takto:

H1: Unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti tvrdé a měkké složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu

H2: Mezi unikajícími dávkami tvrdé a měkké složky je pozitivní korelace

H3: Unikající dávky jsou v souladu s normami

Nejprve bylo nutné provést prostorovou analýzu daného pracoviště a na základě dostupných poznatků o charakteru rentgenového záření a jeho šíření rozhodnout jaké dozimetry použít a kam je umístit. Zvoleny byly dva elektronické osobní dozimetry

“DMC 2 000 XB” a jejich umístění mezi skla oken, na středu horizontální osy a ve spodní čtvrtině osy vertikální. Dále bylo nezbytné určit vhodný časový interval měření tak, aby byl dostatečný počet hodnot pro statistické zpracování, zároveň však dostatečně dlouhý interval pro získání hodnoty méně zatížené okolními vlivy (zejména pozadím). Proto byl určen čtrnáctidenní interval, který splňuje obě kritéria.

Celkově bylo naměřeno 27 hodnot pro kvantitativní aplikovaný výzkum, který zahrnuje metody deskriptivní a matematické statistiky. Prvotně byla ověřována normalita rozdělení obou složek záření v každém okně. Pomocí regresní analýzy byly vytvořeny 4 prvky škály a proveden  $\chi^2$ -test. Následně byla ověřována korelace mezi tvrdou a měkkou složkou u každého okna. Zde byl zvolen Pearsonův korelační koeficient, vyjadřující sílu lineární korelace. Poslední část ověřování hypotéz obsahuje komparační analýzu s legislativními limity.

Výsledky potvrzují hypotézu H1, že “unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti tvrdé a měkké složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu” a to pro obě okna a obě složky záření. Výsledek potvrdil i Kolmogorov-Smirnovův test normality. Rovněž H2 lze potvrdit a konstatovat silnou pozitivní korelaci u obou oken, přičemž v okně B” je silnější než v “Okně A”. Poslední hypotéza je potvrzena pro “Okno B ( $D_{Hp}$ )” a Okno B ( $D_{2ndHs}$ ). H3 zamítáme v případě “Okna A ( $D_{Hp}$ )” a “Okna A ( $D_{2ndHs}$ )” kde je výsledná hodnota vyšší i po odečteném pozadí.

Nejvýznamnějším praktickým přínosem práce je, že došlo k uzamčení prostoru za okny ozařovny a obyvatelstvo (zde pacienti) ani personál (zejména z řad neradiologických pracovníků) není nadále bezdůvodně ozařováno. Práce a vyřešení situace může posloužit jako vzor pro jiná zařízení, kde by byl podobný problém. Práci je rovněž možno práci využít jako edukačního materiálu pro budoucí zdravotní pracovníky (aby si případně obdobně vzniklou chybu uvědomili a upozornili na ní) a pro studenty stavebních škol, pro budoucí, ale i současné projektanty. Navazovat by mělo další měření, na oknech protější budovy a provedení obdobného zpracování.

## **Klíčová slova**

Radiační ochrana, Dozimetrie, Měření, Statistické šetření, Opatření, Edukace

## **Abstract**

Demands on the radiation protection of public, students and radiological workers are on the increase nowadays. Risks connected with an exposition of ionization radiation raise public awareness and are in the spotlight of experts who form highly sophisticated models of emergency, radiation accidents, potential risks etc. The aim is to provide as low level of radiation as possible for public as well as radiological workers, to eliminate a threat of a radiation accident and alternatively minimize its impacts.

This thesis is focused on the radiological department of the hospital situated in Sedlčany in which as a result of a fail during its construction there are no protection elements in the radiation room. Next to this room there is a space accessible to the public and staff. This situation is the base of this thesis. Its aim is to measure the leaking radiation and to evaluate its results subsequently from the point of view of radiation protection.

As a result following aims of the thesis were set:

- 1) The leak of X-ray radiation survey on the basis of model depiction of space structure of the hospital in Sedlčany.
- 2) Definition of basic statistical terms and methods.
- 3) Improvement proposal on the basis of results and consultation with the hospital founder.
- 4) Evaluation of the results from the point of view of radiation protection.

There are three hypotheses resulting from the current state and above mentioned aims which need to be confirmed or rejected by means of appropriate methods.

The above mentioned hypotheses are following:

H1: The theoretical division of the leaking radiation is close to the normal division in the hard and soft sphere.

H2: There is a positive correlation among the leaking components of hard and soft sphere.

H3: The leaking doses are in harmony with norms.

First it was necessary to do a spatial analysis of the department and on the basis of accessible knowledge of X-ray radiation and its spreading and to decide using and placement of dosimeters. Two personal electronic dosimeters DMC 2 000 XB were chosen and their placement between window glass, in the centre of the horizontal axis

and in the low quarter of the vertical axis. Consequently it was necessary to determine the suitable measurement time interval in order to get sufficient amount of figures for statistical processing and sufficiently long interval for getting figures less loaded by surroundings (especially background).

Therefore the 14-days interval was chosen.

Totally 27 figures were measured for the quantitative research including descriptive and mathematical statistics. First the division of both radiation components in all windows was verified. Four elements of scale were formed by regressive analysis and 2-test was done. Consequently the correlation between the hard and soft components of all windows was verified. The Pearson Correlation Coefficient expressing lineal correlation was chosen for this purpose. The last part of hypotheses verifying includes comparative analysis with legislative limits.

The results confirm the H1 hypothesis: The theoretical division of the leaking radiation is close to the normal division in the hard and soft sphere for both windows and both radiation components. The result was confirmed by Kolmogorov-Smirnov Normality Test as well. It is also possible to confirm H2 with the strong positive correlation by both windows where the correlation is higher by Window B. The last hypothesis is confirmed for Window B ( $D_{Hp}$ ) and Window B ( $D_{2ndHs}$ ). H3 was rejected by Window A ( $D_{Hp}$ ) and Window A ( $D_{2ndHs}$ ) where the figure is higher even after subtracting of background.

The most significant contribution of the thesis is the fact that the space behind the windows of radiation room was locked and the public and workers are no more groundlessly radiated. The thesis and its results can serve as a model for other departments with the similar problem. It can also serve as an educational material for future health workers (as a warning) and for students of building schools and current project architects. Another measurement and similar processing at the windows of the opposite building should follow.

**Key words**

Radiation protection, Dosimetry, Measuring, Statistic research, Arrangement,  
Education

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. 8. 2015

.....

Adam Vlček

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. RNDr. Přemyslu Záškodnému, CSc. za jeho trpělivost během vedení práce, cenné rady, postřehy a ochotu vždy pomoci. Dále pak velice děkuji konzultantům, kterými byli nedávno zesnulý pan Ing. Jan Singer, CSc. a pan RNDr. Petr Berkovský. Jejich rady v oblasti radiační ochrany byly velice cenné a užitečné. Mé díky patří i Zdravotně sociální fakultě za zapůjčení dozimetrů. Nakonec děkuji své rodině, za vytrvalou psychickou a finanční podporu.



# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Teoretická část.....</b>	<b>12</b>
1.1 Teorie RTG .....	12
1.1.1 Historie.....	12
1.1.2 Popis a vznik rtg záření.....	12
1.1.3 Interakce s prostředím.....	13
1.2 Dozimetrie RTG záření .....	17
1.2.1 Pojem dozimetrie a co zahrnuje:.....	17
1.2.2 Přístrojová technika v dozimetrii:.....	17
1.2.3 Ochrana před ionizujícím zářením:.....	19
1.2.4 Veličiny v dozimetrii: .....	20
1.2.5 Legislativní limity.....	22
1.3 Použité statistické metody.....	25
<b>2 Hypotézy a metodika výzkumu.....</b>	<b>27</b>
2.1 Hypotézy .....	27
2.2 Cíle práce .....	27
2.3 Popis metodiky.....	27
2.3.1 Technické vybavení, prostorová analýza, vybrané parametry.....	28
2.3.2 Formulace statistického šetření.....	28
2.3.3 Škálování .....	32
2.3.4 Měření .....	32
2.3.5 Elementární statistické zpracování .....	33
2.3.6 Neparametrické testování .....	36
2.3.7 Měření statistických závislostí.....	44
2.3.8 Zpracování výsledků, komparační analýza s legislativou .....	46
2.3.9 Ověření hypotéz, návrh opatření a praktické přínosy práce .....	50
2.3.10 Návrhy pokračujících prací .....	51
<b>3 Závěr.....</b>	<b>53</b>
<b>4 Seznam informačních zdrojů .....</b>	<b>55</b>
A. Literární zdroje .....	55
B. Internetové zdroje.....	57
<b>5 Přílohy .....</b>	<b>58</b>
5.1 Příloha 1 - Prostorová analýza (výkres).....	58
5.2 Příloha 2 - Fotodokumentace .....	60
5.3 Příloha 3 - 3D modelace.....	66
5.4 Příloha 4 – Smlouva o výpůjčce.....	71
5.5 Příloha 5 – Souhlas s měřením.....	73
5.6 Příloha 6 – Umístění dozimetrů .....	74

# Úvod

Úvodem bakalářské práce s názvem „Statistické šetření úniku měkké a tvrdé složky rentgenového záření vně odborného pracoviště nemocnice v Sedlčanech“, bude stručně popsána teorie rtg, shrnuta současná situace konkrétního pracoviště, vytyčeny cíle práce a nastíněny hypotézy. V návaznosti na ně bude pak navržen postup pro jejich ověření. Postup ověřování hypotéz bude spojen s aplikovaným kvantitativním výzkumem, vedle empirických a obecně teoretických metod budou používány potřebné metody šetření datových souborů.

Využití rentgenového záření ve zdravotnictví (a nejen v něm) s sebou zároveň nese problematiku zajištění bezpečnosti jak pro personál, tak pro pacienty nemocnice a civilní obyvatelstvo. S tím je spojena povinnost vhodně situovat jak oddělení, ve kterých je ionizující záření využíváno, tak umístění zdrojů ionizujícího záření, aby se minimalizovaly případné negativní dopady ionizujícího záření na okolí. Souvisí s tím rovněž zavedení ochrany stíněním, kdy se nejčastěji využívá dveří plněných olovem, betonu s krycí vrstvou barytu a olovnatých skel do ovladovny. V Sedlčanské nemocnici však došlo následkem stavební chyby k situaci, ve které je radiodiagnostické pracoviště vybaveno okny, jež vedou do dvora nemocnice (mimo jiné místu vyhrazenému pro kuřáky - většinou z řad pacientů a personálu), a jež postrádají krycí prvek proti úniku ionizujícího záření. Vzhledem k možné opakované expozici jedinců v těchto místech je zapotřebí zjistit, jak velké množství záření touto cestou uniká a zda je v souladu s normami. V případě, že dojde ke zjištění vysokého úniku ionizujícího záření, který by přesahoval legislativní limity, bude navrženo a provozovateli nemocnice předloženo bezpečnostní opatření, které by případná rizika eliminovala.

Obecné cíle práce:

- 1) Šetření úniku rentgenového záření na základě modelového znázornění prostorové struktury nemocnice v Sedlčanech.
- 2) Vymezení základních statistických pojmů a statistických metod.
- 3) Na základě výsledků statistického šetření a na základě konzultace se zřizovatelem nemocnice návrh na opatření.
- 4) Zhodnocení výsledků z hlediska radiační ochrany.

Na základě vymezených cílů byly vytyčeny následující hypotézy:

H1: Unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti tvrdé a měkké složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu

H2: Mezi unikajícími dávkami tvrdé a měkké složky je pozitivní korelace

H3: Unikající dávky jsou v souladu s normami

Formulované hypotézy odrážejí základní rysy kvantitativního výzkumu. V průběhu řešení prošly fází předvědeckou, prvotní a teoretickou. Formulovaná podoba již odráží podobu hypotézy operační, která umožňuje získávání potřebných datových souborů měření. Jelikož bude má bakalářská práce splňovat předepsaný algoritmus, budou cíle práce a operační hypotézy připomenuty v pozdějších částech.

K ověření hypotéz bude využito formulace potřebných teorií (obecně teoretické metody), vlastní měření (empirické metody) a následné zpracování výsledků pomocí vhodných statistických metod (metod šetření získaných datových souborů) v této posloupnosti:

- 1) Vymezení potřebných teoretických základů
- 2) Vytvoření statistického souboru pomocí měření úniku ionizujícího záření
- 3) Formulace statistického šetření
- 4) Provedení měření
- 5) Škálování
- 6) Elementární statistické zpracování
- 7) Neparametrické testování
- 8) Měření statistických závislostí
- 9) Zpracování výsledků, komparační analýza s legislativou
- 10) Ověření hypotéz, návrh opatření, a praktické přínosy práce
- 11) Návrhy pokračujících prací

# 1 Teoretická část

## 1.1 Teorie RTG

### 1.1.1 Historie

Rentgenové záření objevil dne 8. listopadu 1895 německý fyzik a univerzitní profesor Wilhelm Conrad Röntgen při pokusech s katodovými trubicemi ve fyzikálním ústavu Würzburgské univerzity. Svůj objev představil ve zprávě “O novém druhu záření”. Ačkoliv měla tato zpráva pouze 9 stran, W. C. Röntgen v ní definoval všechny základní fyzikální charakteristiky záření, které sám pojmenoval jako “Záření X”. Současně poukázal, že by bylo možné záření využít v lékařství.

Nový druh záření byl velmi rychle přijat vědeckou komunitou a “Záření X” dostalo název po svém objeviteli, který za svůj objev dostává v roce 1901 jako vůbec první člověk Nobelovu cenu za fyziku. Tím, že si nedal nikdy patentovat svůj “vynález” a vzdal se veškerých autorských práv, umožnil jeho rychlé rozšíření a využití po celém světě. Smutným paradoxem je, že v roce 1923 v Mnichově umírá jako velmi chudý a opuštěný člověk.

### 1.1.2 Popis a vznik rtg záření

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 10<sup>-9</sup> až 10<sup>-13</sup> m a frekvenci  $f=10^{18}$  Hz. Přirozeně vzniká přechody elektronů na nejnižších slupkách obalu atomu. Přírodním zdrojem jsou některé hvězdy, jádra galaxií, akreční disky kolem černých děr a vzniká rovněž při explozích supernov. Umělým zdrojem rentgenového záření je rentgenka. V ní záření vzniká prudkým zabrzděním rychle letících elektronů o anodu vyrobenou z materiálu o vysoké teplotě tání a vysokém atomovém čísle  $Z$  (nejčastěji wolfram, u přístrojů pro mamografii se uplatňuje též molybden či rhodium). Při nárazu elektronů na anodu se jejich energie přemění na teplo (99 %) a záření X (1 %) dvojího druhu: brzdné a charakteristické, přičemž převažuje záření brzdné, využívané v radiodiagnostice.

Brzdné záření, které je důsledkem zákonitostí Maxwellovy elektrodynamiky, vzniká interakcí elektronu a jádra atomů anody. “Zabrzždění elektronů může nastat najednou (jednostupňově), nebo postupně v několika atomech” [2], přičemž nejkratší vlnovou délku má záření vzniklé jednostupňovým zabrzděním. Brzdné záření má spojité spektrum a je vysvětleno obráceným fotoelektrickým jevem, přičemž platí Duan-Huntův zákon:

$$h\omega_{\max} = eU, U\lambda_{\min} = hc / 2\pi e = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ Vm} \quad [1]$$

Energie brzdného záření je závislá na rychlosti elektronů, dopadajících na anodu. Pojem “brzdné záření” lehce zavádí, že se jedná o záření vznikající jen při zpomalování (deceleraci) nabitých částic. Stejně záření však vzniká rovněž při akceleraci nabitých částic. Nicméně urychlování částic natolik, aby ke vzniku tohoto záření došlo, se nevyskytuje ani v laboratorních podmínkách, ani v přírodě. Proto lze termín “brzdné záření” užívat.

Záření charakteristické vzniká v důsledku “přechodů mezi stacionárními kvantovými stavy v obalu atomu.” [1] Jeho spektrum není spojité, ale čárové. Energie charakteristického záření není na rozdíl od brzdného určena anodovým napětím, ale materiálem anody. Nicméně je pro jeho vznik třeba určité prahové napětí, které je pro každý materiál odlišné. Charakteristické záření se uplatňuje například v analytické chemii.

### 1.1.3 Interakce s prostředím

“Rentgenové záření se šíří do prostoru na všechny strany a jeho intenzita ubývá se čtvercem vzdálenosti.” [3] Kratší vlnová délka určuje vlastnosti rentgenového záření, které si liší od viditelného světla. Mezi základní vlastnosti patří:

- a) Ionizace: Rentgenové záření má schopnost přímo ionizovat vzduch a jiné plyny, jelikož je jeho energie dostačující k tomu, aby po dopadu kvanta rentgenového záření na elektron atomu vyrazila tento elektron mimo atom. Tím je narušena elektrická rovnováha atomu a dochází ke vzniku iontového páru - kladný iont a uvolněný elektron. Takto uvolněné elektrony se mohou srazit s elektrony dalších, neutrálních atomů a předat jim část své energie. Pokud je tato dostačující,

dochází k další (sekundární) ionizaci. Celková ionizace se pak rovná ionizaci primární a sekundární.

b) Průnik hmotou: Na rozdíl od viditelného světla, je rentgenové záření schopno pronikat i hmotou, přičemž míra průniku závisí na vlastnostech absorbující hmoty a na energii rentgenového záření. Čím kratší má záření vlnovou délku, tím vyšší je jeho energie a je tedy pronikavější. Při průniku dochází k zeslabování, na němž se podílí:

- Absorpce: Je tím větší, čím nižší je energie (a tedy i pronikavost) záření. Platí zde absorpční zákon, který lze zapsat ve tvaru:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad [1]$$

kde  $I$  = Intenzita svazku při průchodu hmotou

$I_0$  = Intenzita záření, dopadajícího na povrch

$\mu$  = Koeficient absorpce

$x$  = Tloušťka absorbující vrstvy

Na principu rozdílné absorpce rentgenového záření různých materiálů je postaven princip radiodiagnostiky či radiační defektoskopie.

- Rozptyl:
  - Klasický (též Thomsonův, koherentní či Rayleighův): spočívá v interakci fotonu záření s atomem, při které dochází k oscilaci elektronů v elektronovém obalu atomu. Oscilující elektrony zpětně vyzáří elektromagnetické vlnění o stejné vlnové délce a tedy i energii. Dojde však k vyzáření odlišným směrem (pružný rozptyl). Energie primárního fotonu se plně přenesou do fotonu sekundárního. Z toho vyplývá, že při klasickém rozptylu dochází k přenosu hybnosti a zachování energie. Klasický rozptyl nastává u nižších energií a jedná se o neionizační proces.
  - Comptonův: “Výklad Comptonova jevu je založen na představě srážky fotonu s elektronem, který je jen slabě poután k atomu (je v podstatě volný).”  
[1] Dopadající foton předá tomuto elektronu pouze část své energie. Zasažený elektron tak získá kinetickou energii a ve směru odchýleném od původního směru dráhy fotonu v úhlu  $\varphi$  se dá do pohybu. Sekundární foton

s nižší energií se pohybuje ve směru odchýleném od primárního fotonu v úhlu  $\psi$ . Největší pokles energie primárního fotonu nastává při zpětném rozptylu, tedy pokud  $\psi = 180^\circ$ . Pro srážku platí zákon zachování energie:

$$\hbar\omega + m_0c^2 = \hbar\omega' + mc^2 \quad [1]$$

kde:  $\hbar$  = Planckova konstanta

$\omega$  = Frekvence původního fotonu

$m_0$  = Klidová hmotnost elektronu

$c$  = Rychlost světla

$m$  = Hmotnost elektronu po srážce

- Tvorba elektron pozitronových párů: K tomuto jevu dochází pouze při užití vysokých energií (minimálně vyšší než 1,02 MeV), což je v případě rentgenového záření energie, dodávaná např. synchrotronem a v radiodiagnostice se tak vysoké energie nepoužívá. V principu se energie elektromagnetického záření promění v blízkosti jádra atomu na částice elektron a pozitron  $E_e$  a  $E_p$ , každý s kinetickou energií rovnající se 1/2 původní dodané energie (zde tedy 0,51 MeV). Energetickou bilanci procesu lze vyjádřit rovnicí:

$$\hbar\nu = E_e + E_p + 2m_e c^2 \quad [3]$$

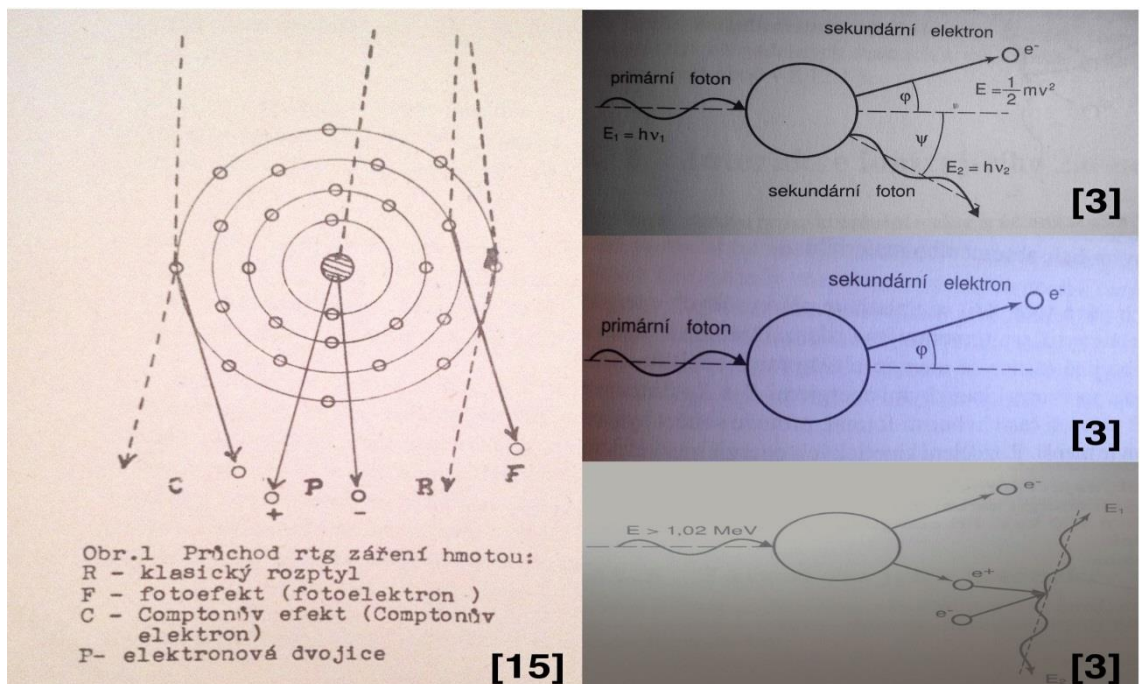
Kde:  $\hbar\nu$  = Energie elektromagnetického záření

$E_e$  = Kinetická energie elektronu

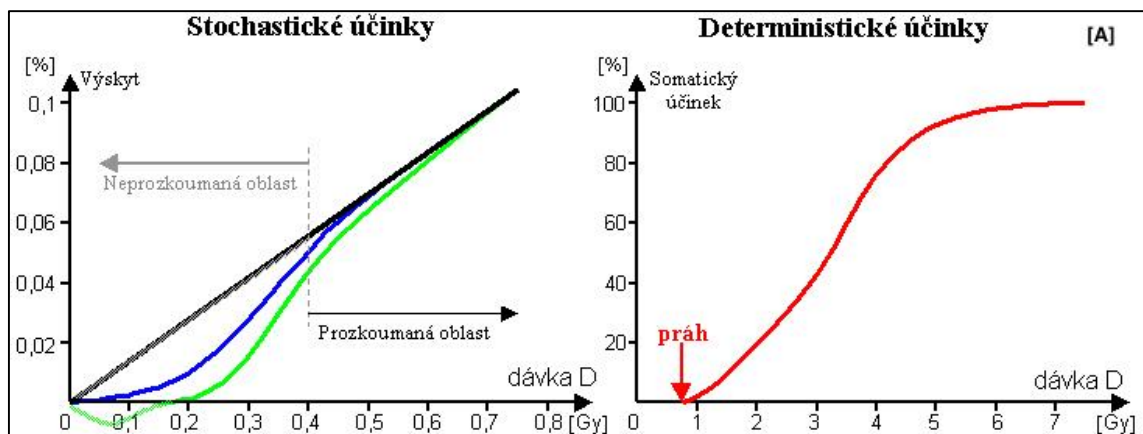
$E_p$  = Kinetická energie pozitronu

$2m_e c^2$  = Součet klidové energie elektronu a pozitronu

Tento jev lze považovat za obrácený anihilační jev.



c) Biologický efekt: RTG záření škodí živým organismům a může poškodit jejich DNA. V závislosti na dávce dochází k tzv. deterministickým účinkům záření, které nastávají až při vyšších dávkách (od určité prahové dávky) a dochází k nim vždy. Poškození tkáně je pak úměrné obdržené dávce. Naproti tomu účinky stochastické nejsou závislé na velikosti obdržené dávky, a mohou se vyskytnout s určitou pravděpodobností, kterou lze vyjádřit počtem výskytu nežádoucích účinků na počet jedinců.





## 1.2 Dozimetrie RTG záření

### 1.2.1 Pojem dozimetrie a co zahrnuje:

Dozimetrie ionizujícího záření je oborem, který se zabývá problematikou plynoucí z vlastností tohoto záření. Zabývá se:

- a) Zdroji ionizujícího záření. Ty lze rozdělit na bodové, plošné, lineární a objemové. Množství emitovaného záření určuje nejen geometrie, hmotnost a rozměr zdroje, ale rovněž parametry radionuklidů ve zdroji. Mezi takové patří na příklad aktivita, poločas, energie a typ záření.
- b) Polem ionizujícího záření: Pro objekty vyskytující se v poli jsou důležité tvary a charakteristiky tohoto pole. “Základní veličinou pole je emise (tok) částic nebo energie, což lze považovat za celkové množství částic nebo energie, které se dostane ze zdroje za jednotku času” [4] Dále jsou důležité parametry, které popisují rozložení pole záření v prostoru.
- c) Interakcí s hmotou: “Interakci lze obecně definovat jako pravděpodobnost jakékoliv částice s hmotou” [4] a to nezávisle na tom, k jakému procesu dochází (rozptyl, ionizace, Comptonův rozptyl, klasický rozptyl či tvorba párů).
- d) Interakcí s živou hmotou: Zde je možno zahrnout obor ochrany životního prostředí a v případě lidského organismu rozlišujeme dozimetrii:
  - Osobní: Pro pracovníky, kteří pracují se zdroji ionizujícího záření
  - Radiační kontrola okolí: Především pro civilní obyvatelstvo
  - Klinickou: Zvláště pro zdravotnické pracovníky pracující s ionizujícím zářením a pacienty. Vzhledem k tématu této bakalářské práce, bude právě klinická dozimetrie zcela zásadní.

### 1.2.2 Přístrojová technika v dozimetrii:

Pro detekci ionizujícího záření, které nelze lidskými smysly registrovat, je nutné využít fyzikálních principů a pomocí vhodného přístroje záření detekovat, transformovat na definovanou veličinu a následně ji odečítat. Mimo “zviditelnění” nám patříčná

kombinace fyzikálních metod (pro detekci) a vhodná přístrojová technika (sloužící ke zpracování) může poskytnout cenné kvantitativní informace kvantitativní informace o energii, intenzitě, prostorové distribuci dalších vlastnostech záření. K tomuto lze využít hned několik principů a přístrojů. Pro lepší přehlednost je můžeme rozdělit na tři skupiny dle následujících kritérií:

#### A. Časový průběh detekce

- Kontinuální detektory: Poskytují okamžitou informaci o aktuální intenzitě záření v době, kdy zdroj září. Přestane-li zdroj zářit, zobrazí hned nulovou aktivitu (nepočítáme-li aktivitu pozadí). Tyto detektory jsou převážně elektronické.
- Kumulativní (integrální) detektory: Během expozice shromažďují svou odezvu v průběhu expozice. Výsledek zůstává zaznamenán i po skončení měření a případné opětovné ozáření se přičítá k již naměřené hodnotě. Bez ohledu na to, zda je ozáření provedeno jednorázově, či opakovaně je možné výsledek celkové expozice získat po jejím ukončení. Do této skupiny spadají zvláště fotografické a materiálové detektory (filmové a termoluminiscenční). Nicméně i elektronické detektory mohou fungovat jako kumulativní s výhodou možného vynulování předchozí hodnoty a průběžného zobrazování kumulované dávky.

#### B. Princip detekce

- Materiálové detektory: Fungují na principu změny vlastností určitých látek (barva, složení, objem). Tato změna probíhá v delším časovém intervalu (např.: měsíc, tři měsíce atd.)
- Fotografické: Využívají fotochemické vlastnosti některých materiálů na záření. Do této skupiny patří například rtg filmy, jaderné emulze a filmové dozimetry.
- Elektronické: V nich se absorbovaná energie záření přemění na elektrické impulsy (přímo či zprostředkovaně) a ty jsou dále zpracovány a vyhodnoceny. Jsou možné dva způsoby detekce:

- A. Proudový režim: Detektor poskytuje slabý proud, který je v čase spojitý.
- B. Pulsní režim: V něm detektor reaguje na jednotlivé částice, které počítá. Výsledkem je tedy počet impulsů za jednotku času.
- C. Komplexnost měření
- Detektory záření: Udávají pouze intenzitu záření. Nevypovídají nic o jeho druhu a energii. Patří sem filmové a termoluminiscenční dozimetry, ionizační komory a Geiger-Müllerovy detektory.
  - Spektrometry ionizujícího záření: Neměří jen intenzitu či počet kvant, ale i energii kvant záření. Výsledkem je spektrum, které vyjadřuje energetické zastoupení kvant záření.
  - Zobrazovací detektory: Poskytují prostorové zobrazení míst, kam záření dopadá, nebo úhel určující odkud záření přichází.
  - Dráhové detektory částic: Na základě materiálových efektů, nebo elektronicky dokáží určit dráhy pohybu jednotlivých částic.

### **1.2.3 Ochrana před ionizujícím zářením:**

Cílem radiační ochrany je co možná největší zabezpečení ochrany osob, při současném maximálním zisku ze zdrojů ionizujícího záření. Přínos by tedy měl několikanásobně převyšovat případné negativní dopady a komplikace, způsobené ionizujícím zářením. Tento princip neplatí pouze v lékařských oborech, ale obecně pro zacházení se zdroji ionizujícího záření. Třebaže nelze dosáhnout stavu, kdy by bylo riziko nulové, je snahou toto riziko maximálně minimalizovat.

V ochraně před ionizujícím zářením využíváme tři zásadních principů:

- a) Ochrana časem: Jelikož platí přímá úměra mezi absorbovanou dávkou záření a dobou expozice, po kterou se v poli zdržujeme, je snahou zdržovat se v ozařovaném poli co možná nejkratší dobu, čímž snížíme absorbovanou dávku. V rámci tohoto principu se osoby, které pracují se zdroji ionizujícího záření (zejména v nukleární medicíně) zdržují u pacientů, jímž byla aplikována radioaktivní látka jen po nezbytně nutnou dobu.

- b) Ochrana vzdáleností: Intenzita záření je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření (přesné pro bodový zdroj). Je tedy vhodné, zachovávat v rámci možností co největší vzdálenost od zdroje, zbytečně se k němu nepřibližovat a pro manipulaci se zdroji ionizujícího záření používat pomůcky (například pinzety).
- c) Ochrana stíněním: V případě, že je použit vhodný (vysoce absorbující) materiál, je tato ochrana velmi účinná. Pro materiály platí již zmíněný absorpční zákon a účinnost tedy závisí na hustotě materiálu  $\rho$ , protonovém čísle  $Z$  a tloušťce  $d$ . Interakce záření s látkou vede k částečné, či úplné absorpci záření. Dovoluje-li to situace, je třeba umístit stínění co možná nejbliže ke zdroji záření, případně tento i obklopit stínící vrstvou. V lékařských oborech, využívajících ionizující záření se nejvíce využívá olovo, beton, baryt a wolfram (leč ne tak frekventovaně). Olovnaté sklo se využívá v případě, že je požadavek na zachování optické viditelnosti při současném odstínění záření (například pro přímou vizuální kontrolu pacienta během aplikace záření).

Je třeba zdůraznit, že při ochraně před ionizujícím zářením se v rámci maximální efektivity ochrany uplatňuje kombinace všech zmíněných principů.

### 1.2.4 Veličiny v dozimetrii:

V dozimetrii lze rozlišit mnoho různých veličin a jejich modifikací. Většinou jsou odvozeny z jiných, obecnějších veličin. Mezi základní patří:

- Aktivita zářiče  $A$ : Jedná se o jednotku z hlediska parametrů zdroje a lze ji vyjádřit pomocí vztahu:

$$A = dn/dt = \lambda \cdot n \quad [1]$$

Lze ji definovat jako četnost, jakou zářič uvolňuje částice záření. Jednotkou aktivity  $A$  je becquerel (Bq).

- Intenzita jaderného záření  $I$ : Tato jednotka je spíše vyjádřením interakce záření s prostředím. Jedná se o energii záření, která projde plošnou jednotkou, která je postavena kolmo ke směru záření za 1 s. Jednotkou je  $W \cdot m^{-2}$

- Účinný průřez  $\sigma$ : Vyjadřuje podíl pravděpodobnosti interakce “p” pro jednu částici terčového materiálu a fluence  $\Phi$ . Vyjádření pak vypadá následovně:

$$\sigma = p/\Phi \quad [4]$$

Jednotky: m<sup>2</sup> (dříve “barn” přičemž 1b = 10<sup>-28</sup>m<sup>2</sup>)

- Lineární součinitel zeslabení: Veličina, která je definována pro nenabitě částice a již lze zapsat ve tvaru:

$$\mu = (1/\varphi) \times (d\varphi/dx) \quad [4]$$

Kde se  $\varphi$  rovná hustotě toku a x vzdálenosti. Jednotky: m<sup>-1</sup>

- Lineární brzdnou schopnost: definujeme v případě, že látkou prochází nabitá částice:

$$S = dE/dx \quad [4]$$

kde dE znamená změnu energie nabitě částice při průletu hmotou po dráze, kterou vyjadřuje dx.

- Lineární přenos energie, tzv. “LET (Linear Energy Transfer): Hovoříme o něm v případě, že je veličina S limitována energií o určité hodnotě a nepočítáme-li se ztrátou energie brzdícím zářením:

$$L = LET = (dE/dx) \Delta \quad [4]$$

$\Delta$  představuje horní (omezující) hodnotu energie

LET určuje míru hustoty ionizace působené přímo či nepřímo ionizujícími částicemi v biologických objektech. Souvisí s brzdnou schopností absorbující látky a vyjadřuje velikost energie, kterou předá ionizující částice prostředí v jednotce délky její dráhy. Udává se v keV. $\mu$ m<sup>-1</sup>. Na rozdíl od ostatních veličin vyjadřuje energii částicí skutečně předanou, zatímco ostatní pojmy pracují s energií ztracenou.

- Sdělená energie  $\varepsilon$  (absorbovaná dávka): Je energie, předaná ionizujícím zářením objemu látky, s níž interaguje. Potom:

$$D = d\varepsilon / dm \quad [4]$$

kde: D = absorbovaná dávka

d $\varepsilon$  = střední energie

dm = hmotnost látky

Jednotkou je gray (Gy) a od této jednotky se odvozují všechny veličiny dozimetrie.

- KERMA: Používá se v souvislosti s nepřímo ionizujícím zářením a je definována vztahem:

$$K = dE_k / dm \quad [B]$$

Jednotkou je opět 1 Gy

- Dávkový ekvivalent H: Je biofyzikální veličinou, která kvantifikuje účinky ionizujícího záření pohlcené v látce a vyvolávající v ní změny. Vyjádřit jej je možné jako:

$$H = D \cdot Q \quad [3]$$

kde D = dávka a Q = tzv. "Jakostní činitel", který charakterizuje kvalitu záření vzhledem k biologickému účinku. Vztahuje se pouze na člověka a jeho velikost závisí na hodnotě LET. Jednotkou je sievert (Sv).

### 1.2.5 Legislativní limity

Značnou váhu ve všech oblastech ochrany před ionizujícím zářením mají doporučení ICRP (International Commission on Radiological Protection), která je základem pro rozhodování legislativních orgánů. Systém ochrany obecně vychází z těchto zásad: oprávněnost dané činnosti, limitování dávek a optimalizace ochrany. Dle doporučení ICRP lze shrnout hlavní principy ochrany takto:

- a) Zdůvodnění činnosti: Ozáření nesmí být uskutečněno v případě, že nepovede k zásadnímu přínosu pro jedince či společnost, který by vyvážil negativní dopady ozáření.
- b) Optimalizace ochrany: Dávky, počet ozářených osob i pravděpodobnost ozáření musí být udržováno na tak nízké úrovni, jaké je možno dosáhnout s ohledem na ekonomické a sociální hlediska.
- c) Limitování dávek a rizika: Opatření jsou zaměřena na takový stupeň ochrany, aby nikdo nebyl ozářen takovou dávkou, která by za normálních podmínek byla považována v dané situaci za nepřijatelnou.
- d) Zabezpečení zdrojů: Jedná se o ochranu zdrojů před nepovolanými osobami.

Za normálních podmínek je možno dosáhnout mnohem vyšší ochrany před ionizujícím zářením, než je určeno v zákonech a vyhláškách. Problém nastává v případě radiačních nehod. Pro ty jsou však vytvořeny velmi podrobné plány a jejich "chování" a důsledky lze s určitou jistotou předvídat. Jiným problémem je možné zneužití radioaktivních zdrojů pro teroristické účely, které nelze tak dobře předvídat, je nesmírně obtížné správně vyhodnotit situaci a odhadnout nebezpečí. Nicméně těchto případů je pouze malé množství.

Pro lékařské ozáření není žádná maximální roční dávka stanovena a je na lékaři vyhodnocení přínosnosti, rizika a dodržení tzv. diagnostických referenčních úrovní. Toto však neplatí pro personál a pacienty, jímž nebylo ozáření indikováno. Pro omezení ozáření osob, vystavených ionizujícímu záření jsou zavedeny tzv. limity, které se dělí na:

**A. Obecné limity:** "jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 1 mSv za kalendářní rok nebo za podmínek stanovených v povolení k provozu pracoviště III. nebo IV. kategorie výjimečně hodnota 5 mSv za dobu 5 za sebou jdoucích kalendářních roků,
- b) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 15 mSv za kalendářní rok,
- c) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm<sup>2</sup> kůže hodnota 50 mSv za kalendářní rok.

(2) Obecné limity se vztahují na celkové ozáření ze všech radiačních činností, kromě

- a) profesního ozáření podle § 2 písm. x) bodu 1 zákona," [D]

**B. Limity pro radiační pracovníky:** "jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků,
- b) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 50 mSv za kalendářní rok,
- c) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 150 mSv za kalendářní rok,
- d) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm<sup>2</sup> kůže hodnota 500 mSv za kalendářní rok,

e) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky hodnota 500 mSv za kalendářní rok.

(2) Limity pro radiační pracovníky se vztahují na profesní ozáření, tj. na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci radiační pracovníci.”  
[D]

- C. **Limity pro učně a studenty:** se týkají studentů ve věku 16-18 let. Jelikož v dané nemocnici v současné době žádné osoby splňující tuto podmínku nepůsobí, nebudou více rozebírány.
- D. **Odvozené limity:** Jedná se o pomocné kvantitativní ukazatele, sloužící ve vybraných případech k prokázání, že limity pro radiační pracovníky nebyly překročeny.
- E. **Autorizované limity:** Jsou zpravidla výsledkem optimalizace radiační ochrany pro jednotlivý zdroj, nebo jednotlivou činnost.

Dále se v rámci radiační ochrany vymezují tzv. “pásma”, jejichž zřizování a podmínky upravuje vyhláška č. 307/2002 Sb. “o radiační ochraně”. Rozlišujeme:

- A. Sledované pásmo: “se vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst. 1 písm. c) až e).” [D] a “Ve sledovaném pásmu se zajišťuje pouze monitorování pracoviště, pokud není v programu monitorování stanoveno jinak.” [D]
- B. Kontrolované pásmo: “se vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo kde by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst. 1 písm. c) až e). Pokud není zvláštním způsobem nakládání se zdroji ionizujícího záření, například časově omezeným používáním, odůvodněno jinak, je účelné kontrolované pásmo vymezit tam, kde se očekává, že
  - a) příkon dávkového ekvivalentu ze zevního ozáření na pracovním místě bude v průměru za rok při běžném provozu zdroje záření vyšší než 2,5 mikroSv/h,
  - b) součet součinů objemových aktivit jednotlivých radionuklidů v ovzduší na pracovišti a konverzních faktorů hinh pro příjem vdechnutím radiačním



pracovníkem podle přílohy č. 3 bude v průměru za rok větší než 2,5 mikroSv.m-3” [D]

### 1.3 Použité statistické metody

Statistické metody slouží ke zkoumání jevů, vyskytujících se v masovém měřítku. Tyto jevy se mohou neustále opakovat (např.: průměrný věk obyvatel, výdaje obyvatelstva, svítivost Slunce, výška populace apod.). Takové jevy nazýváme “hromadnými jevy”. Lze tedy říci, že statistika se zabývá hromadnými jevy a jejich zkoumáním. Jejím cílem je popsat vlastnosti těchto jevů, jejich porovnání v prostoru či čase a odhalit jejich vzájemné souvislosti. Pro to, aby bylo možné toto učinit, je třeba znát metody a postupy vedoucí k danému cíli. Zároveň je nutné mít k dispozici potřebné informace – data, které tvoří statistický soubor.

V bakalářské práci bude použito základních metod deskriptivní a matematické statistiky. Prvním krokem bude samotné vytvoření základního statistického souboru dat, složeného z hodnot naměřených pomocí elektronických dozimetrů umístěných mezi skla oken radiodiagnostického oddělení nemocnice v Sedlčanech. Pro dosažení co možná nejmenší chyby měření bylo zvoleno umístění dozimetrů do spodní čtvrtiny, na střed okenní tabule a určen čtrnáctidenní interval odečítání hodnot. Navazovat bude formulace statistického šetření, která vytyčí základní statistické pojmy jako je statistický soubor, hromadný náhodný jev, statistická jednotka, statistický znak a jeho hodnota. Dalším krokem je škálování, jehož cílem je vhodně vyjádřit a seskupit hodnoty statistického znaku pomocí prvků škály. Čtvrtou částí je měření, jehož smyslem je přiřadit každé statistické jednotce jeden z “k” prvků škály. Výsledky měření vypovídají o tom, že daný prvek škály  $x_i$  byl naměřen  $i$ -krát. Deskriptivní statistiku zakončí elementární statistické zpracování, jehož součástí bude i grafické znázornění, vyjádřené pomocí polygonů absolutních a kumulativních četností.

Navazující bod je tzv. testování neparametrických hypotéz (neparametrické testování), ve kterém se testuje, zda empirickému rozdělení lze přiřadit teoretické rozdělení. Pro testování bude použit  $\chi^2$ -test (bude-li možný).

Dalšími statistickými metodami bude regresní analýza tvrdé a měkké složky rentgenového záření, pro charakteristiku změny průběhu závislosti proměnného znaku na změně nezávisle proměnné (zde změna hodnoty měkké složky v závislosti na změně tvrdé složky) a korelační analýza měřící těsnost závislosti – přesnost regresního odhadu.

## **2 Hypotézy a metodika výzkumu**

Vymezení základních teoretických vstupů umožnilo charakterizovat současný stav zkoumaného problému (Statistické šetření úniku měkké a tvrdé složky rentgenového záření mimo odborného pracoviště nemocnice v Sedlčanech) a potvrdit hypotézy a cíle práce vymezené v úvodu práce.

### **2.1 Hypotézy**

H1: Unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti měkké a tvrdé složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu.

H2: Mezi unikajícími dávkami tvrdé a měkké složky je pozitivní korelace.

H3: Unikající dávky jsou v souladu s normami.

### **2.2 Cíle práce**

- 1) Šetření úniku rentgenového záření na základě modelového znázornění prostorové struktury nemocnice v Sedlčanech.
- 2) Vymezení základních statistických pojmů a statistických metod.
- 3) Návrh opatření na základě výsledků statistického šetření a na základě konzultace se zřizovatelem nemocnice.
- 4) Zhodnocení výsledků z hlediska radiační ochrany

### **2.3 Popis metodiky**

- 1) Technické vybavení, prostorová analýza, vybrané parametry
- 2) Formulace statistického šetření
- 3) Škálování
- 4) Měření
- 5) Elementární statistické zpracování
- 6) Neparametrické testování
- 7) Měření statistických závislostí

- 8) Zpracování výsledků, komparační analýza s legislativou
- 9) Ověření hypotéz, návrh opatření a praktické přínosy práce
- 10) Návrhy pokračujících prací

### 2.3.1 Technické vybavení, prostorová analýza, vybrané parametry

Radiodiagnostické pracoviště nemocnice v Sedlčanech je vybaveno přístrojem Philips Bucky diagnost, typové označení: Optimus 50. Ochrana před ionizujícím zářením je vyřešena pomocí stínění barytem o vrstvě 30 mm, dveřmi krytým olovem tloušťky 2 mm a olovnatým sklem, propojující ozařovnu s ovladovnou. Jediným prvkem, postrádající ochranu stíněním jsou tak dvě okna, vedoucí do dvora nemocnice, který je volně přístupný personálu i pacientům, zejména jako prostor pro kouření. Prostorová analýza viz. příloha číslo 1. Fotodokumentace místnosti, zahrnující ochranu stíněním a zachycující nechráněná okna je obsažena v příloze číslo 2. Pro lepší přesnost byla vytvořena 3D modelace viz příloha č. 3.

### 2.3.2 Formulace statistického šetření

- a) **Hromadný náhodný jev:** Měření intenzity unikajícího rentgenového záření a poměru měkké a tvrdé složky tohoto záření.
- b) **Statistická jednotka:** Dozimetr umístěný v okně "A" a okně "B"
- c) **Statistický znak:** Změna intenzity unikajícího záření v závislosti na počtu vyšetření a expozic.
- d) **Hodnota statistického znaku:** Popis pomocí velikosti unikajícího záření v mSv
- e) **Základní statistický soubor:** Soubor všech naměřených hodnot, rovnající se počtu statistických jednotek.<sup>1</sup>
- f) **Výběrový statistický soubor:** Je souborem všech jednotek, které byly vybrány ze základního statistického souboru. Vzhledem k relativně malému základnímu

---

<sup>1</sup> *Základní statistický soubor a tedy i výběrový statistický soubor zahrnuje naměřené hodnoty tvrdé a měkké složky ionizujícího záření v "Okně A" a v "Okně B". Dále je jeho součástí záznam o počtu pacientů a počtu provedených expozic pro každých 14 dní.*

statistickému souboru se v tomto případě výběrový statistický soubor rovná základnímu statistickému souboru.

Mimo tyto parametry je v tabulce zahrnuto i jedno kontrolní měření v “Okně C” a “Okně D”, která se nacházejí ve druhé ozařovně. Tato nebyla po dohodě s vedením během měřených čtrnácti dní využívána a měření probíhalo bez rentgenového záření. Naměřené hodnoty nejsou nulové a jedná se o součet okolních vlivů na výsledky měření (chyba dozimetru, vliv pozadí, atp.). Je nutno podotknout, že předpokládáme stejné, nebo velmi podobné podmínky okolních vlivů. Tento předpoklad je možný proto, že měření probíhalo ve stejné nemocnici v rámci jednoho oddělení a ozařovny jsou od sebe vzájemně odděleny pouze jednou místností. Lze tedy předpokládat homogenitu podloží i stavebního materiálu obou ozařovacích místností. Dále je nám známo, že všechna okna jsou stejná (neliší se ani tloušťka skla, velikost, ani dřevěné rámy), situována jsou všechna stejným směrem a teplota na obou snímkovnách se rovněž příliš neliší.

V ideálním případě by samozřejmě bylo vhodné provést kontrolní měření bez rentgenového záření v “Okně A” a “Okně B”, kde probíhalo měření po celou dobu. Bohužel tato varianta nebyla možná z provozních důvodů. Další variantou pro přesnější výsledky by bylo provádět měření na všech oknech. Ani tato možnost nebyla realizována, jelikož k dispozici byly pouze dva dozimetry. Aby bylo zřetelné, že měření neprobíhalo na stejném místě, jsou v kontrolním měření okna označena jako “Okno C” a “Okno D”. Počet pacientů a expozic je samozřejmě nulový, přesto však byly nějaké hodnoty naměřeny. Nejzajímavější je porovnání “Okna B” s “Oknem D”. Před “Oknem B” je umístěn vertigraf (viz. prostorová analýza), zatímco před “Oknem D” není žádná překážka. Přesto jsou naměřené hodnoty poměrně blízké. Dokazuje to, že vertigraf sám vykryvá velké množství záření – téměř veškeré záření je v něm pohlceno. Dříve užívané dodatečné krytí, které se instalovalo za vertigraf tak ztrácí na významu (což pravděpodobně je důvodem k opuštění této metody). Avšak v tomto případě se nejedná pouze o prostor za vertigrafem, ale i kolem něj a nad ním. Nelze však nezmínit, že z hlediska statistického je mezi hodnotami významný rozdíl.

Naměřené údaje							
Číslo měření	Interval	Počet pacientů	Počet expozic	Okno A		Okno B	
				d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)
1	24.2.2014 - 9.3.2014	338	687	0,168	0,255	0,071	0,101
2	10.3.2014 - 23.3.2014	399	804	0,182	0,261	0,071	0,106
3	24.3.2014 - 6.4.2014	356	725	0,137	0,232	0,064	0,095
4	7.4.2014 - 20.4.2014	350	682	0,165	0,254	0,068	0,118
5	21.4.2014 - 4.5.2014	329	710	0,108	0,188	0,065	0,099
6	5.5.2014 - 18.5.2014	322	637	0,120	0,201	0,064	0,104
7	19.5.2014 - 1.6.2014	330	661	0,123	0,201	0,061	0,095
8	2.6.2014 - 15.6.2014	317	631	0,112	0,176	0,067	0,108
9	16.6.2014 - 29.6.2014	309	631	0,106	0,196	0,061	0,096
10	30.6.2014 - 13.7.2014	282	586	0,116	0,194	0,062	0,097
11	14.7.2014 - 27.7.2014	279	618	0,098	0,171	0,059	0,096
12	28.7.2014 - 10.8.2014	312	707	0,122	0,185	0,053	0,076
13	11.8.2014 - 24.8.2014	342	713	0,170	0,265	0,081	0,116
14	25.8.2014 - 7.9.2014	313	670	0,164	0,255	0,070	0,105
15	8.9.2014 - 21.9.2014	322	698	0,118	0,193	0,062	0,096
16	22.9.2014 - 5.10.2014	365	750	0,154	0,232	0,071	0,099
17	6.10.2014 - 19.10.2014	386	752	0,121	0,195	0,063	0,097
18	20.10.2014 - 2.11.2014	296	619	0,123	0,202	0,068	0,101
19	3.11.2014 - 16.11.2014	282	566	0,122	0,186	0,067	0,105
20	17.11.2014 - 30.11.2014	271	545	0,112	0,195	0,065	0,096
21	1.12.2014 - 14.12.2014	349	673	0,135	0,214	0,064	0,093
22	15.12.2014 - 28.12.2014	214	407	0,104	0,197	0,065	0,096
23	29.12.2014 - 11.1.2015	319	635	0,138	0,214	0,067	0,090
24	12.1.2015 - 25.1.2015	368	737	0,179	0,277	0,070	0,098
25	26.1.2015 - 8.2.2015	404	841	0,167	0,263	0,069	0,105
26	9.2.2015 - 22.2.2015	374	715	0,130	0,210	0,064	0,091
27	23.2.2015 - 8.3.2015	366	714	0,136	0,225	0,069	0,095
↓	↓↓ Kontrolní měření bez ozáření rtg přístrojem ↓↓						↓↓
Číslo měření	Označení vedlejších oken			Okno C		Okno D	
	Interval	Počet pacientů	Počet expozic	d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)
28	9.3.2015 - 22.3.2015	0	0	0,043	0,085	0,054	0,078

Tabulka 1 – Naměřené údaje

Pro další statistické zpracování byly hodnoty normovány na 500 expozií (viz. tabulka\*).

<b>Normované veličiny na 500 expozií</b>						
Číslo měření	Interval	Počet expozií	Okno A		Okno B	
			d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	d <sub>Hp</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)
1	24.2.2014 - 9.3.2014	687	0,122	0,185	0,051	0,073
2	10.3.2014 - 23.3.2014	804	0,113	0,162	0,044	0,065
3	24.3.2014 - 6.4.2014	725	0,094	0,160	0,044	0,065
4	7.4.2014 - 20.4.2014	682	0,120	0,186	0,049	0,086
5	21.4.2014 - 4.5.2014	710	0,076	0,132	0,045	0,069
6	5.5.2014 - 18.5.2014	637	0,094	0,157	0,050	0,081
7	19.5.2014 - 1.6.2014	661	0,093	0,152	0,046	0,072
8	2.6.2014 - 15.6.2014	631	0,088	0,139	0,053	0,085
9	16.6.2014 - 29.6.2014	631	0,084	0,155	0,048	0,076
10	30.6.2014 - 13.7.2014	586	0,099	0,165	0,052	0,082
11	14.7.2014 - 27.7.2014	618	0,079	0,138	0,047	0,077
12	28.7.2014 - 10.8.2014	707	0,086	0,131	0,037	0,053
13	11.8.2014 - 24.8.2014	713	0,119	0,186	0,057	0,081
14	25.8.2014 - 7.9.2014	670	0,122	0,190	0,052	0,078
15	8.9.2014 - 21.9.2014	698	0,084	0,138	0,044	0,069
16	22.9.2014 - 5.10.2014	750	0,102	0,154	0,047	0,066
17	6.10.2014 - 19.10.2014	752	0,080	0,129	0,042	0,064
18	20.10.2014 - 2.11.2014	619	0,099	0,163	0,055	0,081
19	3.11.2014 - 16.11.2014	566	0,107	0,164	0,059	0,092
20	17.11.2014 - 30.11.2014	545	0,102	0,179	0,059	0,088
21	1.12.2014 - 14.12.2014	673	0,100	0,159	0,047	0,069
22	15.12.2014 - 28.12.2014	407	0,127	0,242	0,079	0,118
23	29.12.2014 - 11.1.2015	635	0,108	0,168	0,053	0,071
24	12.1.2015 - 25.1.2015	737	0,121	0,188	0,047	0,066
25	26.1.2015 - 8.2.2015	841	0,099	0,156	0,041	0,062
26	9.2.2015 - 22.2.2015	715	0,090	0,147	0,044	0,063
27	23.2.2015 - 8.3.2015	714	0,095	0,157	0,048	0,066

Tabulka 2 – Normované veličiny na 500 expozií

*\*Tabulka uvádí skutečný počet expozií, avšak hodnoty jsou již normovány.*

Záznam o kontrolním měření byl z této tabulky vyňat, jelikož jej není možno normovat na 500 expozií a pro statistické zpracování není významný. Nicméně se k němu

vrátíme v části související s radiační ochranou, kde bude využit k výpočtu záření, vydané rentgenkou.

### 2.3.3 Škálování

Minimální hodnota pro “Okno A”:  $D_{Hp} = 0,076$ ;  $D_{2ndHs} = 0,129$

Minimální hodnota pro “Okno B”:  $D_{Hp} = 0,037$ ;  $D_{2ndHs} = 0,053$

Maximální hodnota pro “Okno A”:  $D_{Hp} = 0,127$ ;  $D_{2ndHs} = 0,242$

Maximální hodnota pro “Okno B”:  $D_{Hp} = 0,079$ ;  $D_{2ndHs} = 0,118$

Pro konstrukci stupnice byla vybrána kvantitativní metrická škála a aplikací robustní analýzy byly vytvořeny následující 4 prvky škály (pro každé okno a složku)

#### Okno A

$D_{Hp}$	$D_{2ndHs}$
$x_1 = 1: (-\infty; 0,084>$	$x_1 = 1: (-\infty; 0,138>$
$x_2 = 2: (0,084; 0,1025>$	$x_2 = 2: (0,138; 0,1615>$
$x_3 = 3: (0,1025; 0,121>$	$x_3 = 3: (0,1615; 0,185>$
$x_4 = 4: (0,121; \infty)$	$x_4 = 4: (0,185; \infty)$

#### Okno B

$D_{Hp}$	$D_{2ndHs}$
$x_1 = 1: (-\infty; 0,042>$	$x_1 = 1: (\infty; 0,064>$
$x_2 = 2: (0,042; 0,0485>$	$x_2 = 2: (0,064; 0,074>$
$x_3 = 3: (0,0485; 0,055>$	$x_3 = 3: (0,074; 0,084>$
$x_4 = 4: (0,055; \infty)$	$x_4 = 4: (0,084; \infty)$

### 2.3.4 Měření

Pro měření úniku ionizujícího záření bylo použito dvou osobních elektronických dozimetrů typu DMC 2000 XB zapůjčených Zdravotně sociální fakultou Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (smlouva o zapůjčení viz. příloha č. 4). Měření bylo oficiálně povoleno vrchním laborantem a paní primářkou radiodiagnostického oddělení



nemocnice v Sedlčanech (viz. příloha č. 5). Dozimetry byly umístěny mezi skla obou oken, ve spodní čtvrtině a na středu tabule (obr. viz. příloha č. 6). Měřena byla měkká a tvrdá složka rentgenového záření v již zmíněném čtrnáctidenním intervalu.

Z hlediska statistiky rozumíme pod pojmem měření proces přiřazování jednoho z k-prvků škály každé statistické jednotce výběrového (v našem případě základního) statistického souboru.

### 2.3.5 Elementární statistické zpracování

#### A. Tabulka intervalového rozdělení četností:

Okno	Složka	$x_i$	$n_i$	$n_i/n$	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
A	$D_{Hp}$	1	5	0,1852	0,1852	5	5	5	5
		2	13	0,4815	0,6667	26	52	104	208
		3	6	0,2222	0,8889	18	54	162	486
		4	3	0,1111	1,0000	12	48	192	768
		$\Sigma$	27	1,0000		61	159	463	1467
	$D_{2ndHs}$	1	5	0,1852	0,1852	5	5	5	5
		2	10	0,3704	0,5556	20	40	80	160
		3	7	0,2593	0,8148	21	63	189	567
		4	5	0,1852	1,0000	20	80	320	1280
		$\Sigma$	27	1,0000		66	188	594	2012
B	$D_{Hp}$	1	3	0,1111	0,1111	3	3	3	3
		2	12	0,4444	0,5556	24	48	96	192
		3	8	0,2963	0,8519	24	72	216	648
		4	4	0,1481	1,0000	16	64	256	1024
		$\Sigma$	27	1,0000		67	187	571	1867
	$D_{2ndHs}$	1	4	0,1481	0,1481	4	4	4	4
		2	11	0,4074	0,5556	22	44	88	176
		3	7	0,2593	0,8148	21	63	189	567
		4	5	0,1852	1,0000	20	80	320	1280
		$\Sigma$	27	1,0000		67	191	601	2027

Tabulka 3 – Tabulka intervalového rozdělení četností

## B. Empirické parametry:

$$\text{Obecný moment } r\text{-tého řádu: } O_r(x) = 1/n \sum n_i \cdot (x_i)^r$$

### Okno A ( $D_{Hp}$ )

Obecný moment 1. řádu:  $O_1(x) = 2,259$   
Obecný moment 2. řádu:  $O_2(x) = 5,889$   
Obecný moment 3. řádu:  $O_3(x) = 17,148$   
Obecný moment 4. řádu:  $O_4(x) = 54,333$

### Okno B ( $D_{Hp}$ )

Obecný moment 1. řádu:  $O_1(x) = 2,481$   
Obecný moment 2. řádu:  $O_2(x) = 6,926$   
Obecný moment 3. řádu:  $O_3(x) = 21,148$   
Obecný moment 4. řádu:  $O_4(x) = 69,148$

### Okno A ( $D_{2ndHs}$ )

Obecný moment 1. řádu:  $O_1(x) = 2,444$   
Obecný moment 2. řádu:  $O_2(x) = 6,963$   
Obecný moment 3. řádu:  $O_3(x) = 22$   
Obecný moment 4. řádu:  $O_4(x) = 74,519$

### Okno B ( $D_{2ndHs}$ )

Obecný moment 1. řádu:  $O_1(x) = 2,481$   
Obecný moment 2. řádu:  $O_2(x) = 7,074$   
Obecný moment 3. řádu:  $O_3(x) = 22,259$   
Obecný moment 4. řádu:  $O_4(x) = 75,074$

$$\text{Centrální moment } r\text{-tého řádu: } C_r(x) = 1/n \sum n_i \cdot (x_i - O_1)^r$$

### Okno A ( $D_{Hp}$ )

Směrodatná odchylka:  $S_x = \sqrt{C_2(x)} = 0,887$   
Centrální moment 2. řádu:  $C_2(x) = 0,786$   
Centrální moment 3. řádu:  $C_3(x) = 0,294$   
Centrální moment 4. řádu:  $C_4(x) = 1,572$

### Okno B ( $D_{Hp}$ )

Směrodatná odchylka:  $S_x = \sqrt{C_2(x)} = 0,878$   
Centrální moment 2. řádu:  $C_2(x) = 0,770$   
Centrální moment 3. řádu:  $C_3(x) = 0,140$   
Centrální moment 4. řádu:  $C_4(x) = 1,402$

### Okno A ( $D_{2ndHs}$ )

Směrodatná odchylka:  $S_x = \sqrt{C_2(x)} = 0,995$   
Centrální moment 2. řádu:  $C_2(x) = 0,990$   
Centrální moment 3. řádu:  $C_3(x) = 0,144$   
Centrální moment 4. řádu:  $C_4(x) = 1,958$

### Okno B ( $D_{2ndHs}$ )

Směrodatná odchylka:  $S_x = \sqrt{C_2(x)} = 0,958$   
Centrální moment 2. řádu:  $C_2(x) = 0,919$   
Centrální moment 3. řádu:  $C_3(x) = 0,150$   
Centrální moment 4. řádu:  $C_4(x) = 1,768$

*\*Centrální moment 2. řádu:  $C_2(x) = \text{empirický rozptyl}$*

$$\text{Normované momenty: } N_3(x) = C_3(x) / C_2(x)^{\sqrt{C_2(x)}}$$

### Okno A ( $D_{Hp}$ )

$N_3(x) = 0,33160$  (šikmost)  
 $N_4(x) = 2,54445$  (špičatost)  
 $E_x = -0,45555$

### Okno B ( $D_{Hp}$ )

$N_3(x) = 0,16026$  (šikmost)  
 $N_4(x) = 11,40461$  (špičatost)  
 $E_x = 8,40461$

### Okno A ( $D_{2ndHs}$ )

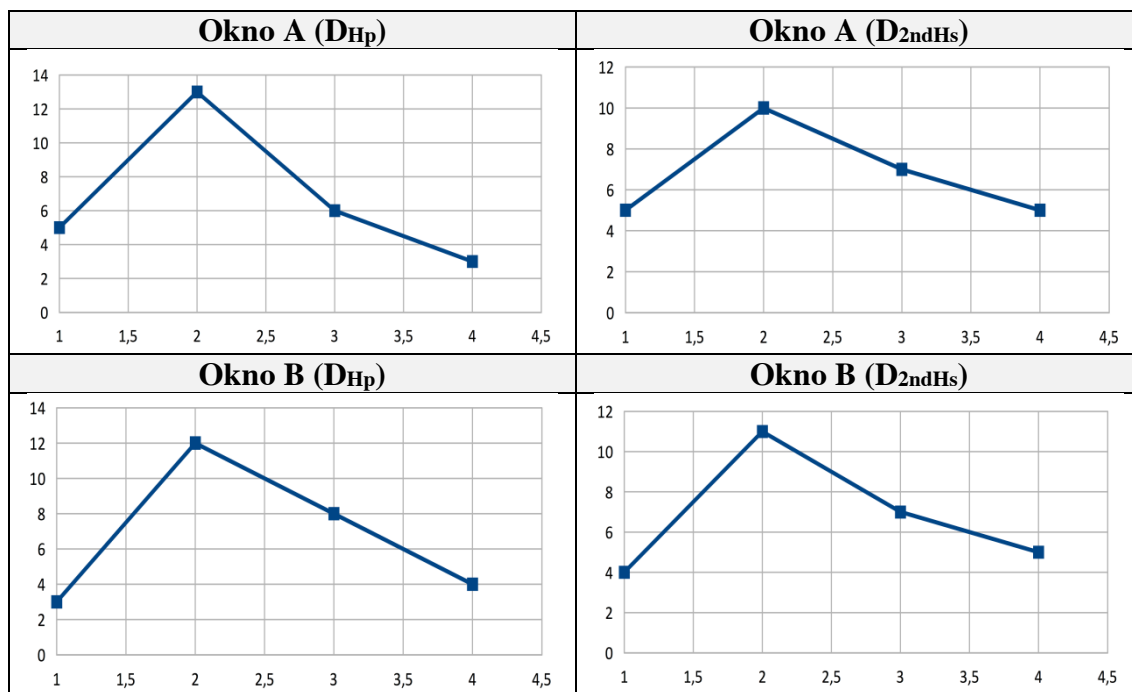
$N_3(x) = 0,14470$  (šikmost)  
 $N_4(x) = 1,99791$  (špičatost)  
 $E_x = -1,00209$

### Okno B ( $D_{2ndHs}$ )

$N_3(x) = 0,15663$  (šikmost)  
 $N_4(x) = 2,09554$  (špičatost)  
 $E_x = 0,90446$

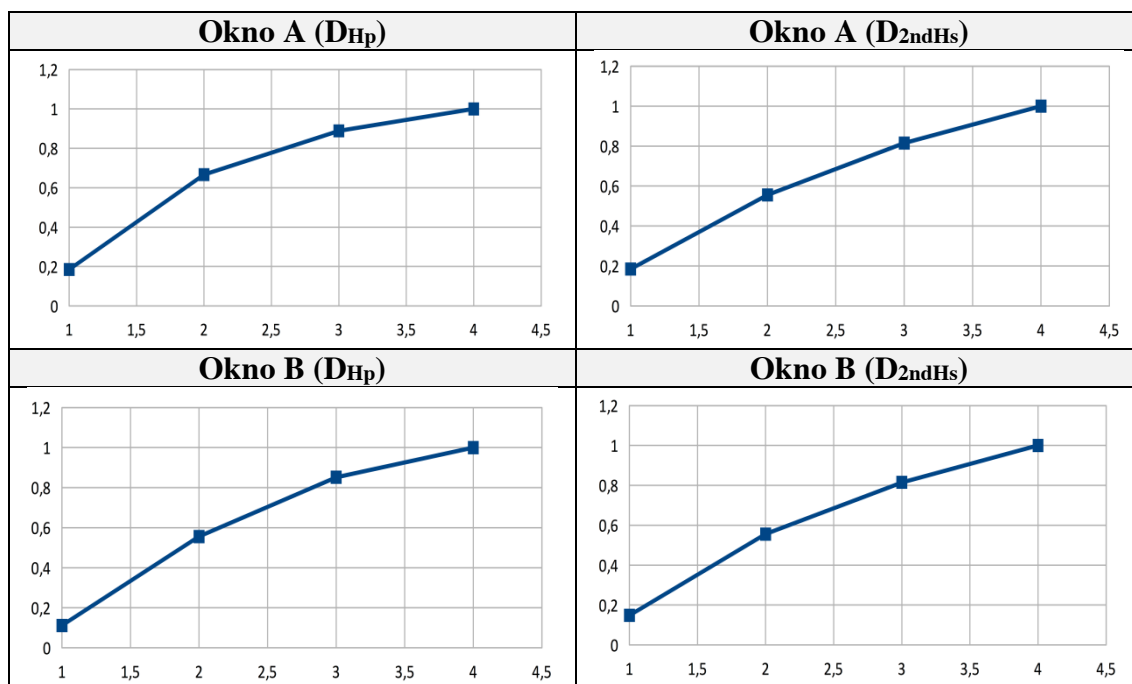
## C. Grafy

### A. Polygon absolutních četností



Tabulka 4 – Polygon absolutních četností

### B. Polygon kumulativních četností



Tabulka 5 – Polygon kumulativních četností

## 2.3.6 Neparametrické testování

A. Tabulka:

Okno	Složka	$x_i$	Interval	$n_i$	$n_i/n$	$\Sigma n_i/n$	$x_i n_i$	$x_i^2 n_i$	$x_i^3 n_i$	$x_i^4 n_i$
A	$D_{Hp}$	-0,00925	$(-\infty; 0,084>$	5	0,1852	0,1852	-0,04625	0,00043	-0,00000	0,00000
		0,09325	$(0,084; 0,1025>$	13	0,4815	0,6667	1,21225	0,11304	0,01054	0,00098
		0,11175	$(0,1025; 0,121>$	6	0,2222	0,8889	0,67050	0,07493	0,00837	0,00094
		0,232855	$(0,121; \infty)$	3	0,1111	1,0000	0,69857	0,16266	0,03788	0,00882
		$\Sigma$		27	1,0000		2,53507	0,35106	0,05679	0,01074
	$D_{2ndHs}$	0,1263	$(-\infty; 0,138>$	5	0,1852	0,1852	0,63150	0,07976	0,01007	0,00127
		0,14975	$(0,138; 0,1615>$	10	0,3704	0,5556	1,49750	0,22425	0,03358	0,00503
		0,17325	$(0,1615; 0,185>$	7	0,2593	0,8148	1,21275	0,21011	0,03640	0,00631
		0,196845	$(0,185; \infty)$	5	0,1852	1,0000	0,98423	0,19374	0,03814	0,00751
		$\Sigma$		27	1,0000		4,32598	0,70786	0,11819	0,02011
B	$D_{Hp}$	0,0388	$(-\infty; 0,042>$	3	0,1111	0,1111	0,11640	0,00452	0,00018	0,00001
		0,04525	$(0,042; 0,0485>$	12	0,4444	0,5556	0,54300	0,02457	0,00111	0,00005
		0,05175	$(0,0485; 0,055>$	8	0,2963	0,8519	0,41400	0,02142	0,00111	0,00006
		0,058345	$(0,055; \infty)$	4	0,1481	1,0000	0,23338	0,01362	0,00079	0,00005
		$\Sigma$		27	1,0000		1,30678	0,06413	0,00319	0,00016
	$D_{2ndHs}$	0,05905	$(-\infty; 0,064>$	4	0,1481	0,1481	0,23620	0,01395	0,00082	0,00005
		0,069	$(0,064; 0,074>$	11	0,4074	0,5556	0,75900	0,05237	0,00361	0,00025
		0,079	$(0,074; 0,084>$	7	0,2593	0,8148	0,55300	0,04369	0,00345	0,00027
		0,08895	$(0,084; \infty)$	5	0,1852	1,0000	0,44475	0,03956	0,00352	0,00031
		$\Sigma$		27	1,0000		1,99295	0,14957	0,01141	0,00088

Tabulka 6 – Neparametrické testování

Prvky stupnice byly nahrazeny jednotlivými středy intervalů ( $x_i$ ), což umožňuje pracovat s reálnými hodnotami místo pomocných hodnot (rozsah prvků). Z bodu této změny je třeba vypočítat nové hodnoty empirických parametrů.

## B. Empirické parametry pro nové hodnoty:

### Obecné momenty

#### Okno A ( $D_{Hp}$ )

1. řádu:  $O_1(x) = 0,093891$
2. řádu:  $O_2(x) = 0,013002$
3. řádu:  $O_3(x) = 0,002103$
4. řádu:  $O_4(x) = 0,000398$

#### Okno A ( $D_{2ndHs}$ )

1. řádu:  $O_1(x) = 0,160221$
2. řádu:  $O_2(x) = 0,026217$
3. řádu:  $O_3(x) = 0,004377$
4. řádu:  $O_4(x) = 0,000745$

#### Okno B ( $D_{Hp}$ )

1. řádu:  $O_1(x) = 0,048399$
2. řádu:  $O_2(x) = 0,002375$
3. řádu:  $O_3(x) = 0,000118$
4. řádu:  $O_4(x) = 0,000006$

#### Okno B ( $D_{2ndHs}$ )

1. řádu:  $O_1(x) = 0,073813$
2. řádu:  $O_2(x) = 0,005540$
3. řádu:  $O_3(x) = 0,000423$
4. řádu:  $O_4(x) = 0,000033$

### Centrální momenty

#### Okno A ( $D_{Hp}$ )

- $S_x = 0,0647030147597467$
2. řádu:  $C_2(x) = 0,004186480119$
  3. řádu:  $C_3(x) = 0,000096083608293942$
  4. řádu:  $C_4(x) = 0,0000627650726396535$

#### Okno A ( $D_{2ndHs}$ )

- $S_x = 0,0233715887136497$
2. řádu:  $C_2(x) = 0,000546231158999998$
  3. řádu:  $C_3(x) = 0,00000145063794772249$
  4. řádu:  $C_4(x) = 0,000000948893562812466$

#### Okno B ( $D_{Hp}$ )

- $S_x = 0,00570410369821591$
2. řádu:  $C_2(x) = 0,0000325367990000004$
  3. řádu:  $C_3(x) = -0,0000000971220696019946$
  4. řádu:  $C_4(x) = 0,0000000743710701324996$

#### Okno B ( $D_{2ndHs}$ )

- $S_x = 0,00957293220492026$
2. řádu:  $C_2(x) = 0,0000916410309999994$
  3. řádu:  $C_3(x) = 0,000000547381157594033$
  4. řádu:  $C_4(x) = 0,000000158009764311763$

### Normované momenty:

#### Okno A (D<sub>HP</sub>)

$$N_3(x) = 0,0014849943028268$$

$$N_4(x) = 3,58112903273591$$

$$E_x = 0,581129032735912$$

#### Okno A (D<sub>2ndHS</sub>)

$$N_3(x) = 0,0000620684355477842$$

$$N_4(x) = 3,18027415561467$$

$$E_x = 0,180274155614668$$

#### Okno B (D<sub>HP</sub>)

$$N_3(x) = -0,0000170267012558646$$

$$N_4(x) = 70,2513026753887$$

$$E_x = 67,2513026753887$$

#### Okno B (D<sub>2ndHS</sub>)

$$N_3(x) = 0,000057180093400504$$

$$N_4(x) = 18,8149900160205$$

$$E_x = 15,8149900160205$$

### C. Hustota pravděpodobnostní četnosti:

Spojité náhodné veličiny s hodnotami  $x \in (-\infty; \infty)$  může mít normální rozdělení. Graf, přiřazující hodnotám náhodné veličiny pravděpodobnosti je dán Gaussovou křivkou. Hledáme tedy pravděpodobnost, která bude přiřazena jednotkovému intervalu hodnot spojité náhodné veličiny. Zmíněný interval bude obsahovat hodnotu "x".

Ve spojitém případě je teoretické rozdělení nazýváno hustotou pravděpodobnosti. Pro hustotu pravděpodobnosti normálního rozdělení je tvar:

$$\rho(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \rho(x) dx$$

$\mu$  - teoretická analogie  $O_1(x)$

$\sigma^2$  - teoretická analogie  $C_2(x)$  [11]

Dále je nutné transformovat normální rozdělení na standardizované normální rozdělení. Standardizované normální rozdělení patří mezi spojitá rozdělení.

Grafické vyjádření standardizovaného normálního rozdělení je dáno Gaussovou křivkou. Tvar hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce standardizovaného normálního rozdělení je dán vzorcem:

$$\rho(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)$$

$$u = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad \left( U = \frac{x-\mu}{\sigma} \right)$$

$$F(u) = \int_{-\infty}^u \rho(u) du \quad [11]$$

#### D. Normování a aplikace $\chi^2$ - testu:

V níže uvedených tabulkách je provedeno normování pro nově získané hodnoty, vypočítána hodnota určující zda je či není možné provést  $\chi^2$  - test. Výsledná hodnota je porovnána s hodnotou, uvedenou ve statistických tabulkách. Tabulkami stanovená hodnota je označena jako " $\chi^2_{\text{teor}}$ ". Nami vypočítaná hodnota pak nese označení " $\chi^2_{\text{exp}}$ ". Pokud je vypočítaná hodnota nižší než teoretická, lze aplikovat  $\chi^2$  – test, který vyjádří (jak číselně, tak i graficky) do jaké míry je rozdělení podobné ideální Gaussovské křivce zvonovitého tvaru. Pokud by byla hodnota vyšší, je třeba zvolit test jiný (např. Kolmogorov-Smirnovův test. Ten je vhodný, pokud pracujeme s menším množstvím dat, avšak lze využít i jako ověřovací proces. Rovněž lze jeho pomocí určit, zda dva výběry pocházejí ze stejného rozdělení). Platí tedy, že když  $\chi^2_{\text{teor}} > \chi^2_{\text{exp}}$  tak nelze zamítnout normální rozdělení a tedy předpokládáme normální rozdělení, či rozdělení blízké normálnímu (normované normální rozdělení je vlastně ideálním případem, znázorněn přesnou Gaussovou křivkou která má zvonovitý tvar tzv. "bell curve"). Zde jsme hledali  $\chi^2$  pro hladinu významnosti  $\alpha = 0,05$  (tj. 5%) a počet stupňů volnosti  $v = k-1$  (tedy  $4-1 = 3$ ). Z tabulek vyšlo, že při těchto parametrech je kritická hodnota rovna  $\chi^2_{\text{teor}} = 7,81473$ . Ve všech případech bylo možné  $\chi^2$  - test aplikovat.

Veškeré výpočty, hodnoty, výsledné grafy + ideální Gaussova křivka pro porovnání viz. tabulky níže.

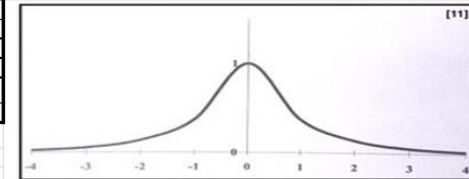
### Okno A (D<sub>HP</sub>)

X <sub>i</sub>	Interval	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /n	∑ n <sub>i</sub> /n	X <sub>i</sub> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>3</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>4</sup> n <sub>i</sub>	ϕ <sub>1</sub> (X <sub>i</sub> ;k)	ϕ <sub>1</sub> (X <sub>i</sub> ;k) <sup>2</sup>	ϕ <sub>1</sub> (X <sub>i</sub> ;k) <sup>3</sup>	ϕ <sub>1</sub> (X <sub>i</sub> ;k) <sup>4</sup>
0,0748	(-∞; 0,094 >	5	0,1852	0,1852	0,2740	0,0230	0,0021	0,0002	-0,1168	0,0027	-0,0001	0,0000
0,0933	(0,094; 0,1025 >	13	0,4815	0,6667	1,2113	0,1130	0,0105	0,0010	-0,0626	0,0003	0,0000	0,0000
0,1118	(0,1025; 0,121 >	6	0,2222	0,8889	0,6705	0,0749	0,0084	0,0009	0,0821	0,0011	0,0000	0,0000
0,1303	(0,121; ∞)	3	0,1111	1,0000	0,3910	0,0510	0,0066	0,0009	0,0988	0,0031	0,0001	0,0000
		27	1,0000		2,6478	0,2669	0,0277	0,0029	0,0000	0,0073	0,0001	0,0000

Hranice intervalu	Normované U	F(u)	p	n*p	Ni	Test
0,0760	-1,3429	0,0892	0,1063	2,8699	5	1,5810
0,0940	-0,8380	0,1925	0,4111	11,1006	13	0,3120
0,1025	0,2704	0,6066	0,3125	8,4370	6	0,7089
0,1210	1,3988	0,9191	0,0421	1,1376	3	3,0482
0,1270	1,7648	0,9612	0,3720		27	5,6891

O1	0,0981
O2	0,0099
O3	0,0010
O4	0,0001
3x	0,0164
C2	0,0003
N2	0,4138
N4	2,3320

Pro srovnání: ideální gaussova křivka v typickém zvonovitém tvaru



Hledáme  $\chi^2$  pro hladinu významnosti  $\alpha=0,05$  a počet stupňů volnosti = 3 ( $k-1$ ):

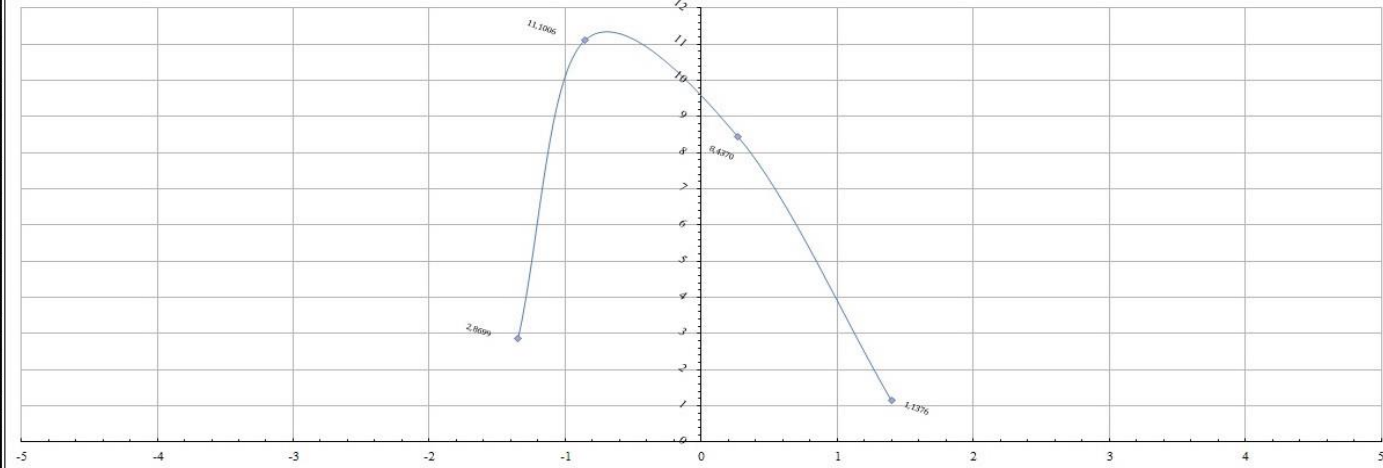
p	0,0981
$\sigma$	0,0164
$\sigma^2$	0,0003

$\chi^2_{teor} = 7,81473$  >  $\chi^2_{exp} = 5,6591$   
 ↓  
 ↓

Nezje zamítout normální rozdělení => Má normální rozdělení

0,122	0,0006
0,113	0,0002
0,094	0,0000
0,12	0,0005
0,076	0,0005
0,094	0,0000
0,083	0,0000
0,088	0,0001
0,084	0,0002
0,099	0,0000
0,079	0,0004
0,086	0,0001
0,119	0,0004
0,122	0,0006
0,084	0,0002
0,102	0,0000
0,08	0,0003
0,099	0,0000
0,107	0,0001
0,102	0,0000
0,1	0,0000
0,127	0,0008
0,108	0,0001
0,121	0,0005
0,099	0,0000
0,09	0,0001
0,095	0,0000
2,703	0,0028
$\bar{x}$	0,0002
SD	0,0145

### Výsledný graf pro Okno A (D<sub>HP</sub>)





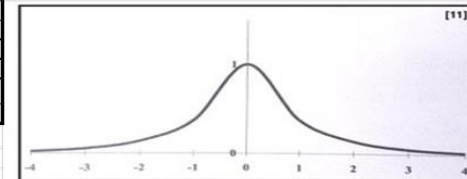
## Okno A (D<sub>2nd</sub>Hs)

X <sub>i</sub>	Interval	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /n	∑ n <sub>i</sub> /n	X <sub>i</sub> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>3</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>4</sup> n <sub>i</sub>	h <sub>1,(D6,x)</sub>	h <sub>1,(D6,x)</sub> <sup>2</sup>	h <sub>1,(D6,x)</sub> <sup>3</sup>	h <sub>1,(D6,x)</sub> <sup>4</sup>
0,1255	(-∞; 0,135 >	5	0,1852	0,1852	0,6315	0,0795	0,0101	0,0013	-0,1696	0,0038	-0,0002	0,0000
0,1495	(0,135; 0,1613 >	10	0,3704	0,5556	1,4975	0,2245	0,0336	0,0050	-0,1047	0,0011	0,0000	0,0000
0,1733	(0,1613; 0,185 >	7	0,2593	0,8148	1,2123	0,2101	0,0364	0,0063	0,0912	0,0012	0,0000	0,0000
0,1968	(0,185; ∞)	5	0,1852	1,0000	0,9842	0,1937	0,0381	0,0075	0,1831	0,0067	0,0002	0,0000
		27	1,0000		4,3280	0,7079	0,1182	0,0201	0,0000	0,0147	0,0001	0,0000

Hranice intervalu	Normované U	F(u)	p	n*p	Ni	Test
0,1290	-1,1860	0,0808	0,0801	2,1616	5	3,7273
0,1350	-0,8509	0,1708	0,1510	9,4768	10	0,0289
0,1613	0,0247	0,5218	0,3337	9,0095	7	0,4482
0,1850	1,0803	0,8555	0,1443	3,8951	5	0,3134
0,2420	3,4892	0,9998	0,0002	0,7273	27	4,5178

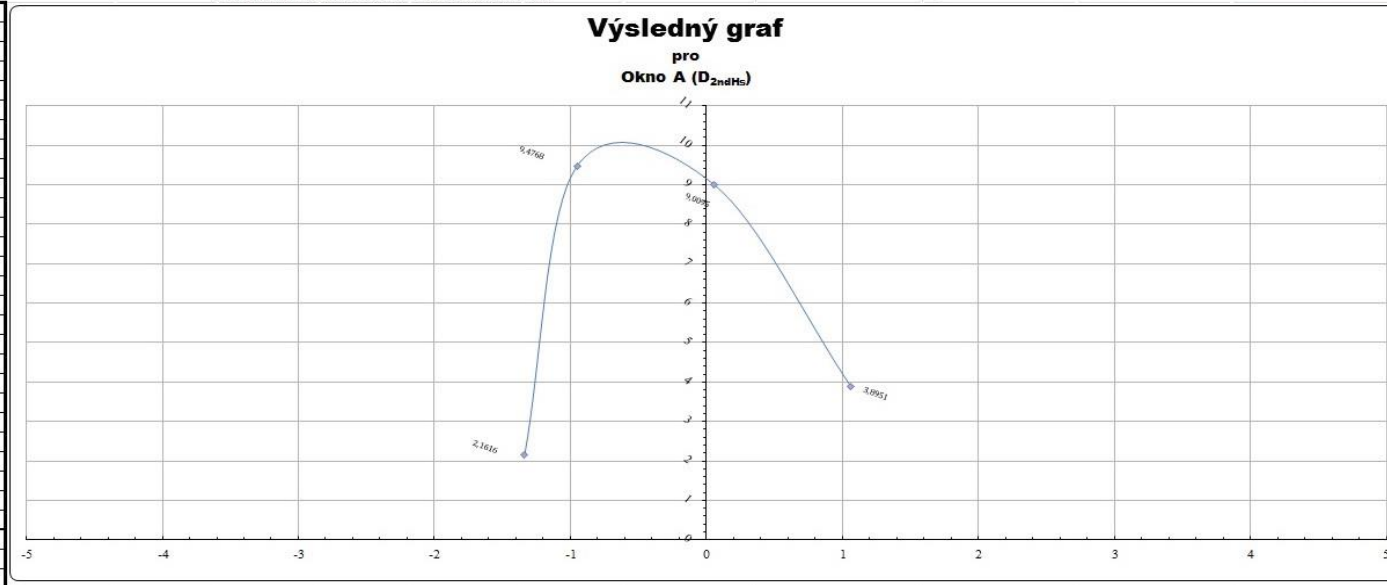
O1	0,1602
O2	0,0262
O3	0,0044
O4	0,0007
S1	0,0234
C2	0,0003
N3	0,1590
N4	1,9793

Pro srovnání: ideální Gaussova křivka v typickém zvlněném tvaru



Hledáme  $\chi^2$  pro hladinu významnosti  $\alpha=0,05$  a počet stupňů volnosti = 3 ( $k-1$ ).  
 $\chi^2_{teor} = 7,8147$   
 $\chi^2_{exp} = 4,5178$   
 Nelze zamítnout normální rozdělení => Má normální rozdělení

p	0,1602
σ	0,0234
s <sup>2</sup>	0,0005
0,185	0,0008
0,162	0,0000
0,16	0,0000
0,186	0,0007
0,132	0,0008
0,157	0,0000
0,152	0,0001
0,139	0,0003
0,155	0,0000
0,165	0,0000
0,138	0,0003
0,131	0,0009
0,186	0,0007
0,19	0,0008
0,138	0,0003
0,154	0,0000
0,129	0,0010
0,163	0,0000
0,164	0,0000
0,179	0,0004
0,159	0,0000
0,242	0,0067
0,168	0,0001
0,188	0,0008
0,156	0,0000
0,147	0,0002
0,157	0,0000
4,882	0,0192
$\bar{x}$	0,0006
SD	0,0238



## Okno B (D<sub>Hp</sub>)

X <sub>i</sub>	Interval	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /n	Σ n <sub>i</sub> /n	X <sub>i</sub> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>3</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>4</sup> n <sub>i</sub>	Π <sub>1</sub> (D <sub>Hp</sub> )	Π <sub>1</sub> (D <sub>Hp</sub> ) <sup>2</sup>	Π <sub>1</sub> (D <sub>Hp</sub> ) <sup>3</sup>	Π <sub>1</sub> (D <sub>Hp</sub> ) <sup>4</sup>
0,0258	(-∞; 0,042 >	3	0,1111	0,1111	0,1164	0,0045	0,0002	0,0000	-0,0238	0,0003	0,0000	0,0000
0,0453	(0,042; 0,0483 >	12	0,4444	0,5556	0,5430	0,0246	0,0011	0,0001	-0,0378	0,0001	0,0000	0,0000
0,0518	(0,0483; 0,0535 >	8	0,2963	0,8519	0,4140	0,0214	0,0011	0,0001	0,0288	0,0001	0,0000	0,0000
0,0583	(0,0535; ∞)	4	0,1481	1,0000	0,2334	0,0136	0,0008	0,0000	0,0398	0,0004	0,0000	0,0000
		27	1,0000		1,3068	0,0641	0,0032	0,0002	0,0000	0,0009	0,0000	0,0000

Hranice intervalu	Normované U	F(u)	p	n*p	Ni	Test
0,0370	-1,9937	0,0230	0,1083	2,9242	3	0,0020
0,0420	-1,1203	0,1313	0,3757	10,1451	12	0,3391
0,0483	0,0176	0,5070	0,3880	9,9640	8	0,3871
0,0530	1,1256	0,8761	0,1239	3,3480	4	0,1278
0,0790	3,3372	1,0000	0,9770		27	0,8961

Hledáme  $\chi^2$  pro hladinu významnosti  $\alpha=0,05$  a počet stupňů volnosti = 3 ( $k-1$ ).

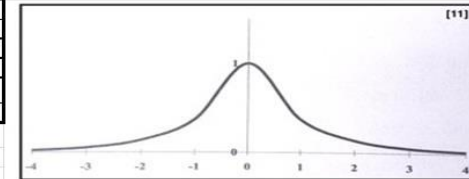
p	0,0484
$\sigma$	0,0037
$\sigma^2$	0,0000

$$\chi^2_{teor} = 7,81473 > \chi^2_{exp} = 0,3161$$

Nelze zamítnout normální rozdělení => Má normální rozdělení

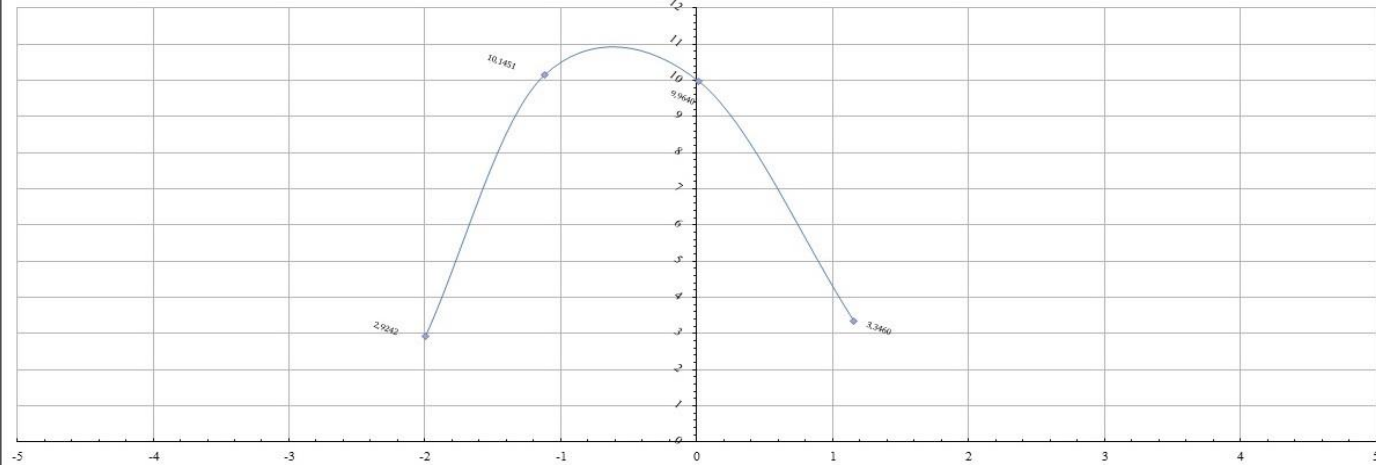
O1	0,0484
O2	0,0024
O3	0,0001
O4	0,0000
Sx	0,0037
C2	0,0000
N3	0,1400
N4	2,3241

Pro srovnání: ideální Gaussova křivka v typickém zvonovitém tvaru



0,051	0,0000
0,044	0,0000
0,044	0,0000
0,049	0,0000
0,045	0,0000
0,05	0,0000
0,046	0,0000
0,053	0,0000
0,048	0,0000
0,052	0,0000
0,047	0,0000
0,037	0,0001
0,057	0,0001
0,052	0,0000
0,044	0,0000
0,047	0,0000
0,042	0,0000
0,055	0,0000
0,059	0,0001
0,059	0,0001
0,047	0,0000
0,079	0,0009
0,053	0,0000
0,047	0,0000
0,041	0,0001
0,044	0,0000
0,048	0,0000
s <sub>34</sub>	0,0017
$\bar{x}$	0,0001
SD	0,0078

### Výsledný graf pro Okno B (D<sub>Hp</sub>)



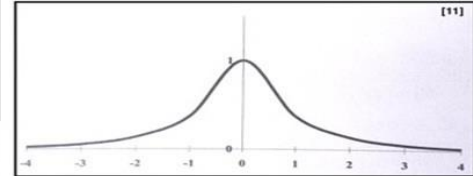
### Okno B (D<sub>2ndHs</sub>)

X <sub>i</sub>	Interval	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> /n	Σ n <sub>i</sub> /n	X <sub>i</sub> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>3</sup> n <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>4</sup> n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> (20-x <sub>i</sub> )	n <sub>i</sub> (20-x <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	n <sub>i</sub> (20-x <sub>i</sub> ) <sup>3</sup>	n <sub>i</sub> (20-x <sub>i</sub> ) <sup>4</sup>	
0,0391	(-∞; 0,064 >	4	0,1481	0,1481	0,2361	0,0139	0,0008	0,0000	→	-0,0592	0,0009	0,0000	→
0,0691	(0,064; 0,074 >	11	0,4074	0,5556	0,7596	0,0524	0,0056	0,0005	→	-0,0528	0,0008	0,0000	→
0,0791	(0,074; 0,084 >	7	0,2593	0,8148	0,5514	0,0437	0,0035	0,0003	→	0,0384	0,0001	0,0000	→
0,0890	(0,084; ∞)	5	0,1852	1,0000	0,4448	0,0596	0,0035	0,0005	→	0,0755	0,0011	0,0000	→
		27	1,0000		1,9939	0,1497	0,0114	0,0009	→	0,0000	0,0025	0,0000	→

Hranice intervalu	Normované U	F(u)	p	n*p	Ni	Test
0,0350	-2,1844	0,0145	0,1866	3,8889	4	0,0262
0,0640	-1,0318	0,1511	0,3253	8,2840	11	0,2060
0,0740	0,0181	0,5064	0,3499	9,4475	7	0,6240
0,0840	1,0640	0,8263	0,1437	3,8790	5	0,3240
0,1130	4,6287	1,0000	0,9855		27	1,1903

O1	0,0738
O2	0,0055
O3	0,0004
O4	0,0000
Sx	0,0095
C2	0,0001
N3	0,1723
N4	2,0670

Pro srovnání: ideální Gaussova křivka v typickém zvonovitém tvaru



Hledáme  $\chi^2$  pro hladinu významnosti  $\alpha=0,05$  a počet stupňů volnosti = 3 ( $k-1$ ):

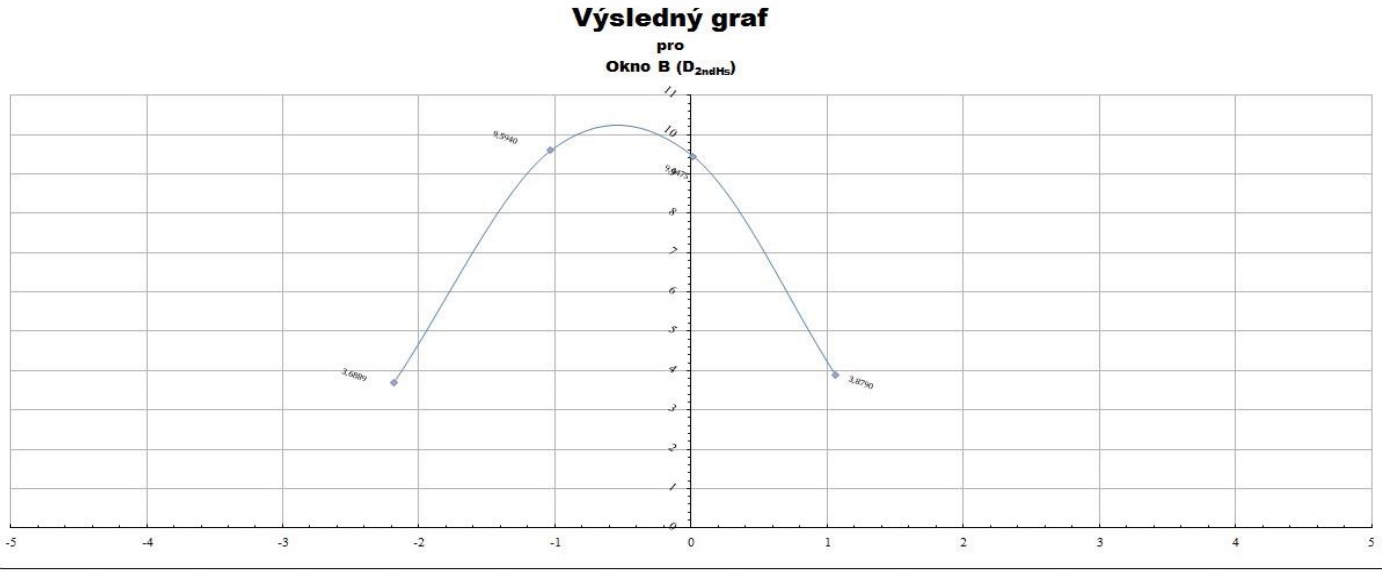
$\mu$	0,0738
$\sigma$	0,0095
$\sigma^2$	0,0001

$\chi^2_{teor} = 7,81473$        $\chi^2_{exp} = 1,1903$

↓ > ↓

Nelze zamítnout normální rozdělení => Má normální rozdělení

0,073	0,0000	→
0,065	0,0001	
0,065	0,0001	
0,086	0,0001	
0,069	0,0000	→
0,081	0,0001	
0,072	0,0000	→
0,085	0,0001	
0,076	0,0000	→
0,082	0,0001	
0,077	0,0000	→
0,083	0,0004	
0,081	0,0001	
0,078	0,0000	→
0,069	0,0000	
0,066	0,0001	→
0,064	0,0001	
0,081	0,0001	
0,082	0,0003	
0,058	0,0002	
0,069	0,0000	→
0,118	0,0019	
0,071	0,0000	→
0,066	0,0001	
0,062	0,0001	
0,063	0,0001	
0,066	0,0001	
2,018	0,0042	
$\bar{x}$	0,0002	
sD	0,0122	



Z tabulek je patrné, že teoretické rozdělení je ve všech případech blízké normálnímu, i když s různými odchylkami. Grafické vyjádření nám poskytuje možnost snadno určit, zda teoretické rozdělení je či není blízké rozdělení normálnímu. Dobře viditelné jsou i různé anomálie z dat v tabulkách. Pro porovnání je v tabulce zahrnuta graficky znázorněná ideální Gaussovská křivka.

### 2.3.7 Měření statistických závislostí

Pro určení vzájemné závislosti mezi tvrdou a měkkou složkou rentgenového záření v “Okně A” a “Okně B” byl zvolen Pearsonův korelační koeficient, který je vhodný pro měření síly vzájemné lineární korelace. V případech, kdy je zjištěna silná korelace mezi dvěma jevy, je pravděpodobná jejich provázanost. Nicméně to nutně neimplikuje kauzalitu. Například můžeme zjistit silnou korelaci mezi počtem sebevražd a počtem upečených bochníků chleba. Z tohoto však nelze usoudit, že pokud vyprodukuje více chleba, vzroste lineárně k tomu i počet spáchaných sebevražd.

Kauzální souvislost tedy určujeme pouze v případech, kdy sledujeme dva skutečně kauzálně související jevy, o kterých víme, že jsou provázány, nebo máme na základě již známých teorií důvod k takovému předpokladu. Pak nám Pearsonův korelační koeficient poskytuje vyjádření síly korelace kauzality. Kupříkladu lze předpokládat kauzální korelaci mezi počtem živelných katastrof a počtem jejich obětí. Pak jen zjišťujeme jak silná korelace je. Naopak tvrdit, “že když zdvojnásobíte počet vakcín, zdvojnásobíte kojeneckou úmrtnost v dané zemi” [G] není dle dosavadních vědeckých poznatků možné a to ani v případě, že by Pearsonův korelační koeficient vyšel 1 (tj. silná korelace). V našem případě u měřených veličin předpokládáme jak silnou lineární korelaci (dle H2), tak i kauzální provázanost, neboť nárůst tvrdé složky bude mít vliv na vzrůst měkké složky záření.

Pearsonův korelační koeficient, kterého pro šetření využíváme, je dán vztahem:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \times (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \times (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Kde  $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$  je aritmetický průměr prvních měření a  $\bar{Y}$  je aritmetický průměr druhých měření. [F]

Pro každé okno pak máme jednu tabulku s výsledným vyhodnocením lineární korelace. Koeficient nabývá hodnot od -1 do 1, kdy platí, že záporná hodnota -1 znamená silnou nepřímo úměrnou korelaci, hodnota 0 vyjadřuje negativní korelaci – tedy že hodnoty nejsou vzájemně vázány a hodnota 1 pak vyjadřuje silnou pozitivní korelaci. Výsledky viz. tabulky:

Okno A							
	D <sub>Hp</sub>	D <sub>2ndHs</sub>					
	yi	xi	xi^2	xi*yi	(xi-xpr)^2	(yi-ypr)^2	(xi-xpr)*(yi-ypr)
1	0.122	0.185	0,034225	0,02257	0,000515458	0,000479123	0,000496959
2	0.113	0.162	0,026244	0,018306	8,77915E-08	0,000166123	-3,81893E-06
3	0.094	0.16	0,0256	0,01504	5,27298E-06	3,73457E-05	1,40329E-05
4	0.12	0.186	0,034596	0,02232	0,000561866	0,000395568	0,00047144
5	0.076	0.132	0,017424	0,010032	0,000917866	0,000581346	0,000730477
6	0.094	0.157	0,024649	0,014758	2,80508E-05	3,73457E-05	3,23663E-05
7	0.093	0.152	0,023104	0,014136	0,000106014	5,05679E-05	7,32181E-05
8	0.088	0.139	0,019321	0,012232	0,000542717	0,000146679	0,000282144
9	0.084	0.155	0,024025	0,01302	5,32359E-05	0,000259568	0,000117551
10	0.099	0.165	0,027225	0,016335	7,31001E-06	1,23457E-06	-3,00412E-06
11	0.079	0.138	0,019044	0,010902	0,00059031	0,000445679	0,000512922
12	0.086	0.131	0,017161	0,011266	0,000979458	0,000199123	0,000441626
13	0.119	0.186	0,034596	0,022134	0,000561866	0,00035679	0,000447737
14	0.122	0.19	0,0361	0,02318	0,000767495	0,000479123	0,000606403
15	0.084	0.138	0,019044	0,011592	0,00059031	0,000259568	0,00039144
16	0.102	0.154	0,023716	0,015708	6,88285E-05	3,5679E-06	-1,56708E-05
17	0.08	0.129	0,016641	0,01032	0,001108643	0,000404457	0,000669626
18	0.099	0.163	0,026569	0,016137	4,95199E-07	1,23457E-06	-7,81893E-07
19	0.107	0.164	0,026896	0,017548	2,90261E-06	4,74568E-05	1,17366E-05
20	0.102	0.179	0,032041	0,018258	0,000279014	3,5679E-06	3,15514E-05
21	0.1	0.159	0,025281	0,0159	1,08656E-05	1,23457E-08	3,66255E-07
22	0.127	0.242	0,058564	0,030734	0,00635268	0,000723012	0,002143144
23	0.108	0.168	0,028224	0,018144	3,25322E-05	6,22346E-05	4,49959E-05
24	0.121	0.188	0,035344	0,022748	0,00066068	0,000436346	0,000536922
25	0.099	0.156	0,024336	0,015444	3,96433E-05	1,23457E-06	6,99588E-06
26	0.09	0.147	0,021609	0,01323	0,000233977	0,000102235	0,000154663
27	0.095	0.157	0,024649	0,014915	2,80508E-05	2,61235E-05	2,707E-05
Σ	2,703	4,382	0,726228	0,446909	0,01504563	0,005706667	0,008222111
$\bar{x}$	0,1001111111	0,162296296	0,026897333	0,016552185	0,000557246	0,000211358	0,000304523
$\sigma^2$	0,103961538	0,168538462	0,027931846	0,017188808	0,000578678	0,000219487	0,000316235
$\sigma$	0,322430672	0,410534361	0,167128233	0,131106093	0,024055728	0,0148151	0,017782999
Výběrová kovariance							0,000316235
n =	27		b =	0,546478367			
			a =	0,011419696			
Pearsonův koeficient korelace				0,887333556	=> Silná pozitivní závislost		

Tabulka 7 – Vyhodnocení lineární korelace "Okno A"

Okno B							
	D <sub>Hp</sub>	D <sub>2ndHs</sub>					
	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> *y <sub>i</sub>	(x <sub>i</sub> - x <sub>pr</sub> ) <sup>2</sup>	(y <sub>i</sub> - y <sub>pr</sub> ) <sup>2</sup>	(x <sub>i</sub> - x <sub>pr</sub> )*(y <sub>i</sub> - y <sub>pr</sub> )
1	0,051	0,073	0,005329	0,003723	3,03018E-06	1,87791E-06	-2,38546E-06
2	0,044	0,065	0,004225	0,00286	9,4882E-05	3,16927E-05	5,48368E-05
3	0,044	0,065	0,004225	0,00286	9,4882E-05	3,16927E-05	5,48368E-05
4	0,049	0,086	0,007396	0,004214	0,000126771	3,96433E-07	-7,08916E-06
5	0,045	0,069	0,004761	0,003105	3,29561E-05	2,14335E-05	2,65775E-05
6	0,05	0,081	0,006561	0,00405	3,91783E-05	1,37174E-07	2,31824E-06
7	0,046	0,072	0,005184	0,003312	7,51166E-06	1,31742E-05	9,94787E-06
8	0,053	0,085	0,007225	0,004505	0,000105252	1,13594E-05	3,45775E-05
9	0,048	0,076	0,005776	0,003648	1,58573E-06	2,65569E-06	-2,05213E-06
10	0,052	0,082	0,006724	0,004264	5,26968E-05	5,61866E-06	1,72071E-05
11	0,047	0,077	0,005929	0,003619	5,10425E-06	6,91495E-06	-5,94102E-06
12	0,037	0,053	0,002809	0,001961	0,00047266	0,000159508	0,000274578
13	0,057	0,081	0,006561	0,004617	3,91783E-05	5,43224E-05	4,61331E-05
14	0,052	0,079	0,006084	0,004056	1,06228E-05	5,61866E-06	7,72565E-06
15	0,044	0,069	0,004761	0,003036	3,29561E-05	3,16927E-05	3,23182E-05
16	0,047	0,066	0,004356	0,003102	7,64005E-05	6,91495E-06	2,29849E-05
17	0,042	0,064	0,004096	0,002688	0,000115364	5,82112E-05	8,19479E-05
18	0,055	0,081	0,006561	0,004455	3,91783E-05	2,88409E-05	3,36145E-05
19	0,059	0,092	0,008464	0,005428	0,000297882	8,78038E-05	0,000161726
20	0,059	0,088	0,007744	0,005192	0,000175808	8,78038E-05	0,000124244
21	0,047	0,069	0,004761	0,003243	3,29561E-05	6,91495E-06	1,5096E-05
22	0,079	0,118	0,013924	0,009322	0,001871364	0,000862619	0,00127054
23	0,053	0,071	0,005041	0,003763	1,39931E-05	1,13594E-05	-1,26077E-05
24	0,047	0,066	0,004356	0,003102	7,64005E-05	6,91495E-06	2,29849E-05
25	0,041	0,062	0,003844	0,002542	0,000162326	7,44705E-05	0,000109948
26	0,044	0,063	0,003969	0,002772	0,000137845	3,16927E-05	6,6096E-05
27	0,048	0,066	0,004356	0,003168	7,64005E-05	2,65569E-06	1,42442E-05
Σ	1,34	2,018	0,155022	0,102607	0,004195185	0,001644296	0,002454407
$\bar{x}$	0,04962963	0,074740741	0,005741556	0,003800259	0,000155377	6,08999E-05	9,0904E-05
$\sigma^2$	0,051538462	0,077615385	0,005962385	0,003946423	0,000161353	6,32422E-05	9,44003E-05
$\sigma$	0,227020839	0,278595378	0,077216479	0,062820563	0,012702491	0,007952494	0,009715981
Výběrová kovariance							9,44003E-05
n =	27		b =	0,585053412			
Pearsonův koeficient korelace			a =	0,005902304			
				0,934503744		=> Silná pozitivní závislost	

Tabulka 8 – Vyhodnocení lineární korelace "Okno B"

Z tabulek je patrná silná pozitivní korelace v obou případech. Přičemž v "Okně B" je závislost ještě výraznější. Na základě toho je možné potvrdit H2 jak pro "Okno A" tak pro "Okno B".

### 2.3.8 Zpracování výsledků, komparační analýza s legislativou

Z hlediska radiační ochrany lze na výsledné hodnoty unikajícího záření nahlížet dvěma způsoby. Prvním z nich je prosté porovnání hodnot s danými limity, kdy vycházíme z principu nejhorší možné situace, což je taková, že by dotyčná osoba stála za oknem celý rok a byla vystavována expozici zářením. Také hodnotu počítáme pro nejcitlivější orgán, kterým je oční čočka. Jelikož je prostor přístupný všem pracovníkům nemocnice i pacientům, vycházíme z obecných limitů. Výsledná hodnota za kalendářní rok by tak neměla přesáhnout 1mSv. Samozřejmě situace celoročního pobytu u okna je extrémní případ a lze počítat s faktorem pobytu, který dávku výrazně snižuje. Nicméně

při vyhodnocení počítáme s nejhorší možnou variantou. Tento pohled na věc nám jasně odpovídá na otázku, zda jsou či nejsou porušovány dané limity. Tak jednoznačnou odpověď již nedávají na otázku reálného rizika, plynoucího z možného vystavení ionizujícímu záření. Komplikuje to fakt, že stochastické účinky nejsou definovány prahovou dávkou jako deterministické a tak i malá dávka může představovat potencionální riziko.

Druhý náhled je komplexní a přistupuje k dané problematice z širšího pohledu. Neomezuje se pouze na předepsané limity, ale zaměřuje se na samotný princip ochrany. Zabývá se otázkou, proč dochází k ozáření a zejména tím, zda je ozáření odůvodněno. Lékařské ozáření není limitováno a vychází z toho, jaký bude jeho přínos a jaké je riziko. Platí, že přínos musí převyšovat riziko spojené s expozicí. O tom rozhoduje lékař jakožto specialista. Opačnou skupinu pak tvoří osoby, kterým nebylo ozáření indikováno, přičemž ozáření pro ně znamená určité riziko, současně však nemá žádný přínos. Výtěžnost je tedy nulová a riziko (byť nepatrné) podstupují. Takové ozáření není nikterak zdůvodněné a nemělo by k němu vůbec docházet - bez ohledu na to, zda je či není překročen limit. Pokud k tomuto dojde, je povinností provozovatele učinit bezpečnostní opatření, je-li to možné. Rozhodně nelze rozhodovat na základě finančních kalkulací, počítajících zda se opatření z finančního hlediska vyplatí, nebo dokonce přijít k závěru, že případná léčba způsobená u zlomku procenta populace vyjde levněji, než prevence. Z důvodu dvou úhlů pohledu jsou v tabulkách jak součty dávek za jeden rok, tak i dávky po odečtené hodnotě pozadí, kterou ovlivnit nelze. Předpokládáme zde homogenní podloží i stavební materiál. Po odečtení hodnot pozadí u každého měření lze získat, jakou měrou se na celkové dávce podílí dávka způsobená provozem pracoviště a dávka pozadí. Výsledky viz tabulka:

Naměřené údaje							
Číslo měření	Interval	Počet pacientů	Počet expozic	Okno A		Okno B	
				d <sub>HP</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	d <sub>HP</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)
1	24.2.2014 - 9.3.2014	338	687	0,168	0,255	0,071	0,101
2	10.3.2014 - 23.3.2014	399	804	0,182	0,261	0,071	0,106
3	24.3.2014 - 6.4.2014	356	725	0,137	0,232	0,064	0,095
4	7.4.2014 - 20.4.2014	350	682	0,165	0,254	0,068	0,118
5	21.4.2014 - 4.5.2014	329	710	0,108	0,188	0,065	0,099
6	5.5.2014 - 18.5.2014	322	637	0,12	0,201	0,064	0,104
7	19.5.2014 - 1.6.2014	330	661	0,123	0,201	0,061	0,095
8	2.6.2014 - 15.6.2014	317	631	0,112	0,176	0,067	0,108
9	16.6.2014 - 29.6.2014	309	631	0,106	0,196	0,061	0,096
10	30.6.2014 - 13.7.2014	282	586	0,116	0,194	0,062	0,097
11	14.7.2014 - 27.7.2014	279	618	0,098	0,171	0,059	0,096
12	28.7.2014 - 10.8.2014	312	707	0,122	0,185	0,053	0,076
13	11.8.2014 - 24.8.2014	342	713	0,17	0,265	0,081	0,116
14	25.8.2014 - 7.9.2014	313	670	0,164	0,255	0,07	0,105
15	8.9.2014 - 21.9.2014	322	698	0,118	0,193	0,062	0,096
16	22.9.2014 - 5.10.2014	365	750	0,154	0,232	0,071	0,099
17	6.10.2014 - 19.10.2014	386	752	0,121	0,195	0,063	0,097
18	20.10.2014 - 2.11.2014	296	619	0,123	0,202	0,068	0,101
19	3.11.2014 - 16.11.2014	282	566	0,122	0,186	0,067	0,105
20	17.11.2014 - 30.11.2014	271	545	0,112	0,195	0,065	0,096
21	1.12.2014 - 14.12.2014	349	673	0,135	0,214	0,064	0,093
22	15.12.2014 - 28.12.2014	214	407	0,104	0,197	0,065	0,096
23	29.12.2014 - 11.1.2015	319	635	0,138	0,214	0,067	0,09
24	12.1.2015 - 25.1.2015	368	737	0,179	0,277	0,07	0,098
25	26.1.2015 - 8.2.2015	404	841	0,167	0,263	0,069	0,105
26	9.2.2015 - 22.2.2015	374	715	0,13	0,21	0,064	0,091
27	23.2.2015 - 8.3.2015	366	714	0,136	0,225	0,069	0,095
Součet hodnot za 1 kalendářní rok (od 24.2.2014 do 24.2.2015)				3,494	5,612	1,712	2,579
↓↓	↓↓ Kontrolní měření bez ozáření rtg přístrojem ↓↓						
Číslo měření	Označení vedlejších oken			Okno C		Okno D	
	Interval	Počet pacientů	Počet expozic	d <sub>HP</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	d <sub>HP</sub> (mSv)	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)
28	9.3.2015 - 22.3.2015	0	0	0,043	0,085	0,054	0,078

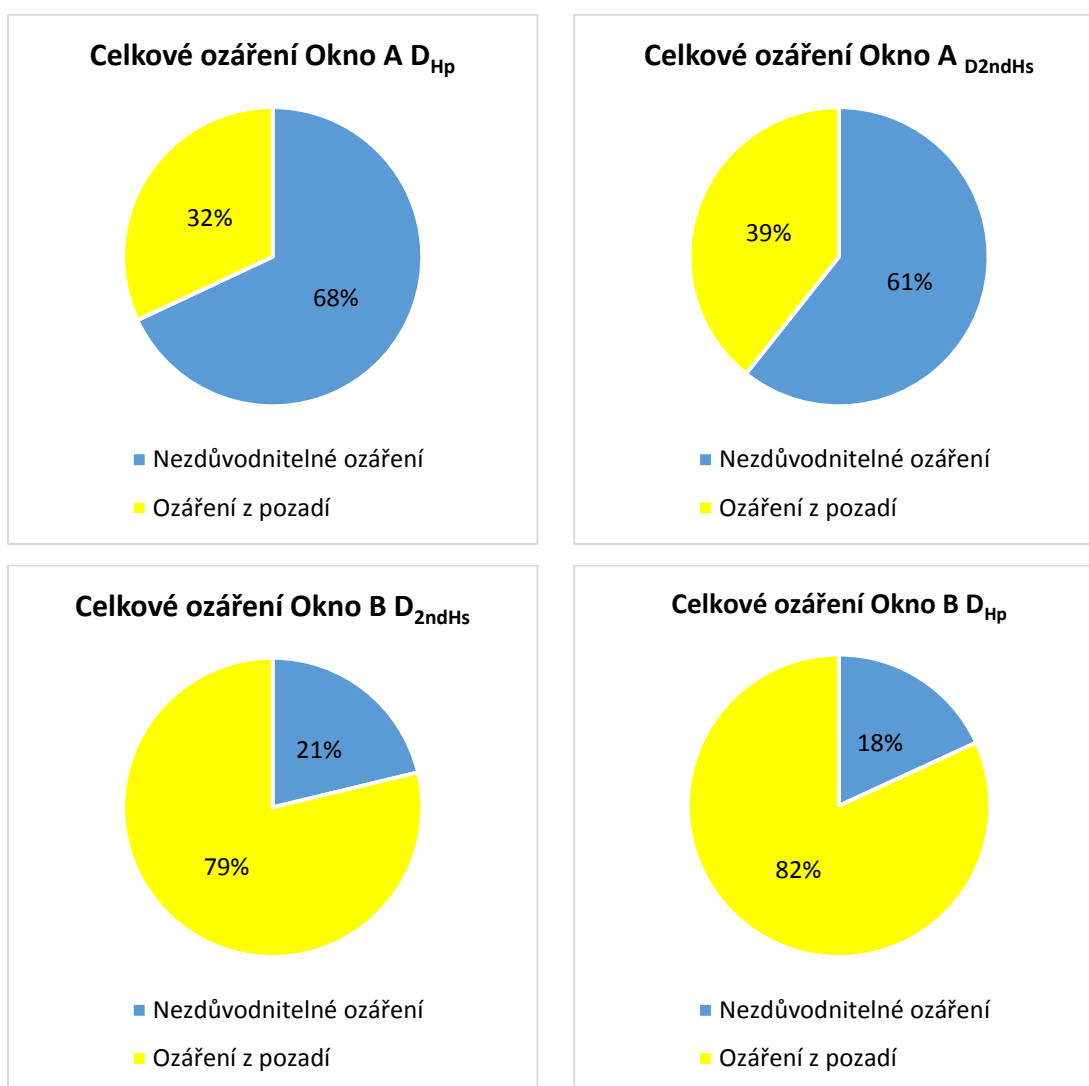
Tabulka 9 – Dávky za jeden rok (naměřené údaje)



Naměřené údaje + odečet pozadí							
Okno A				Okno B			
d <sub>HP</sub> (mSv)	-0,043	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	-0,085	d <sub>HP</sub> (mSv)	-0,054	d <sub>2ndHs</sub> (mSv)	-0,078
0,168	0,125	0,255	0,17	0,071	0,017	0,101	0,023
0,182	0,139	0,261	0,176	0,071	0,017	0,106	0,028
0,137	0,094	0,232	0,147	0,064	0,01	0,095	0,017
0,165	0,122	0,254	0,169	0,068	0,014	0,118	0,04
0,108	0,065	0,188	0,103	0,065	0,011	0,099	0,021
0,12	0,077	0,201	0,116	0,064	0,01	0,104	0,026
0,123	0,08	0,201	0,116	0,061	0,007	0,095	0,017
0,112	0,069	0,176	0,091	0,067	0,013	0,108	0,03
0,106	0,063	0,196	0,111	0,061	0,007	0,096	0,018
0,116	0,073	0,194	0,109	0,062	0,008	0,097	0,019
0,098	0,055	0,171	0,086	0,059	0,005	0,096	0,018
0,122	0,079	0,185	0,1	0,053	-0,001	0,076	-0,002
0,17	0,127	0,265	0,18	0,081	0,027	0,116	0,038
0,164	0,121	0,255	0,17	0,07	0,016	0,105	0,027
0,118	0,075	0,193	0,108	0,062	0,008	0,096	0,018
0,154	0,111	0,232	0,147	0,071	0,017	0,099	0,021
0,121	0,078	0,195	0,11	0,063	0,009	0,097	0,019
0,123	0,08	0,202	0,117	0,068	0,014	0,101	0,023
0,122	0,079	0,186	0,101	0,067	0,013	0,105	0,027
0,112	0,069	0,195	0,11	0,065	0,011	0,096	0,018
0,135	0,092	0,214	0,129	0,064	0,01	0,093	0,015
0,104	0,061	0,197	0,112	0,065	0,011	0,096	0,018
0,138	0,095	0,214	0,129	0,067	0,013	0,09	0,012
0,179	0,136	0,277	0,192	0,07	0,016	0,098	0,02
0,167	0,124	0,263	0,178	0,069	0,015	0,105	0,027
0,13	0,087	0,21	0,125	0,064	0,01	0,091	0,013
0,136	0,093	0,225	0,14	0,069	0,015	0,095	0,017
2,469		3,542		0,323		0,568	
<b>Pozadí:</b>	<b>1,161</b>	<b>Pozadí:</b>	<b>2,295</b>	<b>Pozadí:</b>	<b>1,458</b>	<b>Pozadí:</b>	<b>2,106</b>

*\*Červená barva značí u součtu hodnot překročení limitů (konkrétně pro obecné limity - oční čočku). Výpočetní hodnotu mají ...však až součty hodnot s odečteným pozadím. První součty jsou jen pro srovnání.*

Tabulka 10 – Dávky za jeden rok (údaje s odečtem pozadí)



Tabulka 11 – Grafy celkového ozáření

### 2.3.9 Ověření hypotéz, návrh opatření a praktické přínosy práce

Ze statistického šetření a komparační analýzy lze vyvodit závěr, že H1 “unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti tvrdé a měkké složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu” a to pro obě okna a obě složky záření. Výsledek potvrdil i Kolmogorov-Smirnovův test. Rovněž H2 lze potvrdit a konstatovat silnou pozitivní korelaci u obou oken, přičemž v “Okně B” je o něco silnější než v “Okně A”. Poslední hypotéza je potvrzena pro “Okno B ( $D_{Hp}$ )” a Okno B ( $D_{2ndHs}$ ). H3 však zamítáme

v případě “Okna A ( $D_{Hp}$ )” a “Okna A ( $D_{2ndHs}$ )” kde je výsledná hodnota oproti legislativním limitům vyšší, i po odečteném pozadí.

Opatření je možné realizovat krytím olovnatým sklem v oknech, případně krytím olovenou plochou před okny. Obě varianty jsou nákladnější než třetí možná varianta, která spočívá v prostém uzavření dvora. To by neplatilo jen pro osoby, které jsou z řad radiologických pracovníků, nebo osoby, jež vykonávají v prostoru nějakou pracovní činnost (oprava, úklid apod.). Rozhodně by nemělo být navýšeno z důvodu, že si dotyčná osoba chce dopřát odpočinku. Faktem je, že tato varianta zásadně neomezí provozovatele, ani provoz. Odpočinek, vycházku či cigaretu si mohou ti, kteří chtějí nebo potřebují dopřát u hlavního vchodu (což je momentálně zakázáno), nebo v prostoru za nemocnicí, kde je parkoviště a poměrně velká plocha spadající pod nemocnici a chráněná oplocením. V současné době je dvůr, kde k úniku ionizujícího záření dochází skutečně uzavřen, a k neodůvodnitelnému ozáření osob tak nedochází.

Vyřešení situace touto variantou je patrně nejvýznamnějším praktickým přínosem práce. Jednak je varianta snadná a nenákladná, přesto má efekt a obyvatelstvo (zde pacienti) ani personál (zejména z řad neradiologických pracovníků) není nadále bezdůvodně ozařováno. Práce a vyřešení situace může posloužit jako vzor pro jiná zdravotnická zařízení, kde by byl podobný problém. Práci je rovněž možno využít jako edukačního materiálu pro budoucí zdravotní pracovníky (aby si případně obdobně vzniklou chybu uvědomili a upozornili na ní) a pro studenty stavebních škol, pro budoucí, ale i současné projektanty.

### **2.3.10 Návrhy pokračujících prací**

I přes vyřešení situace by bylo vhodné provést obdobné měření i na protější budově (zvláště za okny), aby se zjistilo, kolik ionizujícího záření prochází na jiné pracoviště či lůžkovou část. V případě zjištění velkých hodnot, které by porušovaly dané, rovněž obecné limity by bylo již nutné zamezit úniku ionizujícího záření, a to již některou z finančně náročnějších variant. Přestože zde již překročení limitů není pravděpodobné, výsledky této práce ukázaly, že i H3 byla navzdory očekávání přijata jen z části. I kdyby

se únik záření nepotvrdil, bude to rovněž užitečný poznatek. V opačném případě by mělo být zamezeno neodůvodnitelnému ozařování dalších osob, což jistě stojí za prošetření.

### 3 Závěr

Využití rentgenového záření ve zdravotnictví (a nejen v něm) s sebou zároveň nese problematiku zajištění bezpečnosti jak pro personál, tak pro pacienty nemocnice a civilní obyvatelstvo. S tím je spojena povinnost vhodně situovat jak oddělení, ve kterých je ionizující záření využíváno, tak umístění zdrojů ionizujícího záření, aby se minimalizovaly případné negativní dopady ionizujícího záření na okolí. S tím rovněž souvisí zavedení ochrany stíněním, kdy nejčastěji se využívá dveří plněných olovem, betonu s krycí vrstvou barytu a olovnatých skel do ovladovny. V Sedlčanské nemocnici však došlo následkem stavební chyby k situaci, ve které je radiodiagnostické pracoviště vybaveno okny, jež vedou do dvora nemocnice (mimo jiné místu vyhrazenému pro kuřáky - většinou z řad pacientů a personálu) a jež postrádají krycí prvek proti úniku ionizujícího záření. Vzhledem k možné opakované expozici jedinců v těchto místech bylo zapotřebí zjistit, jak velké množství záření touto cestou uniká a zda byly výsledky v souladu s normami. Sběr dat probíhal měření pomocí dvou elektronických osobních dozimetrů "DMC 2 000 XB", které byly umístěny v dolní čtvrtině oken, na středu okenních tabulí. Měření probíhalo ve čtrnáctidenním intervalu po dobu jednoho roku. Celkově bylo takto naměřeno 27 hodnot, každé okno a každou složku záření.

Na základě vymezených cílů byly vytyčeny následující hypotézy:

H1: Unikající záření v daném časovém režimu má v oblasti tvrdé a měkké složky teoretické rozdělení blízké rozdělení normálnímu

H2: Mezi unikajícími dávkami tvrdé a měkké složky je pozitivní korelace

H3: Unikající dávky jsou v souladu s normami

Formulované hypotézy odrážejí základní rysy kvantitativního výzkumu. V průběhu řešení prošly fází předvědeckou, prvotní, teoretickou a formulovaná podoba již odráží podobu hypotézy operační, která umožnila získání potřebných datových souborů měření.

K ověření hypotéz bylo využito formulace potřebných teorií (obecně teoretické metody), vlastní měření (empirické metody) a následné zpracování výsledků pomocí vhodných statistických metod (metod šetření získaných datových souborů).

Praktický přínos této práce spočívá zejména v preventivním opatření proti úniku ionizujícího záření do prostoru, kde se pohybovaly osoby z ostatních pracovišť a pacienti nemocnice. Výsledky práce mohou být využity jako edukační materiál pro obdobné chyby a jejich eliminaci a zároveň pro budoucí projektanty, aby se tyto stavební chyby v budoucnu nevyskytovaly.

## 4 Seznam informačních zdrojů

### *A. Literární zdroje*

- 1) ZÁŠKODNÝ, P. Přehled základů teoretické fyziky (s aplikací na radiologii) Bratislava: Didaktis, 2005. ISBN 80-89160-25-5.
- 2) CHUDÁČEK, Zdeněk. Radiodiagnostika. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995, 293 s. ISBN 80-701-3114-4.
- 3) NAVRÁTIL, Leoš. Medicínská biofyzika. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- 4) SINGER, Jan. Dozimetrie ionizujícího záření. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 67 s. ISBN 80-704-0752-2.
- 5) ČERMÁKOVÁ, Anna a František STŘELEČEK. Statistika I. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1995, 167 s. ISBN 80-704-0126-5.
- 6) ZÁŠKODNÝ, Přemysl, R. HAVRÁNKOVÁ, J. HAVRÁNEK and V. VURM. Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví). Praha: Curriculum, 2011. 256 pp. ISBN 978-80-904948-2-4.
- 7) HEBÁK, Petr, Tomáš LERCH a Štěpán MIKOLÁŠ. Vícerozměrné statistické metody (1). 1. vyd. Praha: Informatorium, 2004, viii, 170 s. ISBN 80-733-3025-3.
- 8) ZÁŠKODNÝ, Přemysl, Tomáš LERCH a Štěpán MIKOLÁŠ. The principles of probability and statistics: (data mining approach) : bilingual Czech-English version. 1st ed. Praha: Curriculum, 2013, 239 s. ISBN 978-80-904948-5-5.
- 9) HUBÍK, Stanislav. Hypotéza: metodologický nástroj výzkumu ve společenských vědách. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2006, 80 s. ISBN 80-7040-842-1.
- 10) MRKVIČKA, Tomáš a Vladimíra PETRÁŠKOVÁ. Úvod do teorie pravděpodobnosti. 1. vyd. Jihočeská univerzita, 2008, 166 s. ISBN 978-80-7394-115-4.

- 11) KOZLOVSKÁ, Dagmar, Zuzana FREITINGER SKALICKÁ a Přemysl ZÁŠKODNÝ. Úvod do praktika z radiologické fyziky. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005, 54 s. ISBN 80-7040-797-2.
- 12) HEŘMANSKÁ, Jindřiška a Jan SINGER. Klinická dozimetrie. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 60 s. ISBN 80-704-0759-X.
- 13) KONEČNÝ, Jiří. Radiační fyzika. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2006, 109 s. ISBN 80-704-0843-X.
- 14) LINDA, Bohdan a Jana KUBANOVÁ. Statistické tabulky a vzorce. Vyd. 3., dopl. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, 45 s. ISBN 80-719-4657-5.
- 15) ŠNOBL, Oldřich a Milan CHOLT. Obecná rentgenologie. 1. Praha 1: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., Praha, 1973. ISBN 17-110-73.
- 16) BEISER, Arthur. *Úvod do moderní fyziky: vysokošk. učebnice*. 1. vyd. Praha: Academia, 1975, 628, [1] s.
- 17) KŘÍŽ, Jan. *3ds max: hotová řešení*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2008, 327 s. K okamžitému použití (Computer Press). ISBN 978-80-251-2163-4.
- 18) ZVÁROVÁ, Jana. *Základy statistiky pro biomedicínské obory*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 218 s. Biomedicínská statistika. ISBN 80-718-4786-0.
- 19) ZÁŠKODNÝ, Přemysl a Helena ZÁŠKODNÁ. *Metodologie vědeckého výzkumu: methodology of scientific research*. 1st. ed. Praha: Curriculum, 2014, 1 online zdroj (204 s.). ISBN 978-80-87894-03-3.
- 20) TARÁBEK, Pavol a Petra ČERVINKOVÁ. *Odmaturuj! z fyziky*. Vyd. 2. Brno: Didaktis, c2006, 224 s. Odmaturuj!. ISBN 80-735-8058-6.
- 21) VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 2., rozš. vyd. Praha: Grada, 2001, 188 s. Odmaturuj!. ISBN 80-716-9884-9.

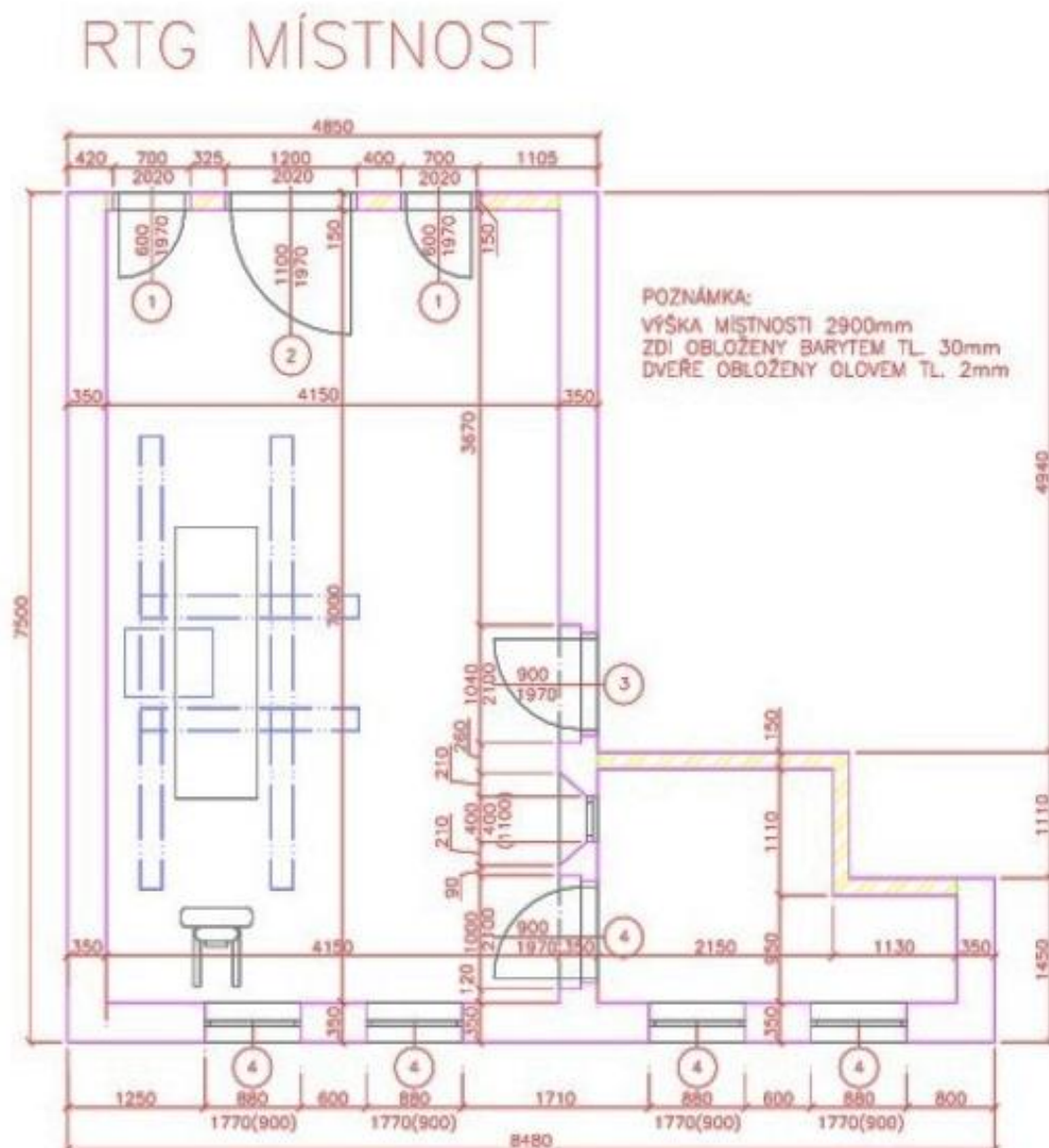


## ***B. Internetové zdroje***

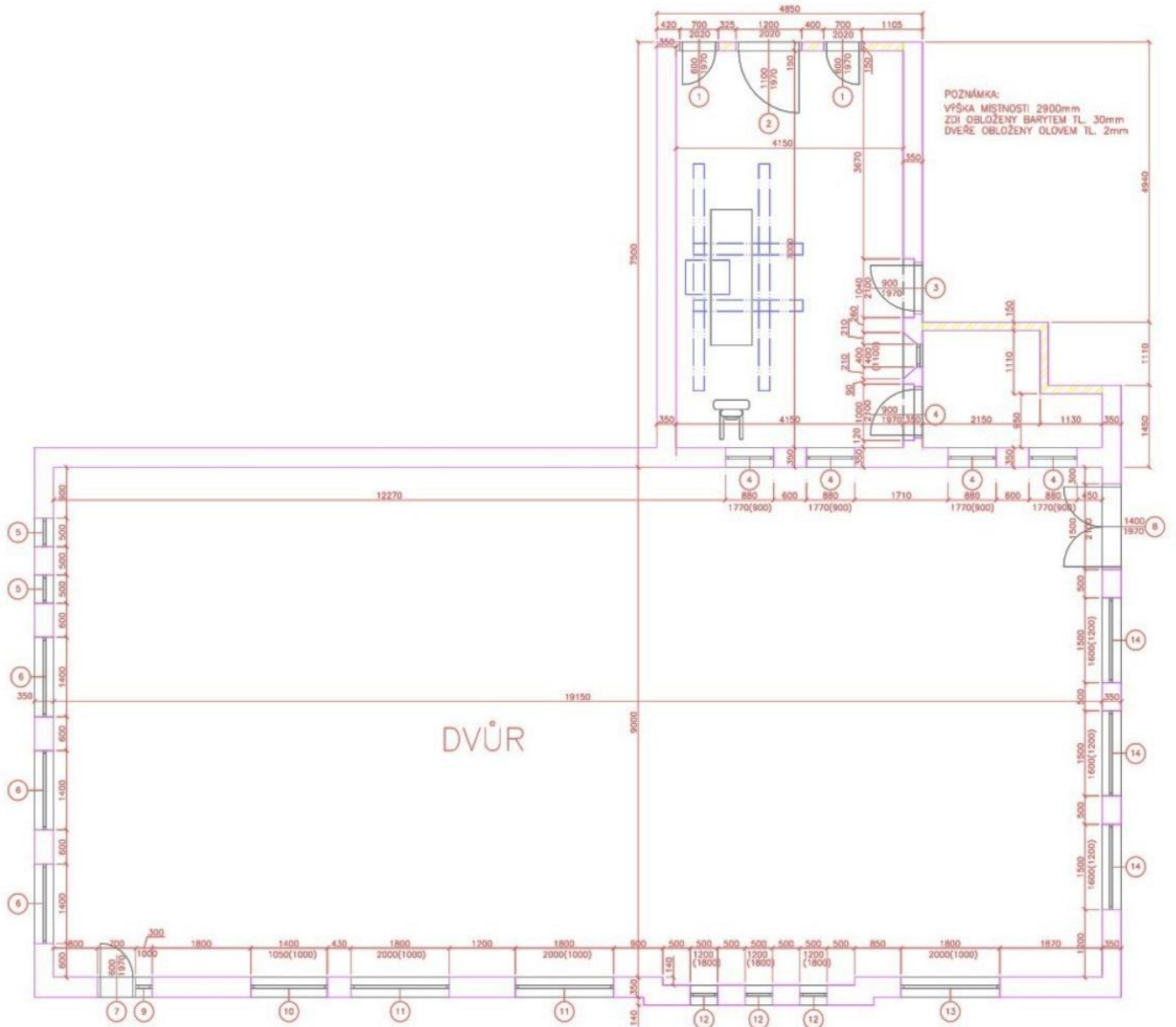
- A) [online]. [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/autor.htm>
- B) Sirdik [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org>
- C) Aldebaran [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz>
- D) Česká republika. O radiační ochraně. In: 2002 Sb. 2002, č. 307. Dostupné z: [http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/7\\_307\\_2002\\_Sb.pdf](http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/7_307_2002_Sb.pdf)
- E) SÚJB. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/uvod/>
- F) Wikiskripta. [online]. [cit.2015-04-21]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Fórum:Testy/Pearsonův\\_korelační\\_koeficient](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Fórum:Testy/Pearsonův_korelační_koeficient)
- G) SISYFOS: Český klub skeptiků [online]. [cit. 2015-07-30]. Dostupné z: <http://www.sysifos.cz/index.php?id=vypis&sec=1387236610>
- H) CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT. CPEP.  
In: Fundamentals particles and interactions [online]. 2006 [cit. 2015-07-21].  
Dostupné z: [http://www.cpepphysics.org/images/chart\\_2006\\_4.jpg](http://www.cpepphysics.org/images/chart_2006_4.jpg)

## 5 Přílohy

### 5.1 Příloha 1 – Prostorová analýza (výkres)



# RTG MÍSTNOST



## 5.2 Příloha 2 – Fotodokumentace









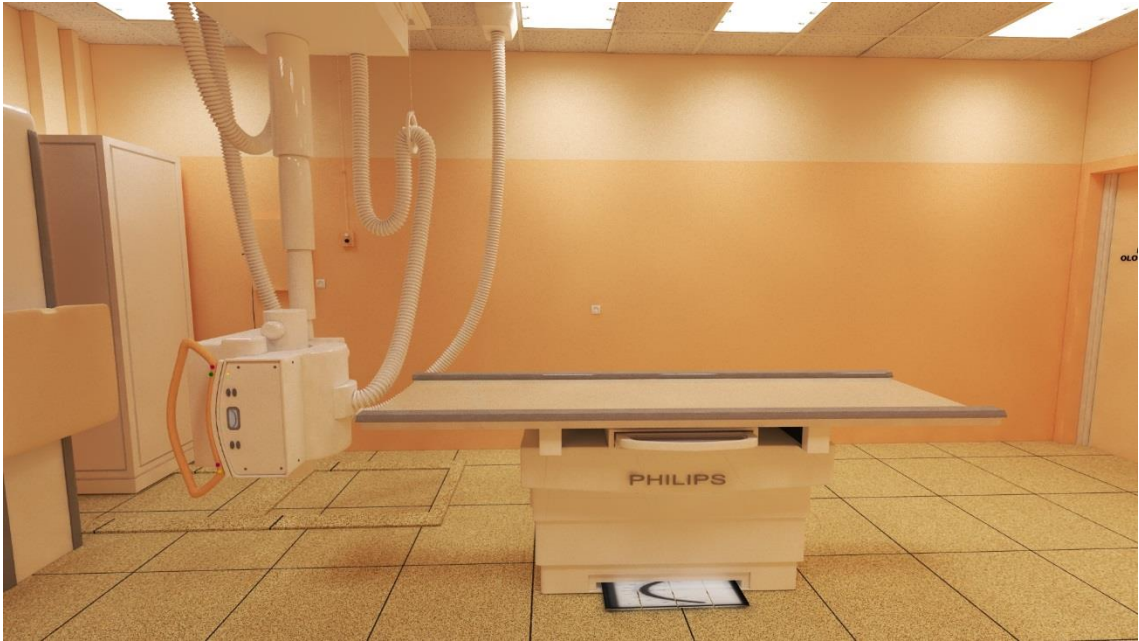






### 5.3 Příloha 3 – 3D modelace











## 5.4 Příloha 4 – Smlouva o výpůjčce

### Smlouva o výpůjčce

uzavřena v souladu s ustanovením § 659 a následujících zákona č. 401/1964 Sb., občanský zákoník ve znění pozdějších předpisů

#### Smluvní strany:

Adam Vlček  
nar. 19.4.1988  
bydliště: Na Potůčku 703, 264 01, Sedlčany  
dále jen „**vypůjčitel**“  
a  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích,  
Zdravotně sociální fakulta  
Jírovcova 24, 370 04 České Budějovice  
dále jen „**půjčitel**“,

uzavírají na základě vzájemné shody tuto **Smlouvu o výpůjčce**

#### Článek I.

##### Předmět smlouvy

1. Předmětem této smlouvy o výpůjčce je dvakrát elektronický osobní dozimetr DMC 2 000 XB + jedenkrát uživatelská příručka (dále jen „**předmět výpůjčky**“).
2. Půjčitel prohlašuje, že je oprávněným vlastníkem předmětu výpůjčky.
3. Doby výpůjčky se stanoví od 11.2.2014 do 30.4.2015

#### Článek II.

##### Práva a povinnosti smluvních stran

1. Půjčitel je povinen předat vypůjčiteli věc ve stavu způsobilém k řádnému užívání.
2. Vypůjčitel je oprávněn užívat věc řádně a v souladu s účelem, který byl ve smlouvě dohodnut nebo kterému obvykle slouží; je povinen chránit ji před poškozením, ztrátou nebo zničením
3. Není-li dohodnuto jinak, nesmí vypůjčitel přenechat věc k užívání jinému.
4. Vypůjčitel je povinen věc vrátit, jakmile ji nepotřebuje, nejpozději však do konce stanovené doby zapůjčení.
5. Půjčitel může požadovat vrácení věci i před skončením stanovené doby zapůjčení, jestliže vypůjčitel věc neužívá řádně nebo jestliže ji užívá v rozporu s účelem, kterému slouží.
6. Vypůjčitel odpovídá za případné poškození nebo ztrátu předmětu výpůjčky a je v takovém případě povinen půjčiteli vzniklou škodu uhradit.

Stránka 1

### **Článek III.**

#### **Závěrečná ustanovení**

1. Ustanovení neupravená touto smlouvou se řídí obecně platnými právními předpisy České republiky, zejména zákonem č. 40/1964 Sb., občanský zákoník, v platném znění.
2. Změny a doplnění této smlouvy jsou možné pouze v písemné podobě a na základě vzájemné dohody obou smluvních stran.
3. Tato smlouva se uzavírá ve dvou vyhotoveních, z nichž každá smluvní strana obdrží jedno.
4. Obě smluvní strany prohlašují, že si tuto smlouvu před podpisem přečetly, porozuměly jejímu obsahu, s obsahem souhlasí, a že je tato smlouva projevem jejich svobodné vůle.

V Českých Budějovicích dne 11.2.2014



.....  
**Vypůjčitel**

.....  
**Půjčitel**


Stránka 2



## 5.5 Příloha 5 – Souhlas s měřením

Tímto souhlasím s provedením měření možného úniku ionizujícího záření na radiodiagnostickém pracovišti v Sedlčanech, rovněž dávám souhlas k následnému zpracování výsledků statistickou metodou a uvedení výsledných hodnot v bakalářské práci Adama Vlčka na ZSF JČU v Českých Budějovicích (obor: radiologický asistent).

Beru na vědomí, že měření bude probíhat opakovaně, aby bylo možné výsledky statisticky zpracovat.

  
.....  
Libuše Hesšová  
Vrchní radiologický laborant

  
.....  
MUDr. Hana Konvalinková  
Primářka oddělení

30	<b>MEDITERRA</b>
520	<b>Sedlčany, s.r.o.</b>
221	RTG - SONO
	odbornost 809

## 5.6 Příloha 6 – Umístění dozimetrů

