



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MATEMATIKOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS**

**Dovilė Kalendraitė**

**Dozimetrinis apsauginių priemonių efektyvumo vertinimas  
trumpažidininėje rentgeno terapijoje**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Dr. Jurgita Laurikaitienė

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MATEMATIKOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS**

**Dozimetrinis apsauginių priemonių efektyvumo vertinimas  
trumpažidininėje rentgeno terapijoje**

Baigiamasis magistro projektas  
Medicinos fizika (621B92002)

**Vadovas**  
Dr. Jurgita Laurikaitienė

**Recenzentas**  
Prof. dr. Liutauras Marcinauskas

**Projektą atliko**  
Dovilė Kalendraitė

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

(Fakultetas)

Dovilė Kalendraitė

(Studento vardas, pavardė)

Medicinos fizika (621B92002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Baigiamojo projekto pavadinimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. gegužės d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Dovilės Kalendraitės**, baigiamasis projektas tema „Dozimetrinis apsauginių priemonių efektyvumo vertinimas trumpažidininėje rentgeno terapijoje“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

# Turinys

SANTRUMPOS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
Įvadas.....	11
1.1. Odos vėžys ir jo gydymas.....	13
1.2. Mažos energijos fotonų sąveika su medžiaga: sklaidos ir sugerties procesai.....	16
1.3. Dozimetrija ir jos metodai.....	19
1.4. Teorinės dalies apibendrinimas.....	24
2. Metodinė dalis.....	25
2.1. Rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225.....	25
2.2. Radiochrominiai filmai XR – QA2 ir jų kalibracija.....	26
2.3. Švininių apsaugų naudojimas trumpažidininėje rentgeno terapijoje.....	30
2.4. Tyrimo hipotezė.....	33
3. Rezultatai ir jų aptarimas.....	34
3.1. Mažos energijos fotonų sklaidos ir sugerties procesų vertinimas švininėje apsaugoje.....	34
3.2. Sugertoji paviršinė išėjus dozė per 1 ir 16 „gydymo“ frakcijų.....	45
3.3. Švininės apsaugos naudingumo koeficiento skaičiavimas.....	47
Išvados.....	49
Literatūros sąrašas.....	50
Priedai.....	52

Kalendraitė, Dovilė. *Dozimetrinis apsauginių priemonių vertinimas trumpažidininėje rentgeno terapijoje*. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Jurgita Laurikaitienė; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Fizikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Medicina ir sveikata, Biomedicinos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: trumpažidininė rentgeno terapija, švininė apsauga.

Kaunas, 2016. 56 p.

## **Santrauka**

Vėžys – onkologinis susirgimas, kuriam būdingas nekontroliuojamas ląstelių dauginimasis. Per metus pasaulyje yra nustatoma nuo 2 iki 3 milijonų naujų onkologinių susirgimų. Iš jų odos vėžiu suserga apie 132 000 naujų pacientų pasaulyje, 1800 naujų pacientų Lietuvoje. Šis onkologinis susirgimas dažnu atveju gydomas taikant trumpažidininę rentgeno terapiją [4-7].

Odos navikams veido srityje gydyti, dažniausiai reikalingas 3cm skersmens aplikatorius. Kadangi 3 cm skersmens aplikatoriaus dažniausiai nebūna standartinėje Rentgeno Terapijos sistemos komplektacijoje, darbo aktualumas yra nustatyti, ar skirtingo storio švininė apsauga gali būti naudojama akrilinio aplikatoriaus skersmeniui sumažinti klinikinėje praktikoje.

Magistrinis darbas atliktas naudojant Rentgeno terapijos sistemą GULMAY D3225 ir 4 cm skersmens akrilinį aplikatorių bei tris skirtingo storio švinines apsaugas: 1,9mm ir 3,1 mm storio švino lydiniais ir 3,9 mm storio švinuota guma. Su švininėmis apsaugomis buvo sumažintas apšvitos laukas nuo 4 cm skersmens iki 3 cm skersmens

Pagamintos trys skirtingos švininės apsaugos, įvertina pasirinktų švininių apsaugų geometrijos įtaką sklaidos bei sugerties procesams.

Šio **darbo tikslas** yra ištirti fotonų sklaidos ir sugerties procesus, vykstančius švininėje apsaugoje, kuria siekiama sumažinti apšvitos lauko dydį, gydymo procedūros metu.

Išanalizavus mažos energijos fotonų sąveikos su medžiaga procesus ir įvertinus pasirinktų švininių apsaugų geometrijos įtaką sklaidos bei sugerties procesams, nustatyta, kad 2D filmų dozimetrija yra efektyvus ir greitas būdas išmatuoti ir įvertinti apšvitos dozes.

Kalendraitė, Dovilė. *Dosimetrical evaluation of shielding efficiency in superficial X-ray therapy*. Supervisor dr. Jurgita Laurikaitienė. The Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Medicine and Health, Biomedical Sciences.

Key words: Superficial X-ray Therapy, Lead protection.

Kaunas, 2016. 56 p.

### **Summary**

Cancer - oncologic disease, which affects the uncontrolled cell proliferation. Over the years, in the world is set about 2 and 3 million new cases of cancer. Of these cases, skin cancer accounts about 132,000 new patients in the world, and in Lithuania is about 1,800 new cases of skin cancer. This oncologic disease usually treated of superficial x-ray therapy [4-7].

To treat skin tumors in the facial area, usually required 3cm diameter applicator. Because 3cm diameter applicator usually is not included in the standard X-ray therapy system. Relevance of the this study is to determine, or the different thicknesses lead protection can be used to reduce the diameter of the acrylic applicator in the clinical practice.

Research Master's work is carried out with x-ray therapy system GULMAY D3225 and 4cm diameter acrylic applicator and three different thicknesses of a lead shields: 1.9mm and 3.1mm thick lead alloys and 3.9mm thick leaded rubber. With this lead guards we was trying to reduce the radiation field from 4cm diameter up to 3cm diameter. Dose change before a lead protection and after lead protection evaluation was carried out with GAFCHROMIC XR – QA2 radiochromic film.

To evaluate the selected geometry of lead protection impact scattering and absorption processes, was selected three different leaden protection.

The aim of this work is investigate the photon scattering and absorption processes in the lead protection, which aims to reduce the exposure field size of the treatment procedure.

The analysis of the processes of low-energy photon interactions with the material and evaluation of selected lead guards geometry influence diffusion and absorption processes, it was found that the 2D dosimetry is an effective and quick way to measure and evaluate the exposure doses.

## SANTRUMPOS

OD (angl. Optical Density) – optinis tankis;

PDD (angl. Percentage Depth Dose) – procentinė giluminė dozė;

SRT (angl. X-Ray Radiation Therapy) – spindulinė rentgeno terapija;

TLD (angl. Thermoluminescent Dosimeter) – termoluminescenciniai dozimetrai;

UV (angl. Ultraviolet) – ultravioletinė spinduliuotė.

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1 pav.</b> Odos sandara [3] .....	12
<b>2 pav.</b> Naujų vėžinių susirgimų vyrų statistika Lietuvoje [4] .....	13
<b>3 pav.</b> Naujų vėžinių susirgimų moterų statistika Lietuvoje [4] .....	14
<b>4 pav.</b> Odos vėžio rūšys [10].....	15
<b>5 pav.</b> Giluminių procentinių dozių kreivės [15] .....	16
<b>6 pav.</b> Komptono sklaida [17].....	17
<b>7 pav.</b> Fotoefektas [17] .....	18
<b>8 pav.</b> Rentgeno spinduliuotės sugerties koeficiento priklausomybė nuo rentgeno bangos ilgio [18] .....	19
<b>9 pav.</b> Farmerio tipo jonizacinės kameros sandara [42].....	20
<b>10 pav.</b> Jonizacinės kameros voltamperinė charakteristika [41].....	21
<b>11 pav.</b> Termoluminescenciniai dozimetrai [20] .....	22
<b>12 pav.</b> Tipinė radiochrominio filmo sudėtis [26] .....	23
<b>13 pav.</b> Rentgeno spindulių susidarymas [30] .....	25
<b>14 pav.</b> Rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225 [31] .....	26
<b>15 pav.</b> Radiochrominio filmo XR - QA2 sudėtis [26].....	26
<b>16 pav.</b> Programos Image J pagrindinis meniu langas [32] .....	27
<b>17 pav.</b> Radiochrominio filmo švitinimas su rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225. a) - filmas prieš rentgeno spinduliuotę, b) – po apšvitos.....	28
<b>18 pav.</b> Nuskenuoti radiochrominiai filmai, praėjus 24h po apšvitos.....	28
<b>19 pav.</b> Skenuoti radiochrominiai filmai, su programa "Image J", gautų rezultatų analizei pasirinkta raudonos spalvos dedamoji .....	29
<b>20 pav.</b> Radiochrominių filmų kalibracijos kreivė.....	30
<b>21 pav.</b> Radiochrominių filmų ir švininių apsaugų padėtys rentgeno spinduliuotės metu [40].....	31
<b>22 pav.</b> Švino apskritimo su 3cm vidiniu diameteru ir >4cm išoriniu diameteru gamyba .....	32
<b>23 pav.</b> 1,9mm storio švininės apsaugos vidinis skersmuo 3cm, o išorinis skersmuo 4,85cm.....	32
<b>24 pav.</b> 3,1mm storio švininės apsaugos vidinis skersmuo 3cm, o išorinis skersmuo 4,6 cm.....	33
<b>25 pav.</b> 3,9mm storio švininės gumos vidinis skersmuo 3 cm, o išorinis skersmuo 4,95 cm.....	33
<b>26 pav.</b> Radiochrominių filmų padėtys: a) Radiochrominis filmas po švinine apsauga (neapverstas); b) Radiochrominis filmas po švinine apsauga (apverstas); c) Radiochrominis filmas ant švininės apsaugos	34
<b>27 pav.</b> Radiochrominių filmų struktūrinė padėtis: a) Radiochrominis filmas po švinine apsauga, jo jautrioji pusė atsukta į fantomą/į švininę apsaugą; b) radiochrominis filmas ant švininės apsaugos .....	35
<b>28 pav.</b> Radiochrominiai filmai po rentgeno spinduliuotės su švinine apsauga. Iš viršaus į apačia: 1 - radiochrominis filmas, po švinine apsauga (neapverstas); 2 –radiochrominis filmas, po švinine apsauga (apverstas); 3 –radiochrominis filmas, ant švininės apsaugos.....	35
<b>29 pav.</b> Radiochrominio filmo po apšvitos – matuojami taškai konkrečioje zonoje .....	36
<b>30 pav.</b> Radiochrominių filmų analizė su programa "Image J" .....	37
<b>31 pav.</b> Išėjus dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudotas 1,9 mm storio švino lydinys .....	40
<b>32 pav.</b> Išėjus dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudotas 3,1 mm storio švino lydinys .....	42
<b>33 pav.</b> Išėjus dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudota 3,9mm storio švinuota guma .....	44
<b>34 pav.</b> Išėjus dozės priklausomybė nuo radiochrominio filmo padėties ir pasigamintos, po švinine apsauga (2 zona).....	45



<b>35pav.</b> 1 frakcijos išėjos dozė saugomoje ir už apšvitos lauko ribų (3 zona), 4 Gy/ frakciją apšvitos metu .....	46
<b>36pav.</b> 16 frakcijų suminė paviršinės išėjos dozė saugomoje ir už apšvitos lauko ribų .....	47

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>1 lentelė.</b> Nuskenuotų radiochrominių filmų kalibracijos rezultatai .....	29
<b>2 lentelė.</b> Rezultatai, kai buvo panaudotas 1,9 mm storio švino lydinys .....	37
<b>3 lentelė.</b> Rezultatai, kai buvo panaudotas 3,1 mm storio švino lydinys .....	38
<b>4 lentelė.</b> Rezultatai, kai buvo panaudota 3,9 mm storio švinuota guma .....	38
<b>5 lentelė.</b> Įėjus ir išėjus dozių santykis su 1,9 mm storio švinine apsauga. ....	39
<b>6 lentelė.</b> Įėjus ir išėjus dozių santykis su 3,1 mm storio švinine apsauga. ....	41
<b>7 lentelė.</b> Įėjus ir išėjus dozių santykis su 3,9 mm storio švinuota guma. ....	42
<b>8 lentelė.</b> 1 frakcijos išėjus dozė po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų, kai apšvitos procedūros dozė yra 4 Gy per frakciją. ....	45
<b>9 lentelė.</b> 16 frakcijų suminė sugertoji išėjus dozė po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų, kai viso „gydymų“ paskirtoji dozė yra lygi 64 Gy.....	46
<b>10 lentelė.</b> Švininių apsaugų naudingumo koeficientai .....	48
<b>11 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu.....	52
<b>12 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu.....	52
<b>13 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu.....	53
<b>14 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.....	53
<b>15 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.....	54
<b>16 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.....	54
<b>17 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma. ....	55
<b>18 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma. ....	55
<b>19 lentelė.</b> Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma. ....	56

## Įvadas

Vėžys – onkologinis susirgimas, kuriam būdingas nekontroliuojamas ląstelių dauginimasis. Per metus pasaulyje yra nustatoma nuo 2 iki 3 milijonų naujų onkologinių susirgimų. Iš jų odos vėžiu suserga apie 132 000 naujų pacientų. Vien Lietuvoje per metus yra nustatoma apie 1800 naujų odos vėžio atvejų. Šis onkologinis susirgimas dažnu atveju gydomas trumpažidinine rentgeno terapija [4-7].

Trumpažidininė rentgeno terapija – tai gydymas nedidelės energijos ( $E_{\max} = 60 \text{ keV} - 100 \text{ keV}$ ) rentgeno spinduliuote. Tai neskausmingas ir efektyvus onkologinių susirgimų gydymo būdas [12].

Odos navikams veido srityje gydyti, dažniausiai naudojamas 3cm skersmens aplikatorius. Kadangi 3cm skersmens aplikatoriaus dažniausiai nebūna standartinėje Rentgeno Terapijos sistemos komplektacijoje, aktualu yra nustatyti, ar švininė apsauga gali būti naudojama akrilinio aplikatoriaus skersmeniui/apšvitos laukui sumažinti klinikinėje praktikoje.

Tiriamąjį magistrinio darbo metu apšvitai naudotas 4 cm skersmens akrilinis aplikatorius ir trys skirtingo storio švininės apsaugos. Su švininėmis apsaugomis buvo sumažintas apšvitos laukas nuo 4 cm skersmens iki 3 cm skersmens.

Šio **darbo tikslas** yra ištirti fotonų sklaidos ir sugerties procesus, vykstančius švininėje apsaugoje, kuria siekiama sumažinti apšvitos lauko dydį, gydymo procedūros metu.

Šiam tikslui įgyvendinti išskelti tokie **uždaviniai**:

- Išanalizuoti mažos energijos fotonų sąveikos su medžiaga procesus ir įvertinti pasirinktų švininių apsaugų geometrijos įtaką sklaidos bei sugerties procesams.
- Radiochrominiais filmais ištirti apšvitos poveikį ir įvertinti apšvitos dozes.
- Nustatyti pasirinktų švininių apsaugų efektyvumą bei pateikti rekomendacijas, dėl jų naudojimo klinikinėje praktikoje.

## 1. Literatūros apžvalga

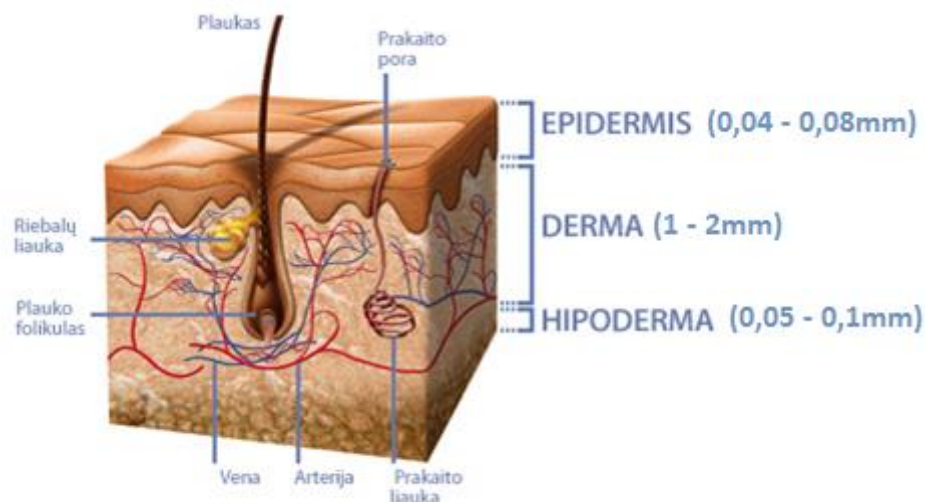
Šiame skyriuje apžvelgiama odos sandara ir odos vėžio susidarymo priežastys bei odos vėžio gydymo būdai. Taip pat bus analizuojami sklaidos ir sugerties procesai vykstantys mažų energijų fotonams sąveikaujant su medžiaga, bet aptariami kai kurie dozimetrijos metodai.

### *Oda ir jos sandara.*

Oda – didžiausią plotą užimantis žmogaus kūno dangalas, kurio paviršiuje yra tam tikri papildomi dariniai, tokie kaip plaukai, nagai ir odos liaukos. Oda pasižymi tokiomis savybėmis: yra tampri, todėl saugo kūną nuo aplinkos poveikio. Žmogaus oda sudaro apie 5 % jo viso kūno svorio, o jos visas paviršiaus plotas sudaro 1,6 m<sup>2</sup>. Skirtingose kūno vietose skiriasi ir odos sluoksnio storis. Pavyzdžiui, itin plona oda yra akių vokų ir lytinių organų srityse: ten jos storis tesiekia vos 0,5 mm. Padų srityje odos sluoksnis yra šešis kartus storesnis 3 mm, lyginant su akių vokų odos storium. Odos tamprumo savybės priklauso nuo žmogaus amžiaus, t.y. mažų vaikų oda yra labai elastinga, turi daug elastinių skaidulų. Žmogui senstant, elastinių skaidulų kiekis sumažėja, oda praranda tamprumą ir pradeda raukšlėtis [1].

Odą sudaro trys pagrindiniai sluoksniai (1 pav.) [2]:

- Epidermis (0,04 ÷ 0,08 mm);
- Derma (1 ÷ 2 mm);
- Hipoderma (0,05 ÷ 0,1 mm).

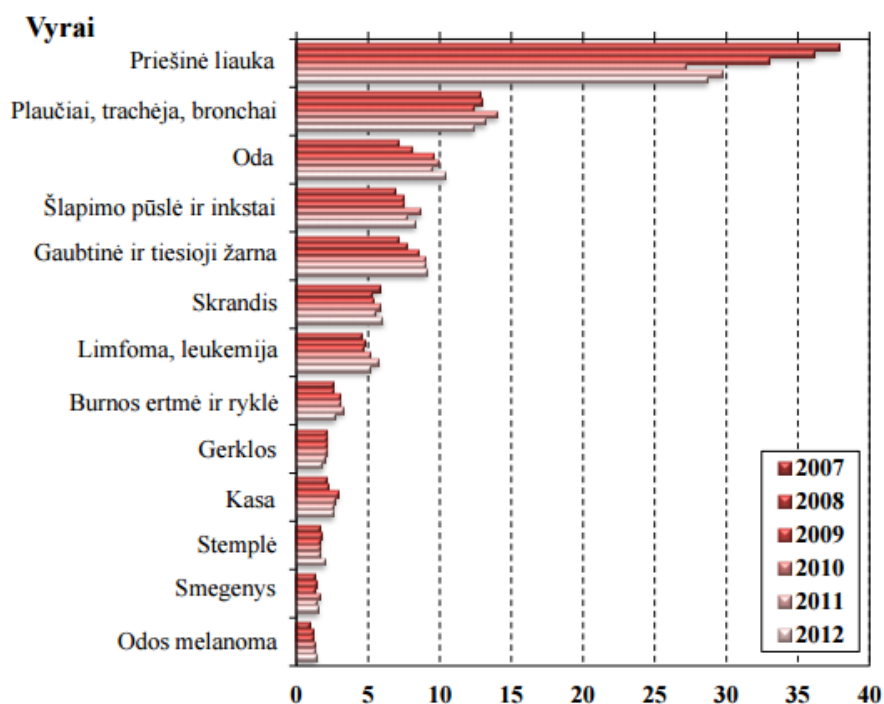


1 pav. Odos sandara [3]

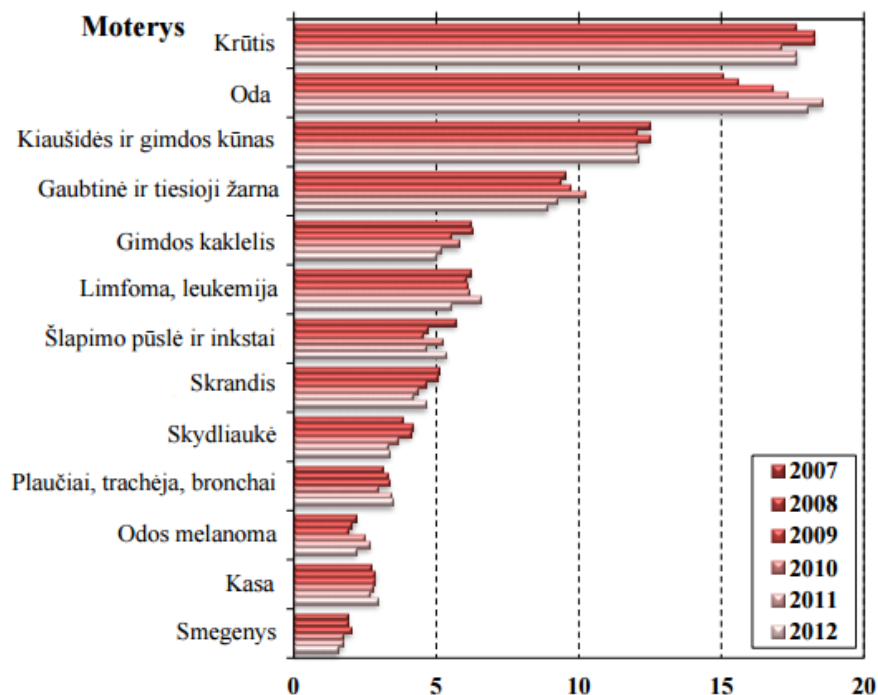
## 1.1. Odos vėžys ir jo gydymas

Vėžys – onkologinis susirgimas, kuris pasireiškia nekontroliuojamu ląstelių dauginimusi. Vėžinės ląstelės plinta per limfą ir kraują, todėl dažnai metastazuoja į aplinkinius – sveikus audinius sveikus ar organus.

Šia liga dažniausiai susergama vyresniame amžiuje. Higienos instituto duomenimis, pastaraisiais metais sergamumas onkologinėmis ligomis tolygiai didėja. Moterims (2 pav.) šis susirgimas yra diagnozuojamas kur kas dažniau nei kad vyrams (3 pav.). Vyrams diagnozuojamas odos vėžys sudaro ~10,4% bendrai naujų onkologinių ligų statistikoje, o moterims – 18% [4 - 7].



2 pav. Naujų vėžinių susirgimų vyrų statistika Lietuvoje [4]



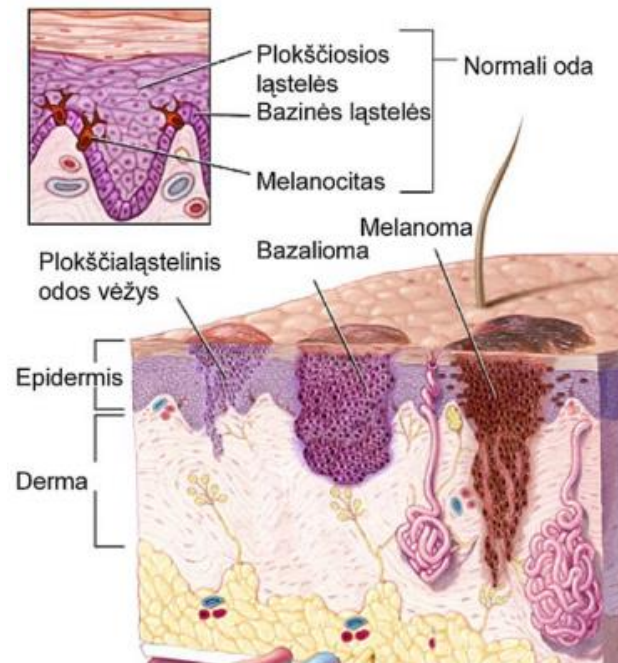
3 pav. Naujų vėžinių susirgimų moterų statistika Lietuvoje [4]

Odos vėžio atsiradimo pagrindinis veiksnys yra ultravioletinės (UV) spinduliuotės poveikis žmogaus odai. Jautrumas UV spinduliuotei priklauso nuo to, koks yra odos pigmentinis tipas. Dažniausiai odos vėžio grėsmė kyla šviesių arba rausvų plaukų, mėlynų akių, strazdanotiems, sunkiai įdegantiems saulėje žmonėms. Jų oda yra ypatingai jautri saulės spinduliams. Odos vėžio tikimybę taip pat padidina reguliarus lankymasis soliariumuose, kur yra labai intensyvi ultravioletinė spinduliuotė [7-9].

Taip pat riziką susirgti odos vėžiu padidina chemikalų naudojimas gamybos pramonėje. Akmens anglies derva, arsenas (As), įvairūs skystųjų degalų deriniai, parafinas ( $C_nH_{2n+n}$ ) ir degutas – tai chemikalai, padidinantis riziką susirgti odos vėžiu [7-9].

Odos vėžys (4 pav.) yra skirstomas į tris pagrindines formas;

- Bazalioma – tai navikas, kuris išsivysto iš bazinių epitelinių ląstelių.
- Plokščialąstelinis odos vėžys – išsivysto iš epidermio plokščiųjų ląstelių. Ši vėžio forma yra šiek tiek agresyvesnė lyginant ją su bazalioma, dažnai metastazuoja į kitus organus ir limfmazgius.
- Melanoma – pati agresyviausia odos vėžio forma, kuri susidaro iš ląstelių, esančių epidermyje. Melanoma pasižymi ypač greitu augimu, ja dažniausiai suseraga 40 – 60 metų amžiaus žmonės. Moterys melanoma suseraga dažniau lyginant su vyrais [7-9].



4 pav. Odos vėžio rūšys [10]

Odos vėžys, jeigu yra pastebimas laiku, dažniausiai yra išgydoma liga. Viskas priklauso nuo onkologinės ligos stadijos. Diagnozavus odos vėžį, gydytojas onkologas įvertina naviką ir paskiria patį tinkamiausią gydymą.

Odos vėžio gydymo metodų yra daug ir įvairių (kriodestrukcija, fotodinaminė terapija, lazerdestrukcija, chirurginis metodas, spindulinė terapija, rentgeno terapija) [11].

Rentgeno terapija – tai išorinė radioterapija, kurios metu rentgeno spinduliuote naikinamos vėžinės ląstelės, sumažinant jų skaičių iki tokio lygio, kad būtų galima kontroliuoti ligos eigą. Nedidelės apimties navikams gydyti dažnai naudojama trumpažidininė rentgeno terapija. Trumpažidininė rentgeno terapija – tai nedidelės energijos ( $E_{max} = 60 \text{ keV} - 100 \text{ keV}$ ) rentgeno spinduliuote. Tai neskausmingas, labai efektyvus gydymo būdas [12].

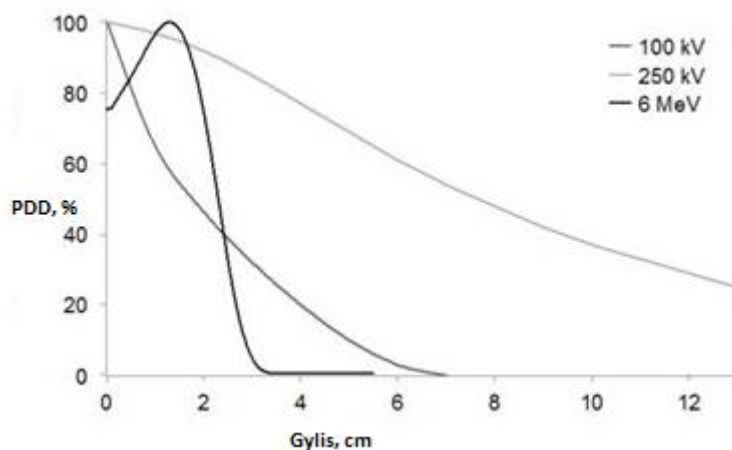
Rentgeno terapija (RT) gali būti naudojama žaizdoms arba vėžiui gydyti, susidariusioms ant rankų, kojų, nugaros ar liemens. RT – tai ne chirurginis gydymas [13].

Trumpažidininės rentgeno terapijos apšvitos procedūrų metu arba baigus gydymą, stebimos reakcijos priklauso nuo to, kokia doze buvo švitinamas pacientas. Vieni pacientai beveik nepatiria jokių gydymo reakcijų, tuo tarpu kitiems jos pasireiškia dažniau. Didžioji dalis šių reakcijų yra laikinos ir ilgainiui, užbaigus gydymą jos išnyksta [13].

Planuojant spindulinį gydymą yra svarbu, tiek žinoti naudojamo šaltinio charakteristikas, tiek nuo ko priklauso dozės pasiskirstymas paciento kūno paviršiuje bei tam tikram kūno gylyje. Dozės

pasiskirstymas paviršiuje iki maksimalios sugertosios dozės gylio, pavyzdžiui kai energijos yra 4Gy maksimalus dozės susikaupimo gylis yra 0,5cm, tai priklauso nuo apšvitos lauko dydžio, atstumo šaltinis-paviršius bei spinduliuotės energijos. [14].

Dozės pasiskirstymo įvertinimas paciento kūno paviršiuje, leidžia įvertinti paciento odos, tiek vėlyvas, tiek ankstyvas reakcijas.



5 pav. Giluminių procentinių dozių kreivės [15]

Gydytojas Matthew Ludgate ir kt. [16], rekomenduoja, kad gydant odos vėžį trumpažidinine rentgeno terapija, pacientui skiriamas frakcijų skaičius būtų ne mažesnis negu 10, bet neviršytų 25 [16].

## 1.2. Mažos energijos fotonų sąveika su medžiaga: sklaidos ir sugerties procesai

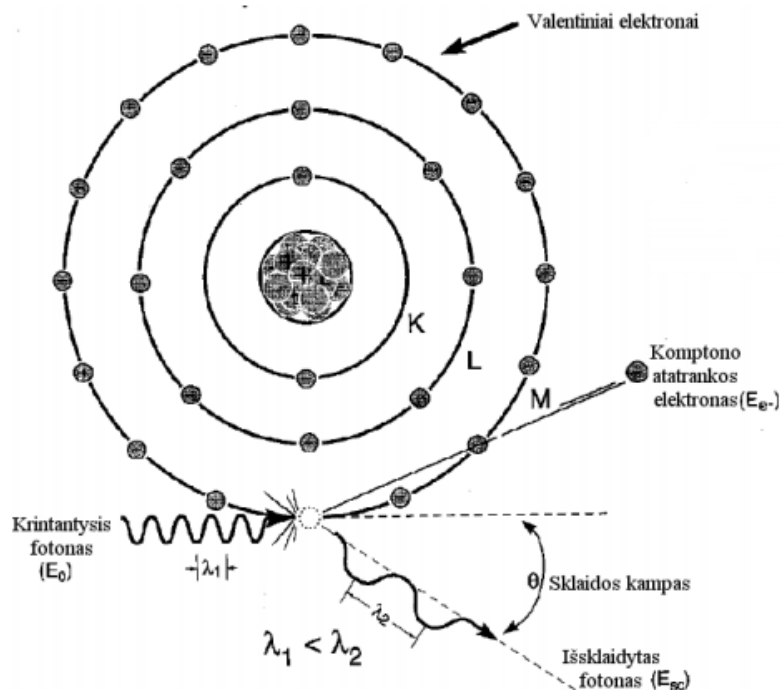
Rentgeno spinduliuotė tai elektromagnetinės bangos, kurių ilgis kinta nuo 10 nm iki 0.01 nm, o dažnis kinta 30 - 30 000 PHz diapazone. Elektromagnetines bangas galima nagrinėti kaip tam tikrų dalelių fotonų srautą [17].

### *Mažos energijos fotonų sklaidos procesai.*

Rentgeno spinduliams sąveikaujant su medžiagos atomais arba su medžiaga, vyksta fotonų sklaida ir sugertis. Odos vėžiui gydyti yra naudojama nedidelė fotonų energijos ( $E_{max} = 60 \text{ keV} \div 100 \text{ keV}$ ), todėl sąveikos procesai aprašomi šiais sklaidos procesais:

- Komptono sklaida (6 pav.). Šios sklaidos metu, atomas išsklaido fotoną, todėl sumažėja fotono dažnis ir energija, o fotono bangos ilgis – padidėja. Fotonas, išlėkdamas iš atomo, dalį savo energijos atiduoda Komptono atatranks elektronui, todėl susidaro nedideli energijos nuostoliai [17].





6 pav. Komptono sklaida [17]

Komptono sklaidos metu, bangos ilgio pokytis aprašomas (1) formule:

$$\Delta\lambda = \lambda_k(1 - \cos(\theta)) \text{ [m]} \quad (1)$$

Čia:

- $\Delta\lambda$  – bangos ilgio pokytis, m;
- $\theta$  – atsispindėjusių dalelių kampas, ° [17].

Komptono bangos ilgis apskaičiuojamas (2) formule:

$$\lambda_k = \frac{h}{m_e c} \quad (2)$$

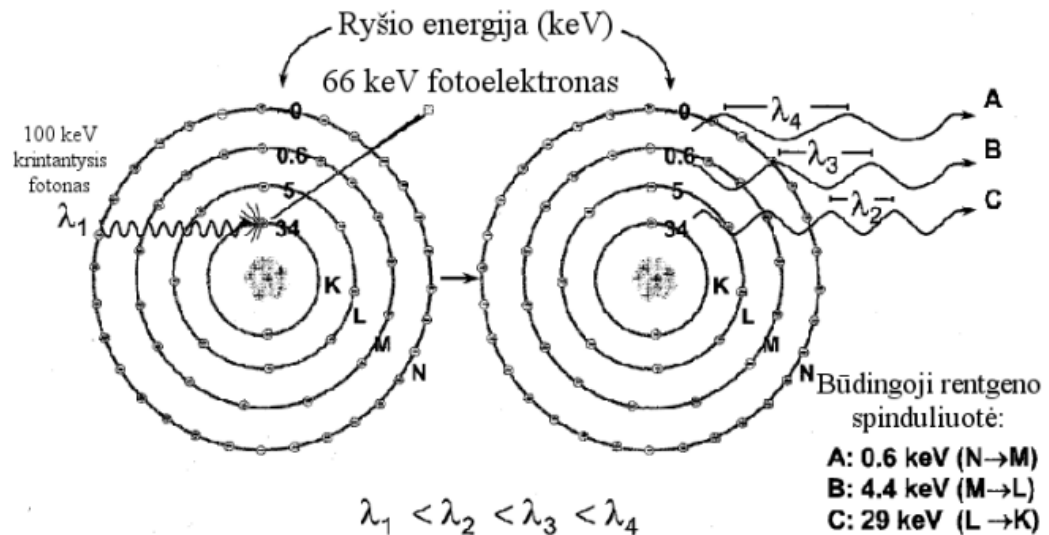
Čia:

- $h$  – Plankos konstanta,  $6,626 \cdot 10^{-34}$  J\*s;
- $m_e$  – elektrono masė,  $9,1094 \cdot 10^{-31}$  kg;
- $c$  – šviesos greitis,  $3 \cdot 10^8$  m/s [17].

*Mažos energijos fotonų sugertis.*

- Fotoefektas (7 pav.). Fotoefekto metu fotonas, sąveikaudamas su atomu, nustoja egzistuoti, o iš atomo išlekia fotoelektronas (elektronas). Elektronai, dažniausiai yra

išlaisvinami iš K, L, M ir N sluoksnių. Vykstant fotoefektui, vidiniuose elektronų sluoksniuose, atsiranda skylutės (vakansijos), todėl fotoefektą „lydi“ būdingoji rentgeno spinduliuotė, kuri atsiranda elektronui užpildžius vakansiją ir perėjus iš aukštesnio lygmens į žemesnį [17].



7 pav. Fotoefektas [17]

Rentgeno spinduliuotei sąveikaujant su medžiaga, rentgeno spinduliuotės pluoštelio intensyvumas mažėja. Tai sugerties procesas. Energijos spinduliuotės intensyvumo mažėjimas aprašomas (3) formule:

$$I_P = I_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

Čia :

- $\mu$  – ilginis sugerties koeficientas;
- $x$  – medžiagos storis;
- $I_0$  – pradinis energijos spinduliuotės intensyvumas.

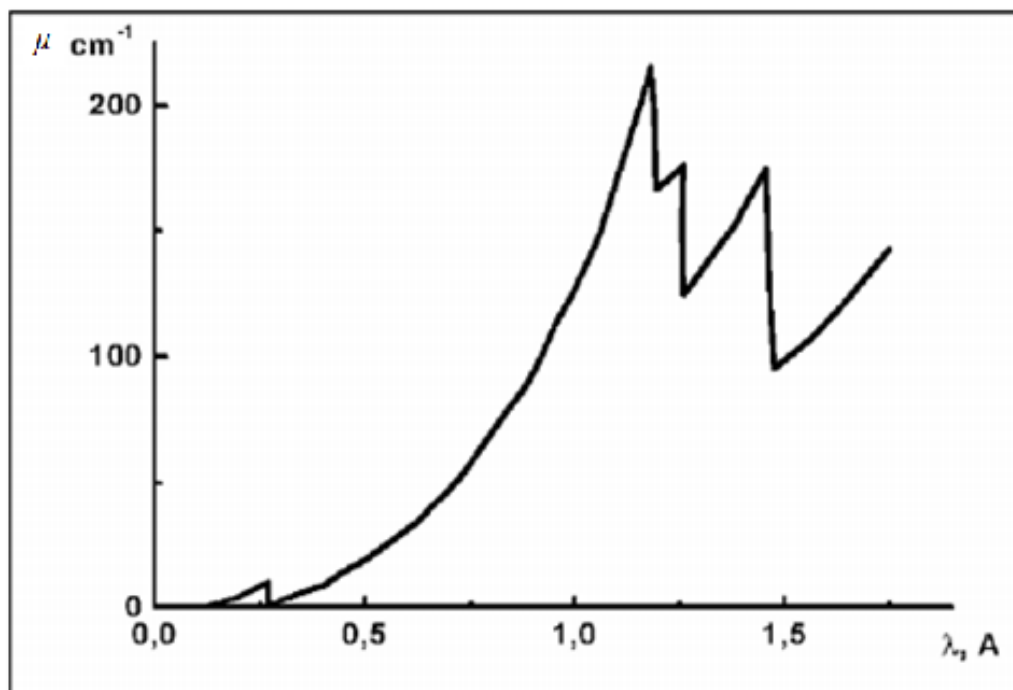
Fotonų intensyvumo mažėjimą medžiagoje apibūdina tokie koeficientai: ilginis sugerties koeficientas, efektyvusis koeficientas.

Masinis sugerties koeficientas  $\mu/\rho$  – parametras, kuris taip pat aprašo rentgeno spinduliuotės pluoštelio intensyvumo sumažėjimą.

Čia :

- $\rho$  – medžiagos tankis [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Ilginis sugerties koeficientas priklauso nuo bangos ilgio. Ši priklausomybė yra parodyta (8 pav.). Kuomet energija yra lygi kokio nors apvalkalo jonizacijos energijai, tuomet yra pastebimas gana aiškus šuoliukas, o tarp šuolių esantis sugerties koeficientas yra proporcingas bangos ilgio trečiajam laipsniui  $\lambda^3$  [18].



**8 pav.** Rentgeno spinduliuotės sugerties koeficiento priklausomybė nuo rentgeno bangos ilgio [18]

Tuo atveju, jeigu medžiaga, kurioje vyksta sąveikos procesai, yra sudaryta iš keleto elementų junginio su jam būdingu  $\mu$  ir koncentracija  $c_i$  (%), tuomet efektyvusis sugerties nkoeficientas  $\mu_{ef}$  yra aprašomas (4) formule:

$$\frac{\mu_{ef}}{\rho} = \sum_i \left( \frac{\alpha}{\rho} \right) * c_i \quad (4)$$

### 1.3. Dozimetrija ir jos metodai

Dozimetrija – fizikos šaka, kuri apibūdina kokia yra jonizuojančiosios spinduliuotės sąveika su gyvomis ir negyvomis medžiagomis, apimanti fizikinių dydžių matavimo metodus ir prietaisus [43]. Išorinėje dozimetrijoje apšvitos dozės galima išmatuoti su jonizacine kamera, termoluminescenciniais dozimetrais (1D dozimetrija) ir su radiochrominiais ir radiografiniais filmais (2D dozimetrija), 3D dozimetrija. Šiame darbe išskirsime ir aprašysime dažniausiai Lietuvoje klinikinėje praktikoje naudojamus dozimetrijos būdus: Jonizacinė kamera, TLD dozimetrija ir radiochrominiai filmai.

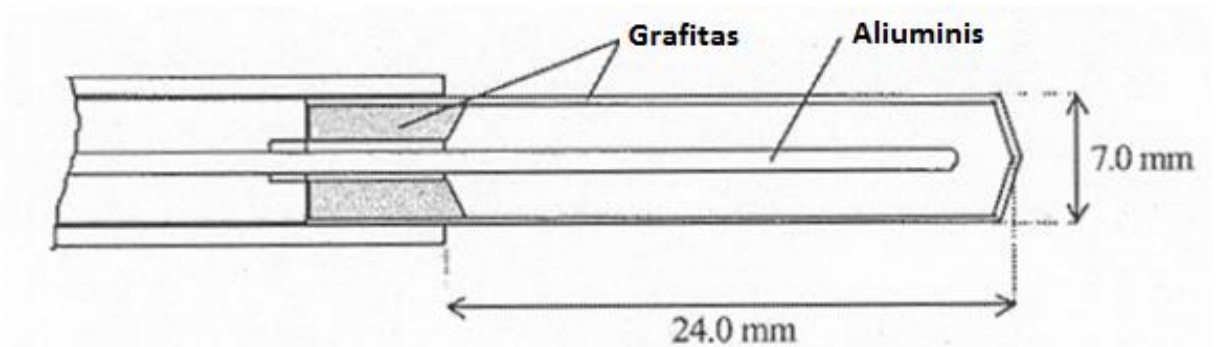
### Jonizacinė kamera.

Jonizacinius detektorius atstovauja jonizacinės kameros. Spinduliuotės sukeltą jonizaciją matuoja dujų pripildyta jonizacinė kamera. Jonai dreifuoja sudarytame elektriniame lauke, o po to yra surenkami nuskaitymo elektroduose. Plačiausiai naudojamos yra oro pripildytos jonizacinės kameros. Jos yra stabilios ir labai paprastai naudojamos klinikinėje aplinkoje. Rezultatai, naudojant jonizacines kameras, yra tikslūs, todėl yra išvengiama didelių paklaidų. Fizikiniai procesai, vykstantys jonizacinėje kameroje, yra labai panašūs procesams, vykstantiems žmogaus organizme.

Yra išskiriamos dvi pagrindinės jonizacinių kamerų konstrukcijos:

- a) Cilindrinė jonizacinė kamera;
- b) Plokščia lygiagreti jonizacinė kamera.

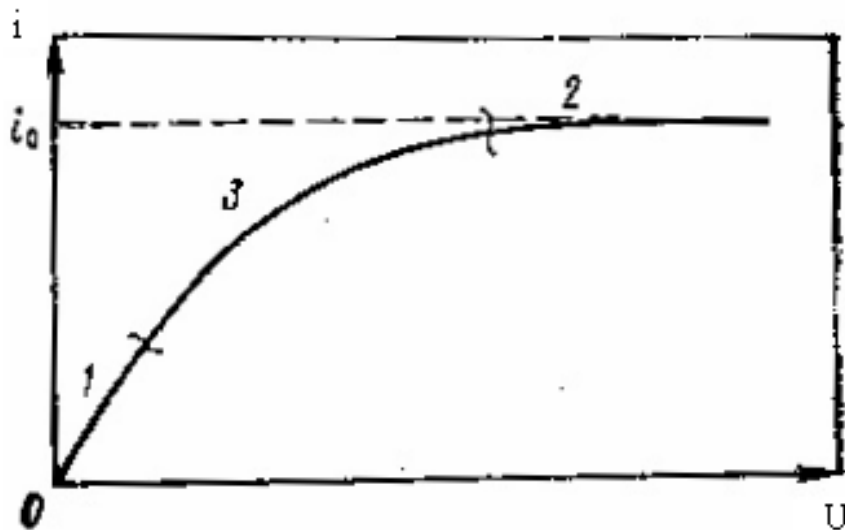
Dažniausiai yra naudojama Farmerio tipo kamera (cilindrinė mažybinė kamera) (9 pav.).



9 pav. Farmerio tipo jonizacinės kameros sandara [42]

9 pav. pateiktoje Farmerio tipo jonizacinėje kameroje centrinį aliuminio elektrodą apsupa cilindrinis grafitinis gaubtas. Kadangi grafito ir aliuminio atominis skaičius  $Z$  taip pat yra panašus į oro, todėl konstrukcijoje yra naudojamos šios dvi medžiagos.

Analizuojant jonizacines kameras, būtina aptarti jonizacinės kameros voltamperinę charakteristiką. Jonų susidarymo greitis, rekombinacija, pernaša, veikiant elektriniam laukui – difuzija – tai veiksniai, darantys didžiausią įtaką jonizacinės kameros voltamperinei charakteristikai. Ši priklausomybė pateikta (10 pav.) [41].



10 pav. Jonizacinės kameros voltamperinė charakteristika [41]

Čia:

- 1 – pradinė (ominė) sritis;
- 2 – nusistovėjusio režimo sritis (soties sritis);
- 3 – tarpinė sritis [41].

#### *Termoluminescencinė dozimetrija (TLD).*

Termoluminescencinis dozimetras (TLD) – tai pasyvus jonizuojančiosios spinduliuotės registracijos prietaisas (11 pav.). TLD veikimo principas yra neorganinėje medžiagoje dėl jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio susidariusių krūvio nešėjų „pagavimu“ kristalo gardelės defektuose – „gautyklėse“, bei vėlesniu rekombinavimu (suteikus papildomos energijos (pakaitinus)) išskiriant šviesos kvantus bei skirtas aplinkos dozės ekvivalentui matuoti [20-21].



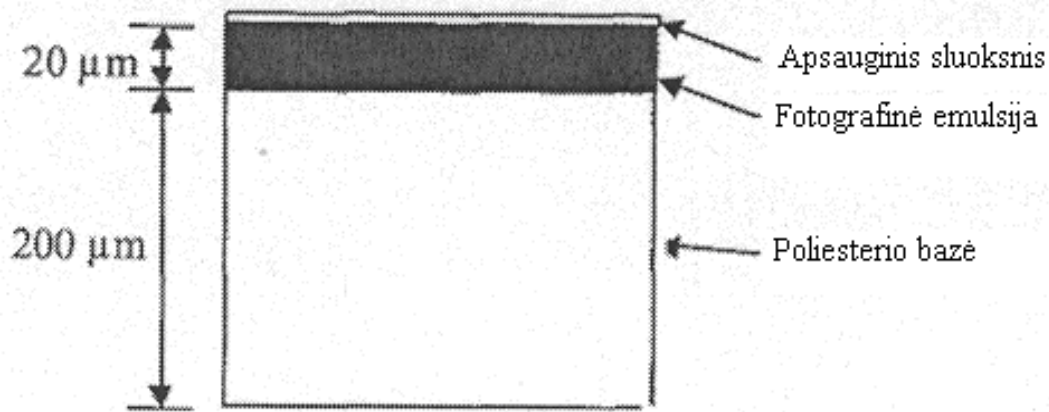
**11 pav.** Termoluminescenciniai dozimetrai [20]

Termoluminescencinėje dozimetrijoje (TLD) yra panaudojamos tokios medžiagos, kuriose susidaro nestabilios būsenos krūvių gaudyklės. Tai vyksta dėl jonizacijos proceso. Į krūvių gaudyklės gali patekti tiek elektronai, tiek skylės, arba ir elektronai, ir skylės kartu. Kambario temperatūroje, nestabilieji lygmenys yra ganėtinai gilūs, todėl elektronai neišeina iš lygmenų ribų. Medžiagai kaistant, gaunama energija padidėja, todėl elektronai grįžta į laidumo juostą, kur rekombinuoja kartu su skylėmis. Jeigu medžiaga parenkama tinkamai, tuomet rekombinacijos metu išsiskyrusi energija yra pakankamai didelė, kad galėtų emituoti optinius fotonus, kurie būtent ir yra registruojami.

Plačiausiai naudojama medžiaga termoluminescenciniams dozimetrams LiF (ličio fluoridas) su Mg (magnio), Cu (vario), P (švino) ir Ti (titano) mišiniu. Taip pat naudojamas kalcio fluoridas, kalcio sulfatas ir ličio boratas.

#### *Radiochrominiai filmai.*

Radiochrominiai filmai (12 pav.) susideda iš viengubo arba dvigubo spinduliuotei jautraus, organinio – mikrokristalinio sluoksnio, o iš išorės yra padengta skaidriu poliesterio sluoksniu. Po jonizuojančiosios spinduliuotės, radiochrominiai filmai pakeičia savo spalvą. Spalvos intensyvumas didėja proporcingai didėjant jonizuojančiosios spinduliuotės dozei, kurią absorbuoja radiochrominis filmas [22-25].



**12 pav.** Tipinė radiochrominio filmo sudėtis [26]

Radiochrominiai filmai nėra labai jautrūs šviesai, todėl kurį laiką gali būti dienos šviesoje. Nepaisant to, rekomenduojama radiochrominių filmų nelaikyti dienos šviesoje ir jeigu tik jis yra nenaudojamas, jį įdėti į tamsų, dienos šviesos spindulių nepraleidžiantį maišelį.

Radiochrominių filmų analizę rekomenduojama atlikti su 48 bitų (16 bitų vienam kanalui) skeneriu. Gamintojas rekomenduoja skenuoti su nuotraukų skeneriu. Skaitytuvas išmatuoja raudonos spalvos dedamąjį, o tai geriausiai atlieka skeneris, kuris skiria 16 bitų vienam kanalui [29].

Labai svarbi radiochrominio filmo savybė yra jo pralaidumo faktorius. Pralaidumas  $T_s$  yra lygus filmą praėjusios spinduliuotės intensyvumo ir spinduliuotės šaltinio intensyvumo santykiui:

$$T_s = \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

Čia:

- $I_0$  – spinduliuotės šaltinio intensyvumas;
- $I$  – filmą praėjusios spinduliuotės intensyvumas [27].

Labai dažnai radiochrominis filmas yra charakterizuojamas optiniu tankiu (angl. Optical Density – OD), kurį apibūdina pralaidumo faktoriaus dešimtainis logaritmas:

$$OD = \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (6)$$

Filmo optinis tankis su ekspozicine doze  $X$  yra susietas šia formule:

$$OD = OD_{max} * (1 - e^{-k*X}) \quad (7)$$

Čia:

- $k$  – jautrumo konstanta;
- $X$  – ekspozicinė dozė, C/kg;
- $OD_{max}$  – maksimalus optinis tankis, santyk.vnt. [27-28].

#### 1.4. Teorinės dalies apibendrinimas

Atlikus literatūros analizę, buvo išsiaiškinta kas yra odos vėžys ir kokia šios ligos susergamumo statistika yra pasaulyje ir Lietuvoje. Lietuvos statistika, pateikta (2pav., 3pav.) yra 2012m, nes Higienos instituto Sveikatos informacijos centras savo leidinyje „Lietuvos sveikatos statistika“ teigia, kad: „dėl vėžio registro įteisinimo problemų šiuo metu yra paskelbta tik 2012 m. piktybinių navikų statistika. Pastaraisiais metais sergamumas piktybiniais navikais tolygiai didėja. Ypač jis didėjo 2006-2008 m., galbūt, dėl pradėtų vykdyti vėžio patikros programų“. Taip pat buvo išsiaiškinta, kad odos vėžiu moterų sergamumas Lietuvoje yra 18%, o vyrų ~10,8% [4]. Taip pat buvo išanalizuota, kokie sklaidos ir sugerties procesai vyksta esant mažos energijos fotoniniai spinduliuotei (fotoefektas, Komptono sklaida, ilginis sugerties koeficientas). Išanalizavus 1D (Jonizacinė kamera ir termoluminescencinė dozimetrija) ir 2D (radiochrominiai filmai) dozimetrijos metodus, nuspręsta, kad tiriamąjį darbą atliksime 2D dozimetrijos metodu – radiochrominiais filmais.

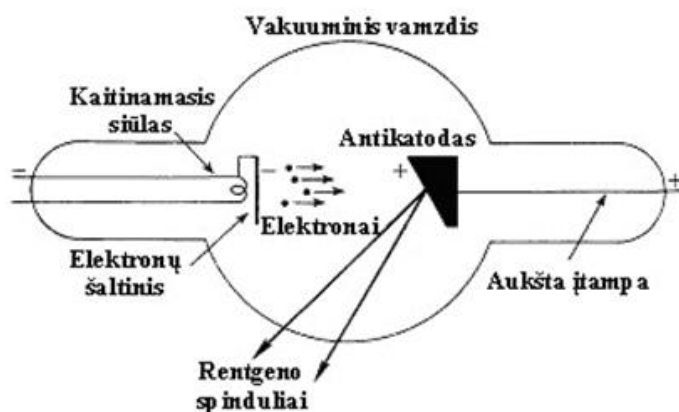


## 2. Metodinė dalis

Metodinėje dalyje trumpai aptariama Rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225, vaizdų analizės programa *Image J*, radiochrominiai filmai XR – QA3 ir jų kalibracijos procesas. Taip pat nagrinėjamos švininės apsaugos paruošimas tiriamajam darbui bei pateikiama trumpa hipotezė, kokių rezultatų yra tikimasi iš tiriamojo darbo.

### 2.1. Rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225

Rentgeno spinduliuotė generuojama rentgeno vamzdyje (supaprastinta rentgeno vamzdžio schema parodyta 13pav.). Tai yra dviejų elektrodų (A ir K) elektrovakuuminis prietaisas. Taip anodo ir katodo sudaromas didelis potencialų skirtumas ( $20 \div 600$  kV), kurio dėka iš katodo išlekiantys elektronai pagreitinami ir įgauna energiją. Rentgeno spinduliuotė atsiranda greitiems elektronams bombarduojant anodo paviršių [17].



13 pav. Rentgeno spindulių susidarymas [30]

Rentgeno terapijos sistema GULMAY D3225 (14 pav.) pasižymi lengva ir suprantama vartotojo sąsaja, paprasta valdymo sistema bei realiu laiku rodomais apšvitos duomenimis ir rezultatais [31].

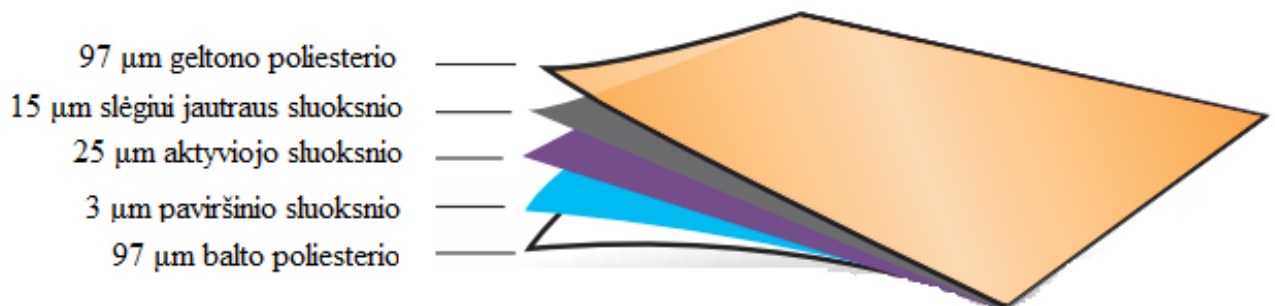


**14 pav.** Rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225 [31]

Apšvitos lauko geometrija priklauso nuo procedūros metu naudojamų akrilinių aplikatorių dydžio. Apšvitai naudojamos energijos kinta nuo  $E_{max} = 60 \text{ keV}$  iki  $E_{max} = 220 \text{ keV}$  [31].

## 2.2. Radiochrominiai filmai XR – QA2 ir jų kalibracija

Matavimai atliekami naudojant filmus GAFCHROMIC XR – QA2.



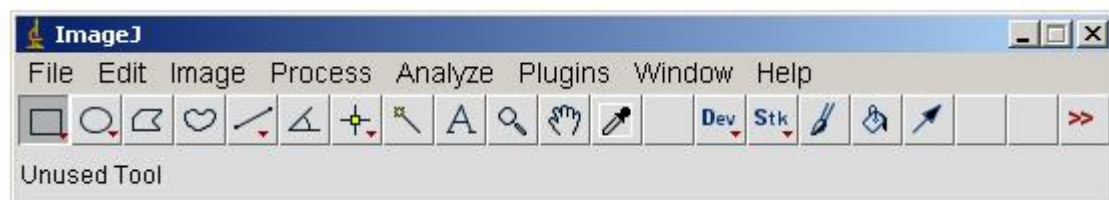
**15 pav.** Radiochrominio filmo XR - QA2 sudėtis [26]

Šio filmo pagrindinės savybės:

- Jautrumas 0,1cGy – 20cGy dozių diapazone;
- Ekonomiškumas;
- Lengva naudoti;
- Gaunamas ryškus spalvinis kontrastas, kuris gali būti vizualiai įvertintas pirminiam vertinimui;
- Kurį laiką gali būti laikomas kambario apšvietime.

### *Vaizdų analizės programa Image J.*

Vaizdų analizė atliekama pasinaudojus laisvai prieinama, atviro kodo programine įranga *Image J* (16 pav.). Programinė įranga suprogramuota *Java* kalba. Šios programos pagalba galima atlikti pačius įvairiausių, tiek biometrinius, tiek ir geografinius, bei bet kurių kitų vaizdų matavimus.



**16 pav.** Programos Image J pagrindinis meniu langas [32]

Programa *Image J* gali atidaryti, analizuoti, apdoroti, saugoti ir spausdinti 8, 16 ir 32 bitų paveikslus. Programa gali nuskaityti visus pagrindinius paveikslų formatus, tokius kaip .TIFF, .GIF, .JPEG, .BMP, .DICOM, .FITS. Vienas iš šios programos privalumų, kad ji gali atidaryti ir RAW formato paveikslus. *Image J* turi nuoseklų vaizdų peržiūros ir apdorojimo galimybę. Tai suteikia galimybę automatiškai atidaryti kitą paveikslą esantį direktorijoje, bet prieš tai buvęs atidarytas paveikslas yra automatiškai uždaromas. Tokia paveikslų peržiūra palengvina ir pagreitina didelio kiekio vaizdų analizę.

Programa galima apskaičiuoti vartotojo pasirinktos analizuoti vaizdo vietos plotą ir pikselių reikšmes. Gali išmatuoti atstumą ir kampus. Programos funkcijų pagalba galima sukurti tankio histogramą, yra galimybė padidinti atidaryto paveikslo kontrastą, ryškumą, šviesumą ir panaudojus kitas funkcijas įvairiai analizuoti ir apdoroti atidarytą paveikslą. Atidarytas paveikslas gali būti priartintas santykiu 32:1 ir atitolintas 1:32. Visos analizės ir apdorojimo funkcijos yra prieinamos bet kuriame priartinto arba atitolinto paveikslo taške. Programos, vienu metu palaikoma, atidarytų vaizdų, atliekamų funkcijų ir analizių sąrašą riboja tik kompiuterio operatyvioji atmintis (RAM) [32-34]. Programa Image J yra tinkama radiochrominių filmų analizei.

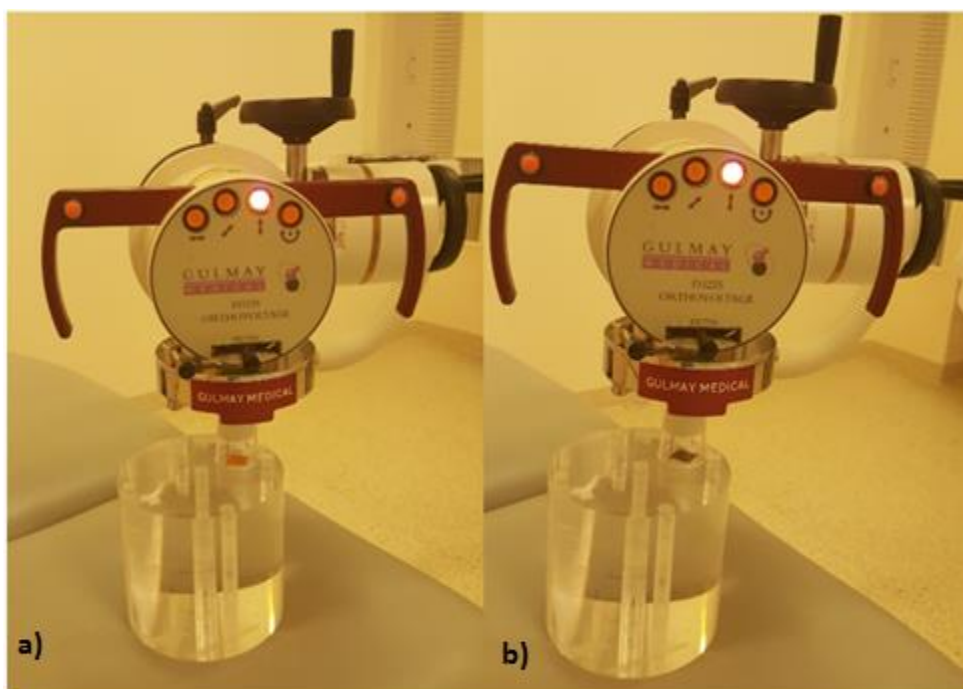
Radiochrominiai filma XR – QA2 po rentgeno spinduliuotės, pasižymi dideliais spalviniais kontrastais, todėl labai paprasta padaryti pirminę išvadą: gauname norimą rezultatą ar ne.

Prieš atliekant bet kokius tyrimus ar eksperimentus su radiochrominiais filmais XR – QA2, reikia atlikti šių filmų kalibraciją. Nors šiuos filmus ir galima kurį laiką laikyti kambario apšvietime, bet filmas nors ir minimaliai, bet visvien keičia savo savybes, kas gali pakeisti

matavimo tikslumą, jei naudosime gamintojo pateiktą kalibraciją. Dėl šios priežasties, yra atliekama unikali radiochrominių filmų kalibracija prieš kiekvieną tyrimą.

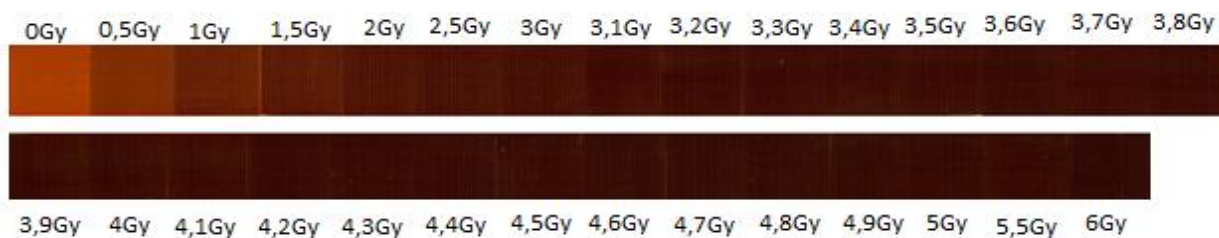
*Radiochrominių filmų XR – QA2 kalibracija.*

Radiochrominių filmų kalibracijai filmai buvo sukarpyti į 4 cm<sup>2</sup> ploto kvadratus. Filmai buvo apšvitinti rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225 (17 pav.). Apšvitosis dozė kito nuo 0 Gy iki 6 Gy. Toks apšvitosis dozių intervalas pasirinktas tam, kad atliekant matavimus ir naudojant švinines apsaugas apšvitosis procedūrų metu, būtų galima remtis kalibracijos metu gautais rezultatais, nustatant gautas apšvitosis dozes.



**17 pav.** Radiochrominio filmo švitinimas su rentgeno terapijos sistema Gulmay D3225. a) - filmas prieš rentgeno spinduliuotę, b) – po apšvitosis

Radiochrominiai filmai buvo analizuojami remiantis gamintojo rekomendacijomis. Praėjus 24h po apšvitosis, filmai buvo nuskenuoti skeneriu *Samsung SCX-4600* (18 pav.). Skenuojant nustatyti parametrai: color - ; PPI - . Šviesiausias filmas – nešvitintas, o tamsiausias – 6 Gy (3 lentelėje pateikta dozė (Gy), kuris gafromikas kokia doze buvo apšvitintas).



**18 pav.** Nuskenuoti radiochrominiai filmai, praėjus 24h po apšvitosis

Nuskenuotų radiochrominių filmų analizė atlikta, pasinaudojus programa „Image J“. Naudojantis šia programa, *.jpg* formato byla galima išsiskleisti trimis spalvomis : žalia, mėlyna ir raudona. Analizei pasirinkta raudonos spalvos dedamoji (19 pav.), pagal filmų gamintojų rekomendacijas. Analizei buvo imamas vienodas matavimo plotas (10260 pikseliai) kiekvieno radiochrominio filmo viduryje. Rezultatai surašyti į 1 lentelę ir nubraižyta kalibracijos kreivė (20 pav.).

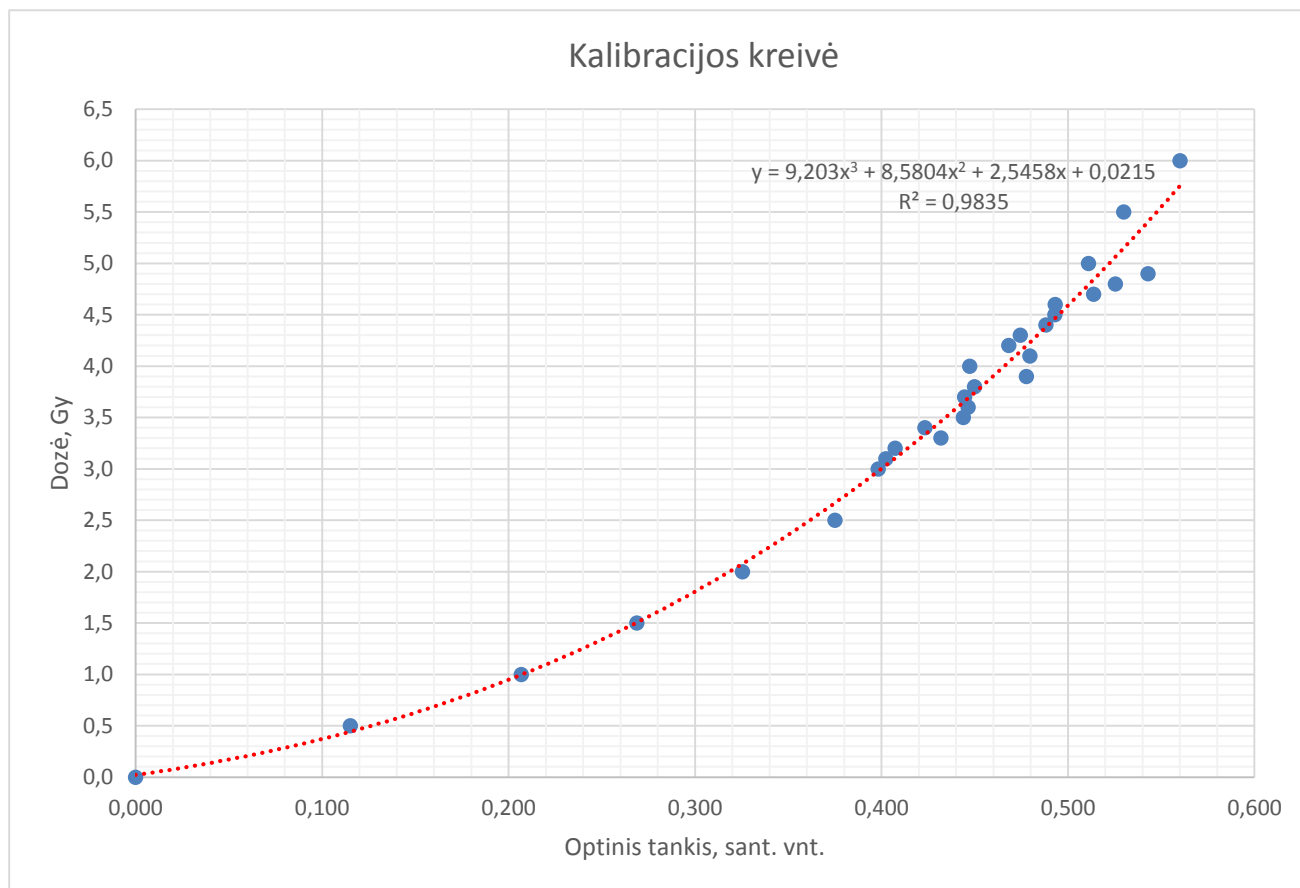


**19 pav.** Skenuoti radiochrominiai filmai, su programa "Image J", gautų rezultatų analizei pasirinkta raudonos spalvos dedamoji

**1 lentelė.** Nuskenuotų radiochrominių filmų kalibracijos rezultatai

Apšvitos dozė, Gy	Monitoriaus vienetai, MU	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Vidurkis	OD, sant. Vnt.
0,0	0	165	180	172,269	0,000
0,5	48	124	148	132,122	0,115
1,0	95	95	117	106,992	0,207
1,5	143	78	105	92,773	0,269
2,0	189	65	107	81,432	0,325
2,5	237	58	89	72,630	0,375
3,0	284	54	113	68,849	0,398
3,1	294	51	85	68,214	0,402
3,2	303	52	94	67,430	0,407
3,3	313	49	79	63,722	0,432
3,4	322	52	79	64,986	0,423
3,5	332	50	79	61,982	0,444
3,6	341	50	78	61,631	0,446
3,7	351	47	94	61,877	0,445
3,8	360	44	80	61,132	0,450
3,9	370	44	80	57,354	0,478
4,0	379	49	90	61,494	0,447
4,1	389	46	72	57,092	0,480
4,2	398	48	75	58,601	0,468
4,3	408	48	74	57,772	0,474
4,4	417	45	75	55,971	0,488
4,5	427	44	75	55,362	0,493
4,6	436	42	110	55,350	0,493
4,7	446	44	69	52,784	0,514

4,8	455	42	71	51,369	0,526
4,9	464	42	60	49,351	0,543
5,0	473	44	68	53,115	0,511
5,5	521	40	67	50,855	0,530
6,0	568	39	83	47,430	0,560



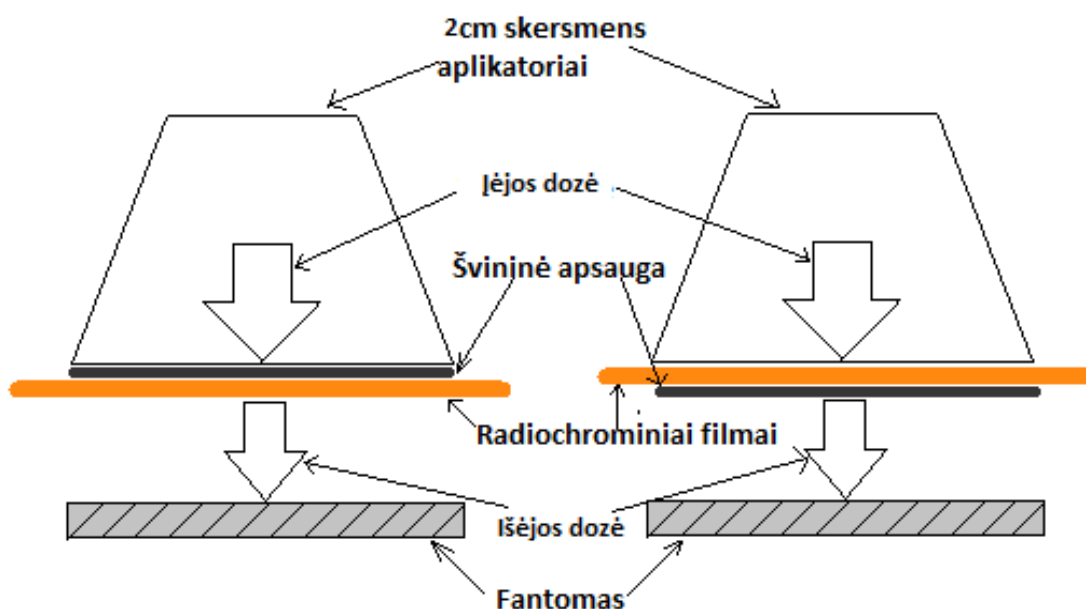
**20 pav.** Radiochrominių filmų kalibracijos kreivė

### 2.3. Švininių apsaugų naudojimas trumpažidininėje rentgeno terapijoje

Švinas – metalas, kuris dalinai sugeria rentgeno spinduliuotę. Rentgeno spinduliuotės sugeriamumą lemia didelis švino tankis. Būtent todėl švinuotos apsaugos yra naudojamos apsaugoti nuo jonizuojančiosios spinduliuotės. Skirtingi švino storiai yra naudojami esant skirtingos galios rentgeno spinduliuotei. Didėjant švino sluoksniui, taip pat didėja ir apsauga nuo rentgeno spinduliuotės.

Pavyzdžiui, kai rentgeno spinduliuotės maksimali energija yra 80 keV, švino apsaugos priklausomybė nuo švino storio yra tokia: pvz. kintant švino apsaugos storiui nuo 0,01 mm iki 1 mm rentgeno spinduliuotės sugertis kinta nuo 25% iki 99% [39].

Šviną, kaip apsaugą nuo rentgeno spinduliuotės, išbandė ir mokslininkas Luis-Alberto Medina [40]. Jis pasigamino tris skirtingo vidinio diametro (0,5 cm, 1 cm ir 1,5 cm) švinines apsaugas iš švinuotos gumos. Kiekvienos apsaugos storis buvo 2 mm. Jo tikslas, buvo įsitikinti, kaip ir kiek švininė apsauga „sugeria“ rentgeno spinduliuotę. Taip pat eksperimente buvo naudojami ir radiochrominiai filmai, kurie buvo uždėti ant švininės apsaugos po aplikatoriumi ir po švinine apsauga. Apšvitos rezultatai parodė, kad naudojant 0,5 cm vidinio skersmens švininę gumą, išėjos dozė po švinine apsauga yra 2,01 Gy, lyginant su išėjos dozė be švininės apsaugos dozė 2,47 Gy, sumažėjo 1,23 karto. Su 1 cm vidinio skersmens švinine guma, lyginant išėjos dozė po švinine apsauga 1,98 Gy su išėjos dozė be švininės apsaugos 2,45 Gy, sumažėjo 1,24 karto. Su trečiaja švinuota guma, kurios vidinis skersmuo 1,5cm, lyginant išėjos dozė po švinine apsauga 2,07 Gy su išėjos dozė be švininės apsaugos 2,50 Gy, dozė sumažėjo 1,21 karto [40].



**21 pav.** Radiochrominių filmų ir švininių apsaugų padėtys rentgeno spinduliuotės metu [40]

Kaip apsaugą nuo rentgeno spinduliuotės galima naudoti ne tik šviną, bet ir kitus metalus. Tačiau švinas pasirenkamas todėl, kad jis pigiausias ir lengvai formuojamas metalas. Jo kaina siekia vos 0,85 *Eu* už 1 gramą.

Prieš ruošiant švinines apsaugas tyrimui, išanalizavome, kad klinikinėje praktikoje, gydant odos navikus veido srityje, dažniausiai yra naudojamas 3cm skersmens aplikatorius. Tačiau ligininės, pirkdamos rentgeno terapijai skirtą įrangą dalis, susiduria su tokia problema, kad standartinei komplektacijai priklauso 2 cm ir 4 cm skersmens akriliniai aplikatoriai. Todėl šio darbo tikslas yra uždėjus tokią švininę apsaugą po 4 cm skersmens akriliniu aplikatoriumi, sumažinti apšvitos lauką.

Pagamintos trijų skirtingų rūšių švininės apsaugos. Dvi vienodos (3 cm) vidinio skersmens, bet skirtingo storio švininės apsaugos. Kad būtų galima padaryti vienodo dydžio švininės apsaugas, buvo padarytas rėmelis, atitinkantis pasirinktus parametrus, o švinas į jį buvo išlydytas (22 pav.). Taip pat, tokio pat vidinio 3 cm vidinio skersmens apskritimas buvo iškirptas ir iš švinuotos gumos. Trys skirtingos švininės apsaugos buvo pasirinktos sąmoningai, kad būtų galima įvertinti, kokią dalį rentgeno spinduliuotės „sugeria“ arba išsklaido kiekviena iš jų.



**22 pav.** Švino apskritimo su 3cm vidiniu diametru ir >4cm išoriniu diametru gamyba

Trys švininės apsaugos skyrėsi savo storiu: 1,9 mm storio 3 cm vidinio skersmens švino lydinys (23 pav.), 3,1 mm storio 3 cm vidinio skersmens švino lydinys (24 pav.), o 3,9 mm švinuotos gumos 3 cm vidinio skersmens švininė apsauga (25 pav.).



**23 pav.** 1,9mm storio švininės apsaugos vidinis skersmuo 3cm, o išorinis skersmuo 4,85cm





**24 pav.** 3,1mm storio švininės apsaugos vidinis skersmuo 3cm, o išorinis skersmuo 4,6 cm



**25 pav.** 3,9mm storio švininės gumos vidinis skersmuo 3 cm, o išorinis skersmuo 4,95 cm

#### 2.4. Tyrimo hipotezė

Tiriamąjį darbą metu naudojamos trys skirtingo storio švininės apsaugos: iš švino lydinio 1,9 mm ir 3,1 mm storio, iš švinuotos gumos 3,9 mm. Pagal pateiktą švino, kaip medžiagos, sugeriančios rentgeno spinduliuotės priklausomybę nuo švino storio, tikimasi, kad visos trys švininės apsaugos bus tinkamos naudoti klinikinėje praktikoje.

Tikimasi, kad naudojant pasigamintas švinines apsaugas, arba jas patobulinus, bus galima pritaikyti klinikinėje praktikoje, kas sumažins antrinio vėžio rizikos tikimybę, nes gydant odos vėžį veido srityje bus apšvitinama tik gydymui reikalinga sritis.

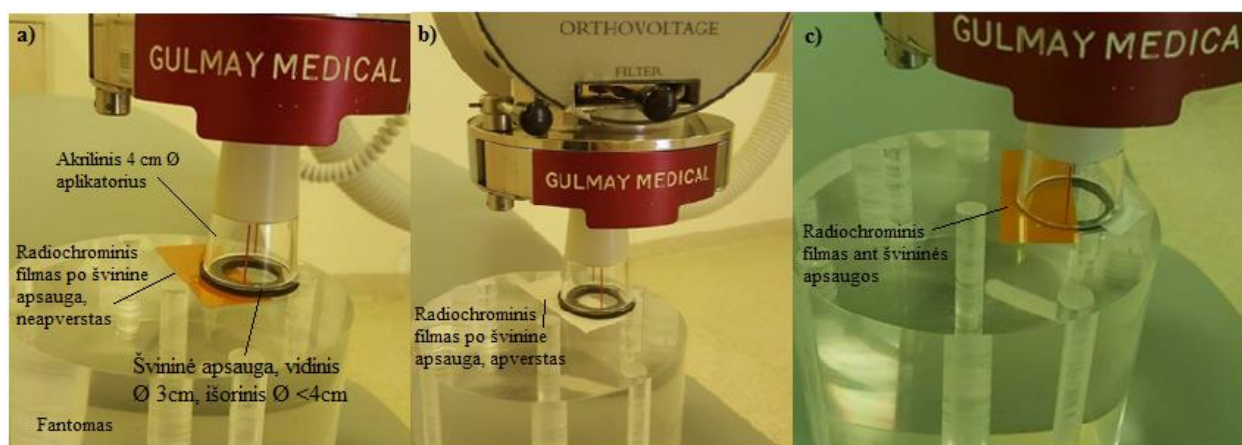
Apžvelgus visų švininių apsaugų storius ir remiantis duomenimis, kaip švino storis įtakoja rentgeno spinduliuotės „sugertį“ yra tikimasi, kad geriausia švininė apsauga bus iš 3,9mm storio švinuotos gumos, o prasčiausiai rentgeno spinduliuotę sugers 1,9mm storio švino lydinys. Remiantis teoriniais duomenimis, yra tikimasi, kad visos švininės apsaugos sugers 100% rentgeno spinduliuotės ir puikiai apsaugos kritinius organus ir sveikus/aplinkinius audinius.

### 3. Rezultatai ir jų aptarimas

Šiame skyriuje aptariami tiriamojo darbo rezultatai: nagrinėjama mažos energijos fotonų sklaida ir sugertis švininėje apsaugoje bei – kaip šie procesai priklauso nuo pasirinktos švininės apsaugos geometrijos. Atliktas filmų dozimetrijos metu išmatuotų apšvitos dozių vertinimas ir švininių efektyvumo vertinimas, pateikiant rekomendacijas, kokią švininę apsaugą būtų galima naudoti klinikinėje praktikoje.

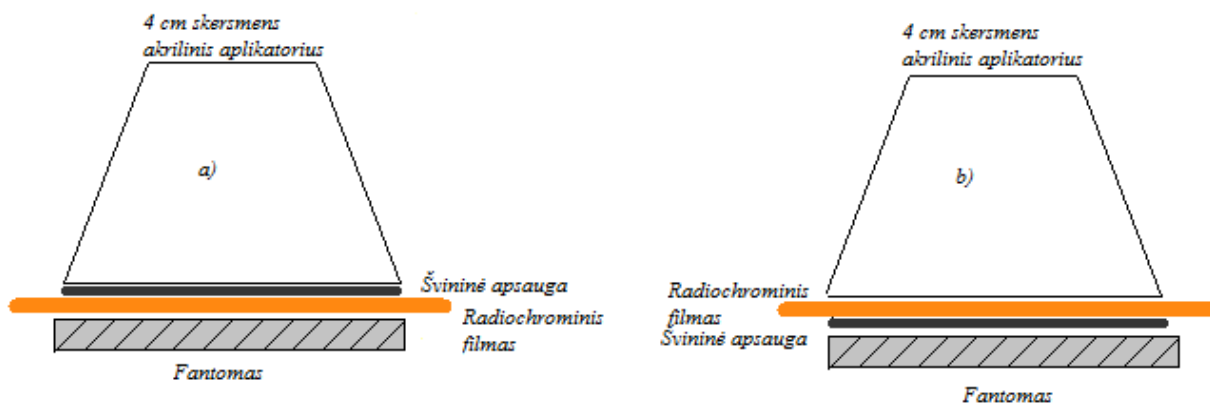
#### 3.1. Mažos energijos fotonų sklaidos ir sugerties procesų vertinimas švininėje apsaugoje

Vertinant mažos energijos fotonų sklaidą ir sugertį visi eksperimentai buvo atliekami su radiochrominiais filmais XR – QA2, kurių matmenys 24 cm<sup>2</sup>. Apšvitos laukui suformuoti buvo naudotas 4 cm skersmens akrilinis aplikatorius. Ant fantomo (tarp aplikatoriaus ir fantomo) buvo dedama švininė apsauga. Radiochrominis filmas buvo dedamas po švinine apsauga (apverstas ir neapverstas) (26 pav. a) ir b)) ir ant švininės apsaugos (26 pav. c)). Šie trys būdai buvo pasirinkti švininės apsaugos bei fantomo sklaidos ir sugerties procesams įvertinti.



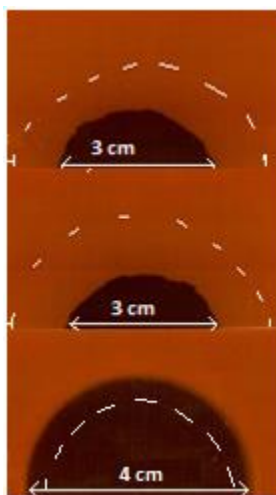
**26 pav.** Radiochrominių filmų padėtys: a) Radiochrominis filmas po švinine apsauga (neapverstas); b) Radiochrominis filmas po švinine apsauga (apverstas); c) Radiochrominis filmas ant švininės apsaugos

Struktūrišką radiochrominių filmų padėtis po švinine apsauga (radiochrominio filmo jautrioji pusė atsukta į fantomą/į švininę apsaugą) (28 pav. a), radiochrominio filmo padėtis ant švininės apsaugos (28 pav. b).



**27 pav.** Radiochrominių filmų struktūrinė padėtis: a) Radiochrominis filmas po švinine apsauga, jo jautrioji pusė atsukta į fantomą/į švininę apsaugą; b) radiochrominis filmas ant švininės apsaugos

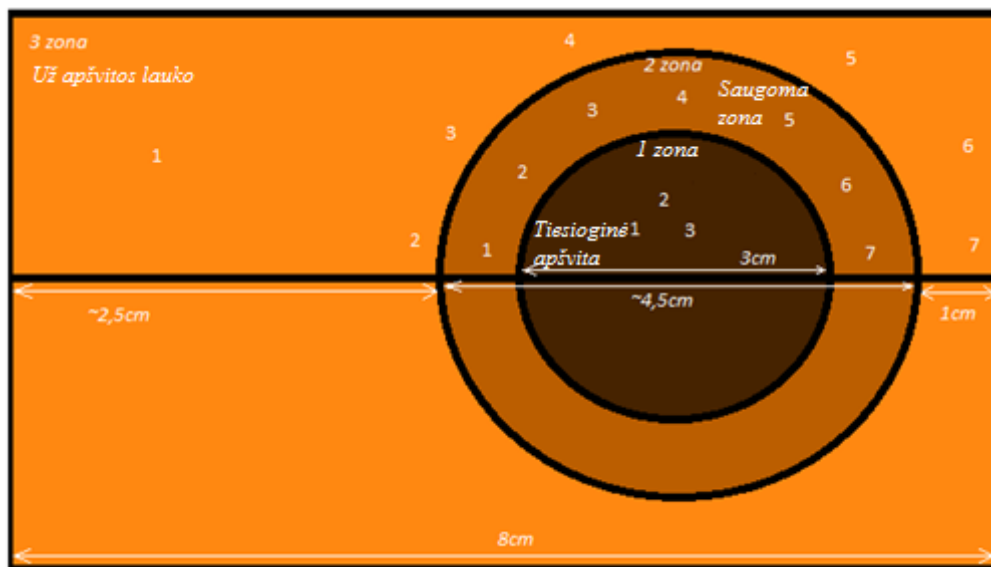
Radiochrominiai filmai buvo apšvitinti tokia doze, kad dozės maksimumas 0,5 cm gylyje būtų 4 Gy (o tai atitinka 379 MU). Po apšvitos (28 pav.), filmai buvo nuskenuoti. Vien iš vizualaus filmo vaizdo iškart po švitinimo procedūros, labai aiškiai matėsi kuri zona buvo „apsaugota“ nuo rentgeno spinduliuotės, o kuri ne (28 pav.). Kaip matome iš tamsiosios filmo dalies dydžio kiekvienu atveju, kai radiochrominis filmas buvo po švinine apsauga apverstas ir neapverstas, apšvitos lauko dydis yra lygus - Ø3cm. Kai radiochrominiam filmui esant ant švininės apsaugos, iš gautų rezultatų matome, kad apšvitos lauko dydis nepakito, t.y. radiochrominio filmo tamsioji dalis yra tokia pat kaip ir akrilinio aplikatoriaus skersmuo ~ 4 cm. Taip naudodamiesi filmais galime įvertinti pasigamintos švininės apsaugos efektyvumą sugeriant rentgeno spinduliuotę.



**28 pav.** Radiochrominiai filmai po rentgeno spinduliuotės su švinine apsauga. Iš viršaus į apačią: 1 - radiochrominis filmas, po švinine apsauga (neapverstas); 2 –radiochrominis filmas, po švinine apsauga (apverstas); 3 – radiochrominis filmas, ant švininės apsaugos

Naudojantis vaizdų analizės programa „Image J“, buvo pasirinkta raudonos spalvos dedamoji (gamintojo rekomendacija). Analizuojamas radiochromines filmas buvo išskirtas į tris zonas: 1 zona – apšvitos laukas (29 pav.), 2 zona – apsaugota sritis, naudojant švininę apsaugą (29 pav.), 3

zona – sritis už apšvitos lauko (29 pav.). Kiekvienoje zonoje buvo analizuojami pasirinkti taškai (29 pav.). Kiekvienoje tyrimui skirtoje zonoje, rezultatų analizei, norint užtikrinti gautų rezultatų tikslumą, buvo pasirinktas daugiau negu vienas taškas (priklausomai nuo tiriamos zonos tyrimo taškų skaičius kito nuo 3 iki 7).

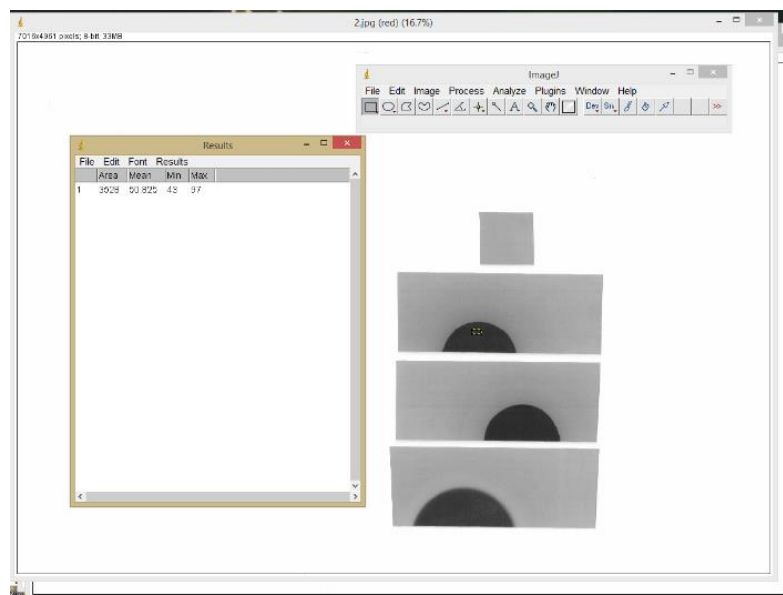


**29 pav.** Radiochrominio filmo po apšvitos – matuojami taškai konkrečioje zonoje

Visi taškai, su kiekviena švinine apsauga ir kiekviena radiochrominio filmo padėtimi yra analizuojami vienodai: (1 zona su išskirtais trimis taškais, 2 zona su išskirtais 7 taškais ir 3 zona su išskirtais 7 taškais).

Pirmoje zonoje (29 pav.) – apšvitos lauke – išskiriami trys taškai, kad nustatyti koks yra dozės pasiskirstymas apšvitos lauke. Antrojoje zonoje (29 pav.) – po švininės apsaugos – išskiriami 7 taškai, kad būtų galima vertinti, koks yra dozės pasiskirstymas po švinine apsauga. Trečiojoje zonoje – už apšvitos lauko – taip pat, kaip ir antrojoje zonoje, yra analizuojami 7 taškai, kad būtų galima įvertinti išsklaidytą sugertąją dozę už apšvitos lauko ribų.

Analizuojant radiochrominius filmus, kiekvienoje zonoje yra išmatuojamos minėtų taškų (29 pav.) pikselių tamsumo reikšmės su programa „Image J“. Tuomet, pasinaudojus radiochrominių filmų optinio tankio formule, yra apskaičiuojamas kiekvienos vidutinės reikšmės optinis tankis (*angl. Optical density – OD*). Naudojantis kalibracijos kreive (20 pav.), kiekviena *OD* reikšmė yra surandama iš kalibracijos kreivės. Visi rezultatai, su skirtingomis švininėmis apsaugomis ir skirtingomis radiochrominių filmų padėtimis pateikti 3-5 lentelėse.



**30 pav.** Radiochrominių filmų analizė su programa "Image J"

2-4 lentelėse pateikti rezultatai, kai buvo panaudotos pasigamintos skirtingos švininės apsaugos. Lentelėje yra išskirtos visos trys zonos (1 zona – apšvitęs laukas, 2 zona – saugoma zona po švinine apsauga, 3 zona – už apšvitęs lauko ribų), taip pat tiriamosiose zonose pateikiamos *OD* reikšmės bei jas atitinkančios dozės. Taip pat yra nustatomas kiekvienos zonos dozės vidurkis, tam, kad galėtume įvertinti vidutinę išėjos dozę kiekvienoje zonoje, taip užtikrinant atliktų eksperimentinių matavimų tikslumą.

**2 lentelė.** Rezultatai, kai buvo panaudotas 1,9 mm storio švino lydinys

Apšvitęs dozė, Gy	Monitoriaus vienetai, MU	Matavimo zona	Matavimo taškas	Filmas po švinu, neapverstas			Filmas po švinu, apverstas			Filmas ant švino		
				OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy
4	379	1 zona	1	0,48213	4,3	4,53	0,56718	6,1	5,37	0,43775	3,6	4,23
			2	52,587	4,7		0,55145	6		0,47626	4,3	
			3	54,153	4,6		0,52518	4		0,44443	4,8	
		2 zona	1	146,507	0,2	0,26	0,05579	0,1	0,16	0,02006	3,1	3,29
			2	141,937	0,2		0,06511	0,2		0,03765	3,4	
			3	139,378	0,3		0,06749	0,2		0,04025	3,1	
			4	135,394	0,3		0,07574	0,2		0,03549	3	
			5	135,367	0,3		0,07305	0,2		0,04319	3,4	
			6	137,628	0,3		0,05977	0,1		0,05141	3,8	
			7	143,282	0,2		0,04744	0,1		0,05495	3,2	
		3 zona	1	159,921	0,1	0,06	0,01821	0,05	0,07	0,024	0,05	0,05
			2	174,541	0		0,02573	0,05		0,00772	0,05	
			3	164,715	0,05		0,03856	0,1		0,02664	0,05	
			4	165,787	0,05		0,03809	0,1		0,02602	0,05	
			5	157,808	0,1		0,034	0,1		0,02683	0,05	
			6	158,074	0,1		0,00929	0,05		0,0136	0,05	
			7	161,333	0,05		0,01353	0,05		0,00768	0,05	

**3 lentelė.** Rezultatai, kai buvo panaudotas 3,1 mm storio švino lydinys

Apšvitosis dozė, Gy	Monitoriaus vienetai, MU	Matavimo zona	Matavimo taškas	Filmas po švinu, neapverstas			Filmas po švinu, apverstas			Filmas ant švino		
				OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy
4	379	1 zona	1	0,53095	5,5	5,17	0,5699	6	6,03	0,47855	4,3	4,20
			2	0,51508	5		0,58994	6,1		0,47672	4,3	
			3	0,51128	5		0,55734	6		0,43983	4	
		2 zona	1	0,43135	0,1	0,36	0,04559	0,1	0,14	-0,0039	4	3,33
			2	0,44819	0,55		0,05683	0,1		0,00897	0,2	
			3	0,47131	0,2		0,06174	0,2		0,01087	4,2	
			4	0,43022	0,4		0,07068	0,2		0,01264	4	
			5	0,43	0,6		0,06953	0,2		0,01304	4	
			6	0,39755	0,55		0,05604	0,1		0,00918	3	
			7	0,42102	0,15		0,04201	0,1		-0,0113	3,9	
		3 zona	1	0,00517	0,01	0,10	0,01015	0,1	0,16	0,00222	0	0,06
			2	0,0241	0,05		0,03666	0,2		-0,0019	0	
			3	0,04702	0,15		0,04056	0,2		0,01387	0,1	
			4	0,046	0,15		0,0375	0,2		0,01181	0,1	
			5	0,05386	0,14		0,04229	0,2		0,00812	0,1	
			6	0,03555	0,16		0,00615	0,1		0,0068	0,1	
			7	0,00877	0,05		0,01217	0,1		-0,0122	0	

**4 lentelė.** Rezultatai, kai buvo panaudota 3,9 mm storio švinuota guma

Apšvitosis dozė, Gy	Monitoriaus vienetai, MU	Matavimo zona	Matavimo taškas	Filmas po švinu, neapverstas			Filmas po švinu, apverstas			Filmas ant švino		
				OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy	OD	Nustatyta dozė, Gy	Nustatytos dozės vidurkis, Gy
4	379	1 zona	1	0,48213	4,3	4,53	0,56718	6,1	5,37	0,43775	3,6	4,23
			2	52,587	4,7		0,55145	6		0,47626	4,3	
			3	54,153	4,6		0,52518	4		0,44443	4,8	
		2 zona	1	146,507	0,2	0,26	0,05579	0,1	0,16	0,02006	3,1	3,29
			2	141,937	0,2		0,06511	0,2		0,03765	3,4	
			3	139,378	0,3		0,06749	0,2		0,04025	3,1	
			4	135,394	0,3		0,07574	0,2		0,03549	3	
			5	135,367	0,3		0,07305	0,2		0,04319	3,4	
			6	137,628	0,3		0,05977	0,1		0,05141	3,8	
			7	143,282	0,2		0,04744	0,1		0,05495	3,2	
		3 zona	1	159,921	0,1	0,06	0,01821	0,05	0,07	0,024	0,05	0,05
			2	174,541	0		0,02573	0,05		0,00772	0,05	
			3	164,715	0,05		0,03856	0,1		0,02664	0,05	
			4	165,787	0,05		0,03809	0,1		0,02602	0,05	
			5	157,808	0,1		0,034	0,1		0,02683	0,05	
			6	158,074	0,1		0,00929	0,05		0,0136	0,05	
			7	161,333	0,05		0,01353	0,05		0,00768	0,05	

Gauti rezultatai parodė, kad naudojant pasigamintas švinines apsaugas, dozės vidurkis sumažėja (nuo ~5 Gy net iki 0,26 Gy). Be to, 2-4 lentelėse, pateikti rezultatai, kai filmas buvo ant švininės apsaugos, nustatytos dozės vidurkis sumažėjo nuo 4,23 Gy tik iki 3,29 Gy. Todėl sekantis šio tiriamojo darbo žingsnis buvo naudojantis 2D filmų dozimetrija įvertinti, sklaidos ir sugerties procesus naudojant pasigamintas švinines apsaugas.

*Švininių apsaugų išėjos dozių įvertinimas 2D filmų dozimetrija.*

Žinant rentgeno spinduliuotės įėjos dozę ir nustačius išėjos dozę, buvo apskaičiuota, koks santykinis pokytis yra tarp įėjos ir išėjos dozių.

**5 lentelė.** Įėjos ir išėjos dozių santykis su 1,9 mm storio švinine apsauga.

Filmo padėtis	Įėjos dozė (1 zona), Gy	Išėjos dozė, Gy		Įėjos dozė/ išėjos dozė	Dozės procentinis pokytis, %
		2 zona	3 zona		
Filmas po švinu (neapverstas)	4,53	0,26		17,42	94,26
	4,53		0,06	75,50	98,68
Filmas po švinu (apverstas)	5,37	0,16		33,56	97,02
	5,37		0,07	76,71	98,70
Filmas ant švino	4,23	3,29		1,29	22,22
	4,23		0,05	84,60	98,82

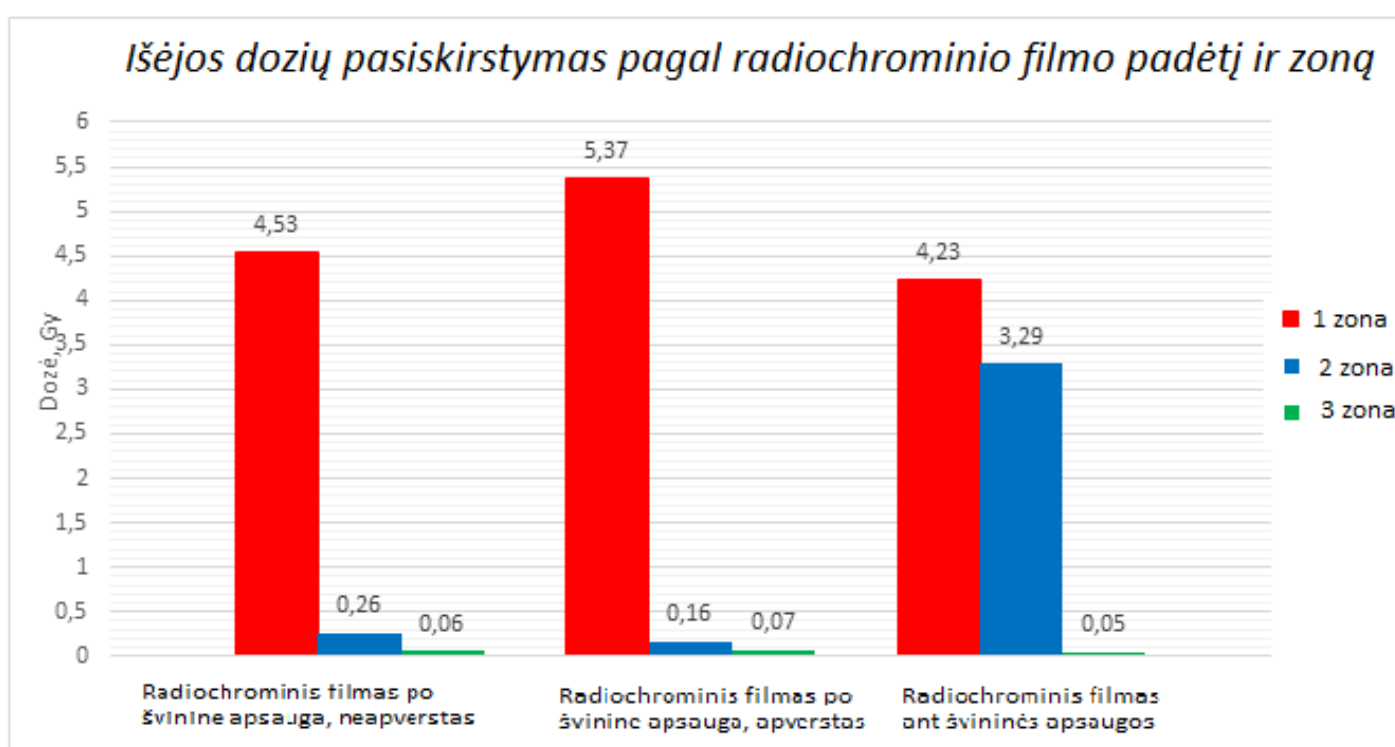
5 lentelėje pateikiami duomenys su pirmąja – 1,9 mm storio švinine apsauga (1 zona (29 pav.) – apšvitos lauke išmatuota dozė, tai įėjos dozė. Šios dozės atžilgiu įvertinti gauti 2 ir 3 zonų (po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų) rezultatai. Apskaičiuota, kiek kartų ir kaip procentaliai sumažėjo apšvitos dozė (5 lentelė). Kai radiochrominis filmas buvo po švinine apsauga (neapverstas), tiesioginės apšvitos lauke įėjos dozė lygi 4,53 Gy. Su ta pačia švinine apsauga, filmui esant po švinine apsauga (apverstas), tiesioginės apšvitos lauke įėjos dozė yra 5,37 Gy. Kai radiochrominis filmas buvo padėtas ant šviningės apsaugos, įėjos dozė tiesioginės apšvitos lauke yra lygi 4,23 Gy. Gauti rezultatai parodė, kad visgi fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos šviningės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo tūryje. Tačiau fotonų sklaida nuo fantomo yra vyraujanti.

Antrojoje zonoje – po švinine apsauga, kai filmas neapverstas, išėjos dozė sumažėjo 17,42 karto, t.y. įvertinama, kad šviningė apsauga sugeria 94,26 % spinduliuotės. Radiochrominį filmą apšvitinus toje pačioje padėtyje (po švinine apsauga, filma apversta (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomo pusę)), išėjimo dozė sumažėjo 33,56 karto, tai reiškia, kad yra sugerama 97,02% spinduliuotės. Gauti rezultatai parodė, kad visgi nors fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos šviningės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo tūryje. Tačiau fotonų sklaida nuo šviningės apsaugos yra vyraujanti.

Trečiojoje zonoje – už apšvitos lauko – lyginant išėjos dozę su įėjos doze (nors tiesioginės rentgeno spinduliuotės ši zona negavo), kai radiochrominis filmas buvo po švinine apsauga neapverstas, dozių santykis buvo 75,5 karto, kai filmas buvo po švinine apsauga apverstas, dozių

santykis 76,71 karto, o kai radiochrominis filmas buvo ant švininės apsaugos, dozių santykis buvo 84,6 karto (t.y. tiek kartų užfiksuota išėjos dozė (trečiojoje - už apšvitos lauko – zonoje) yra mažesnė už įėjos dozę pirmojoje – tiesioginės apšvitos lauko – zonoje).

31 pav. pateiktas 5 lentelės išėjos dozių pasiskirstymas pagal tirtą radiochrominio filmo padėtį ir zoną. Kaip matoma grafike, didžiausia išėjos dozė - po švinine apsauga (2 zona) yra gaunama, kai radiochrominis filmas yra neapverstas po švinine apsauga. Taip yra todėl, kad filmo jautrioji pusė buvo atsukta į švininę apsaugą. Saugomoje zonoje (2 zona) ir už apšvitos lauko mažiausia išėjos dozė gauta, kai filmo padėtis yra po švinine apsauga (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomą). Taip yra todėl, kad sklaidos procesai yra vyraujantys nuo švininės apsaugos.



**31 pav.** Išėjos dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudotas 1,9 mm storio švino lydinys



**6 lentelė.** Įėjus ir išėjus dozių santykis su 3,1 mm storio švinine apsauga.

Filmo padėtis	Įėjus dozė (1 zona), Gy	Išėjus dozė, Gy		Įėjus dozė/ išėjus dozė	Dozės procentinis pokytis, %
		2 zona	3 zona		
Filmas po švinu (neapverstas)	5,17	0,36		14,36	93,04
	5,17		0,1	51,70	98,07
Filmas po švinu (apverstas)	6,03	0,14		43,07	97,68
	6,03		0,16	37,69	97,35
Filmas ant švino	4,2	3,33		1,26	20,71
	4,2		0,06	70,00	98,57

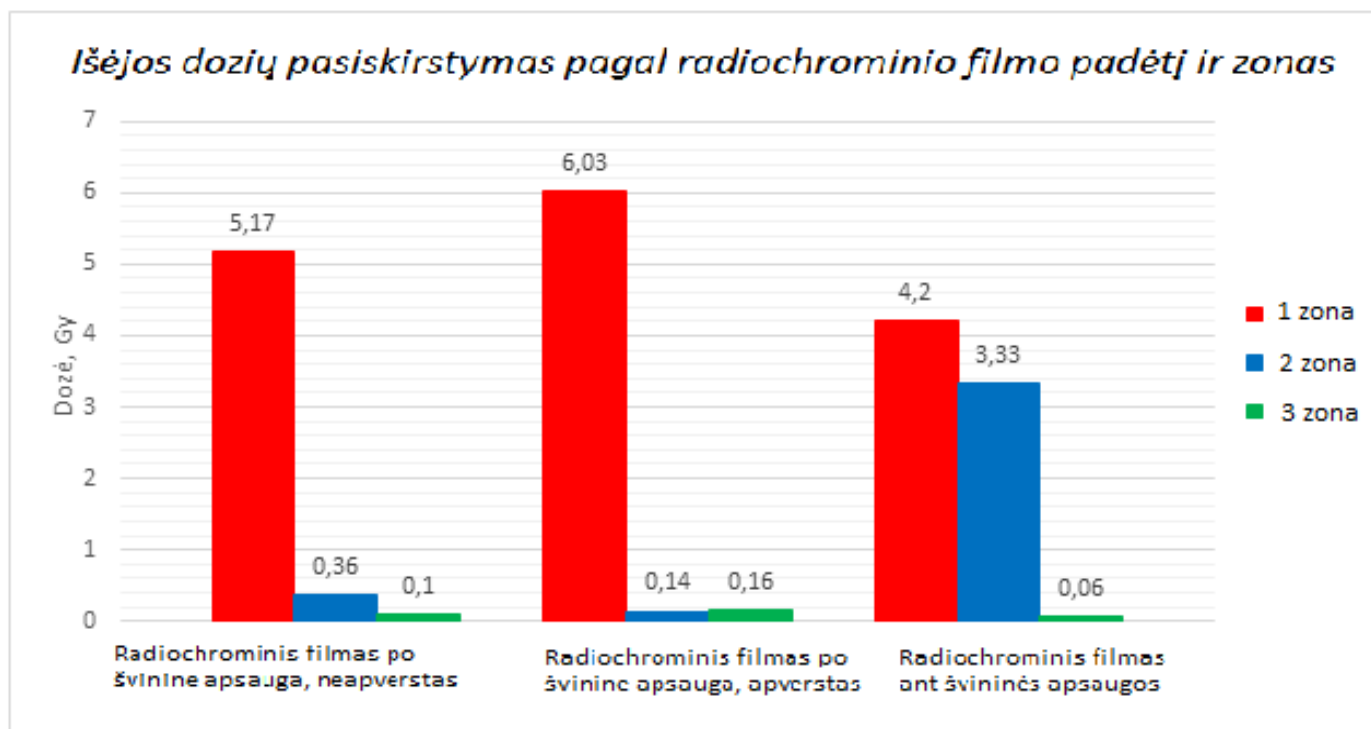
6 lentelėje pateikiami rezultatai su antrąja – 3,1 mm storio švinine apsauga (1 zona (29 pav.) – apšvitęs lauke išmatuota dozė, tai įėjus dozė. Šios dozės atžilgiu įvertinti gauti 2 ir 3 zonų (po švinine apsauga ir už apšvitęs lauko ribų) rezultatai. Apskaičiuota kiek kartų ir kaip procentaliai sumažėjo apšvitęs dozė (6 lentelė). Kai radiochrominis filmas buvo po švinine apsauga (neapverstas), tiesioginės apšvitęs lauke įėjus dozė lygi 5,17 Gy. Su ta pačia švinine apsauga, filmui esant po švinine apsauga (apverstas), tiesioginės apšvitęs lauke įėjus dozė yra 6,03 Gy. Kai radiochrominis filmas buvo padėtas ant švininės apsaugos, įėjus dozė yra 4,2 Gy. Gauti rezultatai parodė, kad visgi fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos švininės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo tūryje. Tačiau fotonų sklaida nuo fantomo yra vyraujanti.

Antrojoje zonoje – po švinine apsauga – kai filmas neapverstas, išėjus dozė sumažėjo 14,36 karto, t.y. įvertinama, kad švininė apsauga sugeria 93,03 % spinduliuotės. Radiochrominį filmą apšvitinus toje pačioje padėtyje (po švinine apsauga, filma apversta (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomo pusę)), išėjus dozė sumažėja 43,07 karto, tai reiškia, kad yra sugerama 97,68 % rentgeno spinduliuotės. Gauti rezultatai parodė, kad visgi fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos švininės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo srityje. Tačiau fotonų sklaida nuo švininės apsaugos yra vyraujanti.

Trečiojoje zonoje – už apšvitęs lauko – lyginant išėjus dozę su įėjus doze (nors tiesioginės rentgeno spinduliuotės ši zona negavo), kai radiochrominis filmas yra po švinine apsauga neapverstas, dazių santykis buvo 51,7 karto, kai filmas buvo po švinine apsauga apverstas, dozių santykis 37,69 karto.

32 pav. pateikta 6 lentelės išėjus dozių pasiskirstymas pagal tirtą radiochrominio filmo padėtį ir zoną. Kaip matome grafike, didžiausia išėjus dozė – po švinine apsauga (2 zona) yra gaunama, kai radiochrominis filmas yra po švinine apsauga neapverstas. Taip yra todėl, kad filmo jautrioji pusė buvo atsukta į švininę apsaugą. Saugomoje zonoje (2 zona) ir už apšvitęs lauko mažiausia

išėjos dozė gauta, kai filmo padėtis yra po švinine apsauga (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomą). Taip yra todėl, kad sklaidos procesai yra vyraujantys nuo švininės apsaugos.



**32 pav.** Išėjos dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudotas 3,1 mm storio švino lydinys

**7 lentelė.** Įėjus ir išėjos dozių santykis su 3,9 mm storio švinuota guma.

Filmo padėtis	Įėjus dozė (1 zona), Gy	Išėjos dozė, Gy		Įėjus dozė/ išėjos dozė	Dozės procentinis pokytis, %
		2 zona	3 zona		
Filmas po švinu (neapverstas)	5,97	0,24		24,88	95,98
	5,97		0,08	74,63	98,66
Filmas po švinu (apverstas)	6,1	0,16		38,13	97,38
	6,1		0,11	55,45	98,20
Filmas ant švino	5,13	3,29		1,56	35,87
	5,13		0,03	171,00	99,42

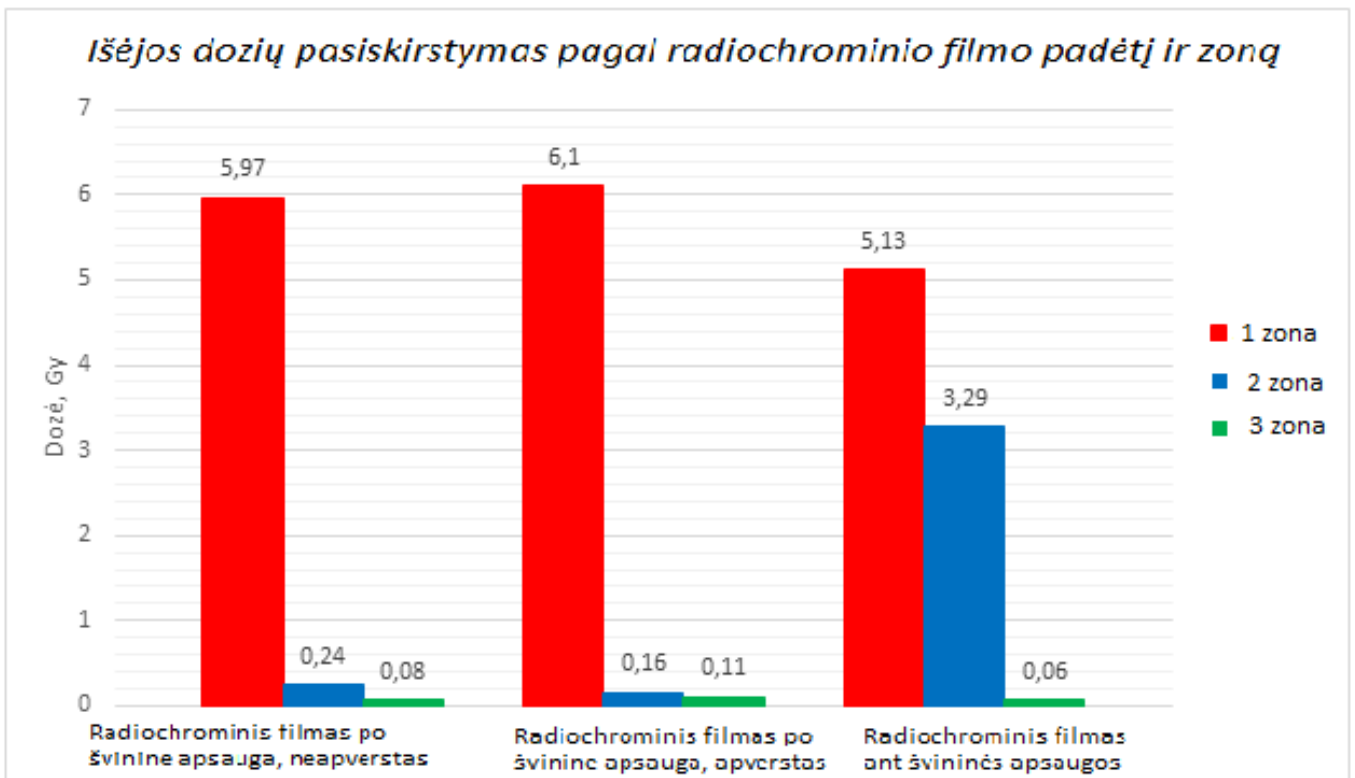
7 lentelėje pateikiami rezultatai su trečiaja apsauga – 3,9 mm storio švinuota guma (1 zona (29 pav.) – apšvitos lauke išmatuota dozė, tai įėjus dozė. Šios dozės atžvilgiu įvertinti gauti 2 ir 3 zonų (po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų) rezultatai. Apskaičiuota kiek kartų ir kaip procentaliai sumažėjo apšvitos dozė (7 lentelė). Kai radiochrominis filmas buvo po švinine apsauga (neapverstas), tiesioginės apšvitos lauke įėjus dozė lygi 5,97 Gy. Su ta pačia švinine apsauga, filmui esant po švinine apsauga (apverstas), tiesioginės apšvitos lauke įėjus dozė yra 6,1

Gy. Kai radiochrominis filmas buvo padėtas ant švininės apsaugos, įėjus dozė yra 5,13 Gy. Gauti rezultatai parodė, kad visgi fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos švininės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo tūryje. Tačiau fotonų sklaida nuo fantomo yra vyraujanti.

Antrojoje zonoje – po švinine apsauga – kai radiochrominis filmas neapversta, išėjos dozė sumažėjo 24,88 kartų, t.y. įvertinama, kad švinuota guma sugeria 95,98 % spinduliuotės. Radiochrominį filmą apšvitinus toje pačioje padėtyje (po švinuota guma, filma apversta (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomo pusę)), išėjos dozė sumažėja 38,13 kartų, tai reiškia, kad švinuota guma sugeria 97,38 % spinduliuotės. Gauti rezultatai parodė, kad visgi fotonai yra išsklaidomi, tiek nuo naudojamos švininės apsaugos, tiek nuo fantomo paviršiaus, tiek fantomo srityje. Tačiau fotonų sklaida nuo švininės apsaugos yra vyraujanti.

Trečiojoje zonoje – už apšvitos lauko – lyginant išėjos dozę su įėjus dozė (nors tiesioginės rentgeno spinduliuotės ši zona negavo), kai radiochrominis filmas yra po švinuota guma neapverstas, dazių santykis buvo 74,63 karto, kai filmas buvo po švinuota guma apverstas, dozių santykis 55,45 karto.

33 pav. pateikta 7 lentelės išėjos dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną. Kaip matome grafike, didžiausia išėjos dozė - saugomoje zonoje (2 zona) yra gaunama, kai radiochrominis filmas yra po švinuota guma neapverstas. Taip yra todėl, kad filmo jautrioji pusė buvo atsukta į švinuotą gumą. Saugomoje zonoje (2 zona) ir už apšvitos lauko mažiausia išėjos dozė gauta, kai filmo padėtis po švinuota guma (filmo jautrioji pusė atsukta į fantomą). Taip yra todėl, kad sklaidos procesai yra vyraujantys nuo švininės apsaugos.



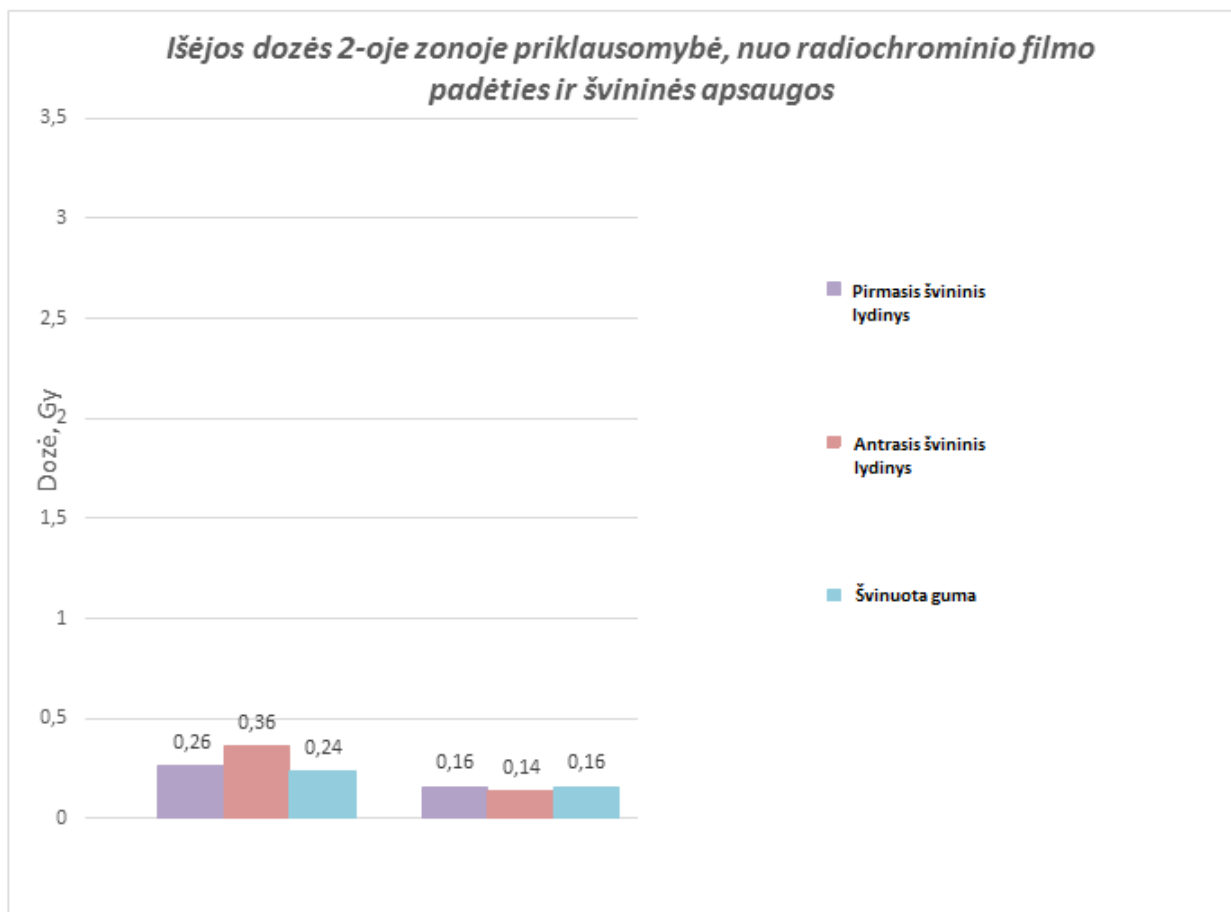
**33 pav.** Išėjos dozių pasiskirstymas pagal radiochrominio filmo padėtį ir zoną, kai buvo panaudota 3,9mm storio švinuota guma

*Švininių apsaugų išėjos dozių įvertinimas, 2D filmų dozimetrija, po švinine apsauga (2 zona).*

Vienas iš tyrimo uždavinių buvo išsiaiškinti, kaip konkrečiai saugo kiekviena švininė apsauga, ir kaip priklauso išėjos dozė toje pačioje zonoje. Įvertinimui naudotasi 2D filmų dozimetrijos rezultatais.

Radiochrominiam filmui esant po švinine apsauga apverstam, mažiausia išėjos dozė yra, naudojant 3,1mm storio švino lydinį, o 1,9 mm storio švino lydinys ir 3,9 mm storio švinuota guma „saugo“ vienodai.

2D radiochrominių filmų dozimetrijos pagalba išsiaiškinta, kad fotonai yra išsklaidomi nuo fantomo paviršiaus sklaidą fantomo tūryje bei sklaidą švininėje apsaugoje. Įvertinus gautus tyrimų rezultatus su pasigamintomis skirtingomis švininėmis apsaugomis galima teigti, kad 1,9 mm storio švino lydinys bei 3,9 mm švinuota guma, ra tos švininės apsaugos, kurioms nors ir būdinga rentgeno spindulių sklaida, tačiau registruojamoms dozėms jos įtaka nėra didelė, jeigu lyginsime su atgaline sklaida nuo fantomo paviršiaus.



**34 pav.** Išėjos dozės priklausomybė nuo radiochrominio filmo padėties ir pasigamintos, po švinine apsauga (2 zona)

### 3.2. Sugertoji paviršinė išėjos dozė per 1 ir 16 „gydymo“ frakcijų

Odos vėžio gydymas, klinikinėje praktikoje yra gydomas 4Gy/ 1 frakciją, kai suminė viso gydymo paskirtoji dozė yra lygis 64 Gy (16 frakcijų). Todėl šiame tiriamajame darbe atliktas gautų rezultatų vertinimas 4Gy/ 1 frakciją bei viso gydymo suminės sugertosios paviršinės išėjos dozės.

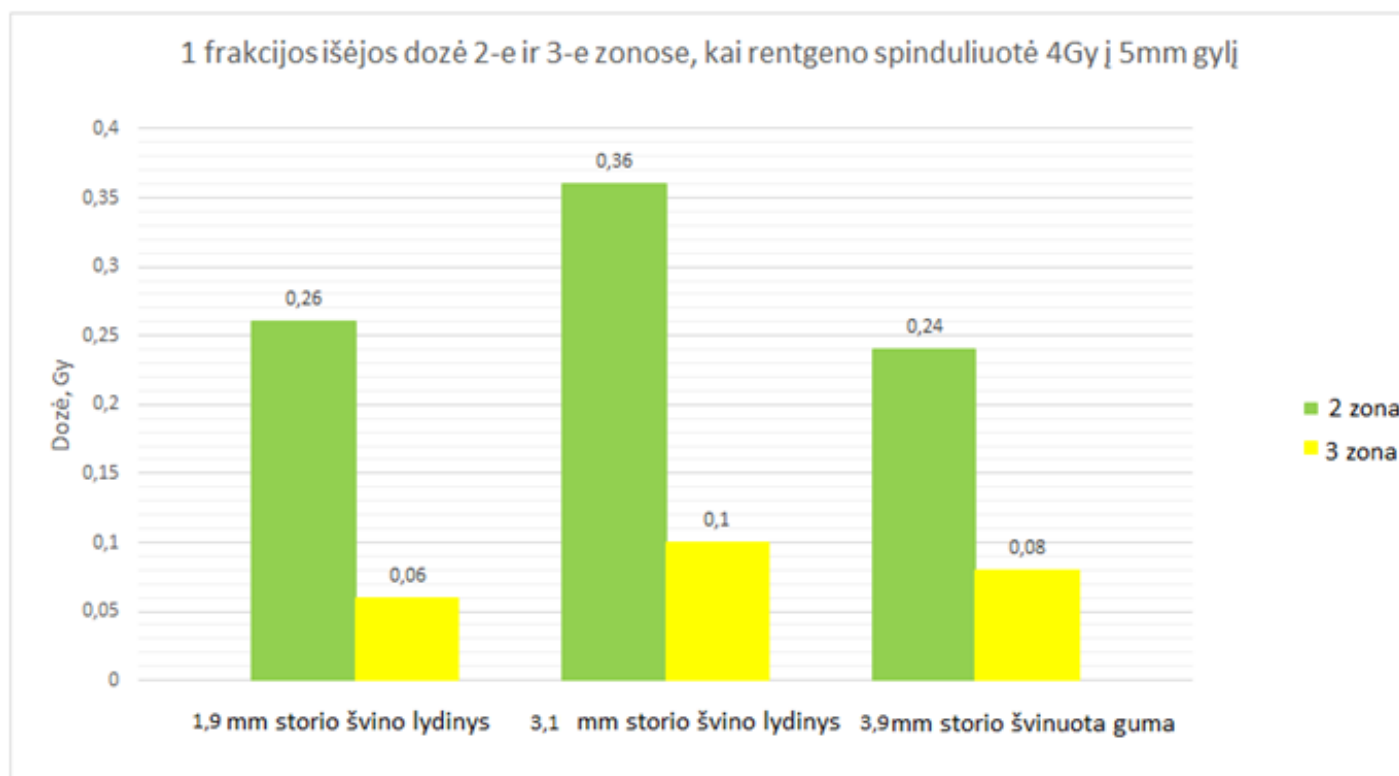
*1 frakcijos išėjos dozė po švinine apsauga ir zonoje už apšvitos lauko ribų, kai pasirinktoji apšvitos procedūros dozė yra 4Gy per frakciją (35 pav.).*

**8 lentelė.** 1 frakcijos išėjos dozė po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų, kai apšvitos procedūros dozė yra 4 Gy per frakciją.

Zona	Išėjos dozė, Gy		
	1,9mm storio švino lydinys	3,1mm storio švino lydinys	3,9mm storio švinuota guma
2 zona	0,26	0,36	0,24
3 zona	0,06	0,1	0,08
Suminė dozė, Gy	0,32	0,46	0,32

4 Gy/ per frakciją, tai standartinė klinikinė odos vėžio gydymui skirta dozė. Vienas iš uždavinių buvo išsiaiškinti, kuri apsauga galėtų būti panaudojama klinikinės odos vėžio gydymo

procedūros metu. Kaip matome iš 8 lentelės ir grafiko (35 pav.), po švinine apsauga, mažiausią išėjos dozė yra gaunama naudojant 3,9 mm storio švinuotą gumą, o zonoje už apšvitos lauko, mažiausia sklaida yra naudojant 1,9 mm storio švino lydinį. Suskaičiavus 1 frakcijos suminę dozė po švinine apsauga ir už apšvitos lauko gauname, kad tiek 1,9 mm storio švino lydinio, tiek švinuotos gumos savybės parodo, kad šios švininės apsaugos gali būti naudojamos klinikinėje praktikoje, nes joms būdinga mažiausia išėjos dozė po švinine apsauga, esančia apšvitos lauke.



**35pav.** 1 frakcijos išėjos dozė saugomoje ir už apšvitos lauko ribų (3 zona), 4 Gy/ frakciją apšvitos metu

16 frakcijų suminė išėjos dozė po švinine apsauga ir zonoje už apšvitos lauko ribų, kai paskirtoji apšvitos procedūros dozė yra 4 Gy per frakciją (36 pav.).

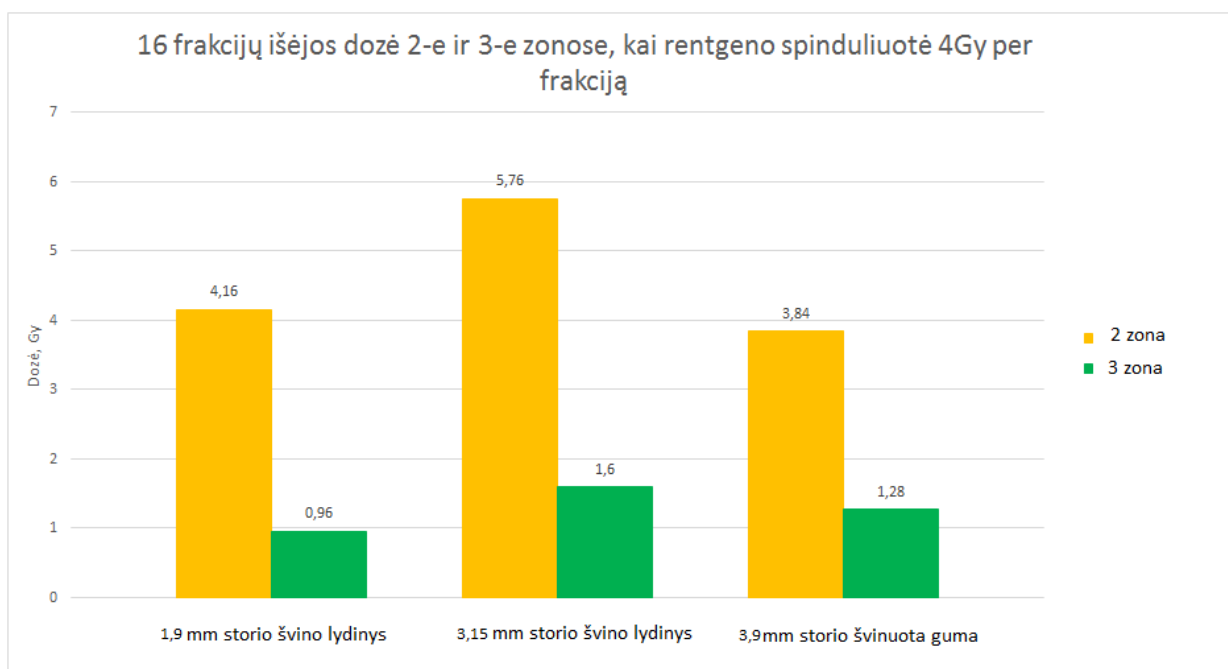
**9 lentelė.** 16 frakcijų suminė sugertoji išėjos dozė po švinine apsauga ir už apšvitos lauko ribų, kai viso „gydymo“ paskirtoji dozė yra lygi 64 Gy

Zona	Išėjos dozė, Gy		
	19mm storio švino lydinys	31,5mm storio švino lydinys	39mm storio švinuota guma
2 zona	4,16	5,76	3,84
3 zona	0,96	1,6	1,28
Suminė dozė, Gy	5,12	7,36	5,12

Sukaupta dozė per 16 frakcijų su pasigamintomis švininėmis apsaugomis pateikiama 9 lentelėje. Kaip matome iš 9 lentelės ir iš grafiko (36 pav.), mažiausia suminė dozė viso „gydymo metu“ yra, kai naudojama 3,9 mm storio švinuota guma arba 1,9 mm storio švino lydinys. Nors

3,1 mm švino lydinys yra storesnis už 1,9 mm švino lydinį, tačiau jų efektyvumas akivaizdžiai skiriasi. Taip yra todėl, kad skiriasi švino sudėtis.

Jeigu toks klinikinėje praktikoje „Paciento“ sveiki audiniai (odos paviršius po švinine apsauga) būtų apšvitintas 5,12 Gy per 16 frakcijų, tokiu atveju bus stebimos trumpalaikės ankstyvosios reakcijos, tokios kaip eritema (odos paraudimas).



**36pav.** 16 frakcijų suminė paviršinės išėjimo dozė saugomoje ir už apšvitimo lauko ribų

### 3.3. Švininės apsaugos naudingumo koeficiento skaičiavimas.

Švininės apsaugos naudingumo koeficientas skaičiuojamas pagal 9 formulę. Kiekvienai švininei apsaugai nustatyti konkretų naudingumo koeficientą yra naudojami du pagrindiniai parametrai: dozės vertė prieš švininę apsaugą ir dozės vertė už jos. Dozės vertė prieš apsaugą – pirmos zonos dozių vidurkis, radiochrominiam filmui esant ant švininės apsaugos. Dozės vertė už švininės apsaugos – antros zonos dozių vidurkis, radiochrominiam filmui esant po švinine apsauga neapverstam. Visi duomenys ir rezultatai surašyti 10 lentelėje.

$$\eta = \frac{D_1 - D_2}{D_1} * 100\% \quad (9)$$

Čia:  $D_1$  – įėjimo dozė [Gy];  $D_2$  – išėjimo dozė [Gy].

**10 lentelė.** Švininių apsaugų naudingumo koeficientai

Švininė apsauga	Dozės vertė prieš apsaugą, Gy	Dozės vertė už apsaugos, Gy	Švino apsaugos naudingumo koeficientas
1,9mm storio švininis lydinys	4,23	0,26	93,85
3,1mm storio švininis lydinys	4,2	0,36	91,42
3,9mm storio švinuota guma	5,13	0,24	95,32

Įvertinus švininių apsaugų naudingumo koeficientus ir sukauptą dozę per 14 frakcijų, matome, kad didžiausią naudingumo koeficientą turi 3,9 mm storio švinuota guma. Ir nors per 14 frakcijų suminė apšvita buvo sukaupta tiek su 1,9 mm storio švino lydiniu, tiek su 3,9 mm storio švinuota guma, bet atsižvelgus, kad švinuotos gumos naudingumo koeficientas yra 1,5 % didesnis už 1,9 mm švino lydinio naudingumo koeficientą, todėl rekomenduojama naudoti švinuotą gumą kaip apsaugos priemonę rentgeno spinduliuotei sumažinti.



## Išvados

1. Tiriamojo darbo metu buvo parengta radiochrominių filmų GAFCHROMIC XR – QA2 rezultatų įvertinimo metodika, kurioje panaudojamas filmų nuskaitymas su dokumentų skaneriu ir gautųjų vaizdų analizė su programiniu paketu Image J. Taikant šią metodiką galima lengvai pervesti radiochrominių filmų vaizdą į sugertosios dozės „žemėlapius“ bei nuskaityti kokia dozė yra pasirinktame taške.
2. Įvertinus sugertosios dozės pasiskirstymą, naudojant švinines apsaugas, nustatyta, kad sugertosios dozės pasiskirstymas apšvitos lauke atitinka dozės maksimumą. Radiochrominiam filmui, esant po švinine apsauga, dozė kinta 95,98%, iki 97,38%. Toks dozės padidėjimas stebimas dėl sklaidos fantomo paviršiuje, kuri yra būdinga nedidelėms fotonų energijoms.
3. Švininių apsaugų naudingumo koeficiento vertinimas su radiochrominiais filmais GAFCHROMIC XR – QA2 parodė, kad švininės apsaugos trumpažidininės rentgeno terapijos metu yra naudoti tikslynga, nes švino naudingumo koeficientas yra daugiau nei 90 %. Klinikinėje praktikoje rekomenduojama taikyti 3,9 mm storio švinuotos gumos apsaugą, nes šios apsaugos naudingumo koeficientas yra 95,32 %.

## Literatūros sąrašas

1. Prieiga internete : <http://www.histomer.lt/index.php/straipsniai/267-odos-sandara> (žiūrėta 2016-02-03).
2. Prieiga internete : [http://www.knowyourownskin.com.au/understanding-skin/layers-of-the-skin/\(žiūrėta 2016-02-03\)](http://www.knowyourownskin.com.au/understanding-skin/layers-of-the-skin/(žiūrėta 2016-02-03)).
3. Prieiga internete : [http://www.bioderma.com/uploads/pics/The\\_skin\\_.jpg](http://www.bioderma.com/uploads/pics/The_skin_.jpg) (žiūrėta 2016-02-03).
4. Lietuvos sveikatos apsaugos ministerija, Higienos instituto Sveikatos informacijos centras, Lietuvos sveikatos statistika, 2014, p 32 – 40.
5. Hanahan D, Weinberg RA. „The Hallmarks of Cancer“. *Cell*, **100** (1), 57–70 (2000 m. January)
6. “Scientists Revisit ‘Hallmarks of Cancer’”, *Science Daily*, 16 March 2011.
7. Informacinis leidinys “Skin cancers”, © World Health Organization, <http://www.who.int/uv/faq/skincancer/en/index1.html>
8. Prieiga internete: <http://www.cancer.org/cancer/skincancer/> (žiūrėta 2016-02-10)
9. Informacinis leidinys „Melanoma“, © 2016 The Skin Cancer Foundation, <http://www.skincancer.org/skin-cancer-information>
10. Prieiga internete: [http://ligos.sveikas.lt/lt/ligos/onkologines\\_ligos/odos\\_piktybiniai\\_navikai\\_odos\\_vezys](http://ligos.sveikas.lt/lt/ligos/onkologines_ligos/odos_piktybiniai_navikai_odos_vezys) (žiūrėta 2016-02-17)
11. Informacinis leidinys „Odos vėžys“, © 2013 Vilniaus lazerinės dermatologijos centras. <http://www.odosveziogydymas.lt/lt/odos-vezio-gydymas>
12. CK Bomford, IH Kunkler, J Walter. Walter and Miller’s Textbook of Radiation therapy (6th Ed), p311
13. Informacinis leidinys „Superficial X-ray therapy“, © 2016 Community Hospital of the Monterey Peninsula.
14. Informacinis leidinys „Understanding percentage dose-depth curves“, © 2016 Stack Exchange Inc, <http://physics.stackexchange.com/questions/174588/understanding-percentage-dose-depth-curves>
15. Prieiga internete: [http://www.irsn.fr/fr/professionnels\\_sante/documentation/documents/syllabus\\_chapitre\\_8.pdf](http://www.irsn.fr/fr/professionnels_sante/documentation/documents/syllabus_chapitre_8.pdf) (žiūrėta 2016-02-24)
16. Informacinis leidinys: „Radiotherapy for malignant skin diseases“, ©2016 DermNet New Zealand Trust, <http://www.dermnetnz.org/procedures/radiotherapy.html>
17. A. Poškus, Vilniaus Universitetas, Fizikos fakultetas, „Rentgeno spinduliuotė“ 2012m., 4-7psl.
18. Fizika tvirdojo tela. A.A. Kacnelson, G.C. Krinčik. Moskovskij universitet. 1982 m. 303 psl.;
19. Algirdas Mekys. Daktaro disertacija. Medžiagų, taikomų jonizuojančiosios spinduliuotės detektorių gamyboje, defektai ir jų reakcijos. Vilniaus universitetas, 2008 m.;
20. Nelson V. K., Mclean I. D., Holloway L. Use of thermoluminescent dosimetry (TLD) for quality assurance of orthovoltage X-ray therapy machines. *Radiation Measurements*, 2008 (Nr.43).p. – 908-911
21. Informacinis leidinys „Thermoluminescent dosimeter“, © 2005-2016 Radiopaedia.org. <http://radiopaedia.org/articles/thermoluminescent-dosimeter>
22. Christopher G. Soares, „Radiochromic Film“, United States Department Of Commerce, National Institute of Standards and Technology. <https://www.aapm.org/meetings/09SS/documents/23Soares-RadiochromicFilm.pdf>
23. Prieiga internete: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.0807.pdf> (žiūrėta 2016-03-06).

24. Prieiga internete: [http://www.filmqapro.com/Documents/Lewis\\_Radiochromic\\_Film\\_20120209.pdf](http://www.filmqapro.com/Documents/Lewis_Radiochromic_Film_20120209.pdf) (žiūrėta 2016-03-06).
25. Characterisation of Gafchromic Film for use in Radiation therapy dosimetry, Master of Science – Research From University of Wollongong, 2011m. 13-14psl.
26. International Speciality Products. Prieiga internete: [http://www.meditron.ch/industrial-and-research/downloads/gafchromic\\_xr\\_series.pdf](http://www.meditron.ch/industrial-and-research/downloads/gafchromic_xr_series.pdf)
27. Fan-Chi Su, Yaxi Liu, Sotirios Stathakis, Chengyu Shi, Carlos Esquivel, Niko Papanikolaou. Dosimetry characteristics of GAFCHROMIC EBT film responding to therapeutic electron beams. Journal Applied Radiation and Isotopes.
28. Martin J. Butson, Tsang Cheung, Peter Yu, Peter Metcalfe. Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy. 2000.
29. Devic S., Radiochromic film dosimetry: past, present, and future. Physica Medica, 2011 (Nr. 27), p. 122 – 134;
30. Prieiga internete: <http://www.fotonas.su.lt/studdarbai/sviesa/svetaine/teorija/elektromagnetines%20bangos/2.3.htm> (žiūrėta 2016-03-14).
31. D3225 Gulmay „Orthovoltage X-ray therapy system“ [http://www.medicalservicesrl.com/radiotherapy-equipment/flash/\\_upload/original/allegati000003\\_d3225-web.pdf](http://www.medicalservicesrl.com/radiotherapy-equipment/flash/_upload/original/allegati000003_d3225-web.pdf)
32. Prieiga internete: <http://moksloklubas.lt/?p=307> (žiūrėta 2016-03-20).
33. Prieiga internete: [http://moksloklubas.lt/?page\\_id=633](http://moksloklubas.lt/?page_id=633) (žiūrėta 2016-03-20).
34. Prieiga internete: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/intro.html> (žiūrėta 2016-03-20).
35. Jonatan Voivin, Nada Tomic, Bassam Fadlallah, Francois DeBlois, Slobodan Devic, „Reference dosimetry during diagnostic CT examination using XR-QA radiochromic film model“, The International Journal of Medical Physics Research and Practice, 2011m.
36. Boivin J, Tomic Bm Fadlallah B, Devic C, „Reference dosimetry during diagnostic CT examination using XR-QA radiochromic film model“, National Institute of Health, 2011m.
37. Di Lillo F, Mettivier G, Sarno A, Tromba G, Tomic N, Devic S, Russo P, „Energy dependent calibration of XR-QA2 radiochromic film with monochromatic and polychromatic x-ray beams“, National Institute of Health, 2016m.
38. Informacinis leidinys „Gafchromic™ radiology films“, © 2016, Ashland. <http://www.ashland.com/products/gafchromic-radiology-films>
39. Prieiga internete: <http://www.kiranxray.com/lead-equivalence.asp> (žiūrėta 2016-04-02).
40. Luis-Alberto Medina, Blanca-Ivone Herrera-Penilla, Mario-Alberto Castro-Morales, Patricia Garcia-Lopez, Rafael Jurado, Enrique Perez-Cardenas, Jose Chanona-Vilchis, Maria-Ester Brandan, „Use of an orthovoltage X-ray treatment unit as a radiation research system in a small-animal cancer model“, Journal of Experimental & Clinical Cancer Research.
41. Adlienė D., Adlys G., Jonizuojančiojo spinduliavimo dozimetrija: mokymo priemonė. Kaunas: Technologija, 1992. p. 47-49, 109-113.
42. Adlienė D., Adlys G., Radiometriniai ir spektrometriniai matavimai: mokymo priemonė. Kaunas: KTU, 1990, p. 4-8.

Priedai

**11 lentelė.** Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4,87	461			484	172,269	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo atverstas	1	484	0,482134	46	66	4,3
3				2	484	0,515329	46	62	4,7
4				3	484	0,502585	47	64	4,6
5				1	484	0,070349	141	150	0,2
6				2	484	0,084112	135	150	0,2
7				3	484	0,092013	131	146	0,3
8				4	484	0,104608	128	142	0,3
9				5	484	0,104694	129	144	0,3
10				6	484	0,0975	133	142	0,3
11				7	484	0,080015	138	148	0,2
12				1	484	0,032302	153	167	0,1
13				2	484	-0,00569	172	177	0
14				3	484	0,019474	162	173	0,05
15				4	484	0,016657	163	168	0,05
16				5	484	0,038078	157	161	0,1
17				6	484	0,037347	155	161	0,1
18				7	484	0,028484	156	167	0,05

**12 lentelė.** Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4,87	461			484	172,269	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo apverstas	1	484	#REF!	43	51	6,1
3				2	484	0,551452	43	56	6
4				3	484	0,525185	43	62	4
5				1	484	0,055786	143	158	0,1
6				2	484	0,065113	143	154	0,2
7				3	484	0,067495	141	158	0,2
8				4	484	0,075739	137	152	0,2
9				5	484	0,073052	137	153	0,2
10				6	484	0,059774	138	174	0,1
11				7	484	0,047436	142	197	0,1
12				1	484	0,018208	161	168	0,05
13				2	484	0,025728	155	168	0,05
14				3	484	0,038557	153	161	0,1
15				4	484	0,038095	155	161	0,1
16				5	484	0,033997	153	163	0,1
17				6	484	0,009288	166	174	0,05
18				7	484	0,013527	163	170	0,05

**13 lentelė.** Matavimo rezultatai su 1,9mm storio švino lydiniu.

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378			484	172,269	165	180	0
36	4	378	1 švinas, ant jo atverstas	1	484	0,482134	53	77	3,3
37				2	484	0,47626	48	68	4,3
38				3	484	0,444425	50	74	4,8
39				1	484	-0,00557	167	182	0
40				2	484	0,011804	161	173	0,05
41				3	484	0,013439	160	172	0,05
42				4	484	0,008961	162	176	0,05
43				5	484	0,016196	157	175	0,05
44				6	484	0,023924	141	178	0,05
45				7	484	0,001199	163	178	0
46				1	484	0,024004	156	166	0,05
47				2	484	0,00772	164	175	0,05
48				3	484	0,026636	156	176	0,05
49				4	484	0,02602	158	168	0,05
50				5	484	0,026826	160	166	0,05
51				6	484	0,013603	164	172	0,05
52				7	484	0,007678	166	174	0,05

**14 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378			462	0,000	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo atverstas	1	462	0,53095	44	57	5,5
3				2	462	0,51508	47	62	5
4				3	462	0,51128	48	61	5
5				1	462	0,07772	137	151	0,1
6				2	462	0,09237	127	150	0,55
7				3	462	0,09563	132	144	0,2
8				4	462	0,09593	128	147	0,4
9				5	462	0,09405	131	145	0,6
10				6	462	0,08292	135	152	0,55
11				7	462	0,07286	137	152	0,15
12				1	462	0,00517	166	175	0,01
13				2	462	0,0241	159	168	0,05
14				3	462	0,04702	148	158	0,15
15				4	462	0,046	151	159	0,15
16				5	462	0,05386	150	156	0,14
17				6	462	0,03555	153	163	0,16
18				7	462	0,00877	164	174	0,05

**15 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378			462	0,000	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo apverstas	1	462	0,5699	43	51	6
3				2	462	0,58994	43	47	6,1
4				3	462	0,55734	42	54	6
5				1	462	0,04559	148	162	0,1
6				2	462	0,05683	143	159	0,3
7				3	462	0,06174	142	157	0,2
8				4	462	0,07068	138	152	0,4
9				5	462	0,06953	137	153	0,2
10				6	462	0,05604	144	158	0,3
11				7	462	0,04201	148	163	0,1
12				1	462	0,01015	165	174	0,1
13				2	462	0,03666	154	162	0,2
14				3	462	0,04056	152	163	0,2
15				4	462	0,0375	152	162	0,2
16				5	462	0,04229	152	160	0,2
17				6	462	0,00615	168	172	0,1
18				7	462	0,01217	162	172	0,1

**16 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,1 mm storio švino lydiniu.

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378			462	0,000	165	180	0
2	4	461	1 švinas, ant jo atverstas	1	462	0,47855	51	67	4,3
3				2	462	0,47672	52	65	4,3
4				3	462	0,43983	51	74	4
5				1	462	-0,0039	169	180	0
6				2	462	0,00897	161	174	0,2
7				3	462	0,01087	156	180	0,1
8				4	462	0,01264	155	216	0,2
9				5	462	0,01304	159	171	0,1
10				6	462	0,00918	157	195	0,2
11				7	462	-0,0113	173	181	0
12				1	462	0,00222	169	175	0
13				2	462	-0,0019	170	177	0
14				3	462	0,01387	163	171	0,1
15				4	462	0,01181	163	172	0,1
16				5	462	0,00812	165	174	0,1
17				6	462	0,0068	163	173	0,1
18				7	462	-0,0122	172	181	0

**17 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma.

Eil. Nr.	Apšvitęs dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Skenuojama zona	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378				783	0,000	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo atverstas	1	1 zona	783	0,559057	43	54	6
3				2		783	0,550797	45	55	5,95
4				3		783	0,552053	41	59	5,95
5				1	2 zona	783	0,072745	140	152	0,2
6				2		783	0,086139	130	146	0,2
7				3		783	0,085586	133	156	0,2
8				4		783	0,104701	124	140	0,3
9				5		783	0,098205	129	145	0,3
10				6		783	0,092237	132	145	0,3
11				7		783	0,075217	137	152	0,2
12				1	3 zona	783	0,006469	163	175	0,05
13				2		783	0,017281	160	170	0,05
14				3		783	0,040396	142	229	0,1
15				4		783	0,046882	152	162	0,1
16				5		783	0,04839	149	159	0,1
17				6		783	0,046453	150	162	0,1
18				7		783	0,024982	158	168	0,05

**18 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma.

Eil. Nr.	Apšvitęs dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Skenuojama zona	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378				783	0,000	165	180	0
2	4	378	1 švinas, po juo apverstas	1	1 zona	783	0,580473	43	50	6,1
3				2		783	0,587691	43	48	6,1
4				3		783	0,584852	43	45	6,1
5				1	2 zona	783	0,039247	151	162	0,1
6				2		783	0,05825	145	155	0,5
7				3		783	0,079815	140	149	0,4
8				4		783	0,076983	133	151	0,5
9				5		783	0,06886	139	150	0,4
10				6		783	0,066762	144	153	0,4
11				7		783	0,046116	150	160	0,3
12				1	3 zona	783	0,002075	167	177	0
13				2		783	-0,00898	171	182	0
14				3		783	0,02967	157	166	0,1
15				4		783	0,038882	152	162	0,2
16				5		783	0,043651	149	162	0,2
17				6		783	0,051723	147	158	0,2
18				7		783	0,023016	158	169	0,1

**19 lentelė.** Matavimo rezultatai su 3,9 mm storio švinuota guma.

Eil. Nr.	Apšvitos dozė, Gy	Monitoringo vienetai, MU	Gafromiko padėtis	Matavimo taškas	Skenuojama zona	Matavimo plotas	OD	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Nustatyta dozė, Gy
1	4	378				783	0,000	165	180	0
2	4	378	1 švinas, ant jo atverstas	1	1 zona	783	0,500856	48	65	5
3				2		783	0,514867	48	64	5,2
4				3		783	0,514586	46	58	5,2
5				1	2 zona	783	0,002047	163	179	0
6				2		783	0,010619	161	173	0,2
7				3		783	0,010627	159	176	0,1
8				4		783	0,008714	157	177	0,1
9				5		783	0,012379	159	173	0,1
10				6		783	0,010689	160	175	0,4
11				7		783	-0,00794	170	181	0
12				1	3 zona	783	0,003277	164	177	0
13				2		783	-0,00872	172	179	0
14				3		783	0,008804	162	173	0,1
15				4		783	0,001961	165	179	0
16				5		783	0,003178	164	177	0
17				6		783	0,006633	162	175	0,1
18				7		783	-0,00939	173	179	0