

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

Simonas Bulota

**SKAITMENINI RENTGENOGRAFINI TYRIMŲ KOKYBĖS
UŽTIKRINIMO METODIKŲ VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Lekt. Gediminas Antanas Adlys

KAUNAS, 2015

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

**SKAITMENINIŲ RENTGENOGRAFINIŲ TYRIMŲ KOKYBĖS
UŽTIKRINIMO METODIKŲ VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Medicinos fizika (kodas 621B92002)

Vadovas

Lekt. Gediminas Antanas Adlys
(2015-06-05)

Recenzentas

Doc. dr. Virgilijus Minialga
(2015-06-05)

Konsultantas

Medicinos fizikas Nikolajus Medvedevas
(2015-06-05)

Projektą atliko

Simonas Bulota
(2015-06-05)

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS

Simonas Bulota

Medicinos fizika (kodas 621B92002)

Baigiamojo projekto „Skaitmenini rentgenografini tyrim kokybės užtikrinimo metodik vertinimas“

AKADEMINIO SŲ ŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. birželio mėn. 5 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Simono Bulotos**, baigiamasis darbas tema „Skaitmenini rentgenografini tyrim kokybės užtikrinimo metodik vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrim rezultatai yra teisingi ir gauti s žiningai. Šiame darbe nei viena darbo dalis nėra plagijuota nuo joki spausdintini ar internetini šaltini, visos kit šaltini tiesiogini s ir netiesiogini s citatos nurodytos literatūros nuorodose. statymu nenumatyti pinigini sum už š darb niekam nesu mok j s.

Aš suprantu, kad išaišk jus nes žiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojan ia tvarka.

(studento vardas ir pavard , rašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

ŽANGA	1
1. RENTGENO DIAGNOSTIKA	3
1.1 Rentgeno diagnostin ranga	3
1.2 Rentgenodiagnostinio tyrimo principas ir metodai	3
1.3 Individ apšvita	5
1.4 Rentgeno diagnostika Lietuvoje	9
2. PAVIRŠIAUS JOS DOZ S NUSTATYMO METODIKOS RENTGENO DIAGNOSTIKOJE	15
2.1 Rentgeno vamzdžio išeiigos charakteristikos metodika	15
2.2 Dozi vertinimo metodika naudojant doz s ir ploto sandaugos matuokl	16
2.3 Optinis tankis	18
2.4 Dozimetrijos metodas naudojant kietak nius detektorius	19
3. EKSPERIMENTIN RANGA SKIRTA PAVIRŠIAUS JOS DOZEI NUSTATYTI RENTGENO DIAGNOSTIKOJE	21
3.1 Termoluminescenciniai dozimetrai	21
3.2 Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrai	25
3.3 Doz s ir ploto sandaugos matuoklis	27
3.4 Puslaidininkinis dozimetras	29
3.5 Polimeriniai geliniai dozimetrai	31
3.6 Farmer tipo jonizacin s kameros	32
3.7 Kobalto ⁶⁰ Co terapinis renginys (Rokus-m)	33
3.8 Termoluminescencini dozimetr skaitytuvas RIALTO	34
3.9 Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetr skaitytuvas MicroStar	35
4. EKSPERIMENTAS IR TYRIM REZULTATAI	39
4.1 Eksperimento metodika	39
4.2 Tyrim rezultatai	40
IŠVADOS	52
LITERAT ROS S RAŠAS	53
PRIEDAI	56
1 Priedas	56
2 Priedas	57
3 Priedas	58

Bulota S. Evaluation of Quality Assurance Methods in Digital Radiography. *Master's* final project in *Medical Physics* / supervisor lect. Gediminas Antanas Adlys; Kaunas University of Technology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Physics. Kaunas, 2015. 55 p.

SUMMARY

Unjustified exposure to ionizing radiation can have a bad influence to life quality and impair status of health. The main influence to annual radiation dose is made by X-ray diagnostic procedures (29 % share of total yearly ionizing radiation dose) and indoor decay products of radon (31 % share of total yearly ionizing radiation) [1]. In comparison with year 2012, ionizing radiation from medical X-ray diagnostic procedures increased by 28 % per year.

This master degree final project involves an overview of X-ray diagnostic situation in Lithuania, quality assurance techniques in X-ray diagnostic, quality assurance devices for X-ray diagnostic equipment.

One of most important task of quality assurance in X-ray diagnostics, is to determine entrance surface dose of the patient. Calculation according to three methodologies of entrance surface dose was done. Results between techniques were compared with each other. Methodologies analysed in this project are:

- 1) Air kerma free-in-air dependence on tube voltage method;
- 2) Dose area product method;
- 3) Solid state dosimeter method.

For air kerma (free-in-air) dependence on tube voltage method, semiconductor silicon detector - UNFORS Multi-O-Meter was used. For dose area product method, integrated in X-ray machine dose area product meter DAP-M4 was used. For solid state method, optically stimulated luminescence and thermally stimulated luminescence dosimeters were used.

It was find out, what after measuring and comparing results with each other, thermally stimulated luminescence dosimeters had to low sensitivity, so the main entrance surface dose evaluation from solid state dosimeter method point of view, was carried out using optically stimulated luminescence dosimeters.

After comparing results from all methodologies, it was found out that the entrance surface dose calculations based on air kerma free-in-air dependence on tube voltage method gives 24% - 32% lower values in compare with values measured using solid state dosimetry method. Dose area product method was only relatively compared with other methods. And it gives best compliance with solid state dosimetry method, which is a “gold standard” in X-ray diagnostics for measuring entrance surface dose.

SANTRUMPOS

- RSC – radiacinis saugos centras;
- VASPVT – valstybinis akreditavimo sveikatos priežiūros veiklai tarnyba;
- PSO – pasaulio sveikatos organizacija;
- OSL – optiškai stimuliuojama liuminescencija;
- TLD – termoliuminescencinis dozimetras;
- ASP – asmens sveikatos priežiūros staiga;
- RDL – rekomenduojamasis diagnostikos lygis;
- P D – paviršiaus įdos doz ;
- DPS – dozės ir ploto sandauga;
- ASK – atbulinis sklaidos koeficientas;
- KMUK – Kauno medicinos universiteto klinikos;
- JS – jonizuojančioji spinduliuotė ;
- SSD – atstumas nuo šaltinio iki paviršiaus (*Source surface distance*).

PAD KA

Darbo autorius dėkoja baigiamojo magistrinio projekto vadovui lekt. *Gediminui Antanui Adliui* už kantrybę ir paramą, ruošiant darbą, *Donatui Limantui*, dirbančiam mokytojui UAB INTA projektų departamento vadovu už suteiktą galimybę pasinaudoti optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrijos ranga, Kauno technologijos universiteto profesorei *Dianai Adlienei* už pagalbą rengiant baigiamąjį darbą, Kauno technologijos universiteto doktorantui *Benui Gabrieliui Urbonavičiui* už patirtį, kaip naudotis termoliuminescencini dozimetru nuskaitymo ranga.

ŽANGA

2014 m. liepos 6 d. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras patvirtino „Sveiko sen jimo užtikrinimo Lietuvoje 2014–2023 m. veiksm plan “ [2]. 2012 m. sausio m n. buvo patvirtinta „Gyventoj apšvitos steb senos (monitoringo) 2012–2016 met programa“ [3]. Vienas iš programos uždaviniai yra tobulinti lig steb senos metod technologijas, kurios daro tak Lietuvos gyventoj sveiko ir kokybiško gyvenimo trukmei.

Ši dviej esmini program tikslas – atsižvelgiant valstyb s vidaus poreikius ir sipareigojimus kitoms tarptautin ms organizacijoms, vertinti šalies gyventoj gaunam apšvit iš vairi jonizuojan iosios spinduliuot s šaltini , steb ti jos kaitos tendencijas ir svarbiausia, teikti išvadas apšvitai mažinti.

Nepagr stas jonizuojan iosios spinduliuot s naudojimas gali tur ti neigiam tak žmoni sveikatai, gyvenimo kokybei ir netgi gyvenimo trukmei. Jonizuojan iosios spinduliuot s šaltini naudojimas ir apšvita d l fonin s spinduliuot s, yra pagrindiniai žmoni patiriamos apšvitos d l jonizuojan iosios spinduliuot s šaltiniai. Fonin spinduliuot susidaro d l gamtoje nat raliai esan i jonizuojan iosios spinduliuot s šaltini – radono ir jo skilimo produkt , grunte, statybin se medžiagose, maiste, geriamajame vandenyje. Žmoni apšvit taip pat lemia kosmin spinduliuot , bei branduolin s katastrofos ir radiologin s avarijos [4].

Radiacin s saugos centras (RSC), gyvendin s 2013 m. vykdyt projekt nustat , kad Lietuvos gyventoj vidutin apšvita per metus iš vairi šaltini yra 3,19 mSv ir pasižymi did jimo tendencija. Rentgeno diagnostikos proced ros ir radono skilimo produktai patalpose sudaro didžiausi jonizuojan ios spinduliuot s dal , atitinkamai 0,9 mSv ir 1,0 mSv. Palyginti su 2012 m., apšvita d l medicinini rentgeno diagnostikos proced r padid jo nuo 0,7 iki 0,9 mSv per metus, t. y. 28 % [4].

Pagal higienos norm „Pagrindin s radiacin s saugos normos“ [5] 64.6 punkt , turi b ti registruojami parametrai, kuriais remiantis galima vertinti pacient apšvit , gaunam rentgeno diagnostikos metu. Taip pat 64.4 punktas nurodo, kad vien kart per 5 metus turi b ti atliekami pacient dozi vertinimai ir perduodami Radiacin s saugos centr , sulyginant gautus rezultatus su rekomenduojamais lygiais, nurodytais sakyme „D l rekomenduojam medicinin s apšvitos lygi , taikom medicinini diagnostini ir gydymo proced r , kurioms naudojama jonizuojan ioji spinduliuot , metu, patvirtinimo“ [6].

Taigi, remiantis pamin tais dokumentais, paviršiaus jos doz skaitmenin s rentgenografijos proced r metu galima nustatyti dviem b dais. Pirmasis b das – išmatuoti doz

tiesiogiai, naudojant kalibruotus dozimetrus. Antrasis – apskaičiuoti paviršiaus įšios dozė, žinant tam tikrus rentgeno diagnostikos aparatūros parametrus.

Iki 2014 metų Radiacinės saugos centras, asmens sveikatos priežiūros staigoms, atliekančioms rentgeno diagnostikos procedūras, kas 5 metus pateikdavo termoluminescencinius dozimetrus, kurių pagalba buvo atliekami pacientų įšios dozių matavimai procedūrų metu ir lyginami su nurodytais rekomenduojamais lygiais. Nuo 2014 metų RSC nebereikalauja atlikti paviršiaus įšios dozės matavimus, kadangi vadovaujasi Tarptautinės radiologinės saugos komisijos išleista publikacija Nr. 73, kurioje nurodoma, kad paviršiaus įšios dozė gali būti taip pat apskaičiuota pagal tam tikrus renginio parametrus [7]. Tikslus paviršiaus įšios dozių nustatymas rentgeno diagnostikos procedūrų metu, leidžia kontroliuoti jonizuojančios spinduliuotės dozės, tenkančią pacientams. Dėl šios priežasties darbo tikslas buvo: nustatyti kiekyvumo metodiką tiksliai nurodanti pacientų įšios dozės, skaitmeninės rentgenografijos procedūrų metu, lyginant su dozimetriniais matavimais.

Šiam tikslui gyvendinti buvo keliami tokie uždaviniai:

- 1) Rentgeno diagnostikos situacijos Lietuvoje apžvalga;
- 2) Išanalizuoti esamas paviršiaus įšios dozės nustatymo metodikas rentgeno diagnostikoje;
- 3) Išanalizuoti eksperimentinį rangą skirtą paviršiaus įšios dozės nustatymui rentgeno diagnostikoje;
- 4) Išmatuoti paviršiaus įšios dozes pagal tris metodikas;
- 5) Palyginti gautus rezultatus ir nustatyti tinkamiausią metodiką paviršiaus įšios dozei vertinti.

1. RENTGENO DIAGNOSTIKA

1.1 Rentgeno diagnostin ranga

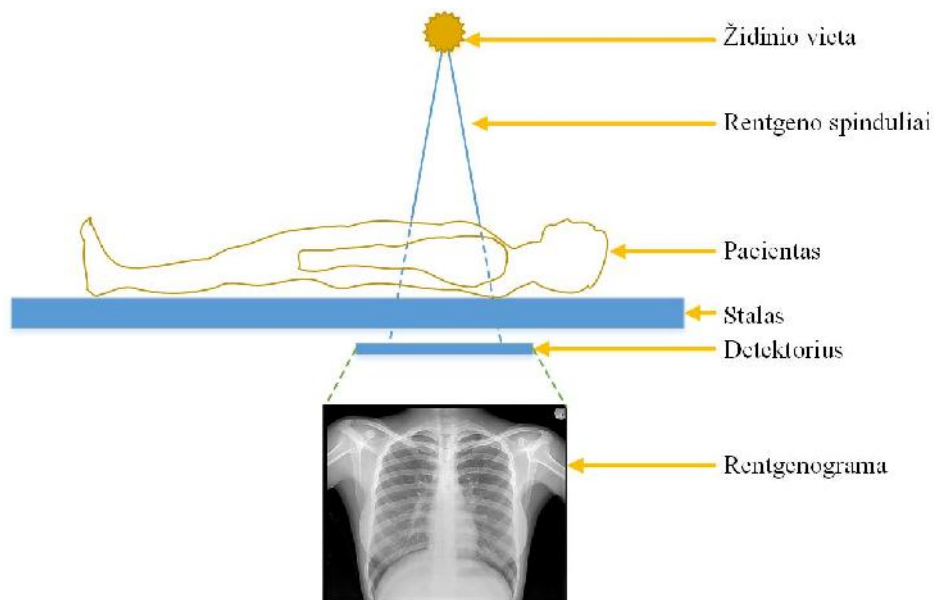
1895 Vilhelmas Konradas Rentgenas (Vilhelm Konrad Röntgen) atrado dar nematyt spinduli r š . Šie spinduliai buvo pavadinti X spinduliais, o m s kraštuose jie vadinami rentgeno spinduliais. Su šiuo pavadinimu ir prasid jo diagnostin s rentgeno rangos istorija [8]. 1895 met pabaigoje V. K. Rentgenas padar pirm j ir savo vienintel rentgeno nuotrauk [8].

1896 metais, didžiausiame Škotijos mieste Glazge, esan ioje ligonin je buvo kurtas pirmasis rentgeno diagnostikos departamentas. Nuo rentgeno spinduliuot s atradimo, rentgeno tyrimas yra vienas naudingiausi diagnostini tyrim . Galima sakyti, kad pats metodas nepasikeit s nuo tada, kada prad tas taikyti kaip vaizdavimo priemon medicinaje [8]. Pagal Pasaulin sveikatos organizacijos (PSO) duomenis, rentgeno diagnostin ranga, yra viena iš esmini diagnostini technologij medicinoje, naudojam nustatyti ligoms, užkirsti keli j atsiradimui, bei gydyti [9]. Daugelyje asmens sveikatos prieži ros institucij (ASP), pvz., ligonin se, poliklinikose, priva iuose sveikatos prieži ros centruose, diagnostikos centruose – naudojama rentgeno diagnostikos ranga [9].

Anot, Pasaulin sveikatos organizacijos (PSO), bendrai visos pagrindin s vaizduojamosios diagnostikos technologijos paremtos ultragarso ir rentgeno rang , labiausiai pažengusiose šalyse leidžia išspr sti 70-80 % medicinini problem [10], [11]. Taip pat PSO teigia, kad 2/3 vis medicinini tyrim kuriuose naudojamos vaizdinimo technologijos, atliekamos pasitelkiant rentgeno spindulius [12].

1.2 Rentgenodiagnostinio tyrimo principas ir metodai

Rentgeno spinduliai, tai aukšto dažnio elektromagnetin s bangos. Atliekant rentgenodiagnostin tyrim , rentgeno spinduli srautas sklindantis iš rentgeno vamzdžio, nukreipiamas paciento viet kuri norima tirti. D l skirting medžiag iš kuri sudaryti organai, atsiranda tankio skirtumai, kurie s lygoja nevienod rentgeno spinduli slopim . Per atitinkam paciento tiriam viet , pra jusi nesugerta rentgeno spinduliuot , fiksuojama detektoriaus pagalba ir matomas dvimatis paciento vidaus vaizdas. Šis vaizdas, yra erdvinio paciento vidaus vaizdo projekcija, rentgeno spinduli sklidimo kryptimi (1.1 pav.) [8].



1.1 pav. Rentgeno tyrimo principin schema

Didelė nevienalytė organizmo sandaros ir esamų organų struktūros, rentgeno spinduliai paciento kūne sugeriami nevienodai. Per didelio tankio struktūras, tokias kaip kaulai, per juos spinduliai stipriai sugeriami, o per juos per minkštuosius audinius, raumenis, riebalus ir panašius audinius sugeriami menkliau. Rentgeno vaizde kauliniai audiniai matomi kaip baltos spalvos zonos, minkštieji audiniai – pilki atspalviai, oras – vaizduojamas juoda spalva [10].

Rentgenografiniuose vaizduose galima išskirti pagrindinius audinių tipus: kaulai, minkštieji ir riebaliniai audiniai. Kai norima ištirti organus, kurių tankis visame jo tūryje mažai keičiasi, naudojamas kontrastingumas gerinant kontrastines medžiagas. Kurios gali būti suleidžiamos ar sugirdomos [8].

Priklausomai nuo detektoriaus tipo rentgeno aparate, skirsis ir rentgeno diagnostikos metodas. Yra du pagrindiniai rentgeno diagnostikos metodai: rentgenoskopija ir rentgenografija.

Rentgenoskopija, tai metodas, kurio metu per pacientą per juos rentgeno spindulių srautas fiksuojamas fluorescuojančiame ekrane. Tai gana nesudėtingas diagnostikos metodas, kurio metu galima stebėti paciento organų funkcijas realiu laiku, pavyzdžiui širdies vožtuvų darbą arba rijimą stemplėje. Fluorescuojantys ekranai buvo naudojami iki 1950 metų, vėliau pradėta taikyti vaizdo stiprintuvus ir kameras, vaizdai atkurti. Tačiau rentgenoskopijos metodas turi ir trūkumų, didelė apšvitimo dozė tyrimo metu gauna tiek pacientas, tiek gydytojas, kadangi atvaizduojamas realaus laiko vaizdas, renginys išsaugojamas tik keletą paskutinių kadrų. Rentgenoskopija dar kitaip vadinama fluoroskopija [8].

Rentgenografija, tai metodas, kurio metu per pacientą per juos rentgeno spindulių srautas fiksuojamas rentgeno filme arba skaitmeniniame vaizdo detektoriuje. Kaip ir prasti fotografiniai filmai, rentgeno filmai yra jautrūs matomo bangos ilgio šviesai, todėl jie yra talpinami specialioje kasetėje. Po procedūros rentgeno filmai ryškinami automatiškai ryškinimo reagentais. Jeigu

naudojamas skaitmeninis vaizdo detektorius – vaizdas (rentgenograma) matomas iškart ekrane. Rentgenografija dar kitaip vadinama radiografija [8].

Rentgenografijos metodas yra pranašesnis už rengenoskopijos metod , nes vaizdas yra kontrastingesnis, todėl geriau matomi nedideli dariniai, taip pat vaizdas yra užfiksuojamas ir gali būti pasidalinamas tarp medicinos personalo, pacientai apšvitinami mažesniais dozėmis nei rentgenoskopijos metu. Rentgenografinis metodas galima taikyti ne tik rentgeno kabinete, bet ir operacinėje, palatoje prie paciento lovos, jei yra tam tinkama diagnostinė ranga.

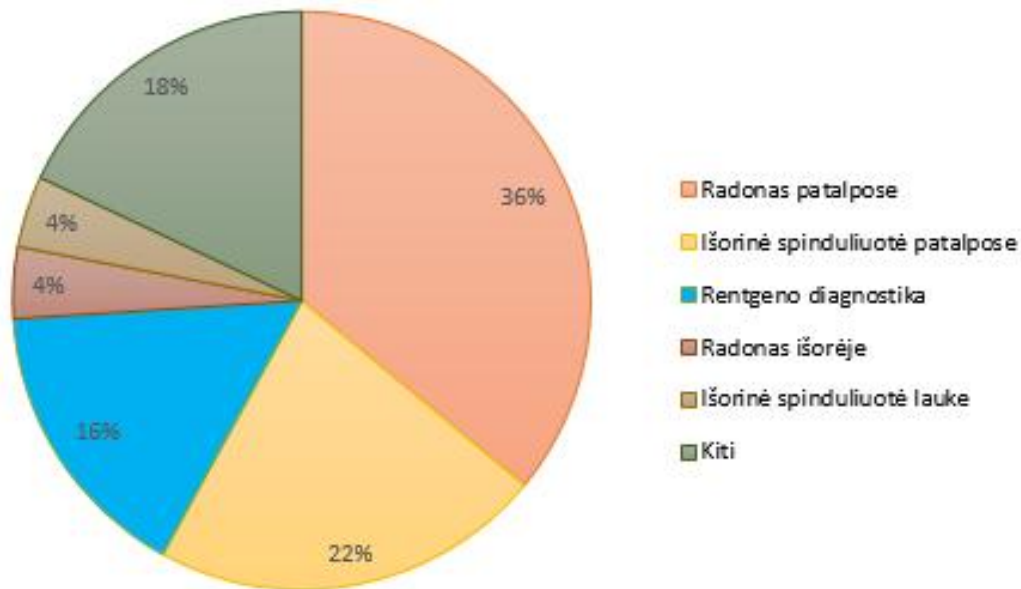
Anksčiau iš rentgeno diagnostikos metodų buvo išskiriamas fluorografijos metodas. Šio metodo metu vaizdas gautas ant fluorescuojančio ekrano fiksuojamas filme. Filmų ryškinimo technologija tokia pati kaip ir prastose foto nuotraukose. Toks metodas yra nesudėtingas ir nebrangus, dažniausiai taikomas plaukiams tirti. Tačiau šio metodo metu gaunamos didelės pacientų apšvitės dozės, iki 10 kartų didesnės negu atliekant tokio paties tipo rentgenografijos tyrimą, todėl daugelyje išsivysčiusių šalių, tame tarpe ir Lietuvoje, ši diagnostinė procedūra yra nebevykdoma.

Plačiausiai naudojama rentgenografijos tipas, tai skaitmeninė rentgenografija. Pagrindinis skirtumas nuo tradicinės rentgenografijos yra tas, jog, praėjusi pro pacientą spindulių srautas fiksuojamas detektoriuje kuris iškart formuoja skaitmeninį vaizdą, kurį galima analizuoti kompiuterio ekrane ir kompiuterinėmis sąjagomis pagalba pasiūlyti vairiems specialistams.

1.3 Individuali apšvita

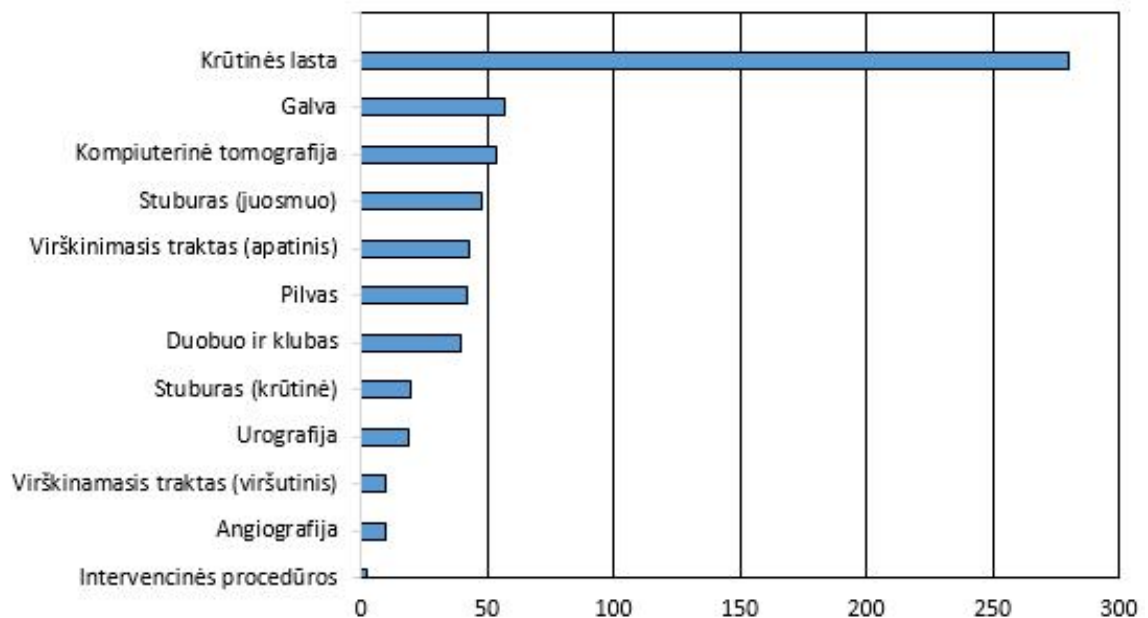
Maždaug 30 % visos metinės apšvitės nuo jonizuojančiosios spinduliuotės dozės žmogus pasaulyje gauna medicininėmis procedūromis. Todėl, žmoniai apšvita dėl medicininių apšvitės yra svarbus jonizuojančios spinduliuotės šaltinis. Tokia apšvita yra didesnė valstybėse kuriose pragyvenimo lygis aukštesnis. Dirbtinis jonizuojančios spinduliuotės šaltinis naudojimas auga. Tokiu augimu skatinama, didelė teikiama nauda diagnozuojant virias ligas, bei atliekant prevencijas pacientams [13].

Rentgeno diagnostika yra vienas didžiausių žmogaus apšvitės šaltinių medicinoje. Lietuvoje kasmet apytikriai atliekama 3,7 mln. rentgenodiagnostinių procedūrų. Nesunku suprasti, kad tai duoda didelę kasmetinei apšvitės dozei. 1.2 paveiksle parodyta apšvitės šaltiniai Lietuvoje gyventojų vidutinei apšvitai [14].



1.2 pav. Apšvitos šaltiniai – tinka vidutinei Lietuvos gyventoj apšvitai [14]

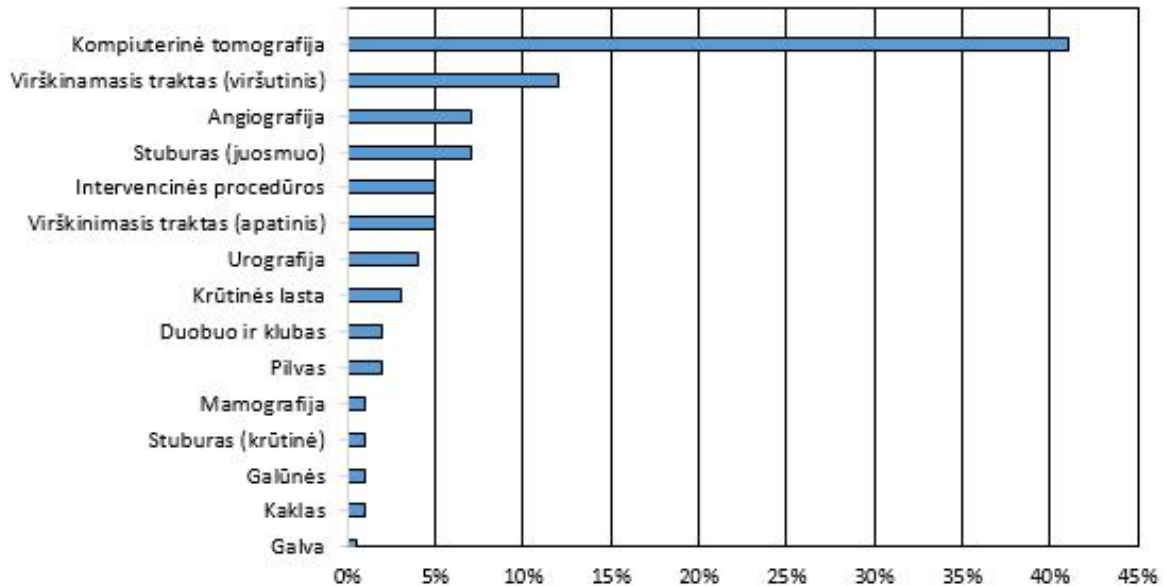
Dėl plataus rentgeno pritaikymo spektro, medicinoje taikomi visų s tyrimai. Populiariausi rentgeno diagnostiniai tyrimai pateikti 1.3 paveiksle. Šie duomenys yra surinkti Jungtinių Tautų mokslinio komiteto. Iš 1.3 paveikslo matyti, jog populiariausia rentgeno diagnostikos procedūra pasaulyje, yra krūtinės ląstos radiografija. Pateikiamas vidutinis procedūrų skaičius tenkantis tiktam žmogui gyventoj [14].



1.3 pav. Rentgeno procedūrų vidutinis skaičius tenkantis 1000 žmoniui

Reikia pabrėžti, kad procedūrų skaičius nenusako bendros apšvitos dozės, kuri lemia vienos procedūros, kadangi skirtingose procedūrose gaunamos dozės skiriasi. 1.4 paveiksle pateikti duomenys atvaizduoja atskirų procedūrų našumą bendrą kolektyvinę dozę. Iš 1.4 paveikslo matyti, kad kompiuterinės tomografijos procedūrose metu gaunama dozė yra beveik pusė

vis rentgeno procedūrų metu gaunamos dozės. Nors kompiuterinės tomografijos procedūrų skaičius pagal 1.3 paveikslą yra pirmoje vietoje, tokia didelė ir dažnas kompiuterinės tomografijos naudojimas, bei didžiausia jonizuojančiosios spinduliuotės dozė lyginant su kitomis procedūromis [13].



1.4 pav. Rentgeno procedūrų metinei dozei gaunami bendrai iš visų procedūrų

Keleto rentgeno diagnostiko procedūrų metu gaunamą dozę vertės nurodytos 1.1 lentelėje. Šios dozės palyginamos su dozėmis, kurias pacientai gauna dėl foninės spinduliuotės. Stulpelyje A nurodytos tipinės efektyvios tyrimo dozės mSv, stulpelyje B – nurodytas skaičius krūtinės ląstos rentgenogramų, kurių padarius bus gaunama tokia pati dozė kaip ir procedūros metu, stulpelyje C – nurodytas laiko tarpas, per kurį iš foninės spinduliuotės gauta dozė bus lygi procedūros metu gautai dozei. Krūtinės ląstos rentgenografinis tyrimas pasirinktas palyginimui todėl, kad tai yra populiariausias tyrimas (1.3 pav.)

1.1 lentelė. Keleto procedūrų metu gaunamos dozės ir jų palyginimas su doze gaunama iš foninės spinduliuotės ir krūtinės ląstos procedūros metu gaunama doze [13]

Tyrimas	A	B	C
	Tipinės efektingos tyrimų dozės, mSv	Krūtinės ląstos rentgenogramų skaičius, kurį reikia padaryti, kad būtų gauta tokia pati dozė	Laiko tarpas per kurį gauta tyrimo metu gauta dozė bus nominali dozei gautai iš foninės spinduliuotės
<i>Rentgenografija</i>			
Pirštai ir sąnariai	<0,01	<0,5	iki 1,5 dienos
Krūtinės ląsta	0,02	1	3 dienos
Kaukolė	0,07	3,5	11 dienų
Stuburo krūtinės dalis	0,7	35	4 mėnesiai
Stuburo juosmens dalis	1,3	65	7 mėnesiai
Pilvas	0,7	35	4 mėnesiai
Dubuo	1,0	50	6 mėnesiai
<i>Rentgenoskopija</i>			
Tyrimai, naudojant bario košelę	3	150	16 mėnesių
Tyrimai, naudojant bario klizmą	7	350	3,2 metų
<i>Kompiuterinė tomografija (KT)</i>			
Krūtinės ląstos KT	8	400	3,6 metų
Pilvo ir dubens KT	10	500	4,5 metų

Gyventojai, kurie patiria jonizuojančią spinduliuotę, dažniau atvejais, bei darbuotojai, dirbantys su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, gaunama apšvitos dozė vertinimo ribos yra apibrėžtos statymais [5]. Statymuose apibrėžtos apšvitos dozės vertės, kurias draudžiama viršyti. Pacientų apšvita dėl medicininių jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių yra neapribota statymais. Taikyti medicininį apšvitimą pacientams, galima tik gavus jų sutikimą. Prieš atliekant procedūrą su jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, pacientas turi būti detaliai informuotas apie šio lomo diagnostikos ar gydymo metodus, kurių eigoje bus panaudoti jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai ir informuotas apie jonizuojančiosios spinduliuotės galimą poveikį sveikatai. Tačiau tai nėra pagrindas pacientų diagnostikai, naudoti neribotas dozes jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinius [5].

Radiacinė sauga užtikrina, kad bet kas negalėtų naudoti jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinius, tiek pacientams gydyti, tiek kitoms veikloms vykdyti, kadangi reikalinga turėti leidimą.

Šiuo atveju staiga teikiant sveikatos paslaugas, privalo užtikrinti, kad jonizuojanti spinduliuot pacientams bus taikoma saugiai. staiga yra atsakinga už saug rangos naudojimą, tinkam proced r atlikimą ir už kitus kriterijus dėl kuri proced ros gali būti atliekamos nesaugiai [13].

staigos teikian ios sveikatos paslaugas turi r pintis pacient saugumu, bei siekti sumažinti apšvit tenkan i d l medicinini proced r . D l to proced r kokyb s užtikrinimas yra itin svarbus siekiant sumažinti patiriam apšvita d l jonizuojan ios spinduliuot s medicinoje.

1.4 Rentgeno diagnostika Lietuvoje

Pacient apšvitos doz s mažinamos taikant taip vadinamas protingas saugos priemonės (ALARA principas). Tai reiškia, kad ši priemoni taikymas priklausys nuo šalies ekonominio ir socialinio lygio, asmens sveikatos staig personalo galimybi , bei rangos. Kai Lietuva stojo ES, buvo prad ta remtis Europos Komisijos sudarytais radiacin s saugos vadovais „Pagrindiniai saugos standartai“ („Basic safety standards“). Kurie aprašo reikalavimus, kad b t vykdomas saugaus jonizuojan iosios spinduliuot s naudojimą gydymui [15].

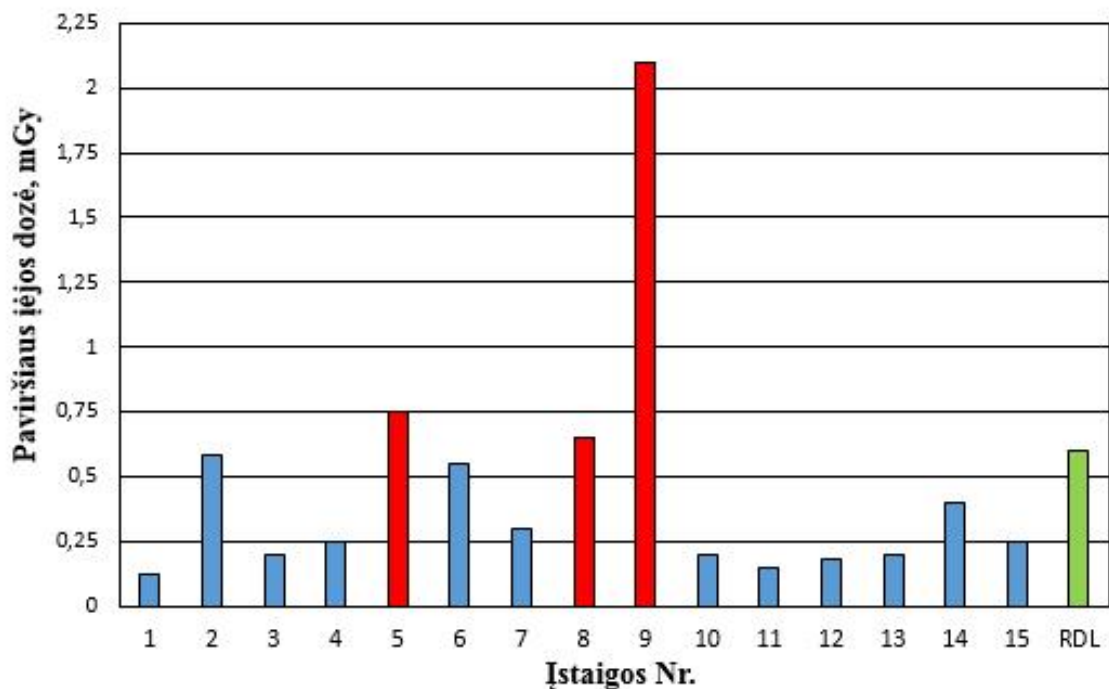
Yra daug metodik kurios aprašo saug jonizuojan ios spinduliuot s naudojimą . Viena iš metodik , tai rekomenduojamieji diagnostikos lygi taikymas [7]. Keletas rekomenduojam diagnostikos lygi pateikta 1.2 lentel je. PA žymi proced r , kai jonizuojan ios spinduliuot s srautas nukreipiamas žmogaus nugar , šiuo atveju detektorius yra pilvo pus je, AP – kai jonizuojan ios spinduliuot s srautas nukreipiamas žmogaus kr tin , šiuo atveju detektorius yra nugaros pus je, LAT – kai jonizuojan ios spinduliuot s srautas nukreipiamas žmogaus šon .

1.2 lentel . Rentgenografijos diagnostikos lygiai

Tyrimo pavadinimas	Rekomenduojamasis lygis, mGy
Krūtinės ląstos PA	0,6
Kaukolės AP	5
Kaukolės LAT	3
Stuburo AP (juosmens dalis)	12
Stuburo LAT (juosmens dalis)	35
Stuburo AP (krūtinės dalis)	9
Stuburo LAT (krūtinės dalis)	20
Pilvo AP	10
Klubo AP	10

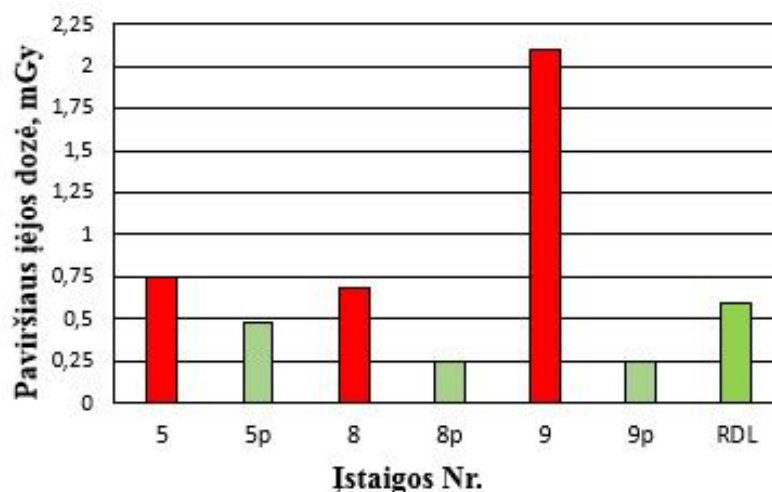
Prad jus rentgeno diagnostikoje taikyti rekomenduojamus diagnostikos lygius, Radiacin s saugos centras m tikrinti ar gydimo staigose šios vert s n ra viršijamos. staigoms buvo pateikiami termoluminescenciniai dozimetrai, kuri pagalba staigos personalas išmatuodavo paviršiaus jos dozes. Proced ros metu šie dozimetrai yra dedami ant žmogaus k no fantomo ir išmatuojama paciento apšvitos doz . Apšvitinti dozimetrai pristatomi Radiacin s saugos centr , kuriame jie nuskaityti ir vertinama gauta pacient apšvita.

Radiacin s saugos centro pateikta informacija apie paviršiaus jos dozi , gaut atliekant kr tin s l stos proced ras, parodyta 1.5 paveiksle. Nusta ius paviršiaus jos doz galima vertinti ar ji neviršija rekomenduojamos vert s ir ar rentgeno diagnostikos aparat ra veikia tinkamai [13].



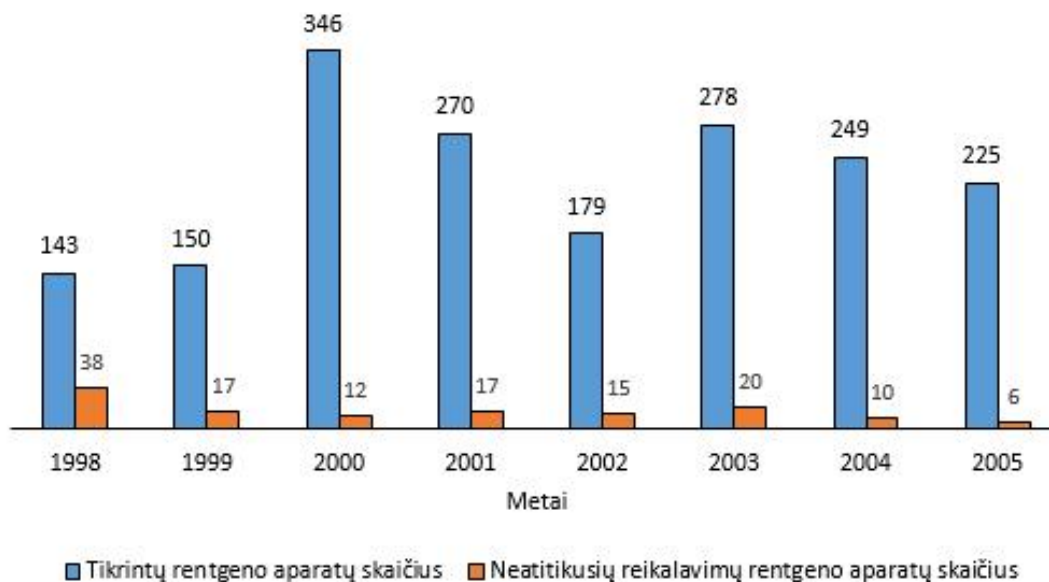
1.5 pav. Kr tin s l stos rentgeno diagnostini tyrim metu užregistruot vidutini paviršiaus jos dozi palyginimas tarp skirting gydymo staig ir palyginimas su rekomenduojamu doz s lygiu [13]

1.5 paveiksle galima matyti, kad 5, 8, 9, paviršiaus jos doz s viršija žalia spalva pažym to rekomenduojam lyg . Kai lygis viršijamas gydymo staiga privalo imtis priemoni , kad pacient apšvita b t sumažinta. Padid jus apšvita gali nutikti d l blogai sureguliuoto rentgeno diagnostikos aparato. Kai rentgeno diagnostikos aparatas sureguliuojamas tinkamai, paviršiaus jos doz s matavimai kartojami ir juos v l pakartotinai vertina Radiacin s saugos centras. 1.6 paveiksle pateikti rezultatai kaip pasikei ia paviršiaus jos doz po rentgeno diagnostikos aparato sureguliovimo ir pakartotini matavim . Raudona spalva pažym tos staigos kurios paviršiaus jos doz buvo didesn už rekomenduojam lyg , žalia spalva – tos pa ios staigos po sureguliovimo [13].



1.6 pav. Krutin slotos rentgeno diagnostini tyrim metu užregistruot vidutini paviršiaus įėjus dozi sumaž jimas po korekcinį priemoni [13]

Rentgeno diagnostin s rangos kokyb s patikros metu, fiksuojamos kai kuri parametr vert s, kuriomis remiantis galima nusakyto ar ranga veikia pagal reikalavimus tinkamai. Nustaus vertes, jos lyginamos su statymuose nurodytomis vert mis ir teikiama išvada ar rentgeno aparatas veikia tinkamai. 1.7 paveiksle pateikta Radiacin s saugos centro statistika atlikus tokiu matavimus skirtingais metais[13].



1.7 pav. Tinkamai veikian ios rentgeno rangos palyginimas su neatitikusia reikalavim ranga [13]

Radiacin s saugos kokyb s reikalavimai, rentgeno diagnostinei rangai taikomi nepriklausomai nuo jos amžiaus. Pasak Radiacin s saugos centro, Lietuvoje did ja naujos rangos skai ius. Nauja ranga pasižymi mažesn mis paviršiaus įėjus doz mis [13].

2010 met duomenys apie Lietuvos privaiose ir viešosiose gydymo staigose užregistruotus rentgeno diagnostikos aparatus pateikti 1.3 lentelėje. Tai yra dentaliniai, dentaliniai panoraminiai, C lanko, fluorografai rentgeno diagnostikos. Dentaliniai aparatai plačiai naudojami privaiose gydymo staigose, dideli daugiastiegi privaie odontologijos klinikose. Viešosiose gydymo staigose dominuoja universalūs rentgeno diagnostikos aparatai [13].

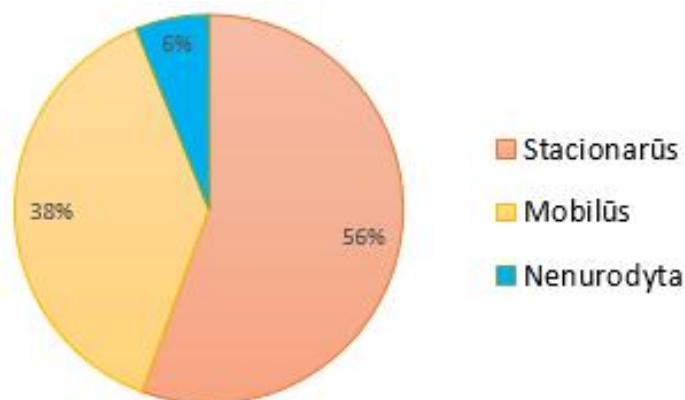
1.3 lentelė. Naudojama ir saugoma radiologinė ranga asmens sveikatos priežiūros staigose (2010 m.)

Diagnostinė rentgeno įranga	Sveikatos priežiūros įstaigos		Iš viso
	Viešosios	Privačios	
Dentaliniai	240	1046	1286
Dentaliniai panoraminiai	16	56	72
C lanko diagnostiniai	78	1	79
Universalūs	525	44	569
Fluorografai	25	1	26
Iš viso:	884	1148	2032

Bendrai visoje Lietuvoje 2010 metais buvo užregistruoti 2032 rentgeno diagnostiniai aparatai: dentaliniai, dentaliniai panoraminiai, C lanko, fluorografai. 2011 metais 1 mln. Lietuvos gyventojų tekdavo 626 rentgeno diagnostikos aparatai. Tuo tarpu ekonomiškai pajauiausiose Europos valstybėse, tokiose kaip Vokietija 2002 metais vienam milijonui šalies gyventojų teko 1245 diagnostiniai rentgeno prietaisai, t.y. dvigubai daugiau negu Lietuvoje [16].

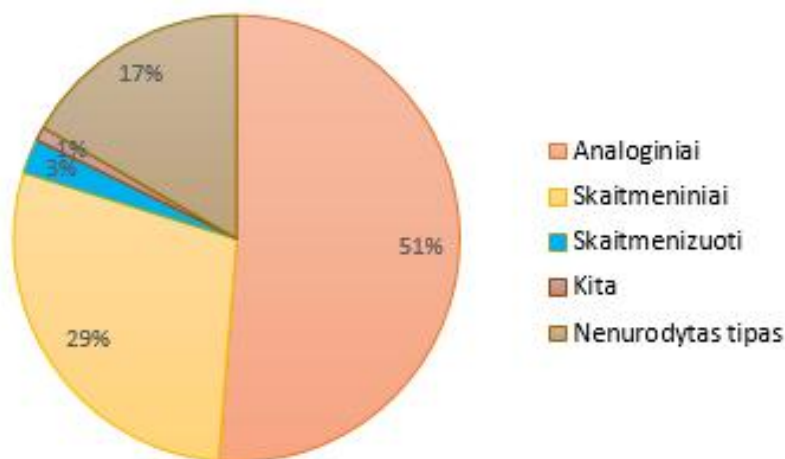
VASPVT, remdamasi sakymu „Dideli duomenys apie naudojamus medicinos prietaisus registravimo ir pateikimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ nuo 2011 metų renka duomenis apie rentgeno diagnostikos rangą iš gydymo staigų. Informacija renkama tik apie renginius kurių, kaina (skaitant ir pridėtines dalis) yra daugiau negu 30 tūkst. eur arba jų metinės eksploatacinės išlaidos yra ne mažiau kaip 300 tūkst. eur. Tokie prietaisai vadinami kaip brangūs prietaisai [17].

Pagal 2013 metais Valstybinės akreditavimo sveikatos priežiūros veiklai tarnybos duomenis (1.8 pav.), daugiau negu pusė (55,6 %) Lietuvos gydymo staigose yra stacionaraus tipo rentgeno diagnostikos aparatai, maždaug trečdalis (38,3 %) – mobilūs rentgeno diagnostikos aparatai, kiti 6,1 % rentgeno prietaisai neišskiriami pagal tipą [17].



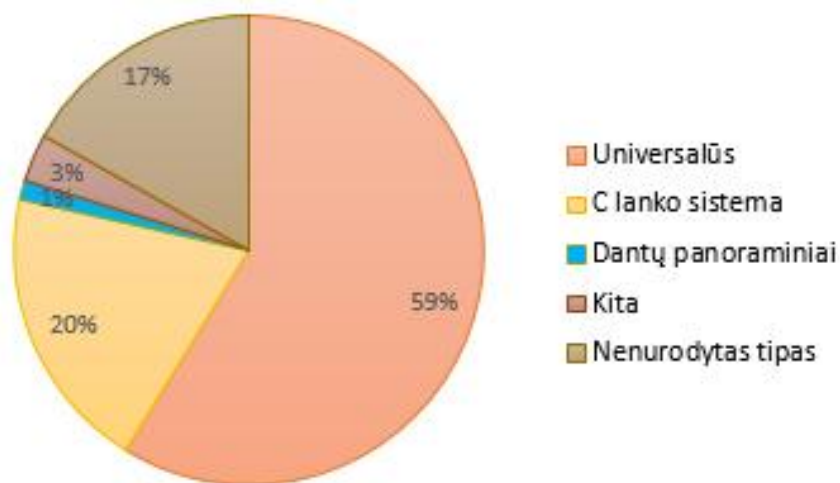
1.8 pav. Rentgeno diagnostin ranga Lietuvoje pagal tip

Pagal 2013 metais Valstybin s akreditavimo sveikatos prieži ros veiklai tarnybos duomenis (1.9 pav.), daugiau negu pus (51,3 %) Lietuvos gydymo staigose yra analoginio tipo rentgeno prietais , mažiau negu tre dalis (31 %) – skaitmeniniai ar skaitmenizuoti. Kiti 16,7 % rentgeno prietaisai neišskiriami pagal veikimo tip [17].



1.9 pav. Rentgeno diagnostin ranga Lietuvoje pagal veikimo tip

Pagal 2013 metais Valstybin s akreditavimo sveikatos prieži ros veiklai tarnybos duomenis (1.10 pav.), daugiausiai pagal funkcin tip Lietuvos gydymo staigose yra universali rentgeno aparat (58,8 %) ir C lanko sistem (19,7%). Kiti 16,9 % rentgeno prietaisai neišskiriami pagal funkcin tip [17].



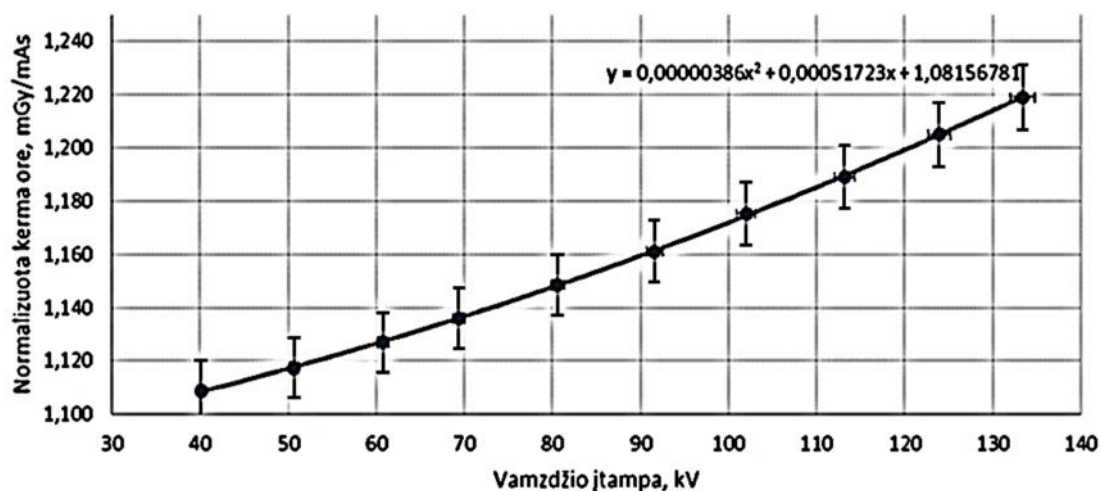
1.10 pav. Rentgeno diagnostin ranga Lietuvoje pagal funkcin tip

Iš 1.8 - 1.10 paveiksl matyti, jog 2013 m. Lietuvos viešosiose asmens sveikatos priežiūros staigose (ASP) daugiausiai turėjo stacionarius, analoginius, universalius rentgeno diagnostikos renginius. Teigti, kad tokie renginiai yra ir dažniausiai naudojami asmens sveikatos priežiūros staigose, negalima, kadangi Valstybinės akreditavimo sveikatos priežiūros veiklai tarnybos (VASPVT) rinkta statistika traukia ir nenaudojamus, tačiau vis tiek saugomus rentgeno diagnostikos prietaisus kuri negali viešoji staiga nurašyti dėl likusio nenusidvėjimo. Stacionariuos skaitmeniniai universalios rentgeno diagnostikos aparatai keičia analoginius dėl paprastumo, pigesnės eksploatacijos ir svarbiausia - mažesnės apšvitės pacientams. Toliau tobulinant Lietuvos sveikatos apsaugos sistemai aukšto lygio diagnostikos tyrimams skaičius tik didės, o su juo ir kolektyvinė apšvita. Todėl yra labai svarbu užtikrinti kiek manoma mažesnę apšvitę.

2. PAVIRŠIAUS JOS DOZ S NUSTATYMO METODIKOS RENTGENO DIAGNOSTIKOJE

2.1 Rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos metodika

Žinant rentgeno vamzdžio išėigos charakteristiką galima nustatyti paviršiaus jos doz (P D). Pagrindinis parametras nustatomas šios metodikos metu, tai oro kermos priklausomybė nuo rentgeno vamzdžio tamos. prastai ši charakteristika yra nustatoma atliekant periodin rentgeno aparat ros patikr ir rašoma patikros žurnal . Jeigu tokios priklausomybės nėra, norint nustatyti paviršiaus jos doz , ji turi būti išmatuota. Oro kerma matuojama visame rentgeno vamzdžio darbiniam diapazone, nuo 40 kV iki 130 kV, 10 kV žingsniu. Matuojama 1 metro atstumu nuo židinio vietos centrinėje ašyje. Išmatuotos vertės normalizuojamos pagal rentgeno vamzdžio srovės ir apšvitos laiką m·As vienetais [18]. Iš gautų verčių išvedama polinominė funkcija. Kaip atrodo normalizuota kreivė parodyta 2.1 paveiksle. Dešiniame paveikslo kampe taip pat pateikta kreivės lygtis. Turint normalizuotas kreivės lygtis galima apskaičiuoti kermos ore, esant pasirinktai tampa.



2.1 pav. Rentgeno vamzdžio išėigos charakteristika

Paviršiaus jos dozės (P D) apskaičiavimas:

- 1) Pagal rentgeno procedūros tipą parenkama tampa ir nustatoma normalizuota kerma ore iš normalizuotos kreivės lygties;
- 2) Kermos ore vertė padauginama iš m·As vertės, t.y. rentgeno vamzdžio srovės ir srovės tekėjimo laiko pasirinktai procedūrai;
- 3) Apskaičiuojama kerma ore taške $d_{P D}$ pagal formulę:

$$K_{a,i} = K_a(d) \cdot \left(\frac{d}{d_{P D}} \right)^2 \quad [18]. \quad (2.1)$$

čia: K_a – kermos ore reikšmė iš normalizuotos kreivės lygties (mGy); d – atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos iki jutiklio metrais, kuriam esant matuojama kermos ore vertė (prastai 1 m); d_{PD} – atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos iki taško, kuriame skaičiuojama paviršiaus jos dozė (m) [18].

- 4) Paviršiaus jos dozė (PID) randama, kermos ore taške d_{PD} padauginus iš atbulinės sklaidos koeficiento:

$$PID = K_{a,i} \cdot ASK \quad [18]. \quad (2.2)$$

čia: $K_{a,i}$ – kermos ore taške d_{PD} (mGy); ASK – atbulinės sklaidos koeficientas [18].

Atbulinės sklaidos koeficiento (ASK) vertės gali būti imamos iš lentelės pateiktos Tarptautinės radiologinės saugos komisijos išleistoje publikacijoje „Radiacinė sauga Nr. 154“. Lentelėje ASK vertės pateiktos skirtingoms rentgeno vamzdžio darbinėms tampoms ir skirtingiems lauko dydžiams. Dalis informacijos pateikta 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė . ASK vertės esant skirtingoms tampoms ir lauko dydžiams

Lauko dydis	Rentgeno vamzdžio tampa					
	60 kV	70 kV	80 kV	90 kV	100 kV	120 kV
10 cm x 10 cm	1,27	1,29	1,30	1,33	1,37	1,42
15 cm x 15 cm	1,30	1,32	1,34	1,37	1,40	1,45
20 cm x 20 cm	1,31	1,33	1,35	1,38	1,41	1,46
30 cm x 30 cm	1,33	1,35	1,37	1,40	1,43	1,48

Tyrimai rodo, kad yra galimas rentgeno vamzdžio charakteristikos netikslumas dėl rentgeno diagnostikos aparato parametrų svyravimo. Japoniečių mokslininkai atlikti tyrimai su 4 rentgeno diagnostikos aparatais parodė, kad vieno iš jų kermos ore vertė neatitiko realios ir viršijo 11,4% apskaičiuotą vertę po vienerių metų naudojimo [7]. Norint sumažinti paklaidą, kylančią iš netikslios rentgeno vamzdžio charakteristikos reikia ją matuoti prieš kiekvieną paviršiaus jos dozės skaičiavimą.

2.2 Dozės vertinimo metodika naudojant dozės ir ploto sandaugos matuoklį

Šiuo metu visa naujai renkiama radiacinė diagnostikos aparatūra privalo turėti dozės ir ploto sandaugos (DPS) matuoklį. Dozės ir ploto sandaugos matuoklis gerokai palengvina paviršiaus jos dozės apskaičiavimą. Daugelis užsienio asmens sveikatos priežiūros staigų taiko dozės ir ploto sandaugos metodiką paviršiaus jos dozei apskaičiuoti vietoje

termoluminescencini (TLD) dozimetr . Tačiau šiuo metodu apskaičiuotos paviršiaus jos dozės neapibrėžtis gali siekti +/- 40 % [19].

Taikant šį metodą, dozės ir ploto sandaugos vertė naudojama paviršiaus jos dozės nustatymui, kai rentgeno spindulių pluošto kertamas plotas švitinamame paviršiuje yra žinomas arba yra galimybė jį apskaičiuoti, žinant apšvitęs plotas kitu atstumu. Jeigu pluošto plotas pakankamai didelis, galima teigti, kad laukas yra pakankamai homogeniškas, visame apšvitęs lauke. Tiesinis ryšys tarp dozės ir ploto sandaugos bei paviršiaus jos dozės leidžia apskaičiuoti jos dozės . Todėl paviršiaus jos dozės rentgeno spindulių pluošto centre gali būti apskaičiuojama dozės ir ploto sandaugos vertė dalinant iš apšvitinto paviršiaus ploto. Praktikoje apskaičiuota paviršiaus jos dozė gana tiksliai sutampa su išmatuota paviršiaus jos doze. Lygtis 2.3 gali būti naudojama paviršiaus jos dozės skaičiavimui, kai apšvitinto lauko plotas nėra žinomas:

$$PID = \frac{DPS}{S_d} \cdot \left(\frac{d}{d_{PID}} \right)^2 \cdot k_{DPS} \cdot ASK \quad [18]. \quad (2.3)$$

čia: DPS – dozės ir ploto sandaugos vertė ($\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$); S_D – rentgeno spindulių pluošto kertamas plotas atstumu d (cm^2); d_{PD} – atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos iki taško, kuriame matuojama paviršiaus jos dozė (m); d – atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos iki taško metrais, kurio rentgeno spindulių pluošto kertamas plotas žinomas (prastai 1 m); k_{DPS} – dozės ir ploto sandaugos matuoklio korekcijos koeficientas; ASK - atbulinis sklaidos koeficientas [18].

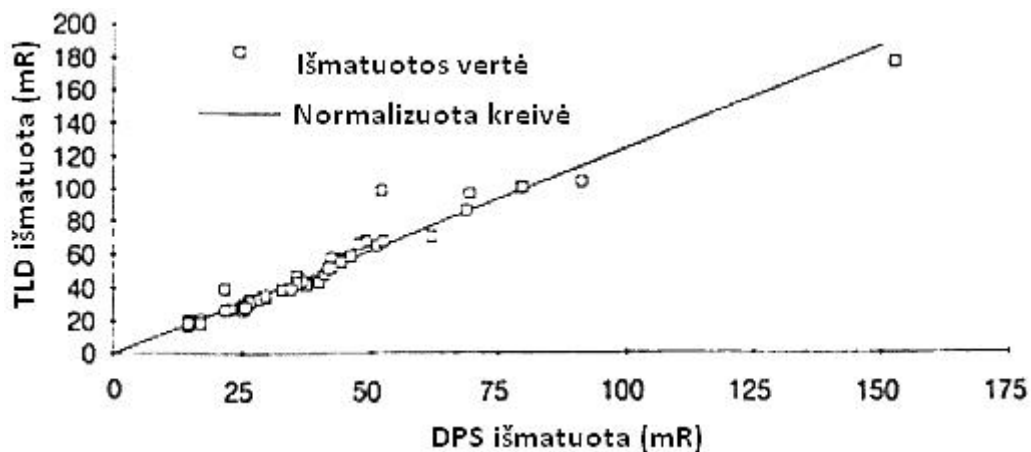
Jeigu apšvitinamas plotas yra žinomas, 2.3 formulė supaprastinama:

$$PID = \frac{DPS}{S_{PD}} \cdot k_{DPS} \cdot ASK \quad [18], \quad (2.4)$$

čia: DPS – dozės ir ploto sandaugos vertė ($\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$); S_{PD} – rentgeno spindulių pluošto kertamas plotas PD taško plokštumoje (cm^2); k_{DPS} – dozės ir ploto sandaugos matuoklio korekcijos koeficientas; ASK - atbulinis sklaidos koeficientas [18].

Kaip ir rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos metode, dalis atbulinio sklaidos vertė pateikta 2.1 lentelėje. K. Cindy ir kt. [20] darbe rodo, kad tiesinė priklausomybė egzistuoja ir tarp tiesiogiai bei netiesiogiai išmatuotų paviršinių jos dozių. Plačiau rentgeno diagnostini tyrimai metu paviršiaus jos dozės tiesiogiai buvo matuojamos ličio fluorida termoluminescencijos dozimetrais, o netiesiogiai – dozės ir ploto sandaugos matuokliu (Gammex RMI 840A). Straipsnio autoriai teigia, kad dozės ir ploto sandaugos matuokliais galima greitai ir tiksliai išmatuoti paviršiaus jos dozės, jei žinomas apšvitęs lauko dydis. Dozės ir ploto sandaugos matuokliais daug patogiau naudotis nei termoluminescenciniais dozimetrais, kadangi dozimetrus reikia po apšvitęs nuskaityti. Matavimo ir rezultatų nuskaitymo atskirtis laike yra susijusi su galimu informacijos

nuot kiu, tod l patogiau naudoti doz s ir ploto sandaugos matuokl , kurio pagalba duomenys apie apšvit pateikiami in situ [20].



2.2 pav. Paviršiaus jos dozi išmatuot termoluminescenciniais dozimetrais (TLD) ir apskai iuot doz s ir ploto sandaugos (DPS) metodika palyginimas [20]

2.3 Optinis tankis

jos dozei nustatyti galima panaudoti ir optinio tankio poky ius, kurie susidaro kai rentgeno spinduli pluoštas kerta objekt . Tokiu principu veikia radiochrominiai filmai. Apšvitinus, šie filmai kei ia spalv proporcingai eksozicinei dozei. Paviršiaus jos doz gali b ti apskai iuota pagal filmo optin tank kuris yra taip pat tiesiogiai proporcingas eksozicinei dozei. Optinio tankio priklausomyb nuo doz s turi b ti iš anksto žinoma atitinkamam filmui. Optinis tankis gali b ti apskai iuotas pagal formul :

$$OT = \log_{10} \left[\frac{I_0}{I} \right]. \quad (2.5)$$

ia: I_0 – šviesos intensyvumas be filmo; I – šviesos intensyvumas pra j s per film .

Šie filmai, kitaip nei prastiniai, nereikalauja cheminio apdorojimo, nes jie yra savaryškiai. Taciau šiuos filmus gali paveikti saul s šviesos bei ultravioletiniai spinduliai. Tai gali tur ti neigiam efekt , kai laiko tarpai tarp film švitinamo yra dideli. Radiochrominiai filmai yra s lyginai nepriklausomi nuo energijos, doz s galios ir turi ger skiriam j geb . Jais galima išmatuoti plokštumin doz s pasiskirstym . Radiochrominiai filmai yra jautr s apšvitai > 1 mGy, kai tuo tarpu kr tin s l stos iš nugaros (posterioranterior - PA) rentgenogramos proced ros metu rekomenduojamas doz s lygis neturi viršyti 0,6 mGy (1.2 lentel). Tod l jie n ra pilnai tinkami radiacin je diagnostikoje, norint nustatyti paviršiaus jos doz . Toks metodas pasižymi taip pat gan paprasta kalibracija, kuomet reikia sužinoti tiksli to paties apšvitinamo filmo optinio tankio

priklausomyb nuo doz s. Filmas tiesiog kerpamas pusiau ir viena jo dalis naudojama matavimui, o kita apšvitinama žinoma doze [21].

2.4 Dozimetrijos metodas naudojant kietak nius detektorius

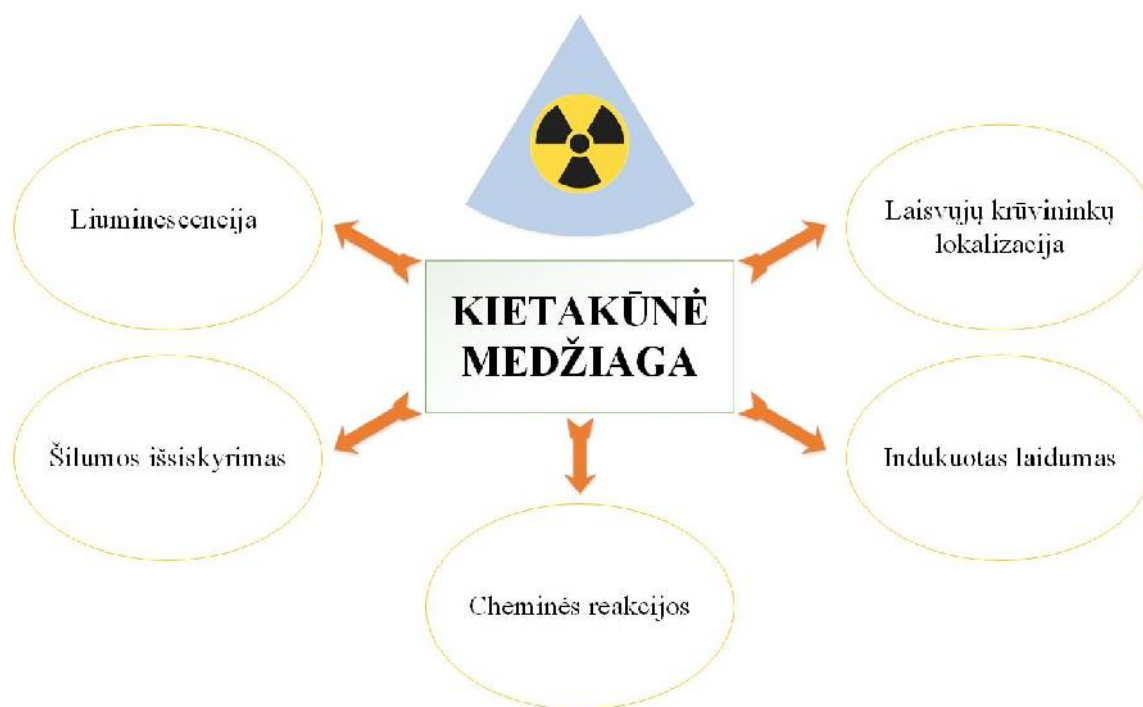
Populiariausi dozimetrai, naudojami rentgeno diagnostikoje yra kietak niai kristalai. Tai vienas tiksliausi tiesiogini metod , norint vertinti paviršiaus jos doz . Dozimetrai dedami taške, kuriame norima išmatuoti paviršiaus jos doz . Vienas esmini reikalavim tokiems dozimetrams, tai jautrumo rentgeno spinduli pluoštui stabilumas nepriklausomai nuo jo krypties. Tokiu b du pilnai vertinama atbulin sklaida turinti didel tak paviršiaus jos doz s rezultatams [22].

Detektoriaus jautri medžiag sudaro kondensuotos kietos puslaidininkin s ar dielektrin s medžiagos. Fizikiniai reiškiniai ir efektai, kurie stebimi spinduliuotei paveikus medžiag ir sudaro kietojo k no dozimetrijos pagrindinius metodus, kurie yra pateikti 2.3 paveiksle. Priklausomai nuo užduoties detektoriai gali b ti skirstomos du tipus [23]:

- atvaizduojan ius doz s galios vert realiu laiku;
- atvaizduojan ius doz s vert po proced ros.

Pirmasis detektori tipas naudojamas tais atvejais, kai b tina užfiksuoti ar išmatuoti jonizuojan i j spinduliuot proced ros metu. Šio tipo detektoriuose naudojami tokie efektai: liuminescencijos proveržis, emisija (scintiliacinis detektorius), indukuotas laidumas (puslaidininkinis detektorius), šilumos išskyrimas (kalorimetras). Antrojo tipo detektoriai paremti išliekamojo poveikio arba kitaip atminties efektu, kuomet informacija apie spinduliuot s poveik išlieka tam tikr laik po spinduliuot s poveikio nutraukimo. Informacijos išlaikymo laikas priklauso nuo medžiagos, iš kurios pagamintas kietasis k nas. D l jonizuojan ios spinduliuot s poveikio kei iasi laisv j kr vinink energin b sena. Kr vininkai gali kauptis kr vinink pagavimo centruose. Galimyb aptikti tokiose sistemose lokalizacijos centrus, naudojami dozimetrijoje, kuri grindžiama elektron paramagnetiniu rezonansu ir optine sugertimi. Be to, spinduliuot s sužadinti centrai gali b ti gražinti pirmin b sen , kai jiems suteikiama papildoma energija (šilumos, optin stimuliacija, metalo ištirpimas skystyje). Esant šiems veiksams galime steb ti: liuminescencijos intensyvumo sumaž jim , elektrin laidum , ekzoelektrin emisij , kurie yra doz s sugerties priemon . Atsižvelgiant, kok fizikin ar chemin efekt mes naudojame, ir koki stimuliacij taikome, skiriami šie dozimetrijos metodai :

- optiškai stimuliuota liuminescencija (OSL);
- termoliuminescencija (TL);
- termiškai stimuliuota ekzoelektronin emisija (TSEE);
- termiškai stimuliuotas laidumas;



2.3 pav. Fizikiniai procesai apšvitintuose kietosiose k. nuose

3. EKSPERIMENTINĖ RANGA SKIRTA PAVIRŠIAUS JOS DOZEI NUSTATYTI RENTGENO DIAGNOSTIKOJE

3.1 Termoluminescenciniai dozimetrai

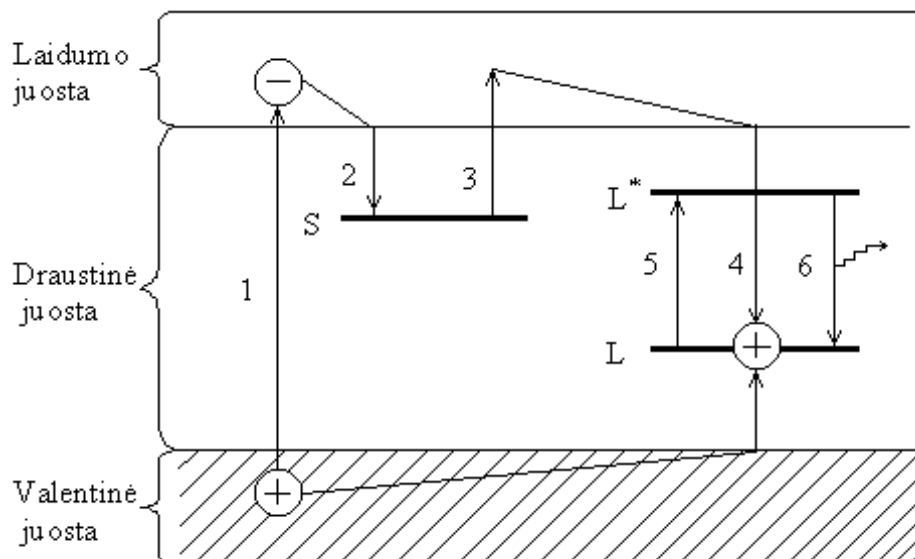
Tam tikras medžiagas apšvitinus jonizuojančia spinduliuote, pakaitintos jos skleidžia elektromagnetinį spinduliuotę. Išspinduliuotų fotonų skaičius priklauso nuo to, kokią jonizuojančios spinduliuotės energijos dalį sugeria medžiaga. Jonizuojančios spinduliuotės energija sukaupiama pagavimo centruose, kurie atsiranda dėl medžiagos kristalinių gardelių defektų bei priemaišų esančių joje. Šios būsenos yra stacionarios, bet energetiškai nestabilios, todėl, padidėjus medžiagos temperatūrai šie centrai pradeda veikti su fononais ir greitai pereina mažesnės energijos būsenas, kartu išspinduliuodami fotonus [24] [23].

Neapšvitintos termoluminescencinės medžiagos gardelių apatiniai priemaišiniai lygmenys būna užpildyti elektronais, o viršutiniai lokaliniai lygmenys būna tušti. Veikiant medžiagas jonizuojančia spinduliuote, dėl energijos sugavimo, laidumo juostoje susidaro vienodas kiekis teigiamų ir neigiamų krutininkų – elektronų ir skylių. Dalis šių krutininkų rekombinuoja, o dalis, judėdama kristaliniame gardelyje, gali pasiekti kristalinių gardelių defektus, tokius kaip: vakansijas, dislokacijas, priemaišiniai atomai, lokalizuotis ir sudaryti elektroninius ir skylinius pagavimo centrus. Šiuose centruose lokalizuotus krutininkus galima išlaisvinti vairiais būdais. Vienas iš jų – medžiagos kaitinimas. Kaitinant vyksta terminis krutininkų išlaisvinimas iš pagavimo centrų, o jiems rekombinuojant su kristalinių gardelių elektronais arba skylėmis stebimas rekombinacinis švytimas – termoluminescencija [25] [23].

Termoluminescencijos procesą nulemia priemaišos – aktyvatoriai. Nedideli jų kiekiai jau sudaro sąlygas susidaryti lokaliniams centrams šalia aktyvatorių jonų. Šiuo atveju, kristalų pakaitinimas sukelia charakteringą luminescenciją, kurios fotonų spektras priklauso nuo aktyvatoriaus kilmės [25].

Tokiu būdu termoluminescencija suprantama kaip procesas, kada veikiant kristalą jonizuojančia spinduliuotei, krutininkai (elektronai ir skylės) yra lokalizuojami pagavimo centruose ir dėl to vyksta sugertosis energijos kaupimas, kuri vėliau, papildomai pakaitinus, virsta švytimu energija [25].

Termoluminescencijos mechanizmas pateikiamas 3.1 paveiksle. Termoluminescencijos reiškinys gali būti paaiškintas pasinaudojant kietųjų kūnų energetinių lygmenų teorija [25].



3.1 pav. Neorganinio kristalo termoluminescencijos mechanizmas: 1 – elektrono šuolis iš valentinės laidumo juostų; 2 – elektrono pagavimas; 3 – elektrono išlaisvinimas kaitinant kristalą; 4 – elektrono ir skylės rekombinacija liuminescencijos centre; 5 – liuminescencijos centro sužadimas; 6 – grįžimas normaliai būsenai.

Medžiagą paveikus jonizuojančia spinduliuote, elektronas esantis valentinėje juostoje, sugeria jonizuojančiosios spinduliuotės energiją ir peršoka laidumo juostą (1 žingsnis 3.1 paveikslas). Dalis elektronų, peršokusių laidumo juostą, gali rekombinuoti tiesiogiai su jonizaciniais centrais S ir dėl to atsiranda trumpalaikis švytėjimas (fluorescencija). Tačiau didžioji dalis elektronų difuzijos proceso metu laidumo juostoje atiduoda perteklinę energiją gardelei ir dėl to elektronai atsiduria arti laidumo juostos dugno ir gali būti pagauti draustinėje energijos juostoje esančio pagavimo centro S (2 žingsnis). Valentinėje juostoje atsiradusi skylė užima lygmenį L. Medžiagos kaitinimas iššaukia elektrono išlaisvinimą iš pagavimo centro (3 žingsnis). Išlaisvintą elektroną pritraukia liuminescencijos centre L esantis perteklinis teigiamas krūvis, ir vyksta elektrono ir skylės rekombinacija (4 žingsnis), sužadamas liuminescencijos centras iki būsenos L* (5 žingsnis). Grįžimo pagrindinė būsenai metu yra išspinduliuojamas šviesos kvantas. Tokiu būdu, termoluminescencija yra iššaukiama kaitinant kristalą, kuris turi pagavimo centrą ir yra apšvitinamas jonizuojančia spinduliuote [25] [24].

Kai atliekama stimuliacija po temperatūros poveikio, vyksta elektrono šuolis laidumo juostą (žingsnis 1). Iš šios juostos elektronai gali būti pakartotinai pagauti gaudyklė (žingsnis 2) arba rekombinuoti su skylutėmis rekombinacijos centre (žingsnis 3). Tikimybė, kad elektronas pateks laidumo juostą yra aprašyta lygtimi [24]:

$$p = S \exp\left(-\frac{E}{kT}\right). \quad (3.1)$$

ia: E – proceso aktyvacijos energija; S – dažnio faktorius, k – Bolcmano konstanta, T – absoliutin temperat ra. Dažnio faktoriaus dydis, tai elektron s veikos su fotonais skai ius per laiko vienet . Paprastai dydis S turi reikšmes, kurios lygios kristalines gardel s virpesi dažniui ($10^{12} - 10^{14} \text{ s}^{-1}$).

Termoluminescencijos proces kinetik galima aprašyti kaip kr vinink koncentracijos priklausomyb nuo laiko. J galima aprašyti taip [24]:

$$\frac{dn}{dt} = n_c(N - n)A - np. \quad (3.2)$$

$$\frac{dn_h}{dt} = -n_c n_h A_r. \quad (3.3)$$

$$\frac{dn_c}{dt} = np - n_c(N - n)A - n_c n_f A_r. \quad (3.4)$$

ia: n_c – elektron koncentracija laidumo juostoje; n – elektron koncentracija gaudykl je; n_h – pagaut skyli koncentracija; N – aktyvi elektronini gaudykli koncentracija (gylio E); A – antrinio per jimo pagavimas; A_r – rekombinacijos skerspjis. Termoluminescencinis intensyvumas, kaip laiko funkcija, esant termostimuliacijai, proporcinga elektron ir skyli rekombinacijos grei iui [24]:

$$I(t) = -\frac{dn_h}{dt}. \quad (3.5)$$

Dozimetrinis informacijos šaltinis yra termoluminescencijos intensyvumas, priklausantis nuo temperat ros. Šios informacijos kreiv dar vadinama terminio iššvitinimo kreive (TIK). Norint analitiškai aprašyti ši priklausomyb , reikia žinoti šilumos d sningumus [24].

Sistemos lygtys 3.2 - 3.4 analitiškai nesprenžiamos, tod l dažniausiai naudojamos tokios išraiškos [24]:

$$n_c \ll n; \quad \frac{dn_c}{dt} \ll \frac{dn}{dt}. \quad (3.6)$$

Priklausomai nuo rekombinacijos ir pakartotinio elektrono pagavimo tikimybs, realizuojami du relaksacijos proces tipai. Esant labai mažai tikimybei pakartotinio elektrono pagavimui, stebimas pirmo lygio kinetikos procesas. Jam esant, termoluminescencijos intensyvumas tiesiogiai proporcingas užpildyt gaudykli koncentracijai [24]:

$$I(t) = pn = nS \exp\left(-\frac{E}{kT}\right). \quad (3.7)$$

Kei iant temperat r pagal linijin d sningum $T = T_0 + sT$. Terminio iššvitinimo kreiv galima aprašyti tokia išraiška [24]:

$$I(T) = n_0 S \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{S}{s} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]. \quad (3.8)$$

ia: T_0 – pradin temperat ra; n_0 – pradin elektron koncentracija sp stuose; s – šildymo greitis.

Tais atvejais, kai dominuoja pakartotinio pagavimo procesas, realizuojamas antro lygmens kinetikos procesas. Termoluminescencijos intensyvumas proporcingas užpildyt gaudykli koncentracijos kvadratui [24]:

$$I(t) = n^2 S' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right). \quad (3.9)$$

Kai $S' = S/N$, esant tiesiniam šildymui [24]:

$$I(T) = n_0^2 S' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[1 + (n_0^2 S' / S) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-2}. \quad (3.10)$$

Kai negalima nepaisyti nei vieno iš išvardint proces , tai nagrin jama bendros tvarkos kinetika [24]:

$$I(t) = n^b S' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right). \quad (3.11)$$

ia: b – proceso kinetikos tvarka. Terminio iššvitinimo kreiv s išraiška esant bendros tvarkos kinetikai [24]:

$$I(T) = n_0 S'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[1 + ((b-1)S' / S) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-\frac{b}{b-1}}, \quad (3.12)$$

ia: $S'' = S' n_0^{b-1}$.

Išraišk analiz parodo, kad termoluminescencijos intensyvumas proporcingas pradinei kr vinink koncentracijai sp stuose, ir sugertajai spinduliuot s energijai. Terminio iššvitinimo kreiv turi smail s pavidal su maksimumo pad timi esant konkre iai temperat rai T_m , kuri yra proporcinga E - energetinio gylio gaudyklei. Kai padid ja linijinio šildymo greitis, tai maksimumo temperat ra pasislenka aukštesni temperat r srit [24].

Praktin je dozimetrijoje naudojami du terminio iššvitinimo kreiv s parametrai, šviesos išėiga [24]:

$$S = \int_{T_1}^{T_2} I(T) dT, \quad (3.13)$$

(integralinis metodas) ir smailės intensyvumas. Abu šie parametrai yra proporcingi spinduliuotai sugerties dozei. Integralinis metodas, t.y. ploto išmatavimas, esantio po terminio iššvitinimo kreivės, yra tiksliausias ir charakterizuojamas mažesne rezultato priklausomybe nuo techninio matavimo rangos parametru. Smailės metodas labiau jautrus šilumos režimui, tačiau jis efektyvesnis matuojant mažesnes dozes [24].

3.2 Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrai

Kaip ir termoliuminescenciniai dozimetrai (TLD) aprašyti 3.1 skyriuje, optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetru veikimas galima paaiškinti ta pačia kietųjų kietųjų energetine lygmenų teorija. Priešingai nuo termoliuminescencinio dozimetru, kur naudojama šiluminė energija informacijai išgauti, optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetruose naudojama regimo šviesos spektro energija, t.y. kai medžiaga pasižymi optiškai stimuliuojamos liuminescencijos efektu apšvitinama jonizuojant ją spinduliuote, ji po to apšvitinama prastu monochromatinės šviesos srautu, dėl kurio medžiaga skleidžia elektromagnetinį spinduliuotą. Išspinduliuotų fotonų skaičius priklauso nuo to, kokią jonizuojančios spinduliuotai energijos dalį sugeria medžiaga. Jonizuojančios spinduliuotai energija sukaupiama pagavimo centruose, kurie atsiranda dėl medžiagos kristalinės gardelės defektų bei priemaišų esančių joje. Šios būsenos yra stacionarios, bet energetiškai nestabilios, todėl suteikus medžiagai papildomos energijos, šie centrai pradeda veikti su fotonais ir greitai pereina į mažesnės energijos būsenas, kartu išspinduliuodami kitokio bangos ilgio fotonus [25]. Medžiagos, kurios naudojamos praktiniais tikslais optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrijoje, turi atitikti tokius parametrus [22]:

- 1) Didelis jautrumas esant mažai dozei apšvitai;
- 2) Intensyvumo priklausomybės buvimas nuo dozės galios ir jonizuojančios spinduliuotai energijos;
- 3) Liuminescencijos spektras;
- 4) Parametru stabilumas esant daugkartiniam panaudojimui ir laikymui;
- 5) Maža kaina ir masinės gamybos galimybė.

Visi šie parametrai derinami yra gan sunki užduotis. Nepaisant to, kad išnagrinėti labai daug veidų medžiagų, kurias galima panaudoti dozimetru gamybai, tačiau tik keletas jų naudojami šiuolaikini dozimetru gamybai. Labiausiai paplitusi medžiaga, kuri pagrind sudaro aliuminio oksidas, legiruotas anglimi. Al_2O_3C detektorius gali būti naudojamas sugertosios gama spinduliuotai dozėmis matuoti nuo t kstant j dali iki dešimties Gy [22].

Pagrindinis optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetru privalumas, lyginant su kitais tipais dozimetrais (pavyzdžiui termoliuminescenciniais dozimetrais) yra tas, kad, praktiškai

neprarandant informacijos apie dozimetre sukauptą dozę, ji galima nuskaityti daugelį kartų. Šis technologinis privalumas labai naudingas tuo atveju, jei nuskaityti dozimetras paaiškėja, kad sukaupta dozė viršija nustatytą lygį arba dėl kitos priežasties reikia atlikti pakartotinius sukauptos dozės matavimus. Atlikus vieną sukauptos dozės matavimą, prarandama mažiau nei 0,2% sukauptos energijos (angl. Depletion), todėl net 10 kartų nuskaityti tą patį dozimetras galutinis rezultatas, lyginant su pirmuoju matavimu, skirsis tik 2%. Palyginimui termoluminescenciniuose dozimetruose po pirmojo matavimo prarandama 100% sukauptos energijos ir nėra galimybių atlikti pakartotinį matavimą [22].

Su optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrine sistema galima atlikti gama, rentgeno, beta išorinės apšvitės individualią dozę matavimus. Matavimams naudojami individualieji optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai, skirti matuoti viso kūno ar atskirą organą ir galinį paviršiaus jos dozes [22].

Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai dažniausiai naudojami išmatuoti paviršiaus jos dozes. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrijos metodas yra naujas palyginti su kitais dozimetrijos metodais. 1996 m. OSL dozimetrus pristatė JAV kompanija „Landauer“. Šiandien daugiau kaip 1,7 mln. žmonių visame pasaulyje naudoja „Landauer“ OSL dozimetrus. Iki dabar tai yra vienintelė kompanija gaminanti optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrus [26].

Yra trys pagrindiniai optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrų tipai (3.2 pav.): individualūs viso kūno dozimetrai, aplinkos dozimetrai ir taškiniai dozimetrai. Individualūs viso kūno dozimetrai naudojami darbuotojams, dirbantiems su jonizuojančios spinduliuotės šaltiniais, apšvitęs stebėjimui. Aplinkos dozimetrai naudojami foninei jonizuojančiai spinduliuotei matuoti. Taškiniai pacientų dozimetrai naudojami konkrečioje žmogaus kūno vietoje apšvitęs stebėjimui, taikant spindulinę terapiją, branduolinę mediciną ir rentgeno diagnostikos procedūras [26].



3.2 pav. Iš kairės dešinė: viso kūno, aplinkos ir taškinis dozimetras [26]

Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrai yra jautrūs gama ir rentgeno spinduliuotei, beta dalelėms. Dozimetras turi papildomą elementą neutronų apšvitai fiksuoti, dinaminės/statinės apšvitės indikatorius. Indikatoriaus pagalba nustatoma ar dozė buvo sukaupta per trumpą laiką tarp ar per ilgą laiką tarp [26].

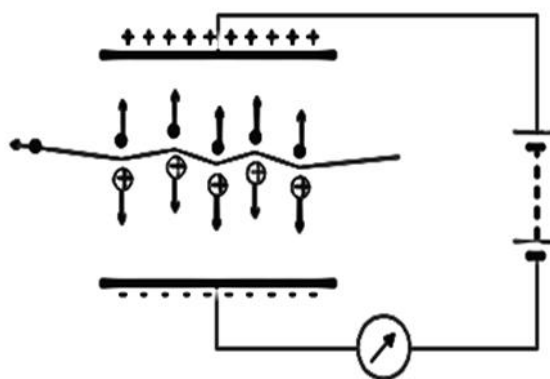
Metodiniu požiūriu paviršiaus jos dozių matavimas paprastai nekelia jokių sunkumų. Detektoriai turi būti patalpinti (patalpinti) apšvitęs lauko centre, švitinant pacientą. Kaip taisyklė,

naudojami 4-10 detektoriai, po to iš jų parodym išvedamas vidurkis [22]. Kietak nio detektoriaus privalumai:

- platus išmatuojam dozi diapazonas;
- didelis jautrumas;
- ilgalaikis informacijos saugojimas (mažas fedingas);
- parodym tikslumo nepriklausomyb nuo aplinkos parametr ;
- universalumas, kas leidžia naudoti dozimetr registruoti vairi r ši spinduliuot ;
- visiškai automatizuoti matavimo procesai ir rezultat apdorojimas;
- neiškreipia švitinimo lauko, nes jie gali b ti labai maž matmen (skersmuo 4-5 mm, 1 mm storio), tod l šie detektoriai gali b ti tiesiogiai taikomi pacientams švitinimo metu.

3.3 Doz s ir ploto sandaugos matuoklis

Doz s ir ploto sandaugos matuoklis, tai žinomo ploto plokš ioji jonizacin kamera ir elektrometras kartu. Jonizuojan ios spinduliuot s registravimas doz s ir ploto sandaugos matuokliu susij s su spinduliuot s energijos praradimu. Plokš iosios kameros susideda iš dviej ar keleto elektrod , kuriems suteikiamas tam tikras elektrinis potencialas. Tarpas tarp katodo ir anodo užpildomas dujomis. Jonizuojanti spinduliuot , kertanti š tarp , kaip parodyta 3.3 paveiksle, praranda dal savo energijos sukurdam jon poras. Kiekviena jon pora susideda iš laisvojo elektrono ir atomo teigiamojo jono, kuris atsiranda, kai iš atomo pašalinamas elektronas. Ir elektronai, ir jonai yra kr vio neš jai, kurie juda veikiami elektrinio lauko. Jon por jud jimo sukurta srov išmatuojama [19].



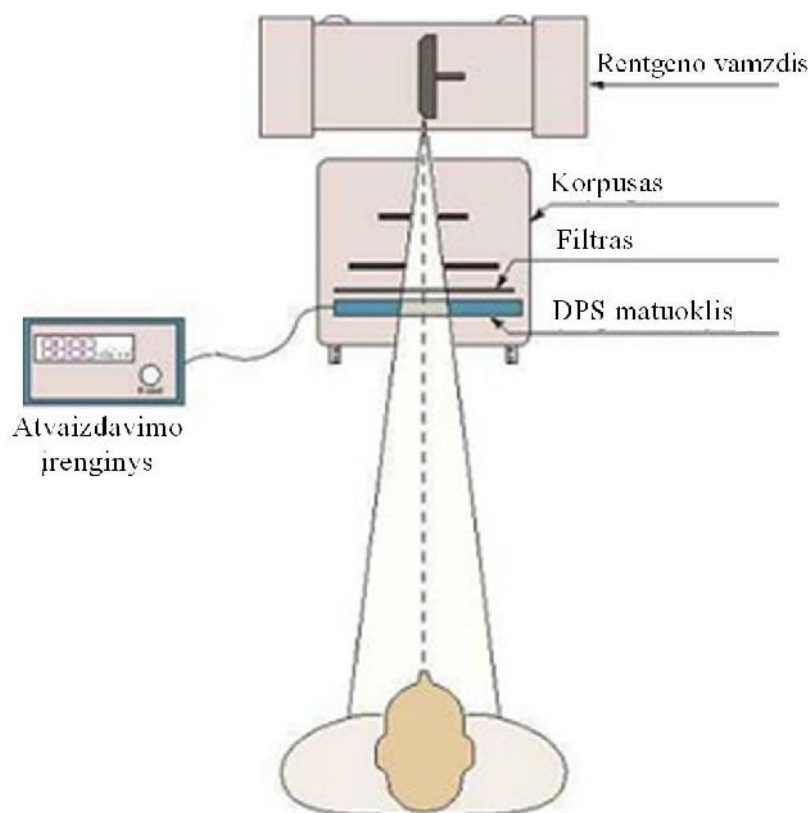
3.3 pav. Plokš ioji jonizacin kamera

Šiuo metu visi naujai rengiami radiacin s diagnostikos aparatai privalo tur ti doz s ir ploto sandaugos matuoklius. Doz s ir ploto sandaugos matuokliai naudojami radiografijoje ir fluoroskopijoje. Radiografijoje doz s ir ploto sandaugos matuokliai montuojami už rentgeno spinduli sklidimo kryptimi, už kolimatoriaus, kaip pavaizduota 3.4 paveiksle. Iš rentgeno vamzdžio sklindantys spinduliai pasiekia kolimatori , kuris suformuoja lauko dyd , kertant doz s

ir ploto sandaugos matuokl . Kadangi doz s ir ploto sandaugos matuoklis yra atskiras ir nuo rentgeno diagnostikos aparat ros nepriklausomas renginys, jis gali tur ti išorin rengin doz s ir ploto sandaugos vertei atvaizduoti. Kadangi šiuo metu matuokliai jau yra rentgeno diagnostikos aparato sudedamoji dalis, doz s ir ploto sandaugos vert atvaizduojama tame pa iame ekrane kaip ir rentgenograma [19].

Doz s ir ploto sandaugos matuoklio aktyvus plotas turi pilnai apimti rentgeno spinduli pluošt , kad b t gauti tiksl s rezultatai. Šiuo atveju, jeigu doz s ir ploto sandaugos matuoklis montuojamas prie pat kolimatoriaus, matuoklio aktyvus plotas turi b ti apytiksliai lygus maksimaliai atvertam kolimatoriaus dydžiui. Kitu atveju reikia vertinti spinduli projekcij ir parinkti tinkamo dydžio doz s ir ploto sandaugos matuokl arba riboti maksimal kolimatoriaus atsiv rim x ir y kryptimis.

Doz s ir ploto sandaugos (DPS) matuoklis integruoja jonizuojan ios spinduliuot s kermos ore vert per vis savo plot . Skai iuojant, tam tikru atstumu nutolusiame taške jos doz , kai žinoma doz s ir ploto sandaugos vert , galioja atvirkštini kvadrat d snis. Tarkim, turime 5 x 5 cm rentgeno spinduli lauk kurio centre jos doz 1 mGy ir DPS vert – 25 mGy·cm². Jeigu laukas padidinamas iki 10 x 10 cm taip, kad jos doz išlieka ta pati – 1 mGy, tai DPS padid ja 4 kartus iki 100 mGy·cm² [20].



3.4 pav. Doz s ir ploto sandaugos matuoklis rentgeno diagnostikos aparate

Doz s ir ploto sandaugos (DPS) matuoklis skaito visus rentgeno spinduli pluošto pakitimus, kurie pasireiškia dėl filtravimo medžiagos, kolimatoriaus ir jo pad ties, rentgeno vamzdžio srov s ir tampos nepastovumo, kadangi yra montuojamas pa iame iš jime. Ta iau ne vertina atbulin s sklaidos faktoriaus dėl paciento anatomijos, vandens kiekio organizme ir kit veiksnii . Jeigu spinduli eigoje tarp paciento ir DPS matuoklio patalpinama kli tis, doz s ir ploto sandaugos vert bus netiksli, matuoklis rodys didesn vert negu yra išti kt j . Doz s ir ploto sandaugos matuoklius paprasta naudoti, ta iau gan tinai sunku sukalibruoti. Doz s ir ploto sandaugos matuoklio kalibravimas tur t b ti atliekamas kas metus. Japon mokslininkas A. Fokuda. kartu moksliniais partneriais atliko doz s ir ploto sandaugos matuokli laikinio stabilumo analiz ir nustat , kad po 5 met naudojimo tik 50 % iš vis doz s ir ploto sandaugos matuokli matavimo paklaida neviršijo 10 %. Viso buvo tiriama 41 doz s ir ploto sandaugos matuoklis [27]. Taigi, tokie rezultatai rodo, kad netgi kasmetin toki matuokli patikra gali b ti nepakankama. vair s doz s ir ploto sandaugos matuokliai pateikti 3.5 paveiksle [19].

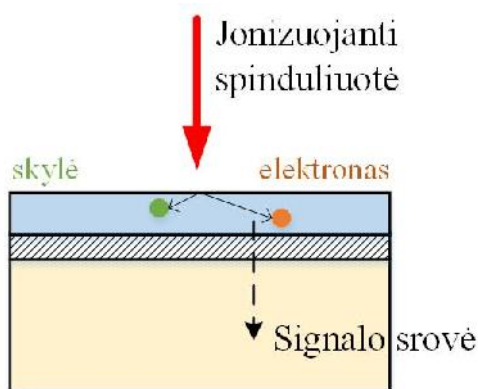


3.5 pav. Doz s ir ploto sandaugos matuokliai

3.4 Puslaidininkinis dozimetras

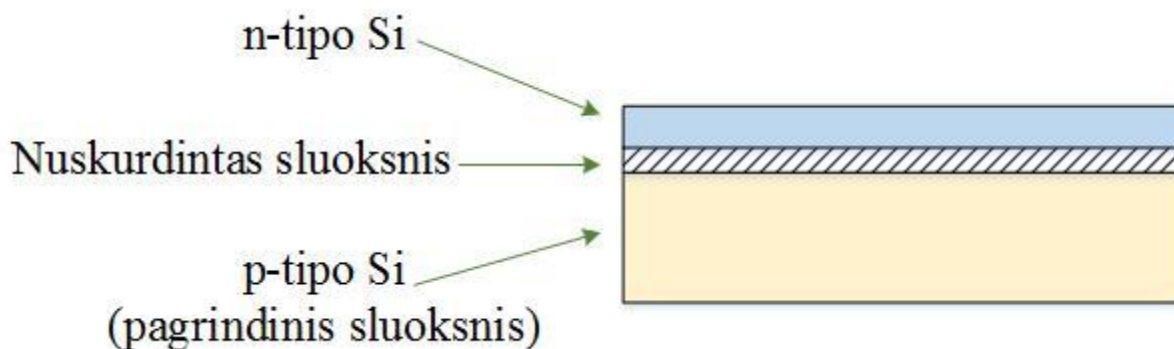
Puslaidininkiniai dozimetrai gali b ti dviej tip : silicio diodiniai dozimetrai ir MOSFET dozimetrai.

Silicio diodini dozimetr veikimo principas paremtas prast foto ar termo diod veikimo principu, kuomet viršutiniame sluoksnyje susikuria elektrono ir skyl s pora (3.6 pav.).



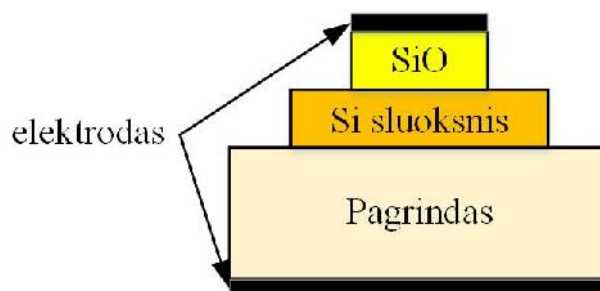
3.6 pav. Si dozimetre poros susidarymas

p arba n tipo puslaidininkio viršutiniame sluoksnyje suformuojamas priešingo laidumo sluoksnis, dėl kurio atsiranda nuskurdinta aktyvioji zona. Šiuo atveju elektrono ir skylės pora viršutiniame sluoksnyje generuoja jonizuojanios spinduliuotės srautas. Galimi n-Si arba p-Si dozimetrai, priklausomai nuo pagrindo laidumo tipo. Gaminami abiejų tipų dozimetrai, tačiau p-Si tipo dozimetrai yra labiau tinkami mažesnės dozės matavimui dėl daug mažesnių tamsinamųjų srovių. p-Si tipo dozometro skersinis pjūvis pavaizduotas 3.7 paveiksle. Nuskurdinto sluoksnio storis μm eilės. Kai norima registruoti silpnas dozes p-Si tipo dozimetru – naudojamas stiprinimas elektriniu lauku [28].



3.7 pav. p-Si tipo dozometro skerspjūvis

MOSFET dozimetras pagrindas yra metalo, oksido ir puslaidininkio lauko tranzistorius. Priešingai nei Si dozimetru atveju, kur srovė susikuria dėl krutininko generavimo, ji priklauso nuo jonizuojaniosios spinduliuotės pluošto srauto keičiamos tampa. Taip nutinka kai dėl jonizuojaniosios spinduliuotės SiO₂ rėje susikuria krutininkas kuris dėl tokios paties laidumo kaip krutininkas vidurinio sluoksnio juda link pagrindo. Pagrindinė krutininko vieta yra sulaikomi ir kaupiasi, dėl to keičiasi ir MOSFET dozimetras tampa. Principinis MOSFET dozimetras struktūra pavaizduota 3.8 paveiksle [28].



3.8 pav. MOSFET dozometro skerspjūvis

MOSFET dozimetras tampos priklausomybė nuo sugertos jonizuojaniosios spinduliuotės yra tiesinė. Pagrindiniai tokio dozimetras privalumai naudojant paviršiaus dozes nustatymui yra mažas dydis, tiesinė priklausomybė nuo dozės nekinta ir išlieka visą naudojimo laiką, mažas kampinė anizotropija $\pm 2\%$, in vivo matavimas, paviršiaus dozes vertę gali būti nuskaityta

kelet kart . Pagrindiniai toki dozimetr tr kumai, tai ribotas naudojimo laikas iki 100 Gy, kadangi dozimetr veikimas pagr stas kaupimu be regeneracijos, jautrumo priklausomyb nuo rentgeno pluošto energijos, jautrumas temperat ros poky iams, neekvivalentiški audiniams [28].



3.9 pav. Puslaidininkiniai p-Si ir MOSFET dozimetrai

3.5 Polimeriniai geliniai dozimetrai

Polimeriniai geliai savyje turi spinduliuotei jautrius monomerus, kurie paveikus juos spinduliuote. Šie geliai gali b ti panaudoti 3D dozimetrijai, nes polimerizacija yra proporcinga gelio t ryje sugertai dozei. Polimerini gelini dozimetr savyb s (jautrumas, laikinis stabilumas, skiriamoji geba ir kt.) priklauso nuo polimeriniame gelyje naudojam monomer ir kit komponent (pvz.: deguonies sugav j), bei j koncentracij . Polimeriniai geliai skirstomi poliakrilamidinius gelius (PAG) ir polimetakrilin s r gšties gelius (MAG) [29].

Paveikus spinduliuote polimerinius gelius, j branduolinio magnetinio rezonanso sukiniu-sukinio relaksacijos laikas ir optin s savyb s pasikei ia. Taip nutinka d l jonizuojan ios spinduliuot s sukeltos organini monomer ištirpusi gelyje polimerizacijos. Polimerizacijos laipsnis kiekviename elementariame gelio t rinio vaizdo elemente yra susij s su sugert ja doze jame. Tod l, panaudojus kalibravim , galima surasti erdvin doz s pasiskirstym apšvitintame gelyje. Šis dozimetrijos metodas pranašesnis nei prasti taškiniai dozimetrai, tokie kaip jonizacin s kameros ar kietak niai dozimetrai, nes gali išmatuoti trimat doz s pasiskirstym , yra ekvivalentiški audiniui, nesukelia spinduliuot s iškraipym ir turi nuo energijos ar doz s galios nepriklausant doz s atsak [29].

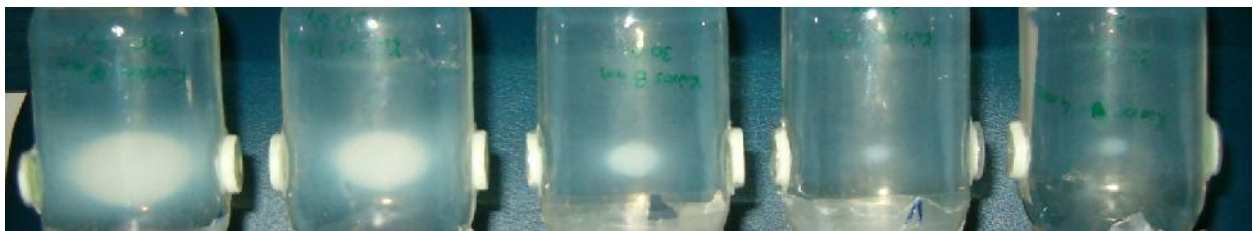
Priešingai nei doz s ir ploto sandaugos matuoklyje ar jonizacin je kameroje reikalinga dozometro nuskaitymo ranga. Paviršiaus jos doz nustatin jama pagal polimero optin pralaidum . 3D doz s pasiskirstymui nustatyti polimeriniuose geliniuose dozimetruose naudojama

magnetinio rezonanso tomografija, rentgeno kompiuterin tomografija, optin kompiuterin tomografija, bei ultragarsinis tyrimas [30].

Tipiški polimetakrilin s r gštis dozimetrai susideda iš metakrilo r gšties, gelatinos, vandens ir nedidelio kiekio kit medžiag [30].

Pirmasis PAG dozimetras buvo pasi lytas 1994 metais. Tod l šiuo metu komerciškai jie n ra naudojami [29].

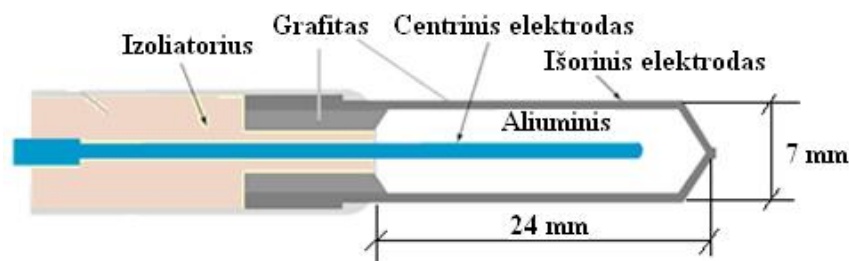
Dozimetrams temperat ra apšvitinimo metu neturi pastebimo poveikio kambario temperat r diapazone. Ta iau esam polimerini gelini dozimetr jautrumas keli mGy eil s spinduliuotei yra mažas, ir tai takoja didelius netikslumus, nustatant paviršiaus jos dozes [29].



3.10 pav. Polimeriniai geliniai dozimetrai

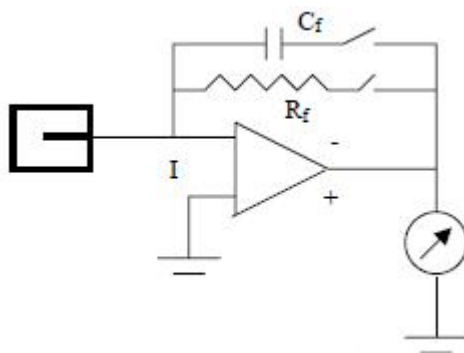
3.6 Farmer tipo jonizacin s kameros

Universaliausias ir pla iausiai naudojamas prietaisas dozimetrijoje yra Farmer tipo jonizacin s kameros (3.11 pav.). Kaip ir doz s ir ploto sandaugos matuoklius aprašytus 3.3 skyriuje, Farmer tipo jonizacin kamer sudaro nedidelis oro t ris tarp dviej elektrod , tarp kuri prijungtas potencial skirtumas (200 – 400 V). Jonizuojan ioji spinduliuot tame oro t ryje sukuria jon poras. Šie jonai yra pritraukiami prie elektrod ir generuoja srov , proporcing krantan iai spinduliuotei. Jonizacin kamera turi gaubt , ekvivalentišk orui, elektroninei pusiausvyrai aplinkoje sudaryti. Šio gaubto storis lygus didžiausiam sukuriam antrini elektron siekiui. 3.11 paveiksle pateikta Farmer jonizacin s kameros schema. Jonizacin kamera gerai veikia esant stipriems spinduliuot s laukams. Momentinis arba tyrimo metu vert s atvaizdavimas leidžia greitai apskai iuoti jos doz . Po matavimo nereikalingas papildomas nuskaitymas, kaip su OSL ar TLD dozimetrais [28].



3.11 pav. Farmer tipo jonizacin kamera

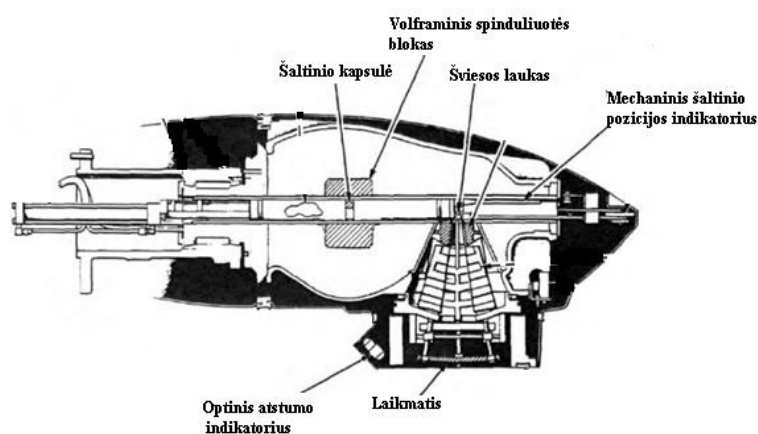
Farmer tipo jonizacin kamera prastai prijungiama prie elektrometro, kuris matuoja srov ir jos tekimo laiką, taip atvaizduodamas, kokį krūvį sukaupė jonizacin kamera. Priklausomai nuo elektrometro nustatymų, matavimai gali būti atliekami tam tikrais laiko intervalais arba kai pasibaigia jonizuojanios spinduliuotės srautas. Principinė elektrometro schema pateikta 3.12 paveiksle.



3.12 pav. Elektrometro principinė schema [28]

3.7 Kobalto ⁶⁰Co terapinis renginys (Rokus-m)

Kobalto ⁶⁰Co terapinis renginys, esantis KMUK Onkologinėje ligoninėje ir anksčiau naudotas pacientų gydymui, buvo pasitelktas termoluminescenciniams dozimetrams sukalibruoti. Pagrindinė ⁶⁰Co tinkamumo terapijai priežastis yra tikslus jo aktyvumas, pakankamai ilgas skilimo pusamžis (5,27 metai) ir jo monochromatinė didelės energijos fotonų emisija (1,173 MeV ir 1,333 MeV). Didžiausias kobalto renginio pranašumas yra paprastas jo dizainas ir pigumas. Kobalto renginio galvos scheminis vaizdas pateiktas 3.13 paveiksle [24].



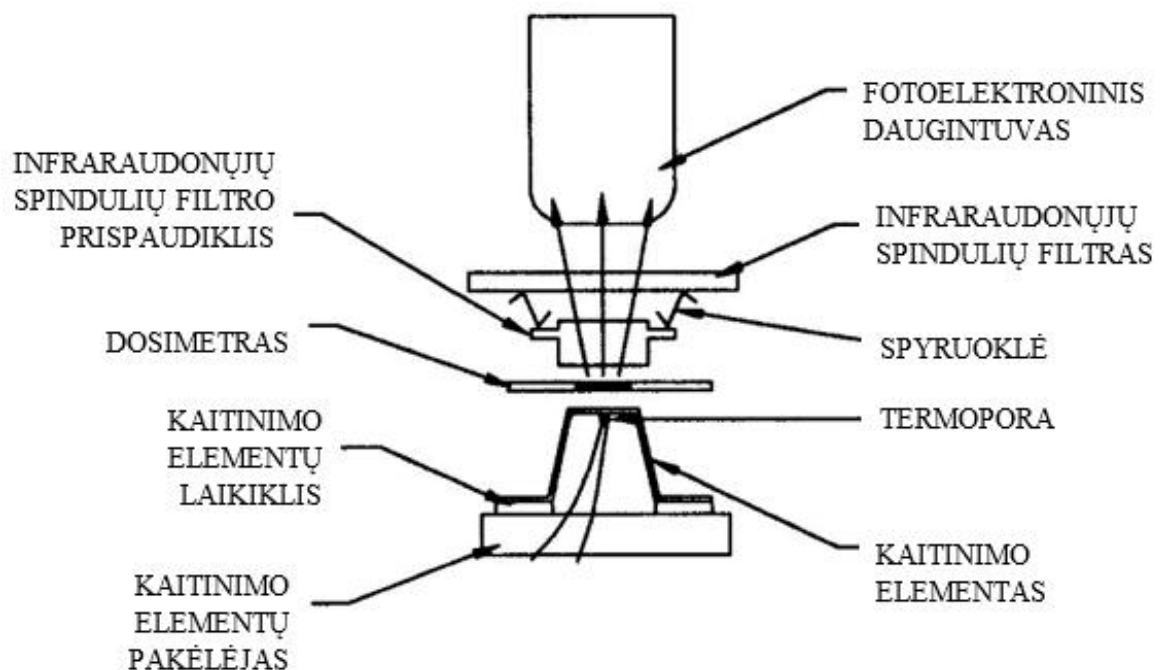
3.13 pav. Kobalto terapinio renginio galvos diagrama [24]

Kobalto šaltinį paprastai sudaro milimetriniai cilindriniai tablečių rinkinys arba plonas metalinis diskas, uždarytas dvigubą plieninį kapsulį. Aktyvus šaltinio diametras yra 15 – 20 mm. Mažos energijos gama spinduliuotė nufiltruoja apsauginės kapsulės sienelėmis [24].

Kobalto šaltinio galva turi tris funkcijas: apsaugoti šaltinį, atidengti šaltinį (švitinimo metu) ir kolimuoti reikiamo dydžio spinduliuoties lauką. Šaltinio ekspozicija vyksta dviem būdais: kai šaltinis juda tarp saugios ir atviros pozicijų (Rokus-M) arba kai šaltinis nejuda, o judantis užraktas atidengia ir uždengia šaltinį [24].

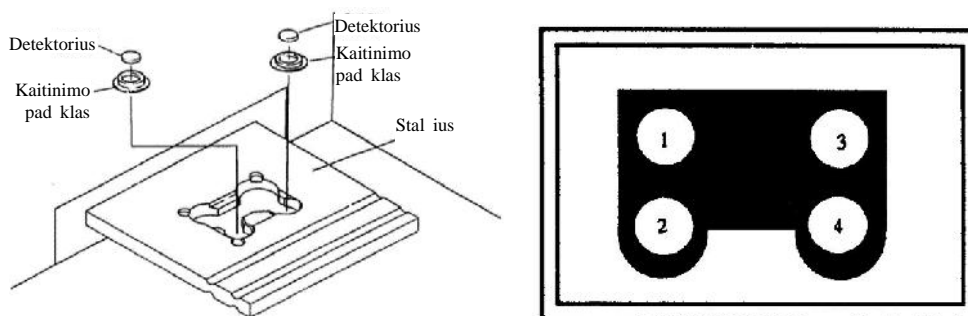
3.8 Termoluminescencini dozimetras skaitytuvas RIALTO

Dozimetrui nuskaityti naudojamas termoluminescencinis dozimetras (TLD) nuskaitymo renginys RIALTO. Jis susideda iš skaitymo elemento, vaizduoklio, klaviatūros. Prietaisui tiekiamas azotas, naudojamas ataušinti atkaitintiems dozimetrui. Matavimo principinė schema pateikta 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Dozimetro nuskaitymo principinė schema

Detektoriai prietaisui patalpunami automatinio stalo pavidalu, t.y. virš kaitinimo elemento (po fotoelektroniniu daugintuvu) (3.14 pav.). Detektoriai stalo pavidalu patalpunami kaip parodyta 3.16 paveiksle.



3.16 pav. Stalo pavidalu schema (kairėje) ir detektorių numeravimas sistemoje (dešinėje)

Prietaise yra sandari kamera, skirta laikyti detektorius matavimo metu. Naudojama dviguba šildymo ir impuls registravimo sistema, taigi detektoriai apdorojami poromis. Kairėje esantis kanalas vadinamas „Station A“, jis apdoroja detektorius: „Detector N^o. 1“ (Detektorius Nr. 1), ir „Detector N^o. 2“ (Detektorius Nr. 2). Dešiniojo kanalo, „Station B“ detektoriai: „Detector N^o. 3“ (Detektorius Nr. 3), ir „Detector N^o. 4“ (Detektorius Nr. 4). Numeravimas atitinka 3.16 paveikslą. Vienu metu apdorojami pirmas ir trečias, o po jų antras ir ketvirtas detektoriai. Paruošus du detektorius (1 ir 3, arba 2 ir 4) skaitymui prie jų pakeliami du tikslūs kaitinimo elementai (3.14 pav.). Norint užtikrinti tikslumą ir atsikartojamumą, kaitinimo elementų temperatūra palaikoma pastovi vieno laipsnio tikslumu [31].

Detektoriu išspinduliuota šviesa pereina infraraudonąjį spindulio filtrus ir patenka fotoelektroniniame daugintuve. Fotoelektroniniame daugintuve šviesos signalas paveriamas elektriniu ir skaitmeninamas naudojant dažninius keitiklius. Šie keitikliai sukurtas impuls skaičius – dozės matavimo pagrindas. Kad užtikrinti nekintant šviesos registravimo jautrumą naudojami dviejų vidinių ekvivalentinių ¹⁴C šaltinių parodymai. Vidiniai šviesos šaltiniai yra detektoriu stalais gale ir jam esant pilnai atidarytam šaltiniai patenka tiesiai po fotoelektroniniu daugintuvu [31].

Naudojamas pakopinis kaitinimo ciklas, jis gali būti dalijamas tris dalis [23]:

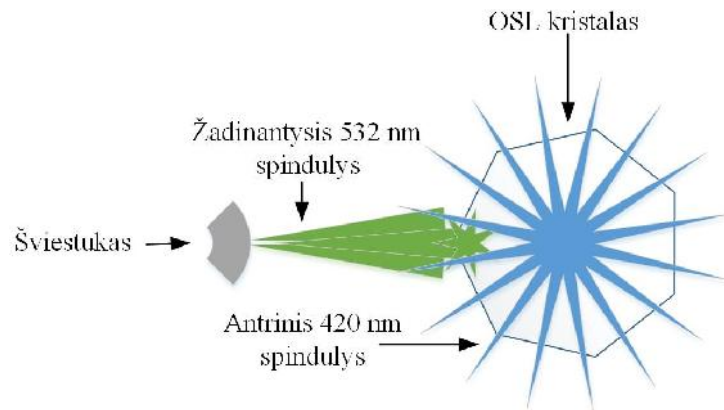
1. Pašildymas. Prieš atliekant matavimus detektorius pašildomas iki santykinai žemos temperatūros tam, kad būtų išlaisvinti nestabilūs žem temperatūros pagavimo centrai.
2. Skaitymas. Šioje fazėje temperatūra padidinama iki aukštesnės numatytos iš anksto temperatūros. Matuojamas spinduliavimo intensyvumas – gaunami duomenys.
3. Atkaitinimas. Jis atliekamas pašalinti liekamajam signalui ir atstatyti pagavimo centrą pasiskirstymą.

Iškart po atkaitinimo detektorius staigiai atšaldomas azotu. Dėl tokio atšaldymo kiekvieną kartą matuojant stebimas toks pat jautrumas.

3.9 Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetris skaitytuvas MicroStar

Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) procesas galima suskirstyti tris pakopas: sužadinti, saugojimas ir nuskaitymas. Sužadinti metu dėl jonizuojančių spinduliuotės poveikio OSL dozimetre sukaupiamas tam tikras energijos kiekis, kuris saugomas sužadintu krivink

(elektronai ir skylutės) pavidalu. Nuskaitymo metu aliuminio oksido kristalas sužadinas žalia lazerio šviesa (532 nm). Kvantiniame lygmenyje suveikaujant krūvininkams ir elektromagnetinei spinduliutei – išspinduliuojamas antrinis mėlynos šviesos (420 nm) srautas (3.17 pav.). Tokia liuminescencija trunka apie 35 ms. Fotoelektroninio dauginimo pagalba išmatuojamas išspinduliuotos šviesos fotonų srautas, kuris yra tiesiogiai proporcingas sugertai dozei.



3.17 pav. Dozimetru aliuminio oksido kapsulės sužadinimas

Portabilaus dozimetru nuskaitymo renginio MicroStar sudedamosios dalys pateiktos 3.18 paveiksle. 1 – kompiuteris su programine ranga, 2 – nuskaitymo renginys, 3 – matricini kodas (QR) esantis ant dozimetru nuskaitymo renginys. Nuskaitymo renginys gali dirbti su dviem tipais optiškai spinduliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrais, personaliniais ir taškiniais. Jeigu naudojami personaliniai, vienos krovos metu gali nuskaityti sukauptas dozes iš 4 OSL kristalų, taškiniai optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetru atveju, vienos krovos metu gali nuskaityti vieną OSL kristalą.



3.18 pav. Portabilus dozimetr nuskaitym renginys MicroStar

Taškiniams optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrams nuskaityti naudojamas adapteris, kuris leidžia tvirtinti dozimetr matavimo stal iuje. Prieš atliekant dozometro matavim , skaitytuvu 3 (3.18 pav.) nuskaitymas matricinis kodas, esantis ant dozometro, kuriame užkoduotas dozometro jautrumas. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrai gamintojo pateikiami jau sukalibruoti, tod l pakartotinai to daryti nereikia. Dozimetras dedamas nuskaitymo prietaiso stal i (3.19 pav.) sukant svirt paleidžiamas matavimas (3.19 pav.).

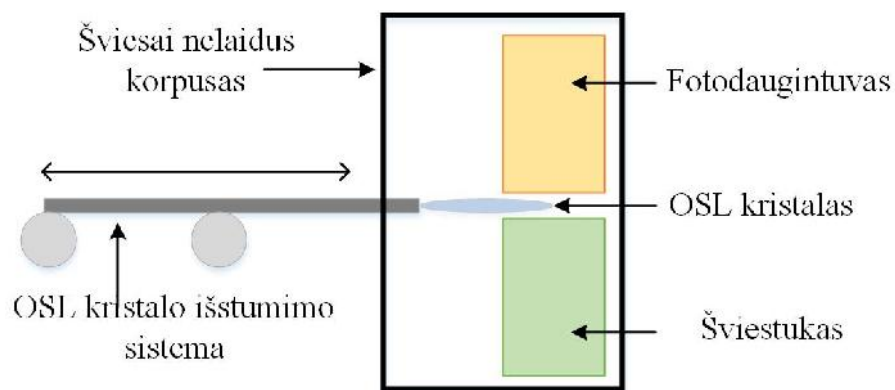


3.19 pav. Dozimetr stal ius su adapteriu (kair je) ir nuskaitymo paleidimo svirtis (dešin je)

Kadangi patys optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrai yra jautr s šviesai, matavimas atliekamas optiškai sandarioje terp je. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos

kristalo nuskaitymo mechanizmas pateiktas 3.20 paveiksle. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos kristal nuo aplinkinės šviesos saugo korpusas, todėl matavimo renginyje yra kristalo išstūmimo sistema, kuri sukant svirtį, kristalą patalpina tarp fotoelektroninio daugintuvo ir šviestuko.

Nuskaitymo renginys turi du veikimo režimus: mažoms dozoms iki 100 mGy ir didelėms dozoms virš 100 mGy. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos kristalas apšviečiamas impulsiniu šviesos srautu. Apšvietimo sistemą sudaro 6x6 šviestukų matrica. Matuojant mažas dozes naudojami visi matricoje esantys šviestukai, matuojant dideles dozes naudojami 6 šviestukai [26].



3.20 pav. OSL kristalo nuskaitymas

renginys turi vidinį automatinį kalibravimą tamsinei šviesai, šviestuko intensyvumui nustatyti. Šis kalibravimas atliekamas po prietaiso jungimo.

4. EKSPERIMENTAS IR TYRIMŲ REZULTATAI

4.1 Eksperimento metodika

Paviršiaus įšios dozei nustatyti buvo pasirinktos sekančios trys metodikos:

- 1) Rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos metodika;
- 2) Dozės ir ploto sandaugos metodika;
- 3) Kietojo kūno dozimetrijos metodika

Visi matavimai buvo atliekami Respublikinėje Kauno ligoninės konsultacijų poliklinikoje (Hipodromo g. 13, Kaunas), su skaitmeniniu radiacinės diagnostikos General Electric renginiu. Prieš atliekant matavimus, tą pačią dieną rentgeno diagnostikos aparatas buvo naudojamas pacientams tirti, todėl buvo tariama, kad parametrai yra nusistovėję. Iš viso buvo atlikti 6 bandymai, suskirstyti tris grupes:

1 grupė (1 bandymas) – rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos nustatymas.

Bandymo tikslas – apskaičiuoti paviršiaus įšios dozes naudojantis rentgeno vamzdžio išėigos charakteristika.

2 grupė (4 bandymai) – šių bandymų metu vienu metu buvo nustatinėjama dozės ir ploto sandaugos vertė ir apšvitinami termoluminescenciniai dozimetrai (TLD) ir optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai, kai rentgeno vamzdžio parametrai kV, mA, ms, parenkami rankiniu būdu. Bandymų parametrai, pateikiami 4.1 lentelėje. Kiekvienam bandymui buvo naudojama po 8 TLD ir OSL dozimetrus, viso 16 dozimetrų vienam bandymui. Visiems 4 bandymams iš viso buvo naudojami 64 dozimetrai.

Bandymų tikslas – apskaičiuoti paviršiaus įšios dozės vertes naudojantis dozės ir ploto sandaugos verte, bei taip pat jas išmatuoti su termoluminescenciniais dozimetrais (TLD) ir optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrais.

4.1 lentelė. 2 grupės bandymų rentgeno vamzdžio parametrai

Nr	Nustatyta rentgeno vamzdžio tampa, kV	Nustatyta rentgeno vamzdžio srovė, mA	Nustatytas rentgeno vamzdžio srovės laikas, ms	Laiko ir srovės sandauga, mA·s
1	80	100	25	2,5
2	80	100	50	5
3	80	100	80	8
4	80	100	100	10

3 grup (1 bandymas) – šio bandymo metu vienu metu buvo nustatin jama doz s ir ploto sandaugos vert ir apšvitinami termoluminescenciniai dozimetrai (TLD) ir optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai, kai rentgeno vamzdžio parametrai kV, mA, ms, parenkami automatiiniu b du pasirenkant radiografijos proced r iš s rašo. Bandym parametrai, pateikiami 4.2 lentel je. Bandymui buvo naudojama po 8 TLD ir OSL dozimetrus, viso 16 dozimetr vienam bandymui.

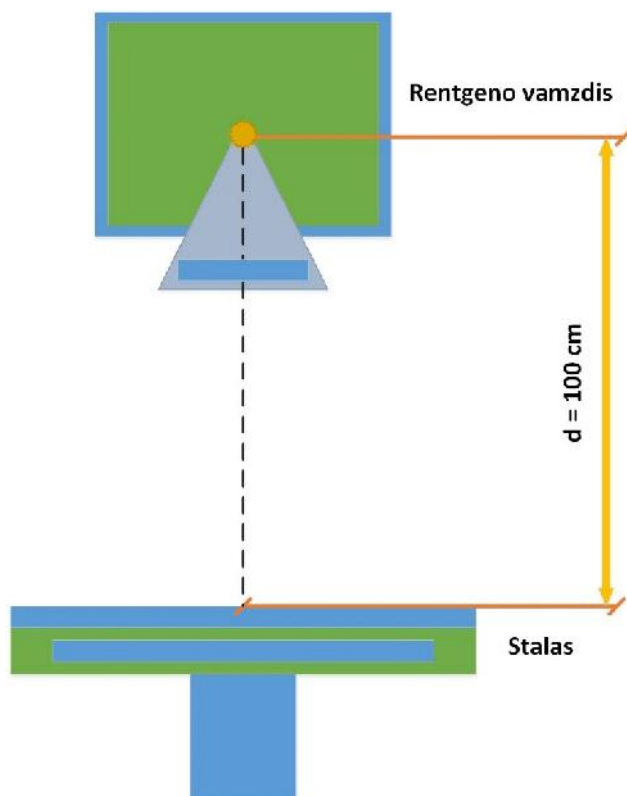
Bandymo tikslas – apskai iuoti paviršiaus jos doz naudojantis doz s ir ploto sandaugos verte ir taip pat j išmatuoti su termoluminescenciniai dozimetrai (TLD) ir optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai.

4.2 lentel . 3 grup s bandym rentgeno vamzdži parametrai

Nr	Radiografijos proced ra	Automatiškai nustatyta pagal proced ra rentgeno vamzdžio tampa, kV	Automatiškai nustatyta pagal proced ra rentgeno vamzdžio srov , mA	Automatiškai nustatyta pagal proced ra rentgeno vamzdžio srov s laikas, ms	Laiko ir srov s sandauga, mA·s
1	Pilvas AP	80	764	12	9,49

4.2 Tyrim rezultatai

Naudojantis rentgeno vamzdžio išeiigos charakteristikos metodika, buvo atliekamas **1 grup s bandymas**, kurio metu nustatin jama rentgeno vamzdžio išeiiga pasinaudojant UnFors Mult-O-Meter matuokliu. Buvo išmatuota tampa ir oro kerma 100 cm atstumu nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos, kaip pavaizduota 4.1 paveiksle. Matavimai atlikti visame rentgeno vamzdžio darbini tamp diapazone nuo 40 kV iki 130 kV, 10 kV žingsniu. Rentgeno vamzdžio srov 250 mA ir srov s tek jimo laikas 20 ms, buvo paliekamas toks pat vis matavim metu. Unfors Mult-O-Meter matuoklio detektorius buvo tvirtintas statmenai ir per centr rentgeno vamzdžio iš jimo atžvilgiu. Unfors Mult-O-Meter matuoklis buvo sukalibruotas gamintojo, kalibracijos protokolas pateiktas, kaip priedas nr. 3.



4.1 pav. Rentgeno vamzdžio išeišos charakteristikos metodikos matavimo schema

Gauti rezultatai po matavim pateikti 4.3 lentel je.

4.3 lentel . Rentgeno vamzdžio išeišos charakteristikos vert s

Nustatyta rentgeno vamzdžio tampa, kV	Išmatuota rentgeno vamzdžio tampa, kV	Rentgeno vamzdžio srov s laikas, ms	Rentgeno vamzdžio srov , mA	Laiko ir srov s sandauga, mA·s	Išmatuota ore kerma 100 cm atstumu, mGy
40	40,1	20	250	5	0,045
50	50,7	20	250	5	0,087
60	60,8	20	250	5	0,134
70	69,4	20	250	5	0,186
80	80,6	20	250	5	0,242
90	91,6	20	250	5	0,306
100	102,0	20	250	5	0,377
110	113,2	20	250	5	0,445
120	123,9	20	250	5	0,558
130	133,4	20	250	5	0,596

Toliau skai iavimuose buvo naudojamos išmatuotos rentgeno vamzdžio tamos vert s. Norint nubr žti rentgeno vamzdžio išeigos kreiv , kerm ore reikia normalizuoti 1 mA·s. Gauti matavim rezultatai buvo perskai iuoti ir pateikti 4.4 lentel je.

4.4 lentel . Perskai iuotos rentgeno vamzdžio išeigos charakteristikos vert s

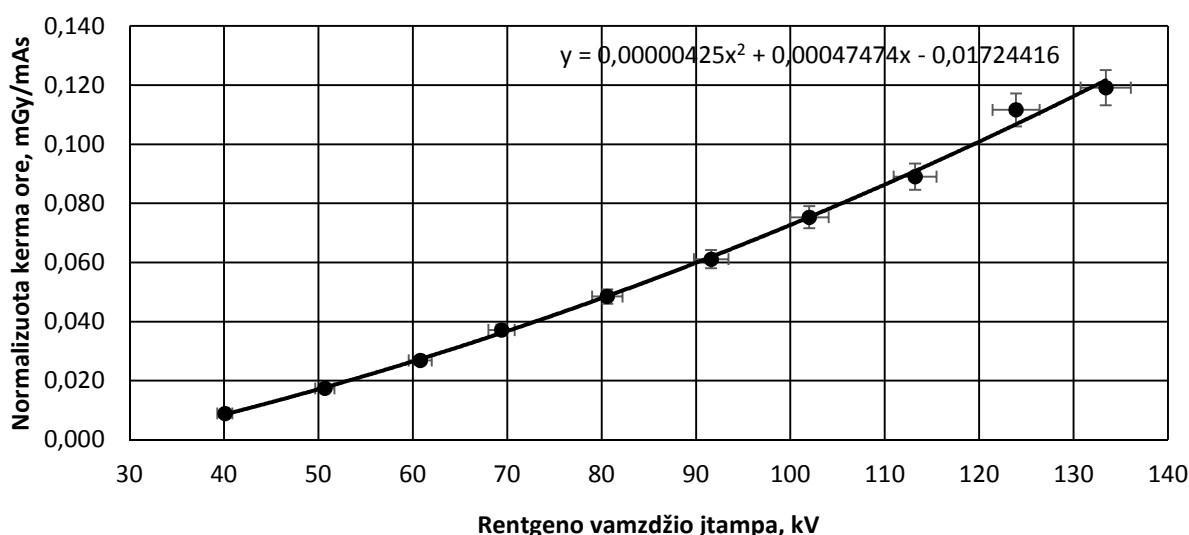
Išmatuota rentgeno vamzdžio tampa, kV	Normalizuota kerma ore 100 cm atstumu, mGy/mA·s
40,1	0,009
50,7	0,017
60,8	0,027
69,4	0,037
80,6	0,048
91,6	0,061
102,0	0,075
113,2	0,089
123,9	0,112
133,4	0,119

Iš 4.4 lentel je esan i duomen grafike atid ti taškai ir nubr žta kreiv ir išvesta jos lygtis (4.2 pav.). Kreiv s lygtis:

$$y = 0,00000425 \cdot x^2 + 0,00047474 \cdot x - 0,01724416 ,$$

ia: y – normalizuota kerma ore 100 cm atstumu, mGy/mA·s; x - rentgeno vamzdžio tampa, kV.

Ši lygtis yra unikali kiekvienam rentgeno renginiui. Turint ši lygt galima apskai iuoti rentgeno vamzdžio kerm ore 100 cm atstumu, esant bet kokiai rentgeno vamzdžio tampai.



4.2 pav. Rentgeno vamzdžio išeigos charakteristika

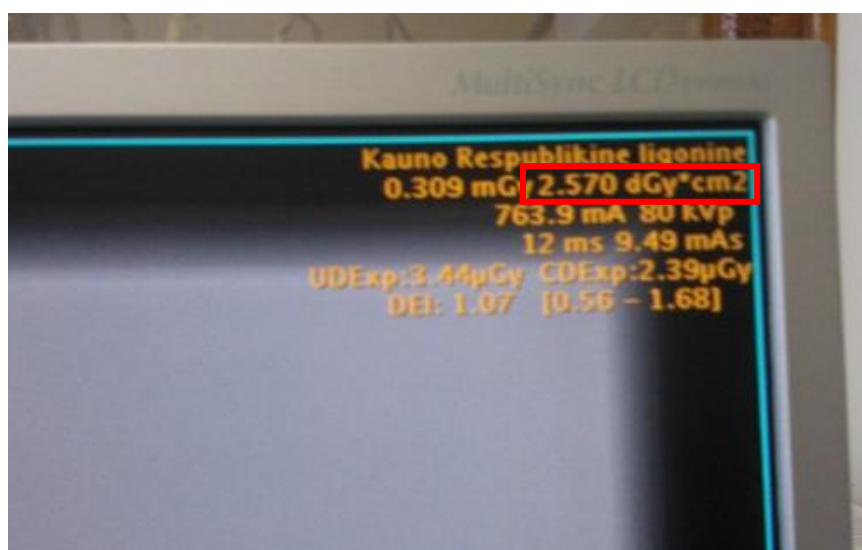
Kadangi 2 ir 3 grup s bandym metu rentgeno vamzdžio tampa buvo parinkta vienoda ir lygi 80 kV, tod l ir paviršiaus jos doz iš rentgeno vamzdžio išeigos charakteristikos lygties buvo nustatin jama 80 kV tampai. Iš rentgeno vamzdžio išeigos lygties apskai iuota jog kerma

ore $K_a=0,048$ mGy/mA·s. Turint kermos ore vert ir žinant lauko dyd galima apskai iuoti paviršiaus jos doz , pagal 2.1 skyriuje nurodytas 2.1 ir 2.2 formules. Paviršiaus jos doz s vert skai iuojama 80 cm atstumu nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos. Apskai iuotos paviršiaus jos doz s vert s pagal 2 ir 3 grupi bandym parametrus pateiktos 4.5 lentel je. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetr matavimo rangos MicroStar ir termoliuminescencijos dozimetr kalibracijos protokolai pateikti kaip priedai nr.1 ir nr.2.

4.5 lentel . Apskai iuotos paviršiaus jos doz s pagal rentgeno vamzdžio išeiigos charakteristika

Nr	Paviršiaus jos doz , mGy	Nustatyta rentgeno vamzdžio tampa, kV	Laiko ir srov s sandauga , mA·s	Atstumas iki paviršiaus jos doz s, cm	SSD, cm	K_a , mGy	$K_{a,i}$, mGy	ASK	Lauko dydis SSD atstumu, cm
1	0,252	80	2,5	80	100	0,048	0,187	1,345	41 x 41
2	0,504	80	5	80	100	0,048	0,374	1,345	41 x 41
3	0,806	80	8	80	100	0,048	0,599	1,345	41 x 41
4	1,007	80	10	80	100	0,048	0,749	1,345	41 x 41
5	0,956	80	9,49	80	100	0,048	0,711	1,345	41 x 41

Naudojantis doz s ir ploto sandaugos metodika, buvo atliekamas **2 ir 3 grupi bandymai** vienu metu (4.4 pav.). Doz s ir ploto sandaugos matuokliu integruotu rentgeno diagnostikos aparate buvo matuojama doz s ir ploto sandaugos vert s. Doz s ir ploto sandaugos vert s pateikiamos, atlikus proced r rentgenogramos viršutiniame dešiniame kampe, kaip pavaizduota 4.3 paveiksle. Visi matavimai atlikti esant vienodomis rentgeno vamzdžio tamps, ta iau kei iant mA·s vert , kad b t gaunama skirtinga paviršiaus jos doz s vert . Paviršiaus jos doz s matavimo vietos atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos toks pat kaip ir **1 grup s bandymo** metu – 80 cm. Lauko geometriniai matmenys taip pat nepasikeit . Išmatuotos doz s ir ploto sandaugos vert s pateiktos 4.6 lentel je.



4.3 pav. Doz s ir ploto sandaugos vert rentgenogramoje

Dozės ir ploto sandaugos vertė atvaizduojama ekrane nra tikroji, kadangi nepadauginta iš kalibracijos koeficiento k. Šio darbo metu dozės ir ploto sandaugos matuoklis nebuvo kalibruotas, kadangi tikslios pavienės paviršiaus jos dozės tarpusavyje nebus lyginamos pagal absoliutines jų reikšmes. Dozės ir ploto sandaugos vertės nuo kalibracijos koeficiento priklauso tiesiškai, todėl tai neturės takos santykiniam rezultatų vertinimui.

4.6 lentelė. Dozės ir ploto sandaugos vertės

Nr.	Dozės ir ploto sandauga, mGy·cm ²
1	68,900
2	148,000
3	240,900
4	302,500
5	257,000

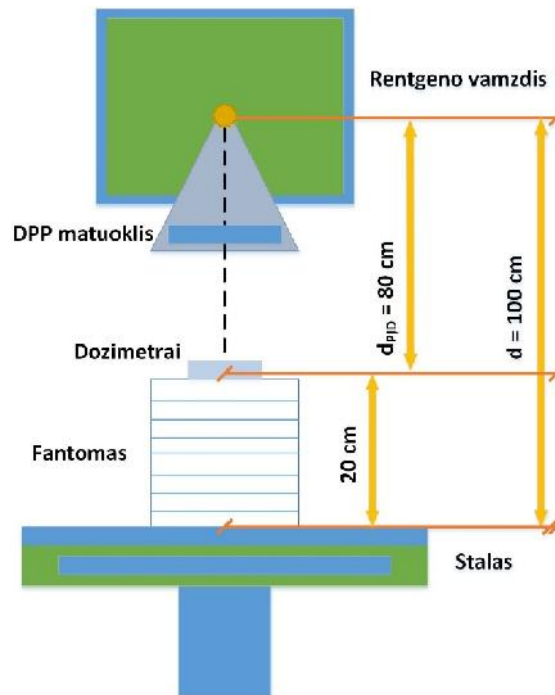
Turint dozės ir ploto sandaugos vertes ir žinant paviršiaus jos dozės lauko dydį, pagal 2.2 skyriuje nurodytas (2.3) ir (2.4) formules galima apskaičiuoti paviršiaus jos dozės vertes. Apskaičiuotos paviršiaus jos dozės vertės pateiktos 4.7 lentelėje.

4.7 lentelė. Paviršiaus jos dozės apskaičiuotos pagal dozės ir ploto sandaugos vertes

Nr.	Paviršiaus jos dozė, mGy	Nustatyta rentgeno vamzdžio tampa, kV	Laiko ir srovės sandauga, mA·s	Atstumas iki paviršiaus jos dozės, cm	SSD, cm	DPS _d , mGy·cm ²	k	DPS _c , mGy·cm ²	ASK	Lauko dydis SSD atstumu, cm
1	0,086	80	2,5	80	100	68,900	1	68,900	1,345	41 x 41
2	0,185	80	5	80	100	148,000	1	148,000	1,345	41 x 41
3	0,301	80	8	80	100	240,900	1	240,900	1,345	41 x 41
4	0,378	80	10	80	100	302,500	1	302,500	1,345	41 x 41
5	0,321	80	9,49	80	100	257,000	1	257,000	1,345	41 x 41

Naudojantis kietojo kodo dozimetrijos metodika, buvo atliekamas **2 ir 3 grupių bandymai** vienu metu, (4.4 pav.) optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrais ir termoliuminescencijos dozimetrais, buvo tiesiogiai išmatuotas paviršiaus jos dozės. Visi matavimai atlikti esant vienodoms rentgeno vamzdžio tampoms, tačiau keičiant mA·s vertę, kad būtų gaunama skirtinga paviršiaus jos dozė. Atstumas nuo rentgeno vamzdžio židinio vietos iki paviršiaus jos dozės matavimo taško, yra toks pat kaip ir **1 grupės bandymo** metu, ir lygus 80 cm. Lauko geometriniai matmenys taip pat nepasikeitė. Bandymams buvo naudojami optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetrai ir termoliuminescenciniai dozimetrai (TLD), kad būtų galima tarpusavyje palyginti jų tinkamumą paviršiaus jos dozei matuoti. TLD ir OSL dozimetrai buvo laminuoti polietilenuose plėvelės šachmatine tvarka taip kaip pavaizduota 4.5 paveiksle. Dozimetrai matavimui buvo dedami ant fantomo „Pro-RTG AEC PMMA“, kuris imitavo paciento pilvą. Organinio stiklo fantomo matmenys 30 cm (plotis) x 30 cm (ilgis) x 20 cm

(storis/aukštis). Taikant rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos ir dozės ir ploto sandaugos metodikas fantomas nereikalingas kadangi, atbulin sklaida paviršiaus jos dozės skaičiavimo vietoje, vertinama skaičiuojant paviršiaus jos dozės ir vertinama kaip koeficientas iš 2.1 lentelės.



4.4 pav. Dozės ir ploto sandaugos ir kietojo kūno dozimetrijos metodikos matavimo schema

2 grupės bandymai buvo kartoti 10 kartų, su tikslu dozimetruose sukaupti didesnės dozės. Kadangi yra žinimas prastas termoluminescencinio dozimetru jautrumas dozėms mGy eilės. **3 grupės bandymas**, buvo atliktas vieną kartą, su tikslu atkartoti kiek manoma realesnes paviršiaus jos dozės matavimosi lygas. Išmatuotos paviršiaus jos dozės vertės pateiktos lentelės žemiau kaip dozės žemlapiai. Mėlyna spalva pažymėti laukeliai yra optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetru paviršiaus jos dozės vertės, balta spalva pažymėti laukeliai yra termoluminescencinio dozimetru vertės. Vidutinės kiekvieno bandymo metu gautos reikšmės su optiškai stimuliuojamos liuminescencijos ir termoluminescencijos dozimetrais, pateiktos 4.8 lentelėje.

4.8 lentelė. Vidutinės paviršiaus jos dozės vertės gautos 1-4 bandymų metu

Bandymo nr.	Vidutinė paviršiaus jos dozė gauta matavimui panaudojus termoluminescencinius dozimetrus, mGy	Vidutinė paviršiaus jos dozė gauta matavimui panaudojus optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrus, mGy
1	2,344	0,332
2	4,833	0,691
3	4,277	1,137
4	5,820	1,486
5	58,069	1,303

4.9 lentelė . 1 bandymo metu gautos paviršiaus į jos dozės (mGy)

0,300	1,108	0,340	1,662
2,679	0,342	1,123	0,329
0,334	1,609	0,342	0,532
9,334	0,314	0,703	0,353

4.10 lentelė . 2 bandymo metu gautos paviršiaus į jos dozės (mGy)

0,702	7,465	0,661	2,048
4,771	0,657	2,153	0,686
0,684	1,182	0,728	2,377
17,725	0,733	1,343	0,678

4.11 lentelė . 3 bandymo metu gautos paviršiaus į jos dozės (mGy)

1,062	2,310	1,073	1,705
5,501	1,124	2,246	1,271
1,162	3,917	1,231	2,920
13,318	1,035	1,896	1,136

4.12 lentelė . 4 bandymo metu gautos paviršiaus į jos dozės (mGy)

1,438	8,664	1,487	1,426
10,936	1,567	0,750	1,462
1,479	5,612	1,452	0,632
16,499	1,441	2,045	1,557

4.13 lentelė . 5 bandymo metu gautos paviršiaus į jos dozės (mGy)

1,373	81,529	1,450	2,796
84,577	1,312	0,302	1,297
1,159	204,744	1,272	2,880
81,864	1,408	5,862	1,150



4.5 pav. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos (OSL) dozimetras ir termoliuminescencini dozimetras (TLD) 4x4 dydžio matrica

Kiekvieno bandymo metu, dozimetrais išmatuotaveri santykinis standartinis nuokrypis apskaičiuotas pagal formulę (4.1) pateikiamas 4.14 lentelėje.

$$\dagger = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{vid})^2}}{x_{vid}} \cdot 100\% . \quad (4.1)$$

4.14 lentelė. Bandymų rezultatų santykiniai standartiniai nuokrypiai

Bandymo nr.	TLD	OSL
1	115,84 %	4,87 %
2	107,29 %	3,80 %
3	85,90 %	6,80 %
4	93,02 %	3,16 %
5	114,71 %	7,82 %

Iš 4.14 lentelės matyti, jog termoliuminescencini dozimetras santykinis standartinis nuokrypis TLD yra itin didelis, nuo 85,90 % iki 115,84 %, todėl tokiais rezultatais remtis šiame darbe būtų netikslinga. Optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetras santykinis standartinis nuokrypis OSL nėra didelis (neviršija 10 %), nuo 3,16 % iki 7,82 %, todėl tokiais rezultatais remtis šiame darbe galima. 4 ir 5 bandymų metu rentgeno vamzdžio tampos vertės buvo tokios pačios, o mA-s vertės skyrėsi nežymiai, iki 5 %, tačiau santykinis standartinis nuokrypis daugiau nei 2 kartus didesnis 5 bandymo. Galima teigti, kad tokie didesni matavimo

rezultat išsibarstym 1 m tai jog 5 bandymo matavimas buvo atliktas tik vien kart , kai 1-4 bandym matavimai – 10 kart .

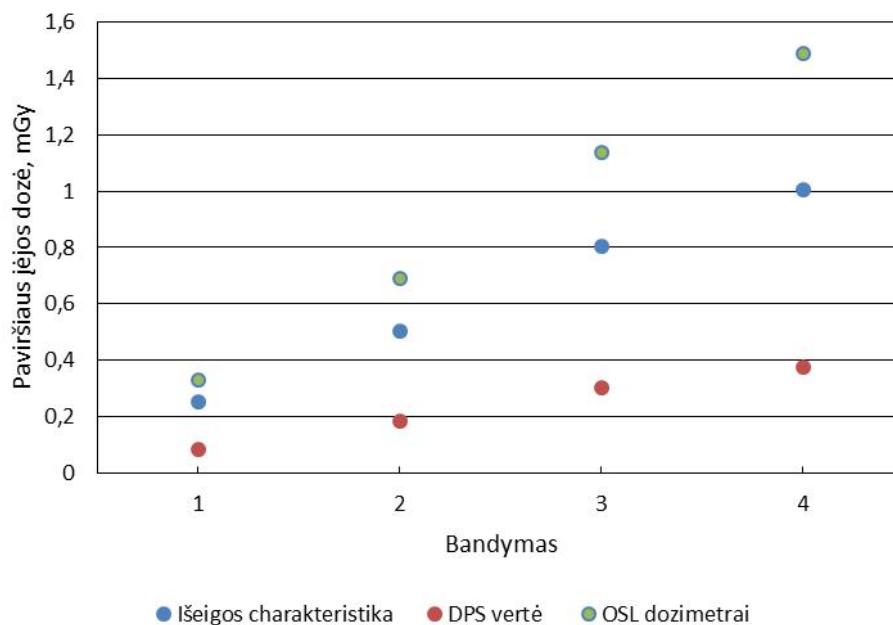
3 grup s bandymui buvo pasirinkta pilvo AP (gulint ant nugaros) radiografijos proced ra. Šios proced ros rekomenduojamas diagnostikos lygis, iš lentel s 1.2, yra 10 mGy. Atliekant toki proced r technologai pasirenka j iš rentgeno aparate esan io proced r s rašo. Visos proced ros s raše turi iš anksto nustatytus parametrus, šiuo atveju pilvo AP (gulint ant nugaros) proced ros parametrai: 80 kv, 800 mA.

Pasinaudojus šiomis trimis paviršiaus jos doz s nustatymo metodikomis: 1) Rentgeno vamzdžio išeigos charakteristikos metodika; 2) Doz s ir ploto sandaugos metodika; 3) Kietojo k no dozimetrijos metodika; buvo gautos tokios paviršiaus jos doz s vert s:

4.15 lentel . Paviršiaus jos doz s vert s gautos trimis metodikomis

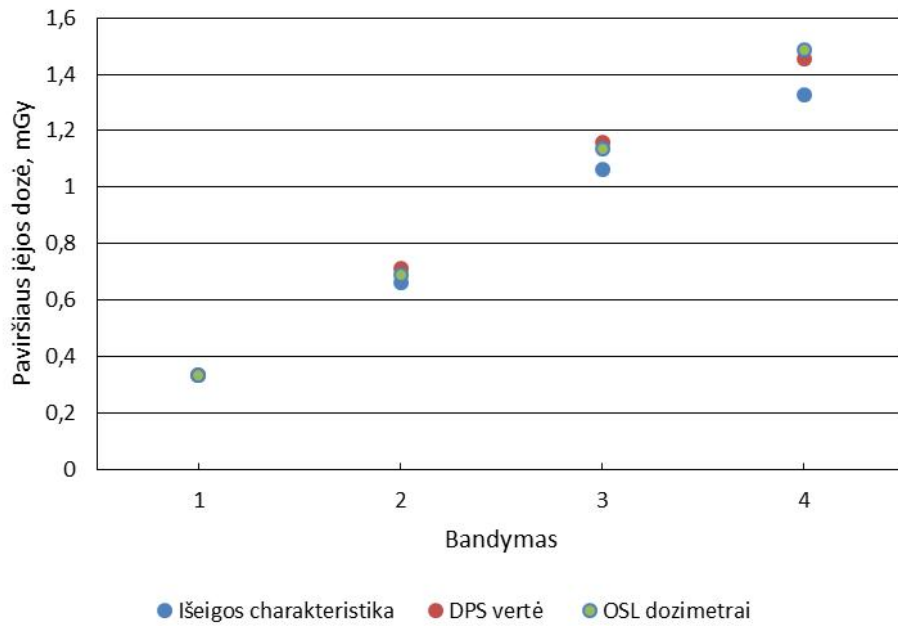
Nr.	Nustatyta rentgeno vamzdžio tampa, kV	Laiko ir srov s sandauga, mA·s	Atstumas iki paviršiaus jos doz s taško, cm	Paviršiaus jos doz s nustatymo metodikos		
				Išeigos charakteristika, mGy	Doz s ir ploto sandaugos vert , mGy	Kietojo k no dozimetrija, mGy
1	80	2,5	80	0,252	0,086	0,332
2	80	5	80	0,504	0,185	0,691
3	80	8	80	0,806	0,301	1,137
4	80	10	80	1,007	0,378	1,486
5	80	9,49	80	0,956	0,321	1,303

Visomis trimis metodikomis gauti 1-4 bandym rezultatai turi t pa i kitimo tendencij , kuri matosi 4.6 paveiksle. Kadangi OSL dozimetrai tiekiami gamintojo jau sukalibruoti ir tiek matavimo ranga, tiek patys dozimetrai pasižymi dideliu jautrumu (dešimt j mGy eil s pagal gamintojo aprašym), išmatuotas vertes galima šiame darbe laikyti etalonin mis. Esmin kietojo k no dozimetrijos metodikos savyb yra tai, kad dozimetrai dedami ant tos pa ios vietos, kurioje matuojama paviršiaus jos doz , tod l eksperimentiškai vertinama atbulin sklaida. Šiuo atveju absoliutiškai galima lyginti tik paviršiaus jos dozes išmatuotas optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrais ir paviršiaus jos dozes apskai iuotas iš rentgeno vamzdžio išeigos charakteristikos. Apskai iuotos doz s pagal rentgeno vamzdžio išeigos kreiv yra nuo 24 % iki 32 % mažesn s negu išmatuotos optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrais.



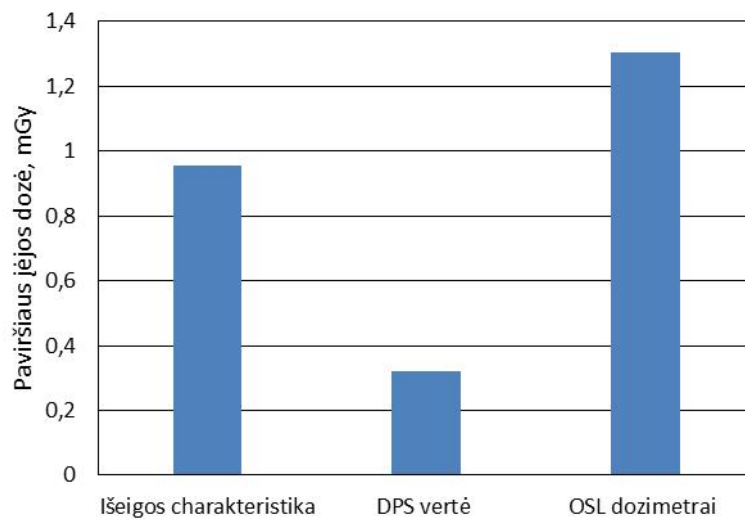
4.6 pav. Paviršiaus įjos dozės vertės gautos trimis metodikomis

Apskaičiuojant paviršiaus įjos dozes pagal rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos metodiką ir dozės ir ploto sandaugos metodiką, formulės 2.2 ir 2.4 taikomas atbulinis sklaidos koeficientas (ASK) ir dozės ir ploto sandaugos matuoklio korekcijos koeficientas k_{DPS} . Kaip buvo minima 2.1 skyriuje, atbulinis sklaidos koeficiento vertė imama iš rekomenduojamos lentelės, tačiau tai nereiškia, kad ji idealiai tinka. Dozės ir ploto sandaugos matuoklio korekcijos koeficientas buvo imamas lygus 1, kadangi matuoklis nebuvo kalibruojamas. Todėl buvo pakoreguojami koeficientai (ASK ir k_{DPS}) formulės 2.2 ir 2.4, taip kad apskaičiuoto mažiausios vertės sutaptų su OSL dozimetrais išmatuota mažiausia verte. Tokia prielaida, leidžia pamatyti apskaičiuotą paviršiaus įjos dozės kitimo tendenciją, skirtingomis metodikomis. Iš 4.7 paveikslo matyti, kad dozės ir ploto sandaugos metodikos metu apskaičiuotos paviršiaus įjos dozės vertės (pažymėta raudona spalva), praktiškai sutampa su kietakalibrinio dozimetr metodikos metu išmatuotomis vertėmis (pažymėta žalia spalva).



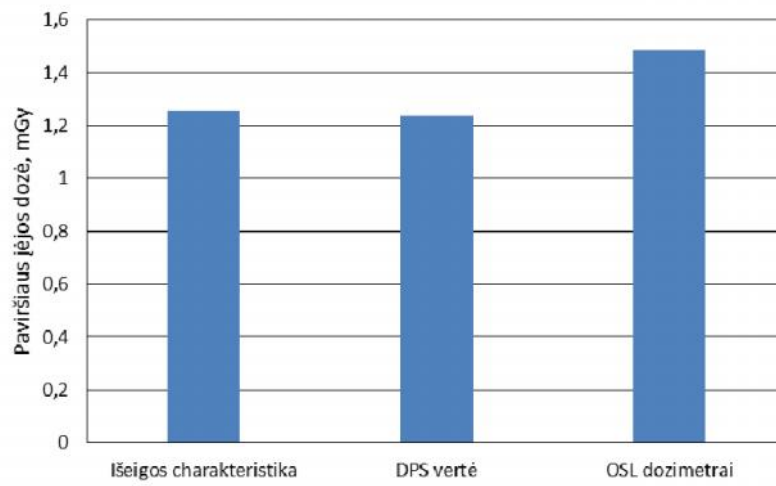
4.7 pav. Paviršiaus įėjios dozės vertės gautos trimis metodikomis po koeficiento korekcijos

Visomis trimis metodikomis gauti 5 bandymo rezultatai pateikti 4.8 paveiksle. Situacija ta pati kaip ir 1-4 su bandymais aprašytais aukščiau.



4.8 pav. 5 bandymo metu gautos paviršiaus įėjios dozės vertės

Pakoregavus koeficientus taip kaip buvo padaryta su 1-4 bandymų rezultatai, 5 bandymo rezultatai pateikti 4.9 paveiksle.



4.9 pav. Pakoreguoti 5 bandymo rezultatai

IŠVADOS

1. Išanalizavus rentgeno diagnostikos situaciją Lietuvoje, buvo nustatyta, kad Lietuvos viešosios asmens sveikatos priežiūros staigos 2013 metais, daugiausiai turėjo stacionarius, analoginius, universalius rentgeno diagnostikos prietaisus, kurie sudarė 51 % visų rentgeno diagnostikos prietaisų Lietuvoje. Stacionarius, skaitmeniniai, universalūs rentgeno prietaisai sudarė 29 % visų rentgeno diagnostikos prietaisų Lietuvoje.
2. Buvo išanalizuotos 4 paviršiaus dozės nustatymo metodikos. Paviršiaus dozės nustatymo metodika paremta optinio tankio pasikeitimu medžiagoje, buvo priimta kaip netinkama, kadangi pagal aprašymą literatūroje, jos jautrumas apšvitai yra didesnis negu 1 mGy. Toks jautrumas yra nepakankamas matuoti gaunamai apšvitai kai kurių rentgeno diagnostikos procedūrų metu.
3. Išanalizavus eksperimentinį rangą, skirtą paviršiaus dozėi nustatyti rentgeno diagnostikoje, buvo nustatyta, kad termoluminescenciniai dozimetrai (TLD 100) šiam atvejui, paviršiaus dozėi nustatyti nebuvo tinkami dėl per mažo jautrumo. Per mažą jautrumą galėjo lemti didelis skirtumas tarp kalibracinių ir matuojamos dozės.
4. 2, 3, 4, 5, 6 bandymų metu išmatuotų paviršiaus dozės vertė vidutinis standartinis nuokrypis svyravo nuo 86 % iki 116 % su termoluminescenciniais dozimetrais ir nuo 3,18 % iki 7,82 % su optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrais. Paviršiaus dozės, apskaičiuotos pagal rentgeno vamzdžio išėigos kreivę, yra nuo 24 % iki 32 % mažesnės negu išmatuotos optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrais.
5. Dozės ir ploto sandaugos metodika yra tinkamesnė paviršiaus dozėi nustatyti, negu rentgeno vamzdžio išėigos charakteristikos metodika. Norint naudoti bet kurią iš šių metodikų, turi būti žinomas tikslus atbulinis sklaidos koeficientas. Dozės ir ploto sandaugos matuoklis turi būti kalibruojamas ne rečiau nei kartą per metus. Rentgeno vamzdžio išėigos charakteristika turi būti matuojama ne rečiau nei kartą per metus. atbulinis sklaidos faktori nereikia atsižvelgti norint išmatuoti paviršiaus dozės vertes su kietakniškais dozimetrais. Todėl paviršiaus dozės nustatymo metodika, naudojant kietaknius, optiškai stimuliuojamos liuminescencijos dozimetrus yra tiksliausia, tačiau metodiniu požiūriu sudėtingiausia.

LITERATŲ SĄRAŠAS

- [1] Žiliukas, J. 2013 metų gyventojų apšvitos stebėsenos (monitoringo) 2012-2016 metų programos ataskaita. Vilnius: Radiacinės saugos centras, 2013, 57 p.
- [2] Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro sakymas D 1 sveikatos stebėsenos užtikrinimo Lietuvoje 2014–2023 m. veiksmų plano patvirtinimo. Vilnius, Teisės aktų registras, 2014, 43 p.
- [3] Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro sakymas D 1 gyventojų apšvitos stebėsenos (monitoringo) 2012-2016 metų programos patvirtinimo. Teisės aktų registras, 2014, 8 p.
- [4] Radiacinės saugos centras. Gyventojų gaunama jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita didėja [interaktyvus]. Vilnius: Radiacinės saugos centras, 2014 [žiūrėta 2015 05 13]. <http://www.rsc.lt/index.php/pageid/314/articlepage/3/articleid/1213/print/1>
- [5] Lietuvos higienos norma HN 73:2001 Pagrindinės radiacinės saugos normos. Vilnius: Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministerija, 2001, 38 p.
- [6] Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro sakymas D 1 rekomenduojamam medicininiams apšvitos lygiams, taikomam medicininiams diagnostiniams ir gydymo procedūroms, kurioms naudojama jonizuojančioji spinduliuotė, metu, patvirtinimo. Vilnius: Teisės aktų registras, 2013, 4 p.
- [7] Fukuda A.; Matsubara K.; Miyati T. Long-term stability of beam quality and output of conventional. *Radiol Phys Technol*, 2015, vol. 8, p. 160.
- [8] Basevičius A.; Lukoševičius S.; Kiudelis J. Radiologijos pagrindai: bendrasis vadovėlis, Kaunas: KMU leidykla, 2005, 207 p.
- [9] Radiographic, Fluoroscopic Systems [online]. World Health Organization, 2015 [viewed 2015 05 13]. Available from: <http://hinfo.humaninfo.ro/gsd/whoghp/documents/s18358en/s18358en.pdf>.
- [10] Sancklérn, S. The WHO manual of diagnostic imaging: Radiographic technique and projections [online]. World Health Organization, 2003 [viewed 2015 05 13]. Available from: http://www.who.int/diagnostic_imaging/publications/Chapter_1_3.pdf.
- [11] Ellis, M. S.; Flower, C. The WHO manual of diagnostic imaging: radiographic anatomy and interpretation of the chest and the pulmonary system [online]. World Health Organization, 2006 [viewed 2015 05 13]. Available from: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43293/1/9241546778_eng.pdf.
- [12] Ostensen, H. Diagnostic imaging: What is it? When and how to use it where resources are limited? [online]. World Health Organization, 2011 [viewed 2015 05 13]. Available from: http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_DIL_01.1.pdf.

- [13] Radiacin sauga rentgeno diagnostikoje ir kompiuterin je tomografijoje [interaktyvus]. Vilnius: Radiacin s saugos centras, 2013 [ži r ta 2015 05 13]. Prieiga per internet : www.rsc.lt/download.php/fileid/75
- [14] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionising radiation. New York: United Nations, 2010, 24 p.
- [15] International Atomic Energy Agency. Basic safety standards. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014, 471 p.
- [16] European commission guidance N° 154 for Radiation protection. Review of recent national surveys of population exposure from medical X-rays in Europe [online]. Chilton: European commission, 2008 [viewed 13 05 2015]. Available from: http://ddmed.eu/_media/background_of_ddm1:dd_report_1.pdf.
- [17] Urbonavi i t , E. Diagnostin rentgeno ranga. Vilnius, Valstybin akreditavimo sveikatos prieži ros veiklai tarnyba prie Sveikatos apsaugos ministerijos, 2011, 24 p.
- [18] Quality Control Measurements Protocols. EUROPAID/130052/D/SER/HR 2008 IPA Horizontal Programme of Nuclear Safety and Radiation Protection Health Protection in Relation to Medical Exposure – re-launch, Croatia, 2014, 27 p.
- [19] Meade, A. D.; Dowling, A.; Walsh, C.; Malone, J. F. Dose Area Product (DAP) measurement, patient dose records and connectivity between equipment. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 117, p. 34-37.
- [20] Parry, C. K.; Chu, R. Y. L.; Eaton, B. G.; Chen, C. Y. Measurement of skin entrance exposure with a dose-area-product meter at chest radiography. *Radiology*, 1996, vol 201, 574 p.
- [21] Butsona, J. M.; Yua, K. N.; Cheunga, T.; Metcalfe, P. Radiochromic film for medical radiation dosimetry. *Materials Science and Engineering*, 2003, vol. 41, p. 61-120.
- [22] Eduardo, G. Y.; Stephen, W. S. M. Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications. West Sussex: Wiley, 2011, 378 p.
- [23] Furetta, C.; Weng, P. Operational Thermoluminescence dosimetry. London: World Scientific Publisher, 1998, 260 p.
- [24] Adlien , D.; Adlys, G. A. Spinduliuot s detektoriai. Kaunas: Technologija, 2011, 166 p.
- [25] Mckeever, S. Thermoluminescence of solids. Cambridge: Cambridge University Press, 1988, 392 p.
- [26] Perks, C. A.; Yahnke, C.; Million, M. Medical dosimetry using Optically Stimulated Luminescence dots and microStar readers. *IAEA radiation protection and dosimetry*, 2010, vol. 43, 8 p.
- [27] Mutch, S. J. Calibration frequency of dose–area product meters. *British Journal of Radiology*, 2001, vol. 74, 879 p.

- [28] Podgorsak, E. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005, 657 p.
- [29] McAuley, K. B. Fundamentals of Polymer Gel Dosimeters. *Journal of Physics: Conference series*, 2006, vol. 56, p. 35–44.
- [30] Wong, J. C. High resolution polymer gel dosimetry for small and micro field dosimetry and development of innovative polymer gel dosimeters. Summary of doctoral dissertation. Melbourne: RMIT University, 2009.
- [31] Termoluminescencin s dozimetrijos prietaisas Rialto: vartotojo vadovas. Kaunas, 2010, 17 p.

TLD dozimetr kalibravimo protokolas

Co-60 šaltinio aktyvumas

renginys	Pradinio aktyvumo data	Pradinis aktyvumas		Data	Prašymo dien skaičius	Skilimo koeficientas	Aktyvumas pasirinktai datai	
		Bq	Ci				Bq	Ci
ROKUS-M	1998.10.19	2,21E+14	5967,00	2015.04.27	6034	0,1139	2,52E+13	679,85

- 1 Bq = 2,70E-11 Ci
- 1 Ci = 3,70E+10 Bq

Co-60 šaltinio galingumas

renginys	Kalibravimo data	Kalibravimo galingumas, Gy/min	Data	Dien sk. po kalibravimo	Skilimo koeficientas	Galingumas pasirinktai datai, Gy/min	Galingumas pasirinktai datai, cGy/min
ROKUS-M	2014.01.21	0,1994	2015.04.27	461	0,8471	0,1689	0,2815

- SSD = 75 cm
- Gylis = 0,5 cm
- Lauko dydis = 10 x 10 cm²

Švitinimo trukm

renginys	Data	Lauko dydis, cm ²	Galingumas pasirinktai datai, cGy/s	Švitinimo doz, Gy	Švitinimo trukm, s
ROKUS-M	2015.04.27	20 x 20	0,2897	0,10	35

2 Priedas

OSL dozimetr matavimo rangos kalibravimas

Process Type	Calibration ID	Reader Number	Dose Range	Use Type	Name	Badge Type	Calibration Date/Time	Calibration Factor	Counts/Unit of Dose	Control Dose	Non-Linear Calibration
C	22	DEFAULT	Low Dose	D	141017-low1	M	10.17.2014 1:37 PM	22,344	22,344	20,903	FALSE
C	23	DEFAULT	High Dose	D	141017-high1	M	10.17.2014 1:41 PM	1,820	1,820	0,000	FALSE

UNIFORS puslaidininkinio dozimetro kalibracijos protokolas



Calibration Certificate

Certificate No.: 128100-20130826

Date of Calibration:	2013-08-26	Product:	Unfors Mult-O-Meter
Model:	517L	Serial No:	128100

Measurement details, as left:

Your instrument has passed several strict tests and has been approved for delivery.

kVp Flu, R/F

Generator Settings			Measurements			Specification
kVp	mAs	ms	Reference kVp	MoM kVp	Deviation	
49	10	100	48,9	48,7	-0,4%	±2%
61	10	100	60,5	61,3	1,3%	±2%
71	10	100	70,8	70,2	-0,8%	±2%
92	10	100	91,7	92,0	0,4%	±2%
120	10	100	119,0	119,9	0,8%	±2%
143	10	100	141,6	140,0	-1,2%	±4%

Total Filtration = 2,5 mmAl

Dose Flu, RF-Wide Low

Generator Settings			Measurements				Specification	
kVp	mAs	ms	Reference μ Gy	MoM μ Gy	Correction factor	Corr. MoM μ Gy	Deviation	
49	8	320	50,3	49,2	1,04	51,2	1,7%	±5%
70	8	320	113,9	112,8	1	112,8	-0,9%	±5%
140	5	320	243,0	243,4	1,00	243,4	0,2%	±5%

Total Filtration = 2,5mmAl

* See User's Manual, section specification

Cal. point

Dose RAD, R/F-Wide High

Generator Settings			Measurements				Specification	
kVp	mAs	ms	Reference μ Gy	MoM μ Gy	Correction factor	Corr. MoM μ Gy	Deviation	
49	20	320	910,4	880,9	1,04	916,1	0,6%	±5%
70	20	320	2008	1995,0	1	1995	-0,7%	±5%
145	10	320	3616	3710,0	1,00	3710	2,6%	±5%

Total Filtration = 2,5mm Al

* See User's Manual, section specification

Cal. point

Time

Generator Settings			Measurements			Specification
kVp	mAs	ms	Reference ms	MoM ms	Deviation	
70	20	320	320	318,7	-0,4%	±0,5% or 3 digits