

ŠIAULIŲ UNIVERSITETO  
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO  
FIZIKOS KATEDRA

**Roberta Macienė**

Fizikos magistrantūros II kurso studentė

**ŠVIESĄ EMITUOJANČIŲ DIODŲ POVEIKIO ŽMOGAUS  
REGAI IR AKIŲ NUOVARGIUI TYRIMAS**

**INVESTIGATION OF LIGHT EMITTING DIODES EFFECT ON HUMAN  
VISION AND EYE FATIGUE**

**MAGISTRO DARBAS**

Darbo vadovas:

doc. dr. A. Lankauskas

Šiauliai, 2013

*„Tvirtinu, jog darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota ir paruošta naudojant literatūros sąrašę pateiktus informacinius šaltinius bei savo tyrimų duomenis“*

Darbo autorės \_\_\_\_\_

(vardas, pavardė, parašas)

## **Anotacija**

Darbo apimtis 35 puslapiai. Jame pateikta 32 paveikslų. Darbą sudaro įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros sąrašas ir priedai.

Darbą sudaro dvi pagrindinės dalys: teorinė ir eksperimentinė. Teorinėje dalyje aptariami tiriami apšvietos prietaisai, aprašoma kaip žmogus supranta šviesą ir spalvas.

Eksperimentinėje dalyje nustatyta šviesą emituojančių diodų charakteristikos ir pagrindiniai parametrai. Jie yra lyginami su kaitrine lempa. Ištirta šviesą emituojančių diodų įtaka regėjimo aštrumui ir akių nuovargiui, apšvietai naudojant šviesą emituojančius diodus ir kaitrine lempą.

## **Annotation**

The project consist of 35 pages. It contains 32 images. There are an introduction, 3 sections, conclusion, references and additions.

The project consists of two main parts: a theoretical and experimental. The theoretical part discusses the investigated illumination devices, describes how the human eye understands light and colors.

In the experimental part of the light emitting diode characteristics and basic parameters. They are compared with the incandescent lamp. Investigated of light emitting diodes on visual acuity and eye fatigue, illumination using light emitting diodes and incandescent lamp.

## **Turinys**

ĮVADAS .....	5
1. TIRIAMŲ APŠVIETOS PRIETAISŲ TRUMPA APŽVALGA .....	7
1.1. Kaitrinės lempos .....	7
1.2. Šviesą emituojantis diodas.....	8
2. ŽMOGAUS REGA .....	12
2.1. Regos sistema.....	12
2.2. Regos fiziologija .....	12
2.3. Spalvų suvokimas.....	13
2.4. Regėjimo įtampa .....	17
3. TYRIMO METODIKA .....	18
3.1. Šviesą emituojančių diodų elektrinių ir šviesos parametrų nustatymas .....	18
3.2. Šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lempučių spektrinių charakteristikų nustatymas .....	19
3.3. Šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lempučių įtakos žmogaus regėjimo aštrumui tyrimas.....	20
4. MATAVIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ .....	21
IŠVADOS .....	33
LITERATŪRA.....	34
PRIEDAI.....	35

## IVADAS

Šiuolaikinė visuomenė turi didelį iššūkį taupant energijos išteklius. Paskaičiuota, kad apšvietimui tenka apie 15-20 procentų buityje naudojamos elektros energijos sąnaudų. Tai sudaro nemažą išlaidų dalį. Dauguma buityje naudojamų lempučių yra kaitrinės. Jos apie 95 procentus energijos išspinduliuoja šilumos pavidalu ir tik 5 procentus sudaro šviesa. Kaitrinių lempučių sandara praktiškai nepasikeitė nuo pat 1840 metų, t. y. jos išradimo laikų. Šiuo metu kaitrinės lemputės vieningame elektros prietaisų klasifikatoriuje priskiriamos pačiai netaupiausiai energijos prietaisų taupumo klasei. Norint sumažinti išlaidas už elektros energiją vis dažniau naudojamos energiją taupančios lemputės.

Dabartiniu metu vis labiau taikomi naujo tipo šviesą emituojantys diodai (light-emitting diodes (LED)). Kūrėjai kurdami šito naujo tipo įtaisus nori minimizuoti energetines sąnaudas. Jie stengiasi priartinti jų spektrines charakteristikas prie natūralių šviesos parametrų. Iš dalies tai pavyksta, ypač paskutinės kartos šviesos dioduose kurie skleidžia šviesą beveik artimą natūraliai šviesai. Taip pat visi šitie prietaisai yra lyginami su labiausiai iki šiol paplitusiais kaitriniais apšvietos prietaisais. Konstruojant ir taikant šviesos diodus pasiekta žymi pažanga taupant elektros energiją. Tačiau taupydami energiją, šių prietaisų kūrėjai nepanagrino šviesą emituojančių diodų poveikį ir įtaką žmogaus regai ir akių nuovargiui.

**Darbo tikslas:** Įvertinti šviesą emituojančių diodų poveikį žmogaus regai ir akių nuovargiui.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Eksperimentiškai nustatyti dviejų tipų šviesą emituojančių diodų charakteristikas ir pagrindinius parametrus, bei palyginti juos su kaitrine lempute.
2. Nustatyti šviesą emituojančių diodų įtaką regėjimo aštrumui, apšvietai naudojant šviesą emituojančius diodus, bei palyginti juos su kaitrine lempa.

### **Tyrimo metodai:**

1. Išmatuoti šviesą emituojančių diodų voltamperines ir galios charakteristikas tiesiogiai matuojant diodo įtampą ir diodu tekančią elektros srovę. Nustatyti diodų bei kaitrinės lemputės reakcijos laikus ir greitaveiką esant nuolatinei, pulsuojančiai bei impulsinei maitinimo įtampoms.

2. Nustatyti šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lemputės spektrines charakteristikas, naudojant optinį suolelį – spektrometrą, bei „Data Studio“ programinę įrangą.

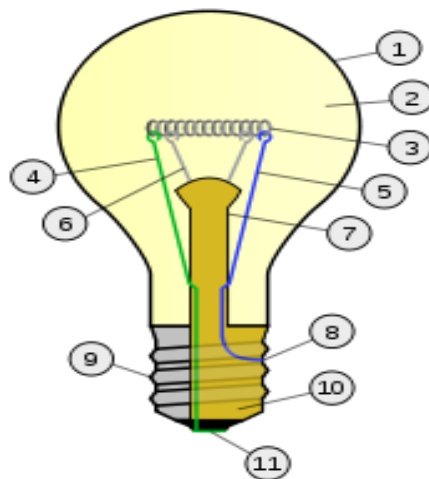
3. Nustatyti šviesą emituojančių diodų įtaką regėjimo aštrumui, apšvietai naudojant šviesą emituojančius diodus ir kaitrinę lemputę, bei apklausos metodą.

# 1. TIRIAMŲ APŠVIETOS PRIETAISŲ TRUMPA APŽVALGA

## 1.1. Kaitrinės lempos

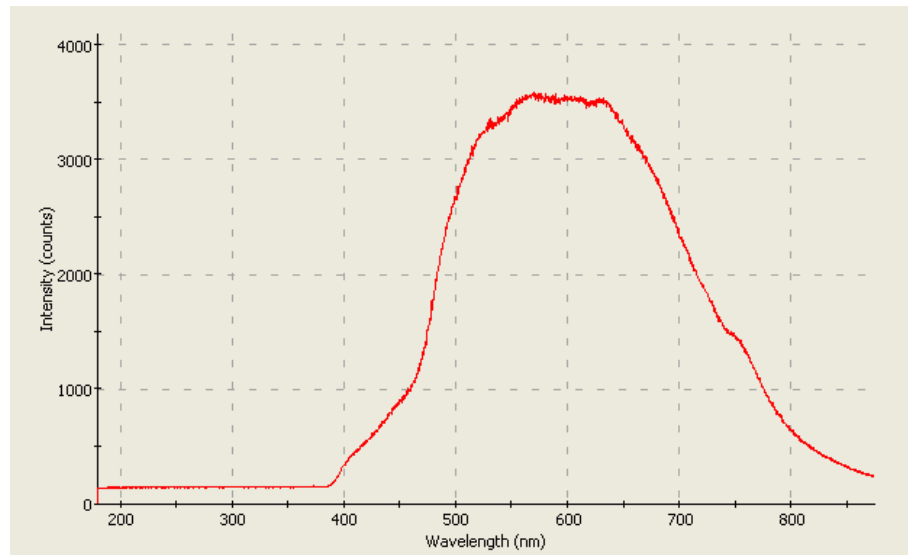
Kaitinamosios lempos spinduliavimo šaltinis – dažniausiai iš volframo vielos pagamintas kaitinamasis siūlas (1.1 pav.), tekančios per jį srovės įkaitintas iki  $2100\div 2800^{\circ}\text{C}$  temperatūros. Taip smarkiai įkaitusi volframo viela deguonies aplinkoje tuoj pat sudegtų. Todėl kolboje sudaromas vakuumas (lempose iki 25W galios) arba ji pripildoma inertinių dujų ir azoto mišinio ( galingesnėse lempose ) (Rinkevičienė V., 2004).

Bendrosios paskirties kaitinamųjų lempų galia 15-1500 W, maitinimo įtampa 220 V. Jų šviesinis veiksmingumas 7-20 lm/W, tarnavimo laikas apie 1000 h. tarnavimo laiką riboja intensyvus volframo siūlelio, įkaitusio iki 2600-2800 K garavimas. Garavimo sumažinimui lempos pripildomos inertinių dujų – kriptono, argono ar ksenono (Ramonas Z., Lankauskas A., 2002).



1.1 pav. kaitrinės lempos sandara. 1. Stiklinė kolba, 2. Inertinės dujos, 3. Volframo siūlelis, 4. Kontaktinė viela, 5. Kontaktinė viela, 6. Atraminės vielos, 7. Stiklinis stiebelis, 8. Kontaktinė viela, 9. Galvutė su sriegiu, 10. Izoliacinis sluoksnis (viduje), 11. Elektrinis kontaktas

Kaitrinės lempos vielos spinduliuojamo šviesos srauto spektras panašus į Saulės spektrą (Šviesos šaltiniai). Kaitrinės lempos spektras pavaizduotas 1.2 pav.



*1.2 pav. Kaitrinės lempos spektras*

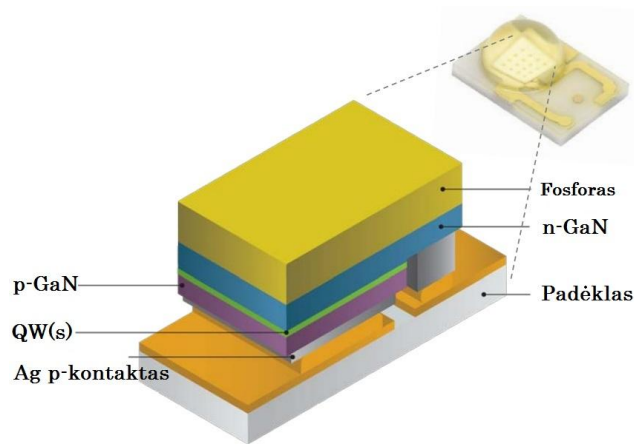
Kaip matome kaitrinė lempa spinduliuoja šviesą regimojoje srityje (380nm-760nm).

## **1.2. Šviesą emituojantis diodas**

Šviesą emituojantis diodas (ŠED) yra puslaidininkis prietaisas, tiesiogiai keičiantis elektros srovę į spinduliuojamą šviesą (Mačenska M., 2005).

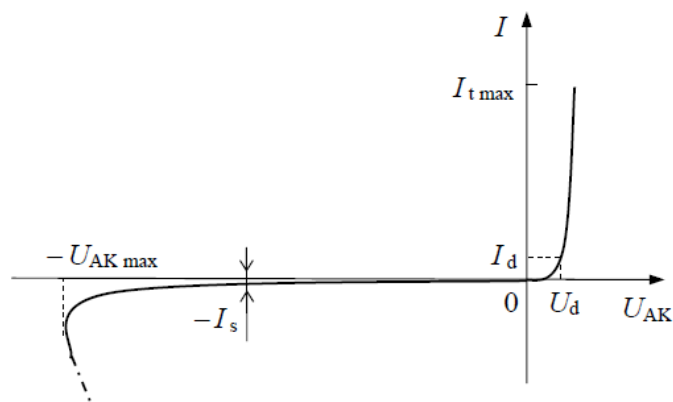
Baltos šviesos gavimui šviesos dioduose naudojamas principas, kai mėlynas ar UV šviesos diodas padengiamas parinktos fosforescuojančios medžiagos (tokios medžiagos vadinamos fosforais) ar jų mišinio sluoksniu (1.3 pav). Diodo išskiriama mėlyna ar UV šviesa sukelia fosforų fosforescenciją, skleidžiančia šviesą gana plačiame matomos šviesos bangos ilgių intervale. Panaudojant kelių skirtingų spalvų fosforų mišinį, galima gauti baltą šviesą. Praktiškai balta šviesa gaunama, naudojant mėlyną InGaN diodą kartu su tradiciniu geltonu fosforu – ceriu legiruoto itrio aliumini granato (Ce<sup>3+</sup>:YAG).





1.3 pav. Šviesos diode naudojamo puslaidininkinio kristalo supaprastinta struktūra  
(Craven M., 2011)

Tipinė realaus puslaidininkinio diodo voltamperinė charakteristika (VACH) yra parodyta 1.4 pav., iš kurios matyti, jog, esant mažoms tiesioginės įtampos  $U_{AK} > 0$  diode vertėms, tiesioginė diodo srovė  $I_t$  santykinai staigiai didėja. Tačiau tiesioginė diodo srovė  $I_t$  negali viršyti tam tikros, didžiausios (maksimalios) vertės  $I_{tmax}$ , nes viršijus šią srovę diodas perkaista ir nepataisomai sugenda (Pavasaris Č., 2009).

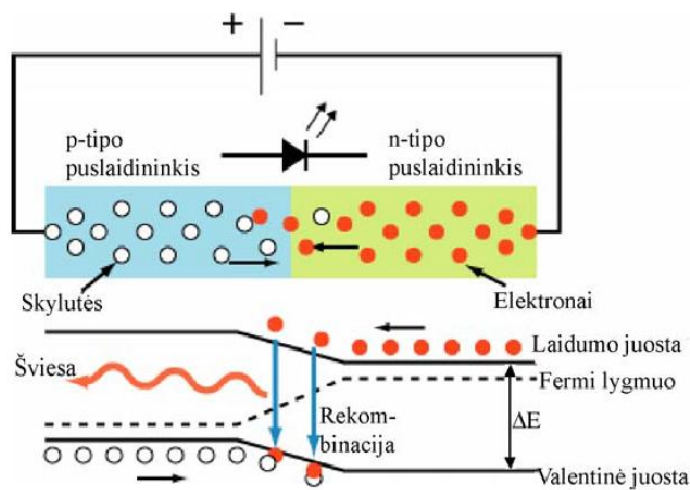


1.4 pav. Tipinė puslaidininkinio diodo voltamperinė charakteristika (VACH)

Iš 1.4 pav. matyti, jog diodo įtampai  $U_{AK} \leq 0$  atgaline kryptimi viršijus tam tikrą, didžiausią vertę-  $U_{AKmax}$  ( $U_{AK} \leq -U_{AKmax}$ ), diodo atgalinės srovės  $-I_a$  modulis pasiekia tiesioginių srovių  $I_t$  vertes ( $|I_a| \approx I_t$ ). Tačiau nevisi diodai šiomis sąlygomis veikia, nes juose įvyksta lokaliniai perkaitimai ir jie negrįžtamai sugenda. Didžiausia atgalinės įtampos  $U_{AKmax}$  vertė priklauso nuo diodo konstrukcijos bei puslaidininkinės medžiagos ir kinta ribose: 10 V ÷ 10 kV (Pavasaris Č., 2009).

Šviesos emituojantys diodo (ŠED) veikimas yra paremtas optinėmis ir elektrinėmis *pn* sandūros savybėmis. Atvirkščiai, leidžiant srovę per šviesos diodą, p-n sandūra spinduliuoja šviesą (1.5 pav.).

Jei diodu leisime įtampą, prijungdami n-tipo puslaidininkį prie pastovios įtampos šaltinio “-“ poliaus, o p-tipo puslaidininkį prie “+“ poliaus, n-Si laisvieji elektronai ir p-Si krūvininkai skylutės bus verčiami judėti (stumiami) link sandūros, taip susiaurinant krūvininkais nuskurdintos srities plotį ir susilpninant sandūros elektrinį lauką. Leidžiant pakankamą įtampą, nuskurdinta sritis išnyksta, tada elektronai ir skylutės galės laisvai judėti per sandūrą, t.y. diodas praleis srovę. Sukeitus įtampos polius, atvirkščiai, elektronai ir skylutės atitraukiamos nuo sandūros, krūvininkais nuskurdinta sritis plečiasi ir srovė negali tekėti.



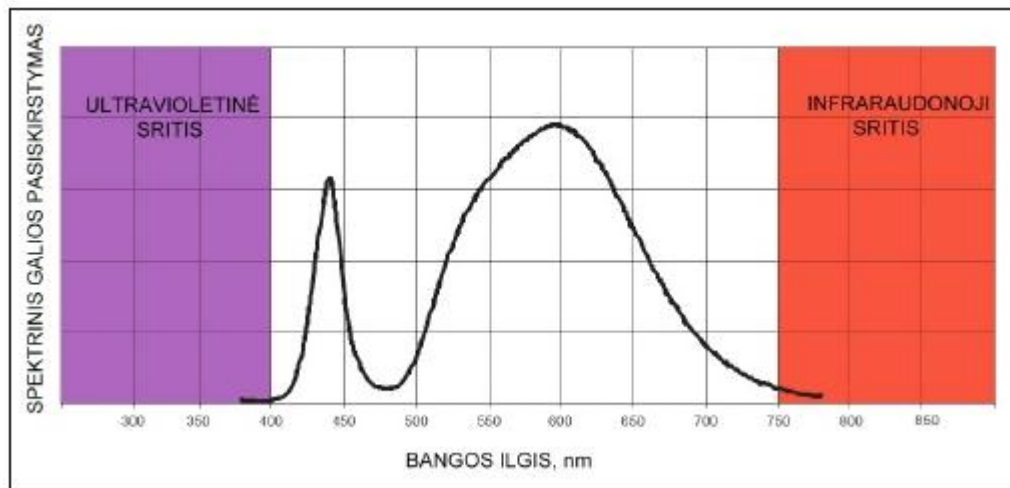
1.5 pav. Šviesos diodo veikimo principas

Tekant srovei per šviesos diodą elektronai, judantys per p-n sandūrą, sutinka priešpriešiais judančias skylutes ir jas “užpildo”- elektronas ir skylutė rekombinuoja. Energetiniu požiūriu tai atitinka laisvųjų elektronų perėjimui iš n-tipo puslaidininkio laidumo juostos į skylutę p-tipo puslaidininkio valentinėje juostoje, išspinduliuojant energijos skirtumą fotono pavidalu. Puslaidininkio draustinių energijų juostos plotis ( $\Delta E$ ) nulemia išspinduliuojamo fotono energiją. Standartinių puslaidininkių silicio ir germanio  $\Delta E$  nedidelis, todėl Si ir Ge diodai galėtų išspinduliuoti tik mažos energijos fotonus infraraudonojo spektro srityje, t.y., akiai nematomus fotonus.

Norint, kad diodas spinduliuotų matomą šviesą, jame turi būti naudojamas puslaidininkis su didesniu ir tiesioginiu draustiniu energijos juostos plociu  $\Delta E$ , atitinkančiu matomos šviesos fotonų energijai. Šviesos emisija šviesos diode vyksta per jį leidžiant tam

tikrą įtampą, priklausančią nuo diode panaudotų puslaidininkinių medžiagų. Parenkant puslaidininkius šviesos diodui gaminti, galima keisti puslaidininkio draudžiamos energijų juostos plotį  $\Delta E$  ir, tuo pačiu, išspinduliuojamos šviesos spalvą (1 lentelė priede) (Metalorganinio šviesos diodo gaminimas ir tyrimas)

Tipinis baltos šviesos diodo spektras pateiktas 1.6 pav.



1.6 pav. Baltos spalvos diodo spektrinis galios pasiskirstymas

Šviesos diodai savo spinduliuotėje neturi nepageidaujamos ultravioletinės (UV) ir infraraudonosios (IR) spinduliuotės. Apšvietime naudojamų diodų šviesos spektras yra 380 – 780 nm ribose, t.y. žmogaus akims matomoje srityje (Petruolis J., 2012)

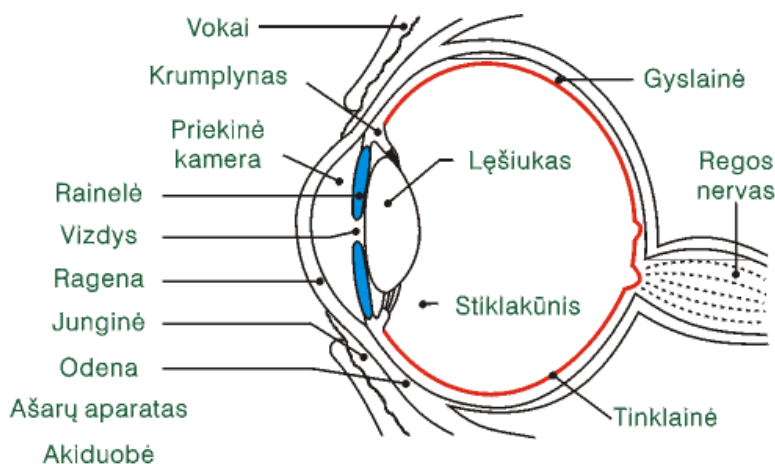
## 2. ŽMOGAUS REGA

Informacija apie išorinį pasaulį, gaunama per regą, yra platesnė, tikslesnė, patikimesnė, negu ateinanti per kitas sensorines sistemas. Atspindėta šviesa perduoda informaciją, apie daiktų savybes: formą, dydį, paviršiaus spalvą ir tekstūrą, erdvinę padėtį ir orientaciją, judesio kryptį, greitį ir kita.

### 2.1. Regos sistema

Optimalaus matymo sudėtiniai etapai yra tokie: šviesos spinduliai nuo objekto pereina per akies vyzdį (2.1 pav.), lęšį ir akies obuolio vidinę pusę (kuri yra pripildyta stiklakūnio) ir fokusuojami tinklainėje, kur stimuliuojami specialūs sensoriai (kūgeliai ir stiebeliai). Čia šviesos energija paverčiama bioelektrine energija, kuri regėjimo nervo skaidulomis eina iki smegenų.

Pagrindiniai regėjimo procesai vyksta galvos smegenų žievėje, akis yra tik šviesos spindulių priėmimo organas. Visa regėjimo sistema kontroliuoja apie 90 % mūsų kasdienės veiklos: ji yra ypač svarbi atliekant daugybę darbų. Turint omenyje gausias nervų funkcijas, kurios matymo metu aktyviai dirba, akys yra viena iš nuovargio sukėlimo priežasčių.



2.1 pav. Žmogaus akies schema

### 2.2. Regos fiziologija

Akis turi dviejų rūšių šviesos receptorių, arba fotoreceptorių, kurie reaguoja į šviesą ir paverčia ją elektriniais arba nerviniais signalais per kompleksinį elektrocheminį procesą (Vitkauskienė R.). Šie sensoriai vadinami lazdelėmis ir kolbelėmis. Tinklainėje yra 120 mln.

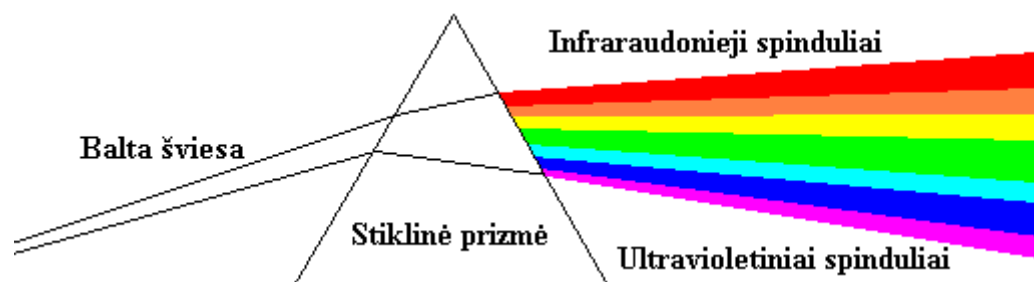
lazdelių ir 6 mln. kolbelių. Daugiausia kolbelių yra centrinėje duobutėje, ryškiausio matymo centre. Lazdelių ten visai nėra. Jos išplitusios periferinėje tinklainės dalyje (Kėvelaitis E., 2006).

Išoriniame lazdelės segmente yra daug membraninių diskų, kuriuose yra regėjimo pigmento, kuris absorbuoja tam tikro ilgio šviesos bangas. Lazdelių pigmentas, rodopsinas absorbuoja visas matomas šviesos bangas. Jo absorbcijos maksimumas yra 500 nm srityje. Nustatyta, kad kolbelės turi tris pigmentus: ilgųjų bangų pigmentas, kurio absorbcijos maksimumas yra 656 nm srityje, vidutinio bangų pigmentas, kurio absorbcijos maksimumas yra 535 nm srityje, ir trumpųjų bangų pigmentas, kurio absorbcijos maksimumas yra 420 nm srityje. Tačiau vienoje kolbelėje būna tik vienas iš trijų minėtų pigmentų. Apšvietus tinklainę tam tikro bangos ilgio šviesa, ją absorbuoja visų trijų kolbelių pigmentai, tačiau skirtingai.

Nuo kolbelių sistemos priklauso šviesinis regėjimas, kai apšvietimas yra ryškus. Jam būdingas geras regėjimo aštrumas ir greitas vaizdo vertinimas, kintant regimajam vaizdui. Trys skirtingo pigmento turinčių kolbelių rūšys sudaro spalvinio regėjimo pagrindą. Esant silpnam apšvietimui, tinklainės kolbelių sistema neveikia. Nuo lazdelių sistemos priklauso prieblandinis regėjimas, kai apšvietimas kolbelėms būna per silpnas. Prieblandiniam regėjimui būdingas mažas regėjimo aštrumas ir lėtas vaizdo vertinimas. Šis regėjimas yra nespalvinis, t.y. achromatinis (Kėvelaitis E., 2006).

### 2.3. Spalvų suvokimas

1666 m. I. Niutonas pastebėjo, kad baltos šviesos spindulys praėjęs stiklinę prizmę išskaidomas į tolydų spalvų spektrą nuo violetinės iki raudonos (2.2 pav.).



2.2 pav. Baltos šviesos išskaidymas į spektrines sudedamąsias.

Spalvą, kurią žmogus suvokia kaip tam tikro objekto spalvą, didžiąja dalimi nulemia nuo objekto atspindėjusi šviesa. Jei objektas daugmaž vienodai atspindi visas matomos šviesos diapazono elektromagnetines bangas, tai jis atrodo baltas, tačiau jei atspindi tik tam tikrą diapazoną, tai atrodo spalvotas.

Šviesa (kaip ir kitos elektromagnetinės bangos) turi ir dalelių savybių. Šviesos dalelės vadinamos fotonais. Fotonų kiekis spindulyje nusako jo ryškumą. Jei visų fotonų bangų ilgiai vienodi, tai tokia šviesa vadinama monochromatine.

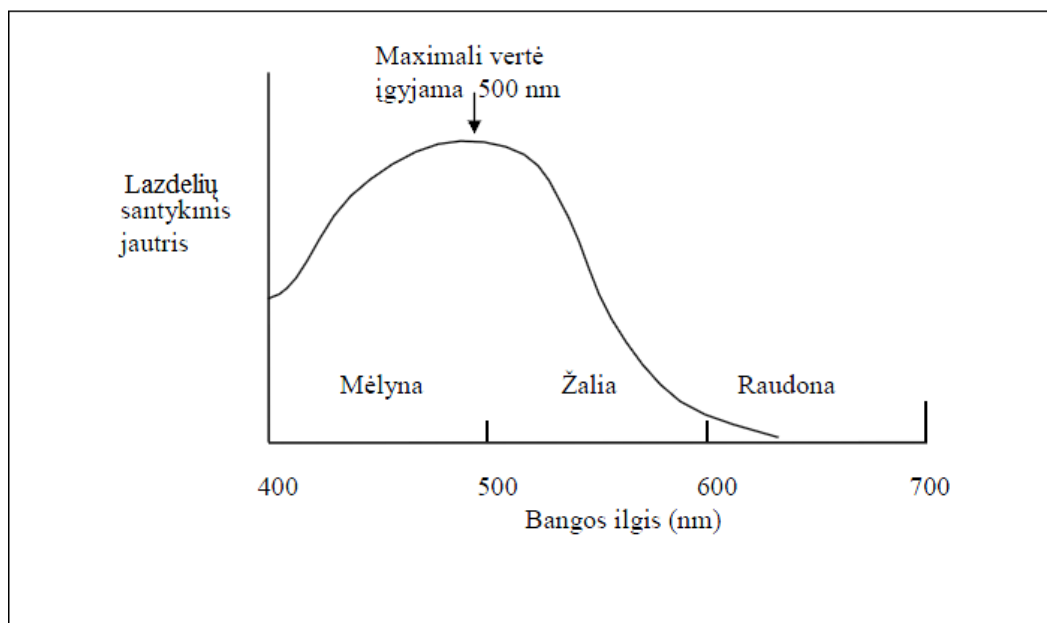
Priklausomai nuo spalvos, kurią žmogus mato, monochromatinė šviesa gali būti suskirstyta taip (1 lent.) (Kasparaitis P.,2008):

1 lentelė

Bangos ilgis (nm)	Spalva
780-605	raudona
605-590	oranžinė
590-560	geltona
560-500	žalia
500-470	žydra
470-430	mėlyna
430-380	violetinė

Regimosios šviesos energija priklauso elektromagnetinėms bangoms, kurios patenka tarp ultravioletinių bangų, kurių ilgis 380 nm, ir infraraudonųjų bangų, kurių ilgis 780 nm (Vitkauskienė R., 2011). Reali šviesa sudaryta iš fotonų su įvairiais bangų ilgiais (Kasparaitis P.,2008). Tam, kad gauti šviesos spindulio spektrą, reikia išmatuoti visų per tam tikrą laiką pralėkusių fotonų bangų ilgius. Kaip buvo minėta, akies tinklainė yra padengta šviesai jautriais receptoriais. Į receptorių pataikęs fotonas turi tikimybę jį sužadinti, tačiau tikimybė, kad fotonas sužadins receptorių visų pirma priklauso nuo fotono bangos ilgio.

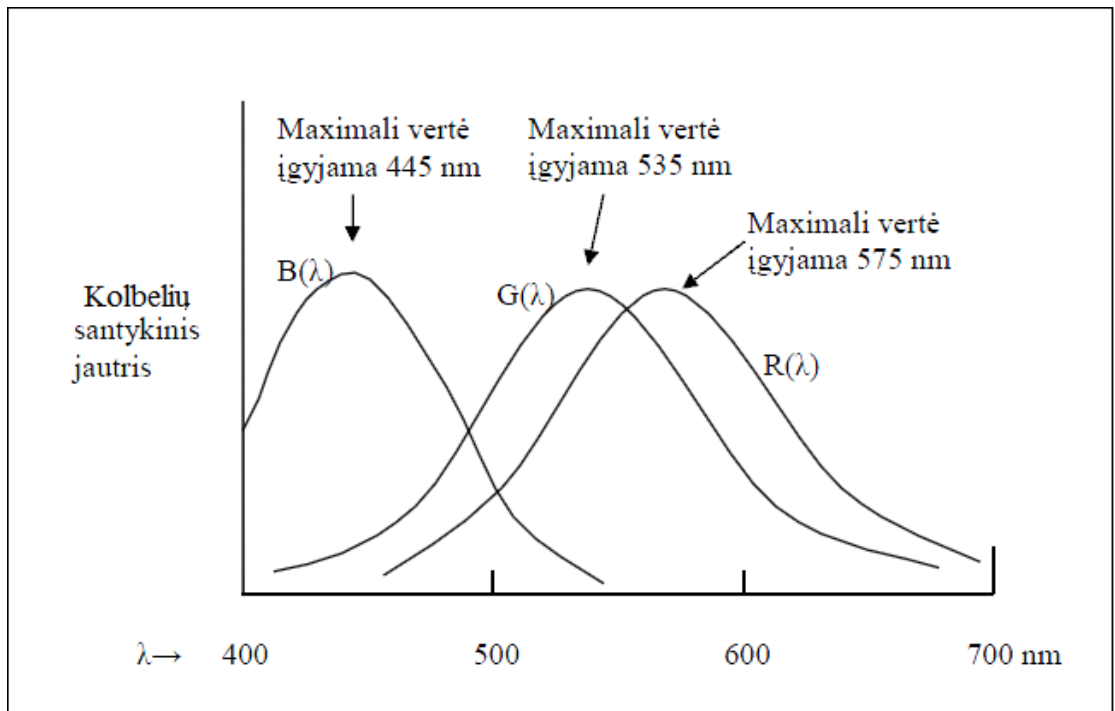
2.3 paveiksle pavaizduota lazdelių reakcija į įvairaus ilgio šviesos bangas. Matome, kad lazdelės reaguoja į silpnus šviesos lygius (scotopic vision). Jie atsako tik vienam spektriniam ruožui, tad negali atskirti spalvų.



2.3 pav. Lazdelių santykinis jautrumas

Kaip jau minėjome, yra trijų rūšių kolbelės, kiekviena iš jų reaguoja į skirtingo ilgio šviesos bangų energiją. Signalai nuo kolbelių sukuria spalvas. Jei į smegenis pakliūva tik signalas nuo vieno tipo kolbelės ir nėra signalų nuo kitų tipų, tai matoma atitinkamai raudona, žalia arba mėlyna spalva. Todėl kolbelių tipai vadinami raudona, žalia, mėlyna, o šios spalvos vadinamos pirminėmis pagrindinėmis spalvomis. Šią reakciją galime pamatyti 2.4 paveiksle. Šios kreivės vadinamos tristimulus, nes visos kitos spalvos yra šių trijų sensorių reakcijų rezultatas. Kreivės nubrėžia bangos ilgio ir santykinio intensyvumo grafiką, arba kitaip tariant, sensorių perkėlimo funkciją. Nors raudoną ir žalią spalvas skiriančių kūgelių yra daugiau, nei mėlyną, tačiau mes vis tiek gana gerai skiriame mėlyną spalvą (Moroz-Lapin, 2008).

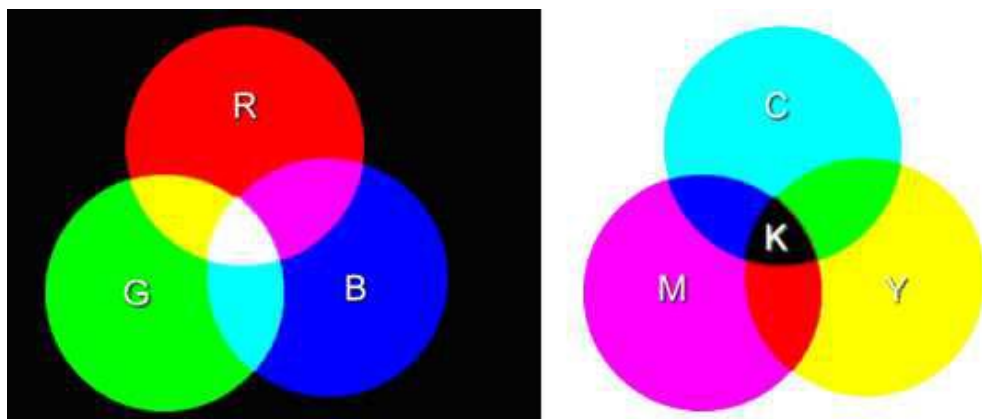
Akies kūgeliai reaguoja tuo pačiu būdu kaip ir kuriant ryškumo vertes kiekvienam raudonos, žalios, mėlynos spalvos ruožui. Tai žmogaus regos suvokimo modelis (Vitkauskienė R., 2011).



2.4 pav. Kolbelių santykinis jautrumas. (Savickas A., 2010)

Dvi spalvos, kurios turi panašias R G B vertes, bus irgi panašios. Ir dvi spalvos, kurios turi vienodas vertes bus taip pat vienodos. (2.5 pav.)

Tinklainėje apie 64% R (raudona~560 nm), 32% G (žalia~530 nm), 2% B (mėlyna~430 nm) kūgelių. Centrinės duobutės centre vyrauja žali ir raudoni, periferijoje – mėlyni (Vitkauskienė R., 2011).



2.5 pav. Spalvų suliejimas (Duomenų šaltinis : [www.spalvų.spektras.lt](http://www.spalvų.spektras.lt))

Taigi, stiebeliai reaguoja į silpnus šviesos lygius (scotopic vision). Taip yra todėl, kad jie atsako tik vienam spektriniam ruožui, tad negali atskirti spalvų. Kūgeliai reaguoja tik į



aukštus šviesos intensyvumo lygius. Kadangi, jų yra 3 skirtingos rūšys, kurios atsako į skirtingus spektrinius ruožus, jie įgalina mus matyti spalvas (Vitkauskienė R., 2011).

#### **2.4. Regėjimo įtampa**

Ilgai trunkanti regėjimo įtampa gali sukelti dvi pasekmes: nuvarginti akis ir prisidėti prie bendro nuovargio.

Regos nuovargį rodo visi simptomai, kylantys po ilgo kurios nors funkcijos naudojimo. Viena svarbiausių - blakstieninių raumenų prisitaikymo sukiamas įtempimas žiūrint iš labai arti į mažus objektus, taip pat stiprių vietinių kontrastų įtaka tinklainei. Regos nuovargis pasireiškia kaip:

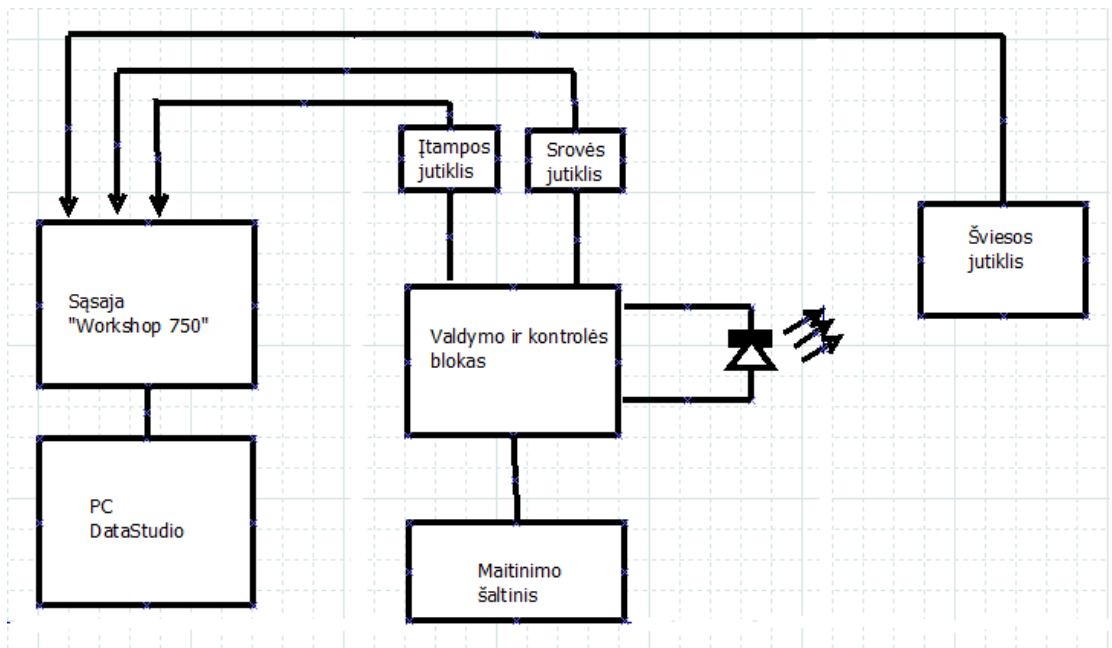
- skausmingas dirginimas („deginimas“), dažnas ašarojimas, akies paraudimas ir galiausiai konjunktyvitas;
- vaizdo dvejinimasis;
- galvos skausmas;
- sumažėjusi prisitaikymo ir konvergencijos jėga;
- sumažėjęs regėjimo aštrumas, jautrumas kontrastui bei suvokimo greitis.

Šie simptomai atsiranda ypač dėl įtempto protinio darbo, blogai išspausdintų tekstų skaitymo arba dirbant su žemos kokybės kompiuteriais, dėl nepakankamo apšvietimo, dėl mirgančios šviesos ar optinių stebėtojo akies apgaulių (Ramonas Z., Čikotienė D., 2005).

### 3. TYRIMO METODIKA

#### 3.1. Šviesą emituojančių diodų elektrinių ir šviesos parametrų nustatymas

Tyrimui atlikti pasirinkome dviejų tipų šviesą emituojančius diodus t.y. „šiltos“ ir „šaltos“ baltos šviesos diodus. Šių diodų elektrinių parametrų nustatymui mes naudojome sąsają „ScienceWorkshop 750“, bei „Data Studio“ programinę įrangą. Matavimo stendas pavaizduotas 3.1 pav.



3.1 pav. Matavimo stendas

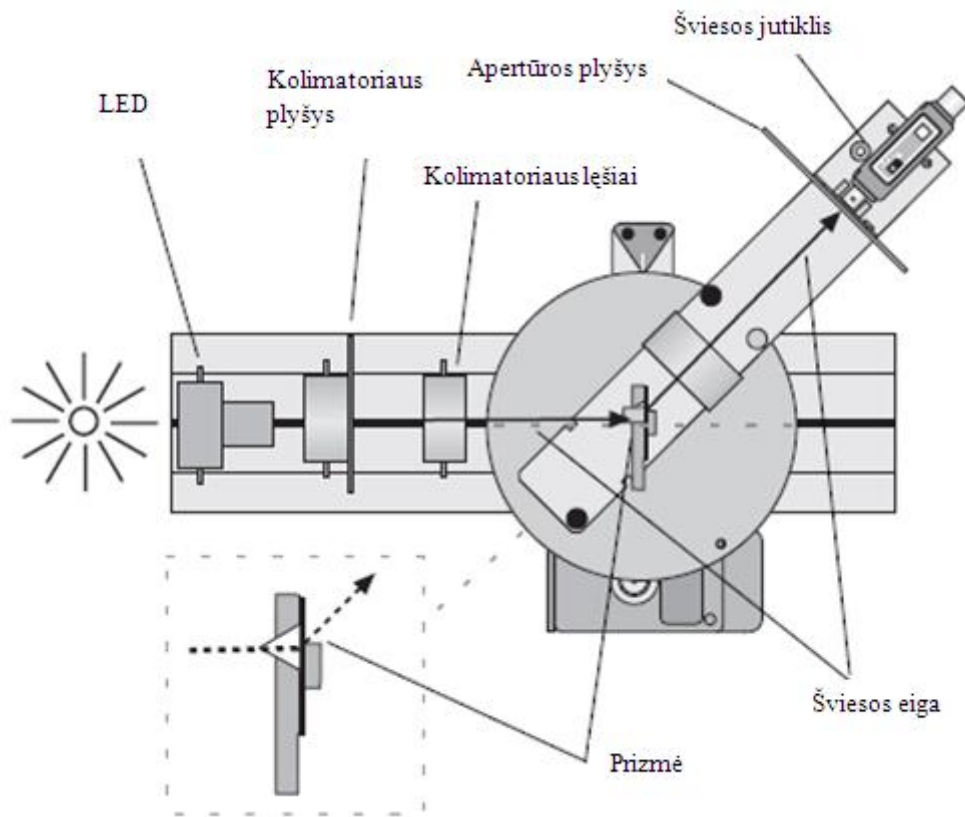
Nustatant ŠED voltamperines ir galios charakteristikas buvo atlikti matavimai. Keičiant diodų įtampą  $U$  buvo matuojamas elektros srovės stipris  $I$ .

ŠED bei kaitrinės lempučių reakcijos laikus ir greitaveiką nustatinėjome prie trijų skirtingų maitinimo įtampos režimų, t. y. esant nuolatinei, pulsuojančiai ir impulsinei maitinimo įtampoms.

Eksperimento metu pirmiausiai nusistatėme ŠED optimalų galios režimą. Prie jo yra prijungti srovės ir įtampos jutikliai. Nuo jų duomenys yra perduodami per sąsają į personalinį kompiuterį. Tuo pačiu metu yra matuojamas ŠED šviesos srautas, kuris yra nukreiptas į šviesos jutiklį. Nuo jo duomenys yra perduodami per sąsają į personalinį kompiuterį. Gauti duomenys apdorojami „DataStudio“ programine įranga.

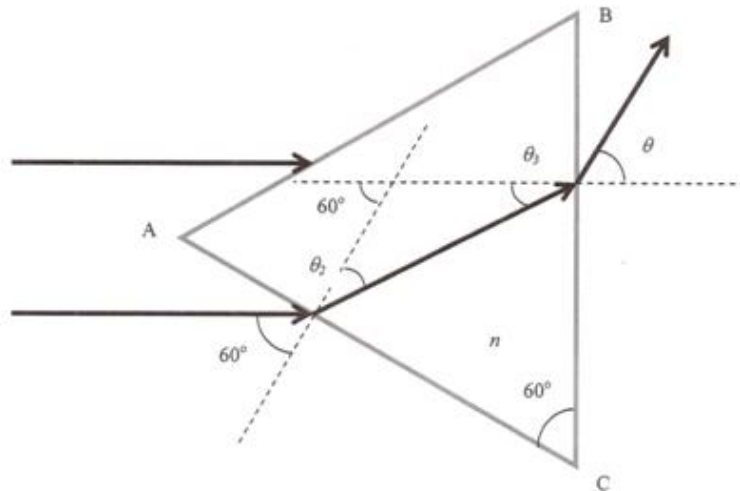
### 3.2. Šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lemputės spektrinių charakteristikų nustatymas

Norint išmatuoti šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lemputės spektrus pasinaudota firmos „Pasco“ optiniu suoleliu - spektrometru, bei „Data Studio“ programine įranga. Vėliau duomenys buvo apdorojami matematinio paketo „MathCad“ pagalba. Matavimo schema pavaizduota 3.2 pav.



3.2 pav. Matavimo schema

Diodų ir kaitrinės lemputės spinduliuotės spektrai buvo gaunami lygiašone prizme, kuri orientuota taip, kad šviesa krinta statmenai vienai iš prizmės sienelių BC (3.3 pav). Praėjęs pro prizmę spindulių pluoštas dėl dispersijos yra išskaidomas į spektrą. Spektras buvo nuskanuotas, matuojant nuokrypio kampą ir šviesos intensyvumą kiekvienam bangos ilgiui  $\lambda$ . Šviesos intensyvumas įvertintas Pasco šviesos jutikliu.



3.3 pav. Spindulių lūžimas prizmėje

Eksperimento metu matuojamas šviesos intensyvumas ir įvairaus bangos ilgio šviesos nuokrypio kampai.

Norint gauti šviesos intensyvumo pasiskirstymą spektre, reikia susieti  $\lambda$  su nuokrypio kampu  $\theta$ .

Bangos ilgis apskaičiuojamas pagal (3.1) formulę.

$$\lambda = \sqrt{\frac{13900}{\sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \sin(\theta) + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} - 1,689}} \quad (3.1)$$

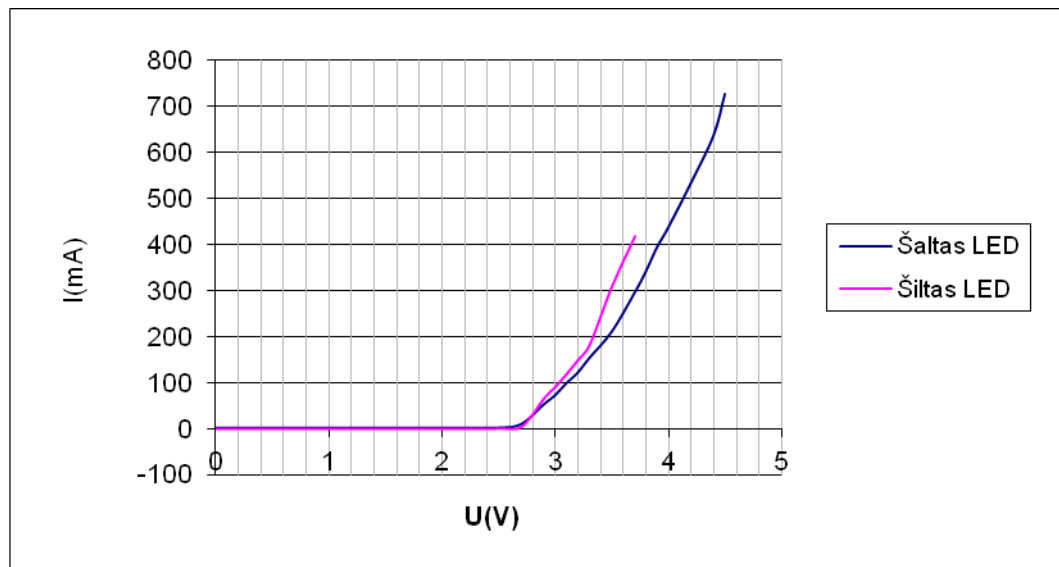
Čia bangos ilgis yra išreikštas nanometrais ( Black Body Instruction Manual).

### 3.3. Šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lemputės įtakos žmogaus regėjimo aštrumui tyrimas

Šiam tyrimui atlikti parinkome tiriamąją grupę žmonių, kuriem duodame skaityti ir perrašyti teksto fragmentą prie „šiltos“ baltos šviesos ŠED ir prie kaitrinės lempos apšvietų. Prieš pradėdami skaityti tekstą ir jį perrašinėti ištyrėme žmogaus regėjimo aštrumą. Šį tyrimą pakartojome po kiekvieno teksto skaitymo ir perrašymo esant skirtingom apšvietom. Tiriamieji užpildo pateiktą anketą, kurios duomenys yra išanalizuojami ir lyginami su subjektyvių tyrimų rezultatais.

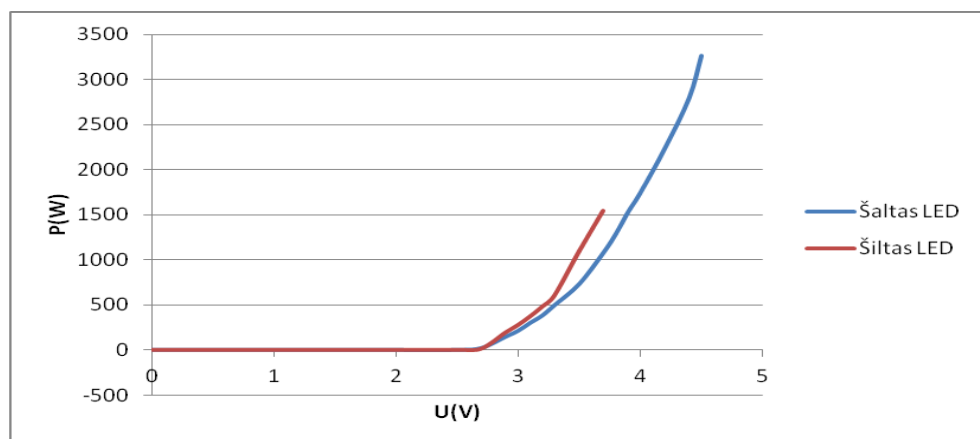
#### 4. MATAVIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Tyrimo metu buvo nustatytos ŠED voltamperinės charakteristikos. Gauti duomenys pateikti 4.1pav.



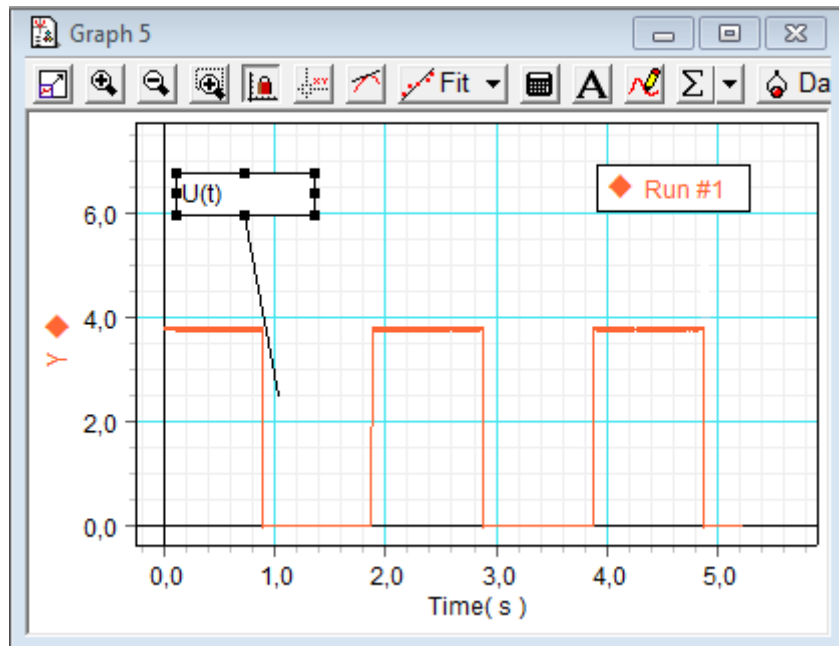
4.1 pav. ŠED voltamperinė charakteristika

Iš grafiko matyti, kad elektros srovė pradeda tekėti prie 2,7V įtampos. ŠED pradeda šviesti. Srovės darbinis diapazonas yra nuo 0 iki 400 mA. O įtampos 2,7 – 3,7 V. Pagal ŠED voltamperinę charakteristiką surandama galios kteivė. Matavimams pasirenkamas vienodas darbo režimas.

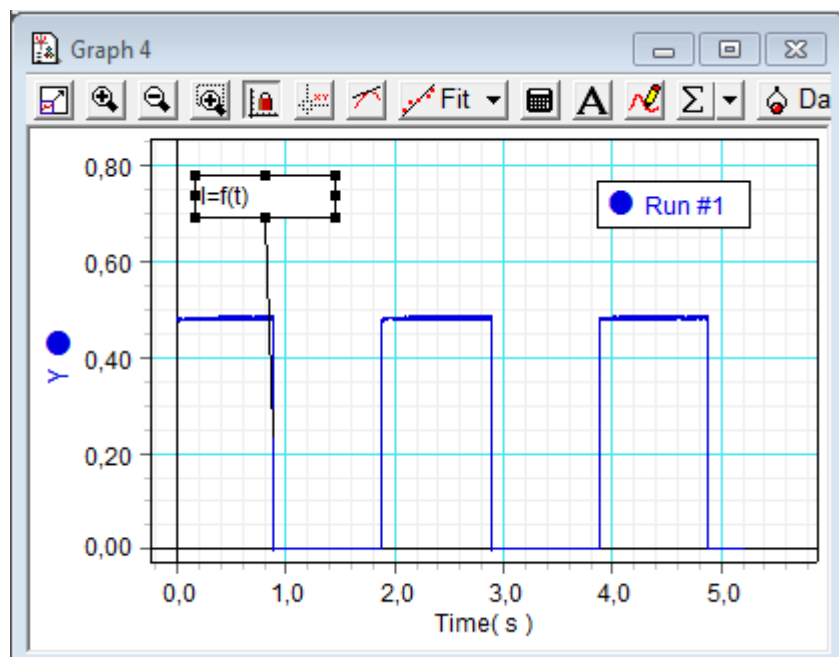


4.2 pav. ŠED galios grafikas

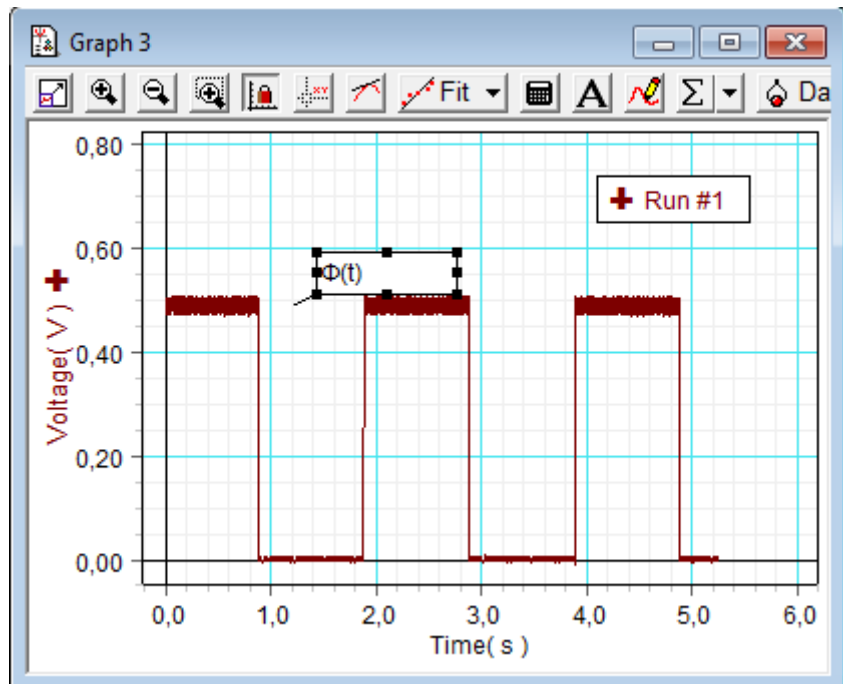
Esant impulsinei maitinimo įtampai buvo gauti ŠED ir kaitrinės lempos srovės stiprio ir šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikai (4.3 – 4.7 pav.).



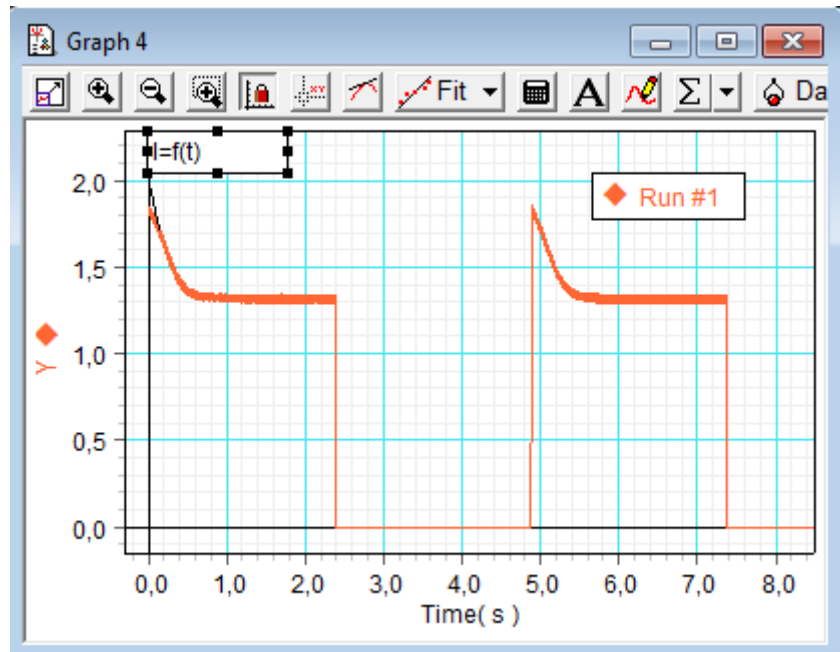
4.3 pav. Maitinimo įtampos priklausomybės nuo laiko grafikas.



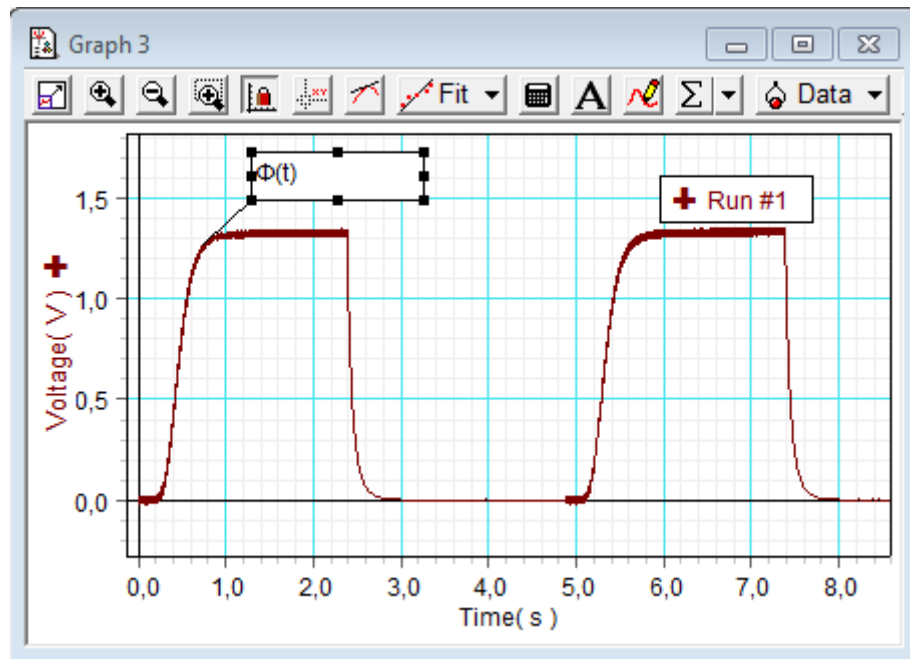
4.4 pav. ŠED srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas



4.5 pav. ŠED šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas



4.6 pav. Kaitrinės lempos srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas



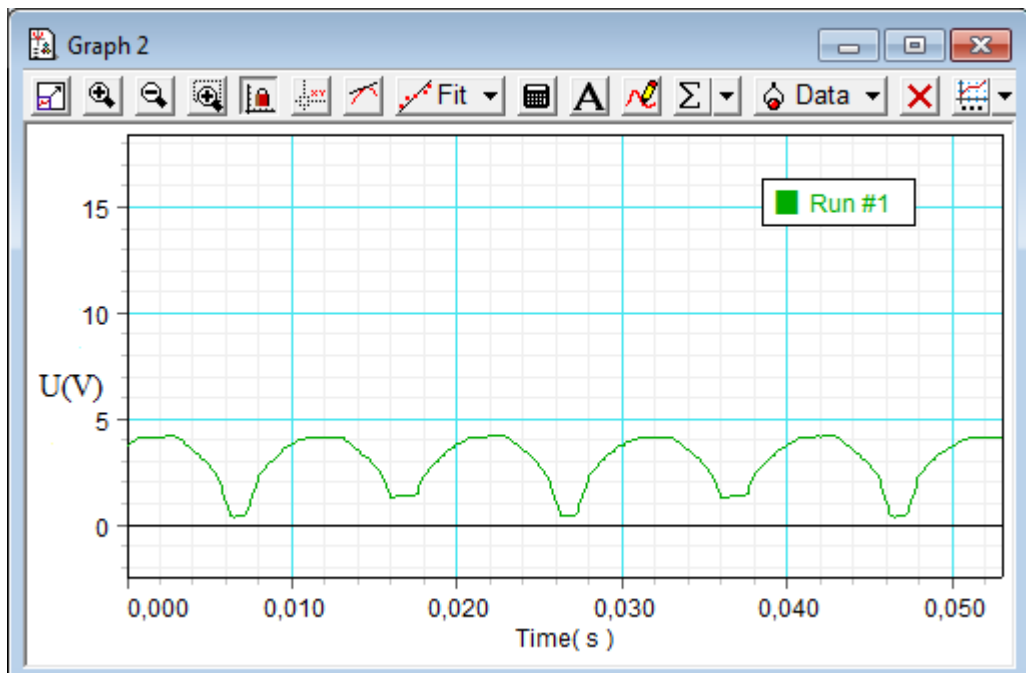
4.7 pav. Kaitrinės lempos šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas

Iš 4.3 pav. matyti, kad leidžiama impulsinė įtampa. Impulsinis diodas būdamas greitaveikis puslaidininkinis prietaisas srove atkartoja impulsą (4.4 pav.). Taip pat impulsinę charakteristiką atkartoja ir šviesos srautas (4.5 pav.).

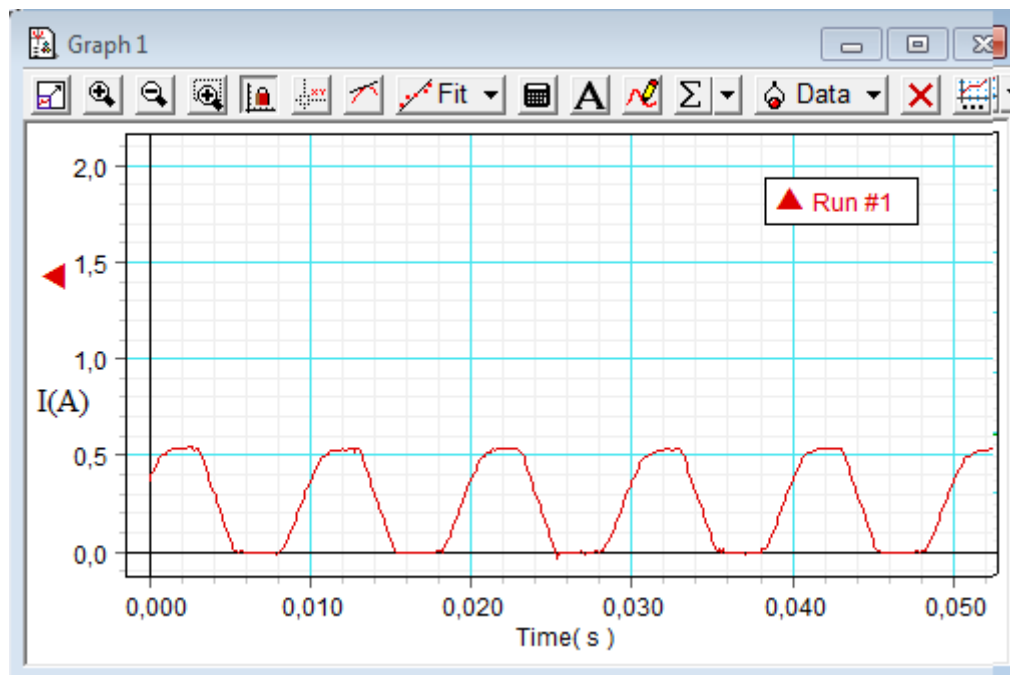
Tokia pati, impulsinė įtampa, buvo paduota ir į kaitrinę lempą. Iš 4.7 pav. matyti, kad kaitrinė lempa neiškarto pradeda šviesti. Maksimumą pasiekia ties 0,9s. Neskaitant to, kad srovė nukrinta (4.6 pav.) kaitrinė lempa neiškarto ir užgesta, maždaug tik po 0,4s. Taip yra dėl siūlelio terminės inercijos.

Esant pulsuojančiai maitinimo įtampai (4.8 pav.) buvo gauti ŠED ir kaitrinės lempos srovės stiprio ir šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikai (4.8 – 4.13 pav.)

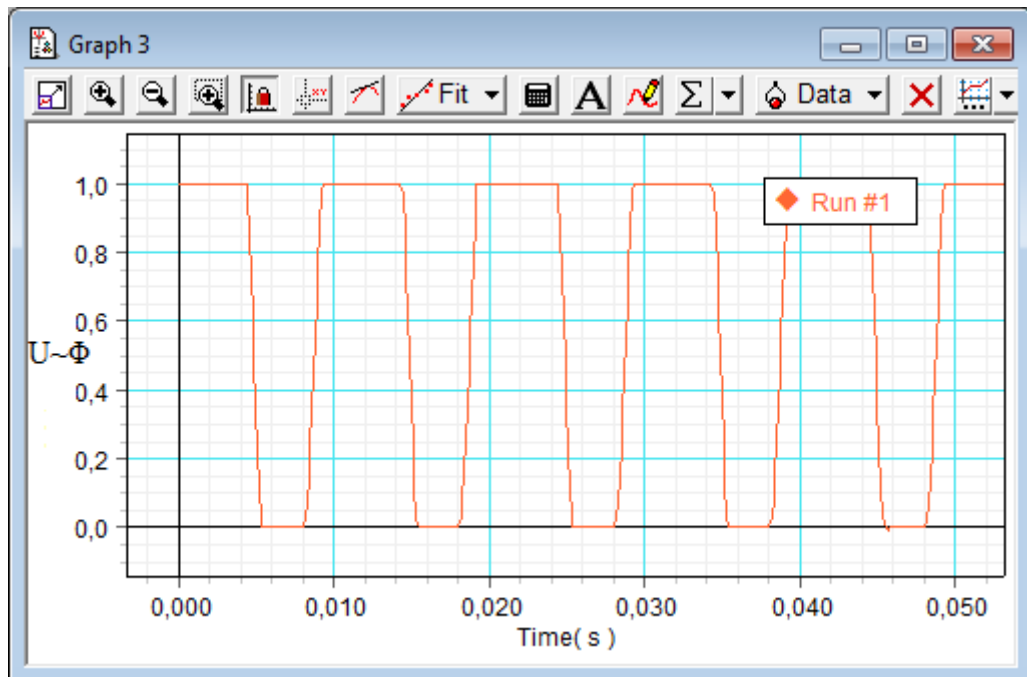




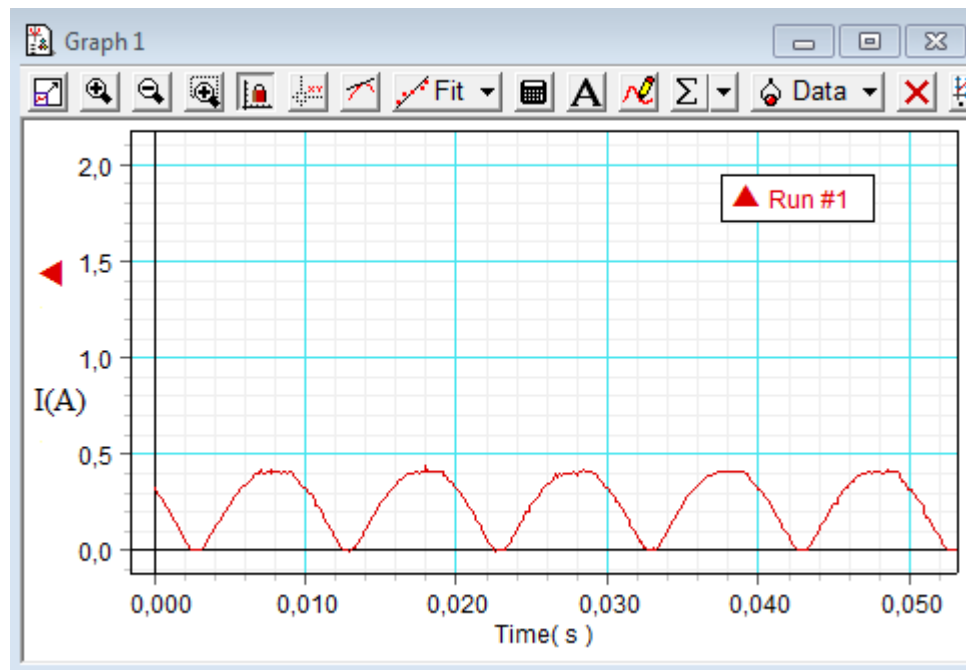
4.8 pav. Maitinimo įtampos priklausomybės nuo laiko grafikas



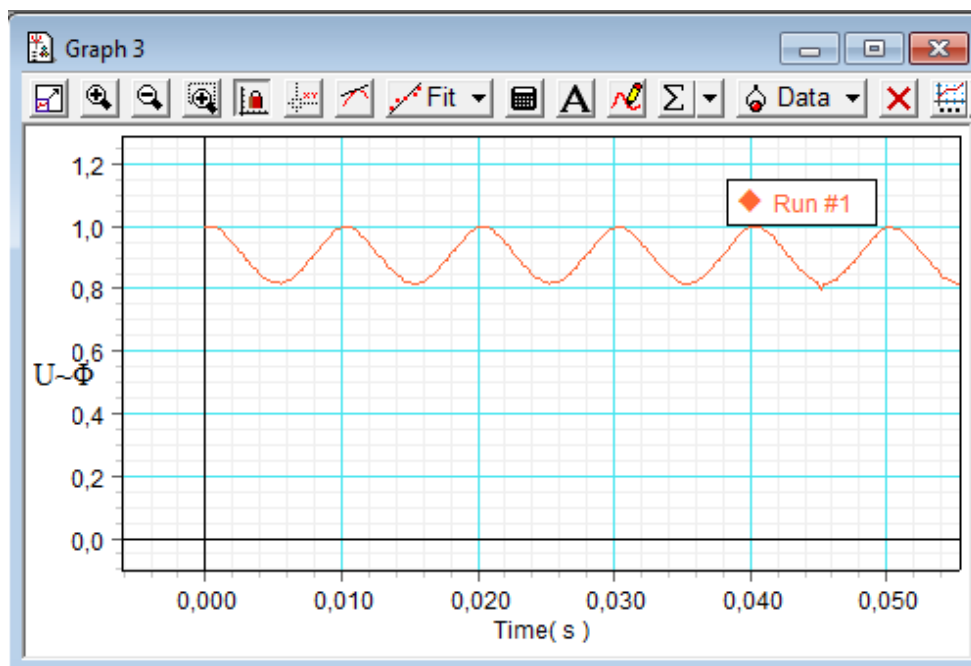
4.9 pav. ŠED srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas



4.10 pav. ŠED šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas



4.11 pav. Kaitrinės lempos srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas

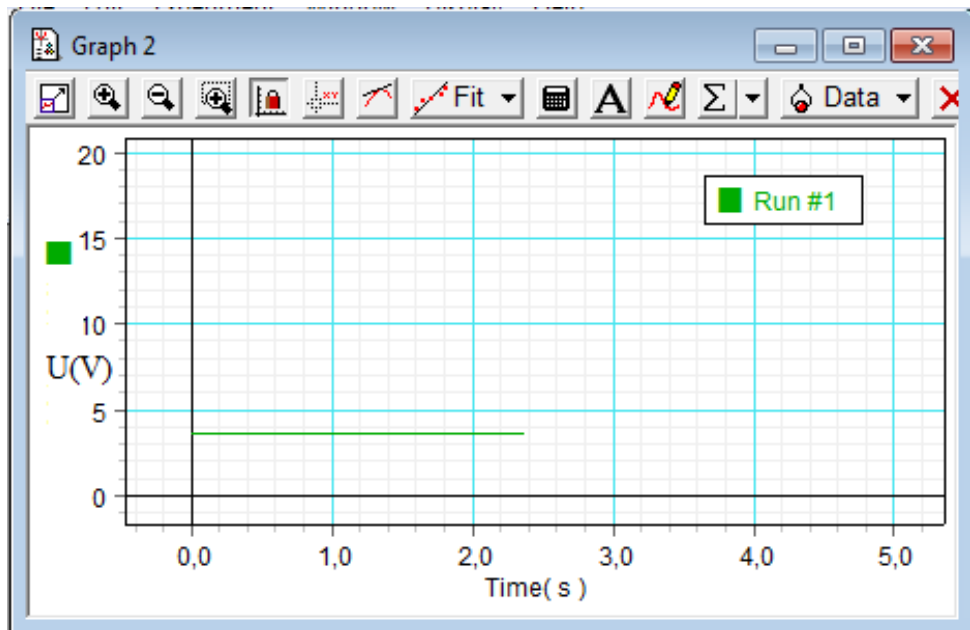


4.12 pav. *Kaitrinės lempos šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas*

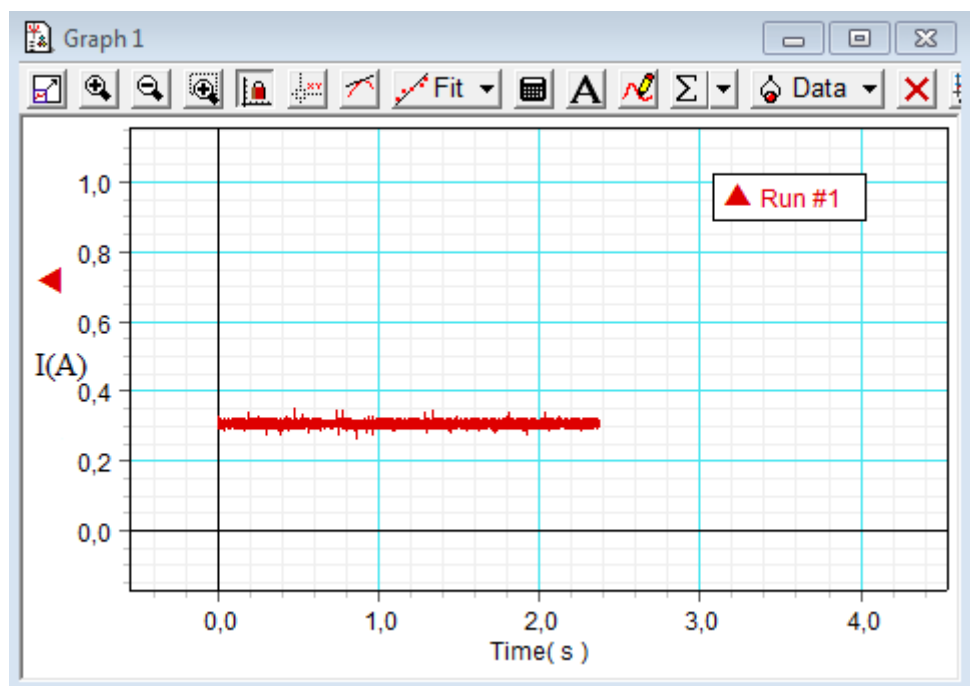
Iš 4.9 pav. matyti, kad ŠED srovė teka taip pat pulsuojančiai. Į tai reaguoja ir ŠED šviesos srautas (4.10 pav.). ŠED tai užgesta, tai vėl šviečia.

Kaitrine lempa tekanti srovė taip pat teka pulsuojančiai (4.11.). Tačiau priešingai nei ŠED ji neužgesta (4.12 pav.)

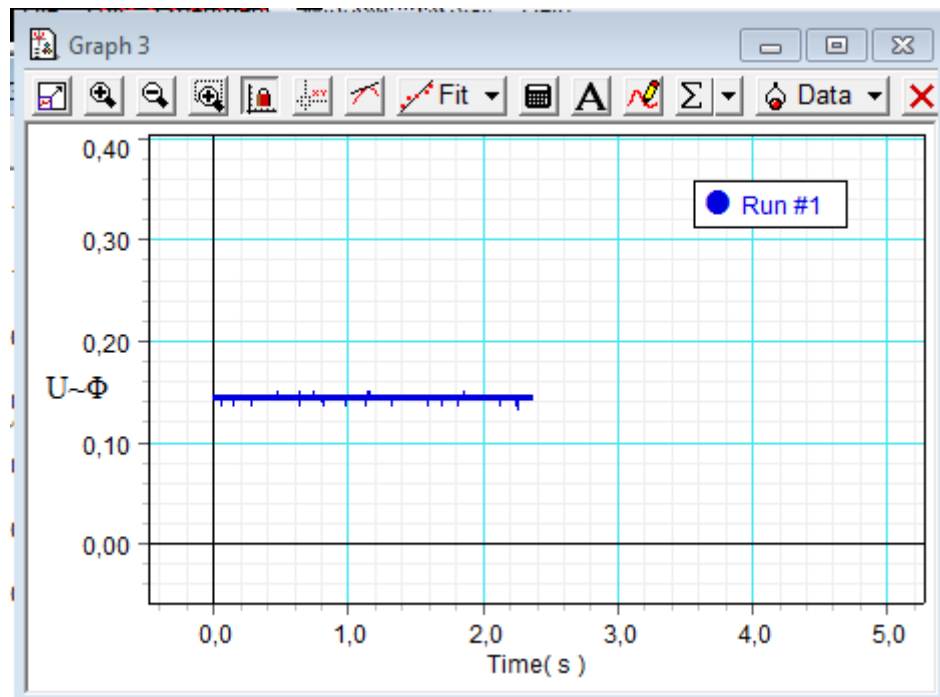
Esant nuolatiniai maitinimo įtampai buvo gauti ŠED ir kaitrinės lempos srovės stiprio ir šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikai (4.13 – 4.17 pav.)



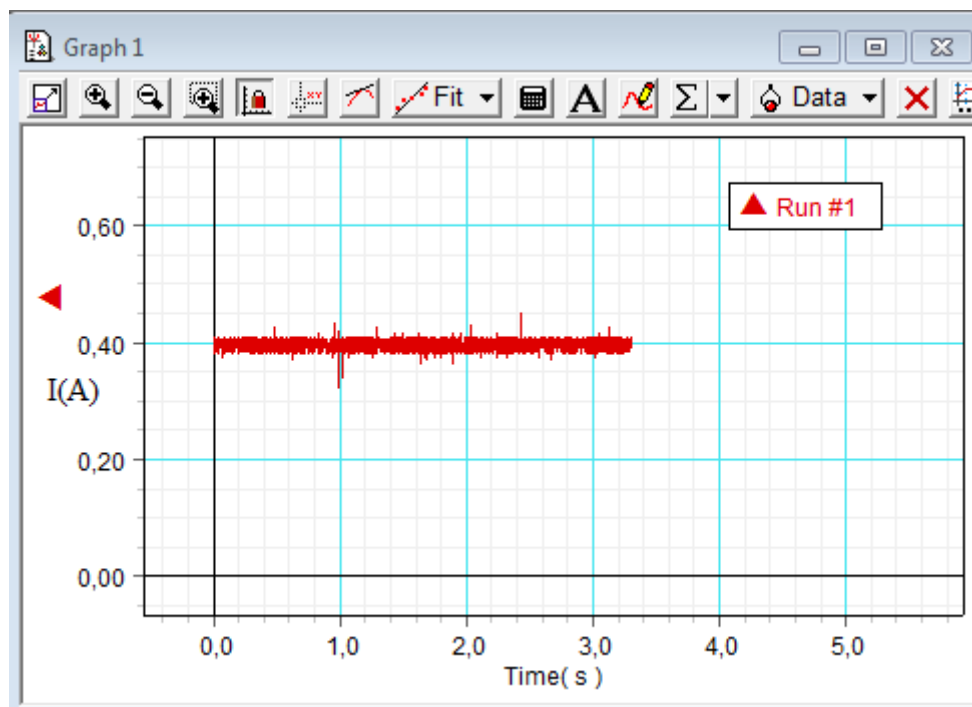
4.13 Maitinimo įtampos priklausomybės nuo laiko grafikas



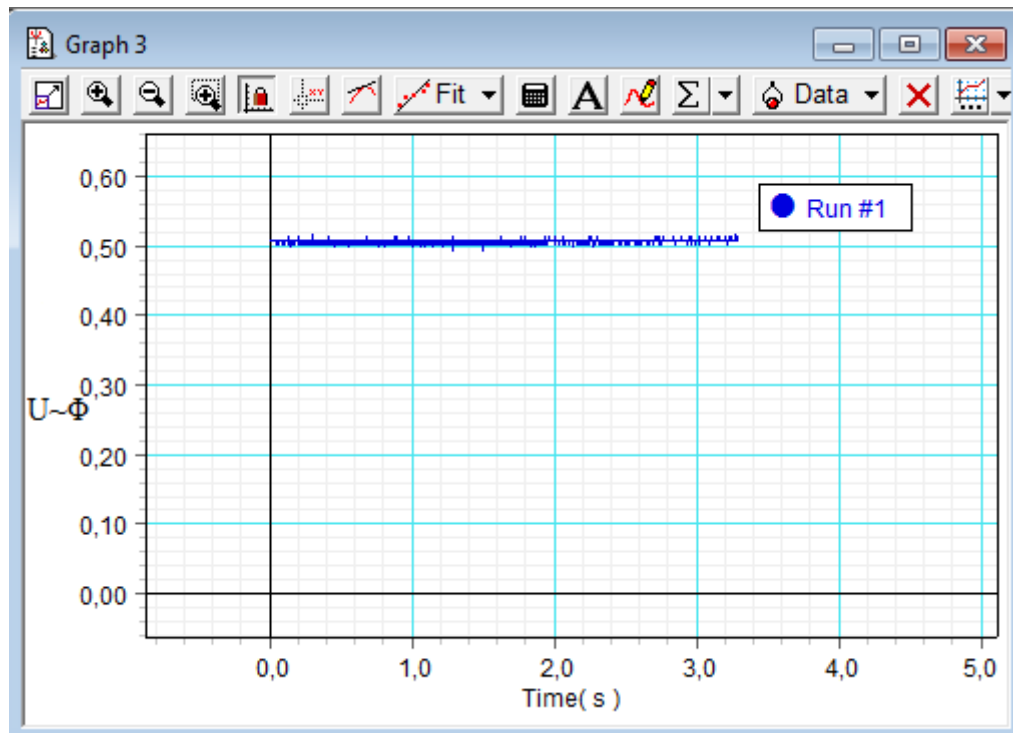
4.14 pav. ŠED srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas



4.15 pav. ŠED šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas



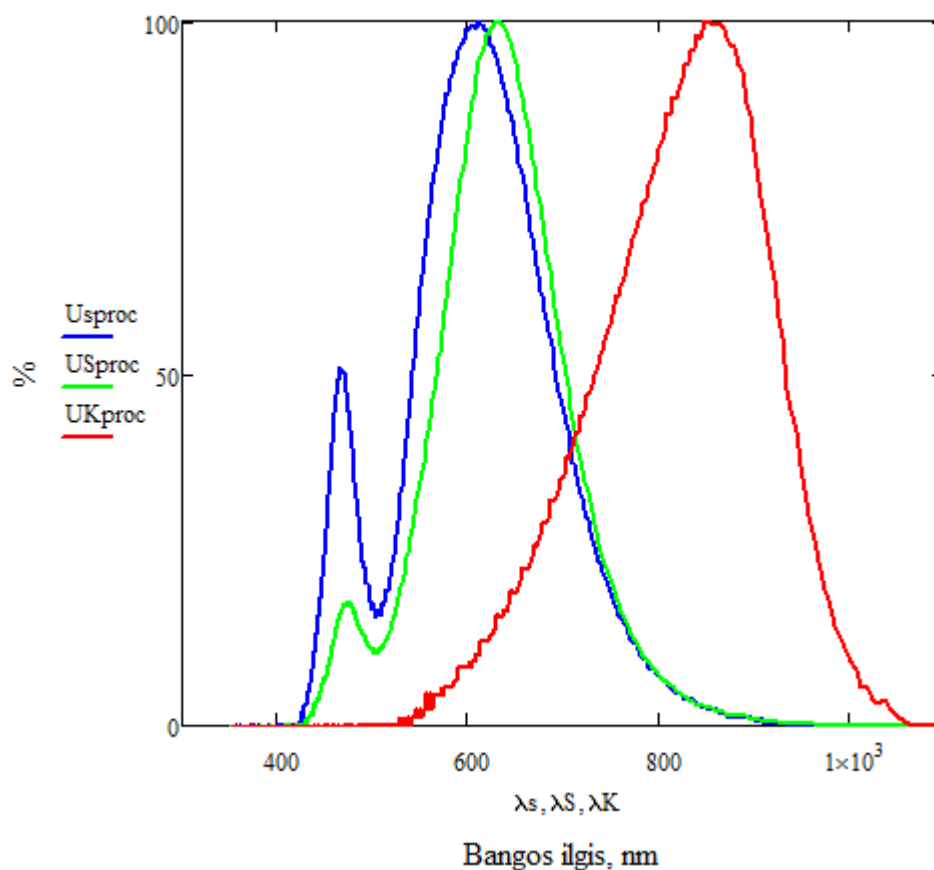
4.16 pav. Kaitrinės lempos srovės stiprio priklausomybės nuo laiko grafikas



4.17 pav. Kaitrinės lempos šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafikas

Iš grafikų matyti, kad esant nuolatiniai maitinimo įtampai tiek ŠED, tiek kaitrinės lempos srovė teka tolygiai ir laikui bėgant nekinta (4.14-4.17). Iš 4.15 ir 4.17 pav. matyti, kad šviesos srautas laikui bėgant taip pat nekinta.

Nustatyti ŠED ir kaitrinės lempos spektrai. Gauti duomenys pavaizduoti 4.18 pav.



4.18 pav. Mėlyna kreivė - šaltas ŠED, žalia - šiltas ŠED, raudona - kaitrinė lempa.

4.18 pav. matyti šviesos intensyvumo procentais priklausomybę nuo bangos ilgio. Iš šio grafiko matome, kad išmatuotas ŠED šviesos intensyvumas pasiskirstęs 430 – 900 nm bangų ilgio intervale ir turi du maksimumus, t.y.: silpnesnis ties 460 nm (mėlyna spektro spalva) ir intensyvesnis ties 600 nm (oranžinė spektro spalva). Kaitrinės lempos išmatuotas šviesos intensyvumas yra pasiskirstęs 550-1100 nm bangų ilgio intervale ir turi vieną maksimumą ties 850 nm (raudona spektro spalva).

Šviesą emituojančių diodų ir kaitrinės lempos įtakos žmogaus regėjimo aštrumui nustatyti buvo ištirta 30 respondentų. Jiems paskaičius ir perrašius teksto fragmentą, tiek prie kaitrinės lempos, tiek prie ŠED apšvietimo, regėjimo aštrumo pokyčių nebuvo pastebėta. Išanalizavus pateiktos anketos duomenis pastebėta, kad nei vienas respondentas, paskaitęs ir perrašęs tekstą prie kaitrinės lemos apšvietos, nepajuto jokie savo savijautos pablogėjimo ar pagerėjimo. Taip pat 19 respondentai nepajuto jokių pasikeitimų ir prie ŠED apšvietos. 9 respondentai skundėsi akių skausmu ir 2 respondentas - tiek akių, tiek galvos skausmu. 20

respondentų buvo maloniau dirbti prie kaitrinės lempos apšvietos, 4 – prie ŠED ir 6 – nepajuto jokie skirtumo.



## IŠVADOS

Tyrimo metu nustatyti ŠED ir kaitrinės lempuės charakteristikos ir pagrindiniai parametrai. Nustačius ŠED bei kaitrinės lempuės reakcijos laikus ir greitaveiką esant nuolatinei, pulsuojančiai bei impulsinei maitinimo įtampoms pastebėta, kad geriausiai šviesos šaltiniai veikia esant nuolatiniai ir stabilizuotai maitinimo įtampai.

Ištirus tiriamųjų regėjimo aštrumą dirbant prie skirtingų apšvietų, jokių pokyčių nepastebėta. Todėl galima teigti, kad ŠED regėjimo aštrumui įtakos neturi.

## LITERATŪRA

1. Black Body Instruction Manual. [žiūrėta 2013-03-02] Prieiga per internetą: <[http://www.cce.ufes.br/jair/web/blackbody\\_pasco.pdf](http://www.cce.ufes.br/jair/web/blackbody_pasco.pdf)>
2. Craven M., Low Cost Illumination-Grade LEDs Enabled by Nitride Epitaxy on Silicon Substrates. 2011. [žiūrėta 2013-05-01] Prieiga per internetą:<[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/craven\\_nitride\\_boston2011.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/craven_nitride_boston2011.pdf) >
3. Kasparaitis P., Skaitmeninis vaizdų apdorojimas. Spalvos., 2008. [žiūrėta 2013-03-02] Prieiga per internetą:< <http://www.mif.vu.lt/~pijus/SVA/spalv.pdf>>
4. Kėvelaitis E., Illert M., Hultborn H. Žmogaus fiziologija. KMU leidykla, 2006.
5. Mačenska M., Puslaidininkinių šviesos šaltinių tyrimas. Magistratūros studijų baigiamas darbas. Lietuvos Žemės Ūkio Universitetas, Akademija, 2005
6. Metalorganinio šviesos diodo gaminimas ir tyrimas [žiūrėta 2012-11-15] Prieiga per internetą: < <http://ebookbrowse.com/16-metalorganinio-sviesos-diodo-gaminimas-ir-tyrimas-pdf-d72422556>>
7. Moroz-Lapin K. *Žmogaus ir kompiuterio sąveika*. TEV. 2008.
8. Ramonas Z., Čikotienė D. Ergonomika projektuotojams. Šiauliai, 2005.
9. Ramonas Z., Lankauskas A., Apšvietimas. Mokomoji knyga. Šiauliai, 2002.
10. Rinkevičienė V., Apšvietimo sistemos apšvietos tyrimas. Baigiamasis magistro darbas, Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas, Vilnius, 2004
11. Pavasaris Č. Puslaidininkiniai įtaisai, veikimo ir taikymo pagrindai. Vilnius, 2009 [žiūrėta 2012-11-14] Prieiga per internetą: < [http://rfk.ff.vu.lt/doc/pusl\\_itaikai1.pdf](http://rfk.ff.vu.lt/doc/pusl_itaikai1.pdf)>
12. Pertulis J., **LED apšvietimas - norintiems žinoti daugiau. 2012** [žiūrėta 2013-04-14] Prieiga per internetą: <<http://www.ageta.lt/12/led-apsvietimas-norintiems-zinoti-daugiau>>
13. Savickas A. *Žmogaus regėjimo sistema. 2010*. [žiūrėta 2013-04-14] Prieiga per internetą: <[http://www.e-stud.vgtu.lt/users/files/dest/.../vaizdu\\_analizes\\_metodai\\_04.doc](http://www.e-stud.vgtu.lt/users/files/dest/.../vaizdu_analizes_metodai_04.doc) >
14. „Šviesos diodai: geriausiojo šviesos šaltinio beiėškant“ Ryšių technikos naujienos, 2001, Nr.2 [žiūrėta 2012-11-14] Prieiga per internetą: <<http://rtn.elektronika.lt/rtn/0102/diodai.html>>
15. Šviesos šaltiniai, [žiūrėta 2013-02-17] Prieiga per internetą: < [http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2012/06/FLD\\_trecias-skyrius.pdf](http://www.biofotonika.ff.vu.lt/wp-content/uploads/2012/06/FLD_trecias-skyrius.pdf) >
16. Vitkauskienė R. Žmogaus akies dažninės skiriamosios gebos tyrimas. Bakalauro darbas. Šiauliai, 2011.

## PRIEDAI

### 1 priedas. Anketa

Šis tyrimas atliekamas norint įvertinti šviesą emituojančių diodų įtaką žmogaus regai ir savijautai. Įvertinkite savo savijautą nuo 1 iki 5 (1 – labai pagerėjo, 2 - truputi pagerėjo, 3 – visiškai nepasikeitė, 4 – truputi pablogėjo, 5 - labai pablogėjo).

1. Jūsų lytis

Vyras	Moteris
-------	---------

2. Jūsų amžius

Iki 20m	21-30m	Virš 30
---------	--------	---------

3. Įvertinkite savo savijautą nuo 1 iki 5 perskaičius tekstą prie pirmos apšvietos.

	1	2	3	4	5
Akių skausmas					
Akių perštėjimas					
Akių ašarojimas					
Galvos skausmas					
Bendra savijauta					

4. Įvertinkite savo savijautą nuo 1 iki 5 perskaičius tekstą prie antros apšvietos.

	1	2	3	4	5
Akių skausmas					
Akių perštėjimas					
Akių ašarojimas					
Galvos skausmas					
Bendra savijauta					

5. Kuriuos atveju Jums buvo maloniau skaityti tekstą?

Prie pirmos apšvietos	
Prie antros apšvietos	
Nėra skirtumo	

## 2 priedas. ŠED ir kaitrinės lempos spektras

### Salto SED spektras

#### Importuojamos generuotos itamos U0 ir difrakcijos kampo vertės

U0 :=

	0
0	0
1	0
2	0
3	-0.01
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	...

θ0 :=

	0
0	56
1	56.02
2	56.03
3	56.07
4	56.08
5	56.1
6	56.12
7	56.13
8	56.15
9	...

#### Pasikartojanciu kampo verciu pasalinimas

$$\theta_s := \begin{cases} k \leftarrow -1 \\ \text{for } i \in 0..length(\theta_0) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} k \leftarrow k + 1 \text{ if } (i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}}) \\ \theta_{s_k} \leftarrow \theta_{0_i} \text{ if } (i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}}) \end{array} \right. \\ \theta_s \end{cases}$$

#### Pasikartojanciu U0 verciu pasalinimas

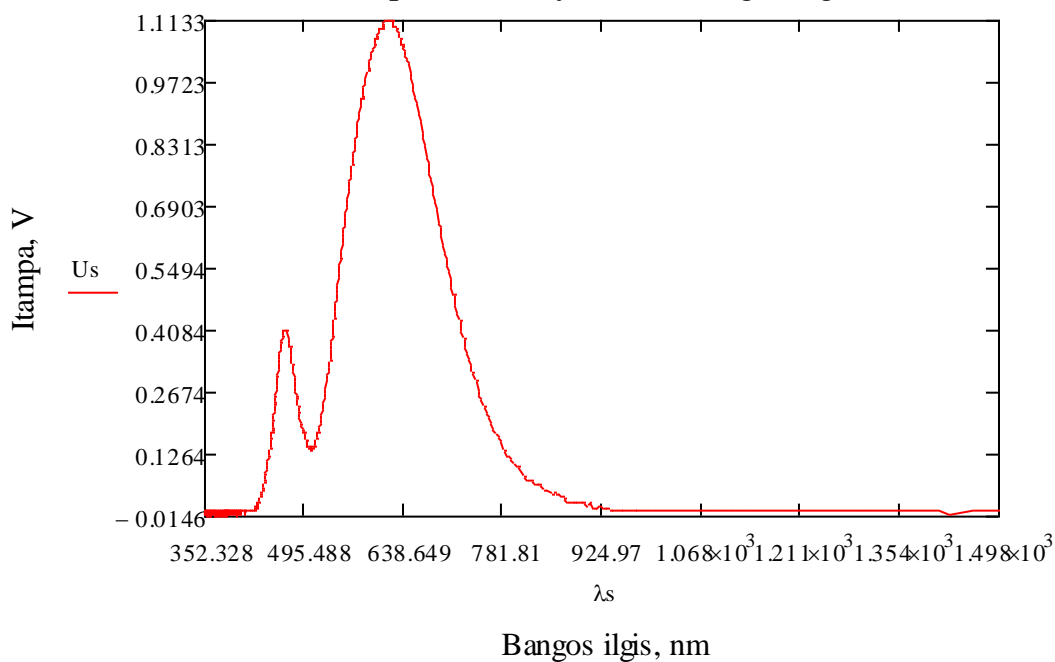
$$U_s := \begin{cases} k \leftarrow -1 \\ \text{for } i \in 0..length(\theta_0) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} k \leftarrow k + 1 \text{ if } (i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}}) \\ U_{s_k} \leftarrow U_{0_i} \text{ if } (i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}}) \end{array} \right. \\ U_s \end{cases}$$

#### Bangos ilgio priklausomybes nuo dispersijos kampo funkcija ()

$$\lambda_s := \sqrt{\sqrt{\frac{13900}{\left( \frac{2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{\theta_s}{180}\right)}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{3}{4}} - 1.689}}$$

### Neatsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma

#### U priklausomybe nuo bangos ilgio



Keturiuos spektrinio jautrumo funkcijos I1(1), I2(2), I3(3), I4(4) sujungiamos i viena spektrinio jautrumo funkcija I(). Gaunama spektrinio jautrumo funkcija I() nuo 300 nm iki 1100 nm.

```

I :=
| k ← -1
| for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
|   | k ← k + 1
|   | Ii ← I4i
|   k
| for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
|   | k ← k + 1
|   | Ik ← I3i
|   k
| for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
|   | k ← k + 1
|   | Ik ← I2i
|   k
| for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
|   | k ← k + 1
|   | Ik ← I1i
| I
    
```

### Generuojama itampa nuo 300 nm iki 1100 nm

```

Us0 := | k ← -1
        | for i ∈ 0..length(U4) - 1 if U4 ≠ 0
        |   | k ← k + 1
        |   | Us0i ← U4i
        |   k
        | for i ∈ 0..length(U3) - 1 if U3 ≠ 0
        |   | k ← k + 1
        |   | Us0k ← U3i if length(λ3) > 1
        |   k
        | for i ∈ 0..length(U2) - 1 if U2 ≠ 0
        |   | k ← k + 1
        |   | Us0k ← U2i
        |   k
        | for i ∈ 0..length(U1) - 1 if U1 ≠ 0
        |   | k ← k + 1
        |   | Us0k ← U1i
        | Us0
    
```

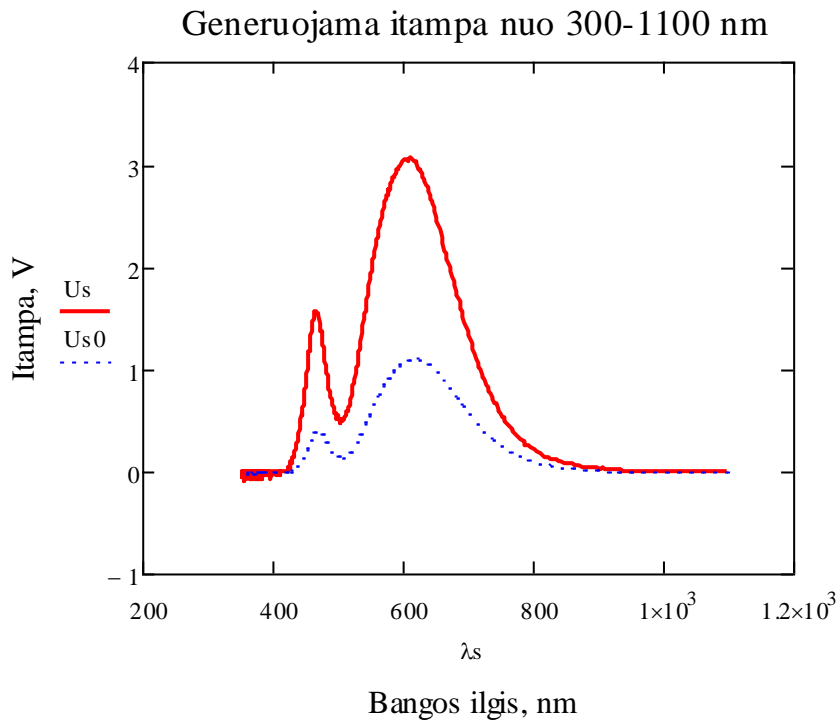
Atsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma. Generuojama itampa U0 padalinama is spektrinio jautrumo funkcijos I

$$U_s := \frac{U_{s0}}{I}$$

Keturi bangu ilgiu intervalai 1, 2, 3, 4 sujungiami i viena bangos ilgiu intervala nuo 300 nm iki 1100 nm

```

λs := | k ← -1
       | for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
       |   | k ← k + 1
       |   | λsi ← λ4i
       |   k
       | for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
       |   | k ← k + 1
       |   | λsk ← λ3i
       |   k
       | for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
       |   | k ← k + 1
       |   | λsk ← λ2i
       |   k
       | for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
       |   | k ← k + 1
       |   | λsk ← λ1i
       | λs
    
```



**Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma**

**Intensyvumas procentais**

```

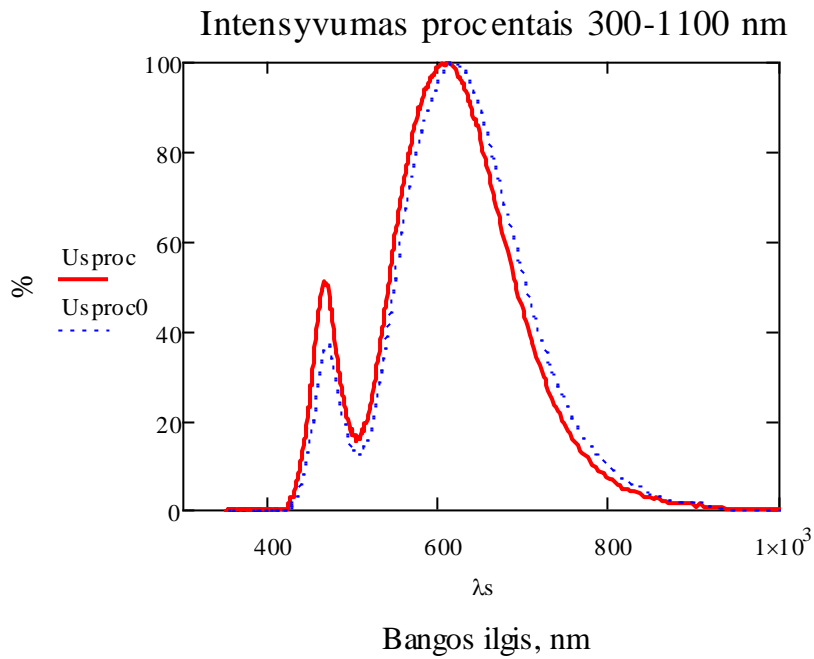
Usproc :=
| for i ∈ 0..length(Us) - 1
|     Usi · 100
|     Usproci ←  $\frac{\quad}{\max(Us)}$ 
| Usproc

```

```

Usproc0 :=
| for i ∈ 0..length(Us0) - 1
|     Us0i · 100
|     Usproc0i ←  $\frac{\quad}{\max(Us0)}$ 
| Usproc0

```



**Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma**

**Silto SED spektras**

**Importuojamos generuotos itamos U0 ir difrakcijos kampo vertes**

$U_0 :=$

	0
0	0
1	-0.01
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	...

$\theta_0 :=$

	0
0	56.02
1	56.03
2	56.07
3	56.1
4	56.12
5	56.15
6	56.18
7	56.22
8	56.25
9	...



### Pasikartojanciu kampo verciu pasalinimas

$$\theta S := \begin{cases} k \leftarrow -1 \\ \text{for } i \in 0..length(\theta 0) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} k \leftarrow k + 1 \text{ if } (i = 0) \vee (\theta 0_i > \theta 0_{i-1}) \\ \theta S_k \leftarrow \theta 0_i \text{ if } (i = 0) \vee (\theta 0_i > \theta 0_{i-1}) \end{array} \right. \\ \theta S \end{cases}$$

### Pasikartojanciu U0 verciu pasalinimas

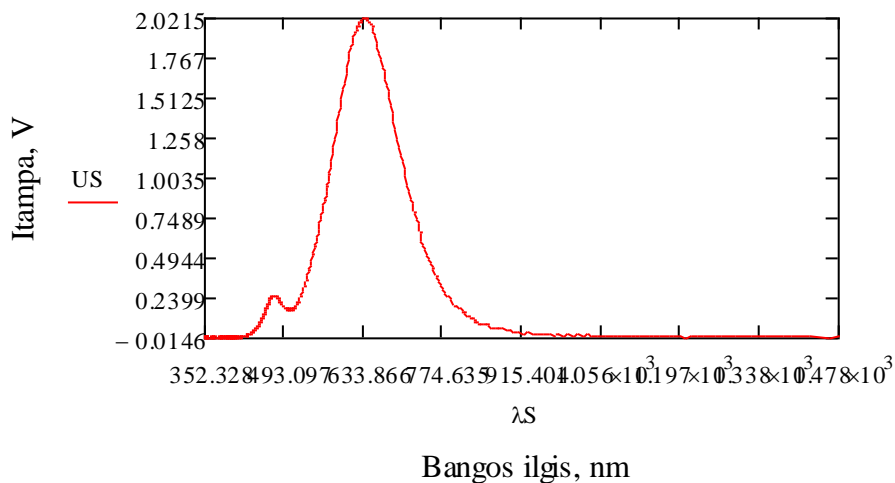
$$US := \begin{cases} k \leftarrow -1 \\ \text{for } i \in 0..length(\theta 0) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} k \leftarrow k + 1 \text{ if } (i = 0) \vee (\theta 0_i > \theta 0_{i-1}) \\ US_k \leftarrow U0_i \text{ if } (i = 0) \vee (\theta 0_i > \theta 0_{i-1}) \end{array} \right. \\ US \end{cases}$$

### Bangos ilgio priklausomybes nuo dispersijos kampo funkcija ()

$$\lambda S := \sqrt{\frac{13900}{\sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{\theta S}{180}\right)}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} - 1.689}}$$

### Neatsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma

#### U priklausomybe nuo bangos ilgio



**Keturios spektrinio jautrumo funkcijos I1(1), I2(2), I3(3), I4(4) sujungiamos i viena spektrinio jautrumo funkcija I(). Gaunama spektrinio jautrumo funkcija I() nuo 300 nm iki 1100 nm.**

```

I := | k ← -1
      | for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
      | | k ← k + 1
      | | Ii ← I4i
      | k
      | for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
      | | k ← k + 1
      | | Ik ← I3i
      | k
      | for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
      | | k ← k + 1
      | | Ik ← I2i
      | k
      | for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
      | | k ← k + 1
      | | Ik ← I1i
      | I
  
```

**Generuojama itampa nuo 300 nm iki 1100 nm**

```

US0 := | k ← -1
        | for i ∈ 0..length(U4) - 1 if U4 ≠ 0
        | | k ← k + 1
        | | US0i ← U4i
        | k
        | for i ∈ 0..length(U3) - 1 if U3 ≠ 0
        | | k ← k + 1
        | | US0k ← U3i if length(λ3) > 1
        | k
        | for i ∈ 0..length(U2) - 1 if U2 ≠ 0
        | | k ← k + 1
        | | US0k ← U2i
        | k
        | for i ∈ 0..length(U1) - 1 if U1 ≠ 0
        | | k ← k + 1
        | | US0k ← U1i
        | US0
  
```

Atsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma. Generuojama itampa U0 padalinama is spektrinio jautrumo funkcijos I

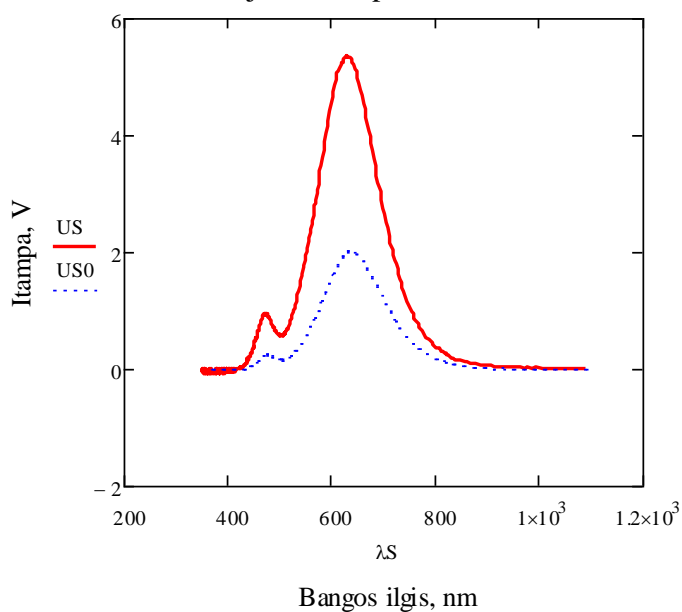
$$US := \frac{US0}{I}$$

Keturi bangu ilgiu intervalai 1, 2, 3, 4 sujungiami i viena bangos ilgiu intervala nuo 300 nm iki 1100 nm

```

λS :=
  k ← -1
  for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
    k ← k + 1
    λSi ← λ4i
  k
  for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
    k ← k + 1
    λSk ← λ3i
  k
  for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
    k ← k + 1
    λSk ← λ2i
  k
  for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
    k ← k + 1
    λSk ← λ1i
  λS
  
```

Generuojama itampa nuo 300-1100 nm

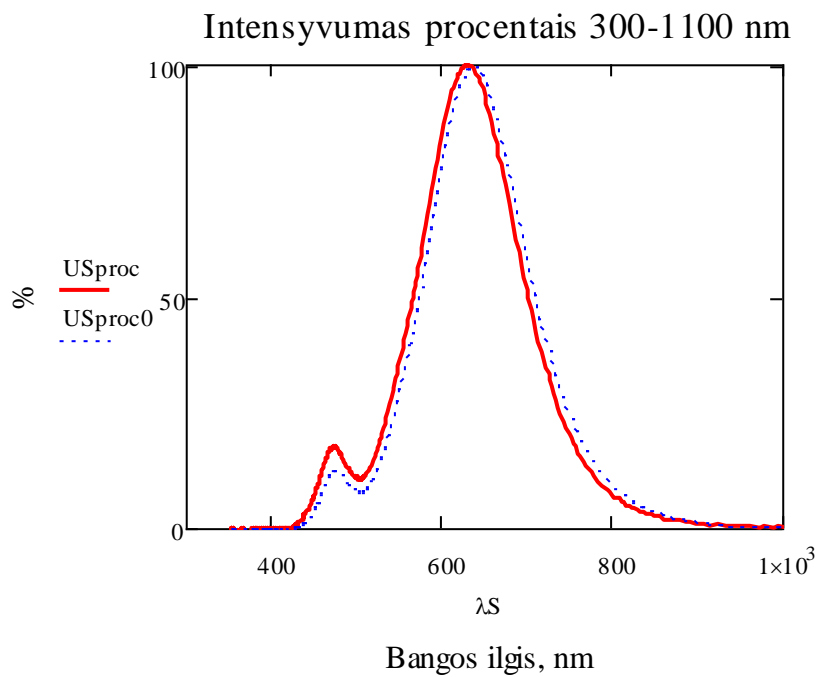


Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma

## Intensyvumas procentais

```
USproc := | for i ∈ 0..length(US) - 1  
           |    $USproc_i \leftarrow \frac{US_i \cdot 100}{\max(US)}$   
           | USproc
```

```
USproc0 := | for i ∈ 0..length(US0) - 1  
           |    $USproc0_i \leftarrow \frac{US0_i \cdot 100}{\max(US0)}$   
           | USproc0
```



**Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma**

## Kaitrines lempos spektras

Importuojamos generuotos itampos U0 ir difrakcijos kampo vertes

$U_0 :=$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	...

$\theta_0 :=$

	0
0	56
1	56.02
2	56.03
3	56.05
4	56.07
5	56.08
6	56.1
7	56.12
8	56.13
9	...

Pasikartojanciu kampo verciu pasalinimas

$\theta_K :=$

$k \leftarrow -1$
for $i \in 0..length(\theta_0) - 1$
$k \leftarrow k + 1$ if $(i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}})$
$\theta_{K_k} \leftarrow \theta_{0_i}$ if $(i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}})$
$\theta_K$

Pasikartojanciu U0 verciu pasalinimas

$U_K :=$

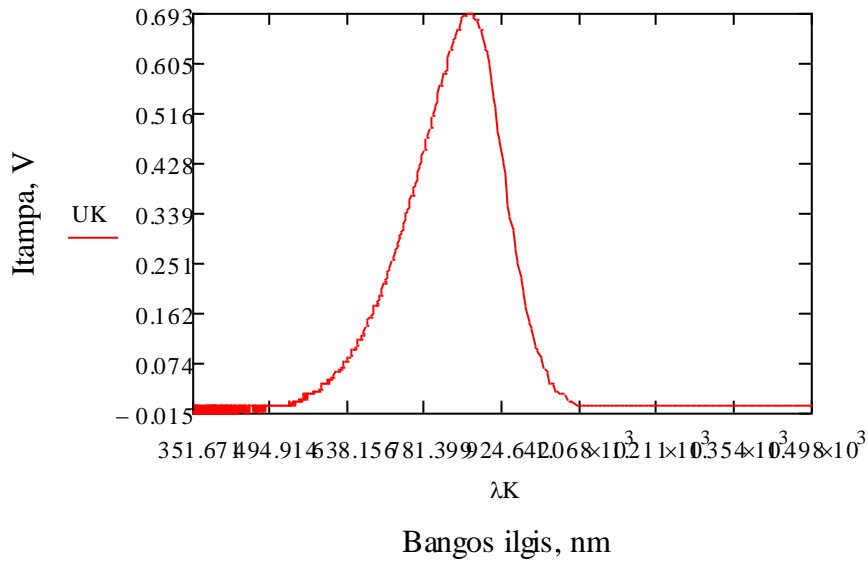
$k \leftarrow -1$
for $i \in 0..length(\theta_0) - 1$
$k \leftarrow k + 1$ if $(i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}})$
$U_{K_k} \leftarrow U_{0_i}$ if $(i = 0) \vee (\theta_{0_i} > \theta_{0_{i-1}})$
$U_K$

Bangos ilgio priklausomybes nuo dispersijos kampo funkcija ()

$$\lambda_K := \sqrt{\frac{13900}{\sqrt{\left(\frac{2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot \theta_K}{180}\right)}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} - 1.689}}$$

## Neatsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma

### U priklausomybe nuo bangos ilgio



Ketrios spektrinio jautrumo funkcijos  $I_1(1)$ ,  $I_2(2)$ ,  $I_3(3)$ ,  $I_4(4)$  sujungiamos i viena spektrinio jautrumo funkcija  $I()$ . Gaunama spektrinio jautrumo funkcija  $I()$  nuo 300 nm iki 1100 nm.

```

I := k ← -1
for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
  k ← k + 1
  Ik ← I4i
k
for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
  k ← k + 1
  Ik ← I3i
k
for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
  k ← k + 1
  Ik ← I2i
k
for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
  k ← k + 1
  Ik ← I1i
I
    
```

### Generuojama itampa nuo 300 nm iki 1100 nm

```

UK0 :=
  k ← -1
  for i ∈ 0..length(U4) - 1 if U4 ≠ 0
    k ← k + 1
    UK0i ← U4i
  k
  for i ∈ 0..length(U3) - 1 if U3 ≠ 0
    k ← k + 1
    UK0k ← U3i if length(λ3) > 1
  k
  for i ∈ 0..length(U2) - 1 if U2 ≠ 0
    k ← k + 1
    UK0k ← U2i
  k
  for i ∈ 0..length(U1) - 1 if U1 ≠ 0
    k ← k + 1
    UK0k ← U1i
  UK0

```

**Atsizvelgiama i sensoriaus spektrini jautruma. Generuojama itampa U0 padalinama is spektrinio jautrumo funkcijos I**

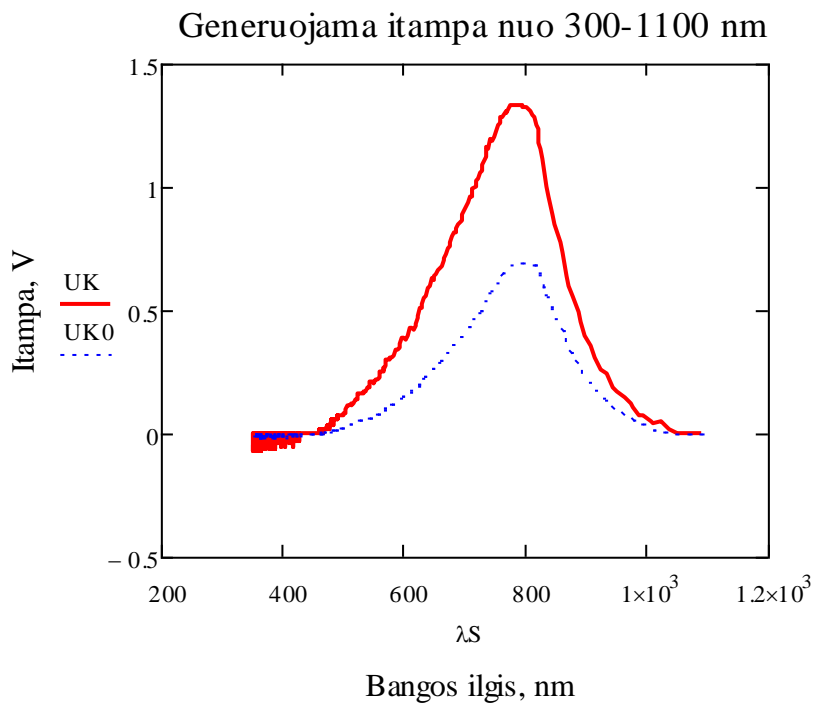
$$UK := \frac{UK0}{I}$$

**Keturi bangu ilgiu intervalai 1, 2, 3, 4 sujungiami i viena bangos ilgiu intervala nuo 300 nm iki 1100 nm**

```

λK :=
  k ← -1
  for i ∈ 0..length(λ4) - 1 if λ4 ≠ 0
    k ← k + 1
    λKi ← λ4i
  k
  for i ∈ 0..length(λ3) - 1 if λ3 ≠ 0
    k ← k + 1
    λKk ← λ3i
  k
  for i ∈ 0..length(λ2) - 1 if λ2 ≠ 0
    k ← k + 1
    λKk ← λ2i
  k
  for i ∈ 0..length(λ1) - 1 if λ1 ≠ 0
    k ← k + 1
    λKk ← λ1i
  λK

```



**Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma**

**Intensyvumas procentais**

```

UKproc :=
  for i ∈ 0..length(UK) - 1
    UKproci ←  $\frac{UK_i \cdot 100}{\max(UK)}$ 
  UKproc

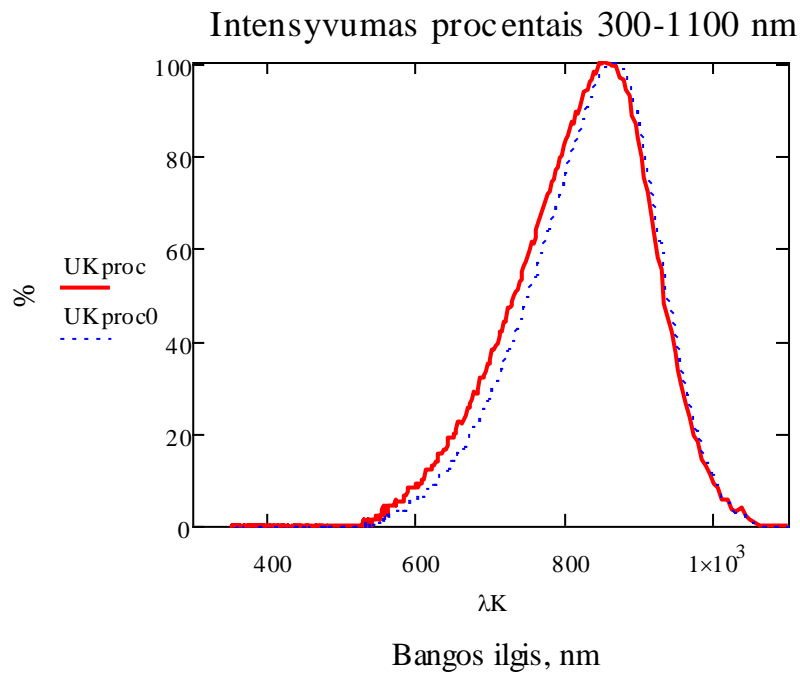
```

```

UKproc0 :=
  for i ∈ 0..length(UK0) - 1
    UKproc0i ←  $\frac{UK0_i \cdot 100}{\max(UK0)}$ 
  UKproc0

```





**Melyna kreive neatsizvelgia i prietaiso spektrini jautruma**

**Melyna kreive - saltas SED, zalia - siltas SED, raudona - kaitrine lempa.**

