

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**  
**JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA**

**TVIRTINU** \_\_\_\_\_

Katedros vedėja: prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė  
2013

**ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS MAGISTRANTŪROS**  
**STUDIJŲ PROGRAMOS „PRAMONĖS ELEKTROS ĮRANGA IR**  
**AUTOMATIKA“**  
(Studijų kodas 612H60002)  
**MAGISTRO TEZĖS**

**VALDOMO RGBY APŠVIETIMO**  
**SISTEMOS KOKYBĖS TYRIMAS**

Recenzentas: \_\_\_\_\_

2013

Vadovas: prof. habil. dr. Andrius Antanas

Bielskis

2013

Recenzentas: \_\_\_\_\_

2013

Rengė: TMPE-11 gr. stud. Edgars Šikšnis

2013

Klaipėda, 2013

## SANTRAUKA

**Edgars Šikšnis**, Klaipėdos universiteto Jūrų technikos fakulteto Elektrotechnikos katedros studentas.

**Baigiamojo magistro darbo tema** – VALDOMO RGBY APŠVIETIMO SISTEMOS KOKYBĖS TYRIMAS.

Šiame darbe apžvelgiama apšvietimo kokybės matavimo bei valdymo sistemų principai. Apžvelgiama esama padėtis RGB šviesos diodų panaudojimo baltai šviesai išgauti metodai. Parinkti atitinkami metodai apšvietimo kokybei įvertinti.

Pagrindiniu tyrimo objektu parinktas valdomas RGBY šviestuvas sudarytas iš raudonos-žalios-mėlynos-geltonos spalvos šviesos diodų. Apšvietimo kokybei įvertinti parinkta reikalinga įranga, kuri realizuotu grįžtamąjį ryšį tarp RGBY šviestuvo ir mikrovaldiklio. Srovei matuoti naudojamas holo efekto srovės daviklis.

Matavimo duomenims nuskaityti ir perduoti į personalinį kompiuterį naudojamas mikrovaldiklis ATMEGA32. Rezultatų įrašymas ir atvaizdavimas personaliniame kompiuteryje atliekamas naudojant „Atmega oscilografas“ programinę įrangą.

Pagal gautus duomenis įvertinti tokie spalvoto apšvietimo kokybės parametrai, kaip šviesos intensyvumas, spalvinė temperatūra ir sistemos naudingumas.

# SUMMARY

**Edgars Šikšnis**, Klaipėda University Faculty of Marine Engineering The Department of the Electrical Engineering.

**Master thesis** – RESEARCH OF CONTROLLED RGBY LIGHTING SYSTEM QUALITY.

This thesis provides an overview of lighting system quality measurements and control systems principles.

An overview of white color flux lighting creation using RGB light emitting diodes (LED). Selection of proper methods for lighting quality estimation.

As the main research object red-green- blue-yellow LED's RGBY lamp was chosen. For estimation of lighting quality proper equipment was chosen, which would implement a feedback between RGBY lamp and microcontroller. For current measurement hall current sensor was used.

Microcontroller ATMEGA32 was used to read and transfer measurement data to personal computer. For recording and display of the results data in personal computer "Atmega oscilografas" software was used.

Evaluation of colored lighting system quality parameters, such as: luminous flux, color temperature and system efficiency, depending on recorded data.

## TURINYS

ĮVADAS .....	6
I. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ.....	8
II. VALDOMO RGBY APŠVIETIMO SISTEMOS ANALIZĖ .....	11
2.1. Apšvietimo sistemos vertinimo kriterijai .....	11
2.1.1. Šviesos kokybė .....	11
2.1.2. Spalvinė temperatūra.....	11
2.1.3. Šviesinis našumas .....	13
2.2. Šviesos diodų savybės .....	14
2.3. Baltos spalvos šviesos šaltinio gavimo metodas .....	16
2.4. Spalvų matavimas.....	17
2.5. Spalvų atitaikymo funkcijos.....	18
2.6. Spalvų erdvės .....	20
2.6.1. Trimatė RGB spalvų erdvė .....	20
2.6.2. Dvimatė RGB spalvų erdvė .....	20
2.6.3. XYZ spalvų erdvė .....	21
2.6.4. CIE Lab spalvų erdvė.....	22
III. VALDOMO RGBY APŠVIETIMO SISTEMOS MODELIO TYRIMAS.....	24
3.1. RGBY šviestuvo projektiniai sprendiniai.....	24
3.2. RGBY šviestuvo šviesos srauto intensyvumo valdymo grandis .....	26
3.3. RGBY šviestuvo grįžtamojo ryšio grandis .....	27
3.4. Bendra RGBY šviestuvo valdymo ir kokybės tyrimo schema .....	28
3.5. Spalvos jutiklio sąsaja su mikrovaldikliu.....	29
3.6. Mikrovaldiklio programavimas duomenims nuskaityti .....	30
3.7. Kaip žmogaus akis atpažįsta spalvas .....	31
3.8. Spalvos jutiklio veikimo principas .....	32
3.9. Matavimų duomenys .....	33
IŠVADOS.....	46
LITERATŪRA .....	47
PRIEDAI .....	49

## ĮVADAS

Mus supantis pasaulis yra kupinas šviesos, nuo jos neatsiejamas mūsų gyvenimas ir buitis. Šviesos kiekybiniai ir kokybiniai rodikliai įtakoja žmogų tiek fiziškai, tiek emociškai. Priklausomai nuo šių rodiklių šviesa žmogui gali sukelti nuovargį, nerimą arba suteikti jėgų, energijos, gerų emocijų.

Keičiantis laikmečiams, technologijoms tobulėjant, žmonija sugebėjo pažaboti šviesą, ją sukurti, keisti, tobulinti. Nuo to laiko, kai buvo išrasta elektros lemputė šviesos šaltiniai vis tobulinami, išrandami naujesni, taupesni, ekonomiškesni. Neatsiejamai nuo šio išradimo vystėsi tokios mokslo šakos, tiriančios šviesą, kaip šviesotechnika, elektrotechnika. Jų dėka, susisteminti šviesos bei apšvietimo techniniai parametrai, apibrėžti jų dydžiai bei matavimo vienetai.

Valdomos RGBY (raudonos-žalios-mėlynos-geltonos) apšvietimo sistemos kokybės valdymo sistemos dar nėra pramonėje plačiai naudojamos, nors nevaldomų vienos spalvos LED apšvietimo sistemų yra daugybė ir jos plačiai naudojamos. Spalvotojo RGB apšvietimo sistemų taip pat yra, bet jų kokybė ir spalvų paletės parinkimas nėra pakankamai ištirtas. Pridėjus dar vieną spalvą - Y (geltoną) spalvų paletę praturtėja ir tokia praturtinta spalva gali būti taikoma darbo sąlygų, parenkant tinkamiausią darbo vietos apšvietimą, pagerinimui. Todėl tokios sistemos sukūrimas, realizuojant jos išmanųjį valdymą siekiant pagerinti apšvietimo kokybės parametrus (spalvų paletę, intensyvumą, spalvos temperatūrą), yra aktualus.

Taip pat svarbus yra šios sistemos energetiniai rodikliai, nuo kurių priklauso visos sistemos efektyvumas. Siekiant įvertinti eksperimentinio modelio energetinius rodiklius šiame darbe analizuojama galios matavimo galimybė naudojant ATMEGA32 mikrovaldiklį, kuris yra programuojamas ir su kurio pagalba yra įgyvendinamas apšvietimo sistemos valdymas bei matavimų rezultatų nuskaitymo ir perdavimo į kompiuterį funkcija.

### **Tikslas:**

Šio darbo tikslas – ištirti sukonstruotą eksperimentinį modelį – RGBY šviestuvą ir pritaikius išmanųjį valdymą, tiekti protingos ekologiškos ir socialios laboratorijos darbuotojams informaciją apie apšvietimo kokybės parametrus.

### **Uždaviniai:**

1. Atlikti valdomo spalvoto apšvietimo sistemų literatūros apžvalgą.
2. Parinkti interpretavimo metodus reikalingus apšvietimo kokybei įvertinti.
3. Sudaryto eksperimentinio modelio pagalba ištirti apšvietimo sistemos kokybę.

4. Suderinti ir ištirti sistemą, atliekant laboratorinius matavimus.

5. Aptarti gautus rezultatus.

**Objektas:**

Pagrindinis darbo tiriamasis objektas – sukonstruotas RGBY šviestuvai ir jo valdymo sistema.

**Metodai:**

Šiame darbe bus naudojami eksperimentiniai tyrimo metodai, pasitelkiant teorinius duomenų gavybos metodus ir algoritmus duomenims atpažinti.

## I. LITERATŪROS APŽVALGA IR ANALIZĖ

Rengiant šį baigiamąjį magistro darbą, buvo apžvelgta skirtingų šalių mokslininkų ir specialistų publikuota medžiaga šviesos diodų (LED) apšvietimo, jo valdymo ir apšvietimo kokybės gerinimo temomis. LED apšvietimas, užima vis didesnę rinkos dalį, randa pritaikymą vis įvairesnėse srityse ir turi didžiulį potencialą tiek šviesos prietaisų funkcinių galimybių plėtroje, tiek energijos taupymo ir ekologijos srityse. Šiuo metu LED apšvietimo tema yra itin aktuali, tad ir vertingos informacijos galima rasti LED šviestuvų gamintojų, bei šių šviestuvų matavimo įrangos gamintojų publikuotuose straipsniuose. Šiuose straipsniuose taip pat aprašomi atliekami tyrimai šviesos diodų skleidžiamos šviesos kokybės gerinimo temomis.

1. Pirmame apžvelgtame straipsnyje aprašoma apšvietimo srauto pasiskirstymo matavimo įranga, sukurta naudojant spalvos jutiklius, mikrovaldiklį ir sąsają su kompiuteriu. Apšvietimo srauto pasiskirstymas matuojamas naudojant 64 spalvos jutiklius, kurie yra išdėstyti 16x4 dydžio plokštumoje. Panaudojus tokią įrangą buvo išmatuoti raudonos, žalios, mėlynos spalvų apšvietimo srauto pasiskirstymas. Sukurta sistema galima naudoti šviesos srauto matavimams, projektavimui ir LED apšvietimui reguliuoti – derinti. Atlikti matavimai mažai skyrėsi nuo LED gamintojų dokumentacijoje pateiktų duomenų. [1]

2. Sekančiame straipsnyje aprašoma didelio ryškumo RGB LED lempa, kuri valdoma impulso skaičiaus moduliacija. Toks valdymo būdas palaiko stabilią apšvietimo spalvą. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad toks srovės reguliavimas sumažina energijos nuostolius sistemoje ir praplečia spalvoto apšvietimo paletę. RGB LED lempa sukurta nuotaikingas spalvotas apšvietimas gali būti instaliuojamas miegamajame, restoranuose, ligoninėse, parkuose, ir kitur kur reikalingas spalvotas apšvietimas. [2]

3. Kitame straipsnyje aprašomas tyrimas, kuriame RGB šviesos diodai naudojami kaip šviesos šaltiniai reguliuojant apšvietimą. Sukurtas automatinis išmanusis valdymo modulis sumažina temperatūros įtaką šviesos diodams, greitai kompensuoja spalvinius iškraipymus. Dėka spalvos jutiklių ir impulso pločio moduliacijos (IPM) išgaunama ir palaikoma stabili balta šviesa. [3]

4. Straipsnyje apie šviesos diodų valdymą aprašomas spalvotų šviesos diodų lempos valdymas naudojant spalvos jutiklius, kaip grįžtamąjį ryšį. Spalvos jutiklių išduodami signalai leidžia tiksliai nustatyti spalvinius nukrypimus, kurie atsiranda dėl šviesos diodų sandūros temperatūros. Valdymo blokas atitinkamai nuo nukrypimo dydžio automatiškai sureguliuoja sistemą. [4]

5. Kitoje apžvelgtoje publikacijoje sprendžiama šviesos srauto priklausomybė nuo šviesos diodais tekančios srovės valdymo būdo. Standartinis šviesos diodų valdymo būdas – impulso pločio moduliacija yra patogus ir plačiai naudojamas. Šio metodo trūkumas yra tas, kad pilnai neišnaudojama optinė galia palyginus su kitais valdymo būdais. Problema sprendžiama panaudojant daugiapakopį impulsų pločio valdymą. Toks valdymo būdas sumažina energetinius nuostolius, nes šviesos šaltinių naudojama galia efektyviau paverčiama optine galia. [5]

6. Sekančiame straipsnyje aprašomas baltos spalvos temperatūros ir skaisčio reguliavimo būdas. Eksperimente naudojami raudonos, žalios ir šaltos baltos spalvos šviesos diodai. Valdymas atliekamas mikrovaldilio pagalba - impulso pločio moduliacija. Spalviniai iškraipymai atsirandantys dėl šviesos diodų sandūros temperatūros sumažinami iki 2% naudojant įtampos daviklius. Tuo pačiu eksperimentas parodė, kad naudojant apšvietimui tik baltos spalvos šviesos diodus spalvos atgavimo indeksas (ang. CRI) yra per žemas. [6]

7. Peržvelgtame straipsnyje aprašomas keturių spalvų šviesos diodų kombinacija - raudonos-žalios-mėlynos + gintaro (RGB+A) apšvietimo modelio valdymas naudojant trijų kanalų (RGB) spalvos jutiklius. Ryšis tarp šviesos diodų maitinimo srovės ir skleidžiamos šviesos užtikrina kokybišką valdymą. Valdymas atliekamas palyginant matuojamų ir užduotų dydžių skirtumus. Atliktas eksperimentas patvirtino grįžtamojo ryšio naudingumą – pasiektas mažesnis apšvietimo atspalvių nukrypimas nuo standartų. [7]

8. Mokslinėje publikacijoje aprašomas tyrimo metodas charakterizuojantis RGB LED valdymo metodą leidžiantį apskaičiuoti visos lempos apšvietimo intensyvumą ir spalvos koordinatas. Sukurtas eksperimentinis RGB lempos prototipas metodo realizavimui. Tyrimo rezultatai įrodė metodo efektyvumą - sistema tinkama parinkti reikiamus apšvietimo parametrus ir optimizuoja apšvietimo valdymo algoritmą. [8]

9. Kito straipsnio autorių siūlomas baltos šviesos kokybės gerinimo būdas panaudojant RGB šviesos diodus. Raudonos – žalios – mėlynos spalvų diodai leidžia reguliuoti baltos spalvos spalvinius atspalvius. Pateikiami praktiniai kokybės gerinimo būdai, tokie kaip šviesos matavimo jutiklių padėties parinkimas, valdymo sistemos projektavimas. Pateikiama šviesos diodų valdymo blokinė schema yra uždaro kontūro valdymo sistema. Grįžtamąjį ryšį valdymo schemoje atlieka tikros spalvos jutikliai, kurie išduoda tristimulus reikšmes ( $X Y Z$ ), kurios yra sumaišytos šviesos funkcijos. Šios reikšmės yra pagrindinės šviesos šaltinio valdymo reikšmės, nes jos atitinka žmogaus matomos šviesos reikšmes. Toks valdymo būdas palaiko stabilius apšvietimo parametrus reguliuojant apšvietimo srautą ir kompensuoja temperatūros įtaką. [9]

10. Įdomų sprendimą RGB panaudojimo srityje pateikė šio straipsnio autoriai, kurie pritaikė RGB šviesos diodus kaip komunikacijos priemonę. Šio tipo šviesos šaltiniai valdomi aukšto dažnio signalais (keletą MHz). Siunčiant/priimant signalus raudonos, žalios ir mėlynos spalvos šviesos diodai turi skirtingas charakteristikas. Raudonas šviesos diodas geriau persiunčia didesnės galios ir didesniais atstumais signalus. Žalias šviesos diodas turi didesnę duomenų persiuntimo greitį. O žalias šviesos diodas palyginus su raudonu ir mėlynu perduoda signalus su mažesniais trikdžiais. Sistemos modeliavimas patvirtino tokios valdymo schemos efektyvumą, naudojant RGB šviesos diodus komunikacijai. [10]

11. Kitame straipsnyje aprašomas šviesos diodų, kurių galia 3 W, reguliavimo būdas naudojant dvigubą srovės valdymą. Toks valdymas labai aktualus valdant skirtingų spalvų šviesos diodus (RGB) vienu nuolatinės srovės keitikliu (DC-DC). Perjunginėjant šviesos diodus iš mėlynos į raudoną atsiranda įtampos skirtumai, kurie sukelia trumpalaikį srovės šuolį iki 1,5 A ir žymiai viršija nominalią (300 mA). Tokia srovė, nors ir trumpalaikė, šviesos diodams yra kenksminga ir mažina jų ilgaamžiškumą. Pateiktas valymo būdas sumažina srovės šuolį iki 10% nuo nominalios reikšmės. [11]








Apibendrinant galima teigti, kad šviesos diodai yra tyrinėjami įvairiuose pasaulio šalyse. Tyrinėjami įvairūs valdymo būdai, spalvų maišymo technologijos, p-n sandūros temperatūros įtaka šviesos diodų charakteristikoms. Labai plačiai tyrinėjami šviesos diodų kiekybiniai parametrai. Tačiau kokybiniai šių šviesos šaltinių parametrai yra ne taip plačiai tyrinėjami. Kaip žinome šviesos kokybė turi didelę įtaką žmogaus fiziologinei būklei. Taigi šioje srityje yra labai daug neišspręstų klausimų, į kuriuos svarbų atsakyti norint sukurti komfortišką ir sveiką žmogui aplinką.

## II. VALDOMO RGBY APŠVIETIMO SISTEMOS ANALIZĖ









### 2.1. Apšvietimo sistemos vertinimo kriterijai

#### 2.1.1. Šviesos kokybė

Šviesos kokybės nustatymas paprastai taikomas baltos šviesos šaltiniams ir yra surištas su šių šaltinių gebėjimu atkurti spalvas. Nepaisant to, kad šviesos diodų spektras skiriasi nuo kaitrinių ar liuminescencinių lempų spektro, jiems taip pat taikoma Tarptautinės apšvietimo komisijos CIE 1995 metais patvirtinta metodika, kuri remiasi spalvos skirčių įvertinimu penkiolikai Munsello spalvinių bandinių apšvietus juos testuojamu ir etaloniniu šviesos šaltiniu [19]. Gautas suminis rezultatas, žymimas Ra simboliu, baltiems šviesos šaltiniams paprastai yra 0-100 ribose. Šis parametras vadinamas spalvų atgavos rodikliu (ang. color rendering index, CRI) ir kuo jis yra arčiau 100, tuo šviesos šaltinis geriau atkuria spalvas.

	Ra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
								
<b>D50 fluorescencinė lempa</b>	91	94	91	86	90	93	89	90
<b>Natūraliai balta fluoresc. lempa</b>	79	89	89	54	82	81	72	86
<b>LED lempa</b>	68	65	74	79	68	65	62	81

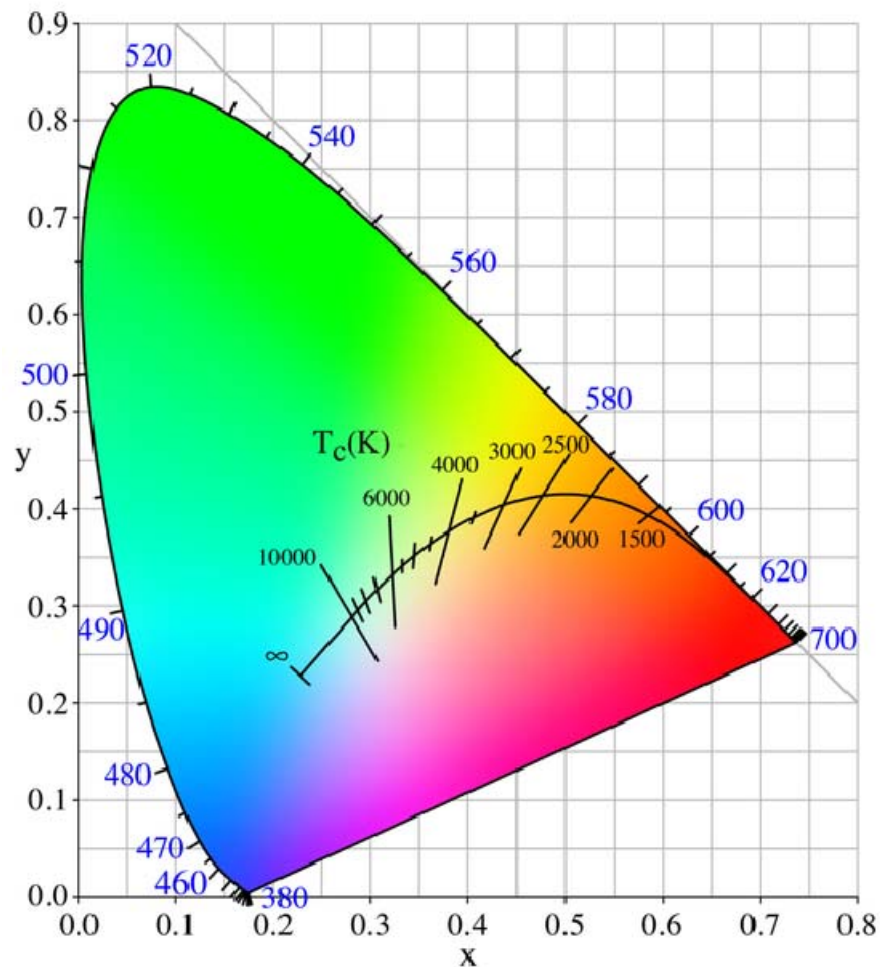
  

	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
								
<b>D50 fluorescencinė lempa</b>	90	77	78	93	81	93	92	91
<b>Natūraliai balta fluoresc. lempa</b>	76	16	40	63	55	92	70	92
<b>LED lempa</b>	54	-39	36	61	31	66	88	59

2.1. pav. Spalvos skirčių įvertinimai skirtingiems apšvietimo šaltiniams [19]

#### 2.1.2. Spalvinė temperatūra

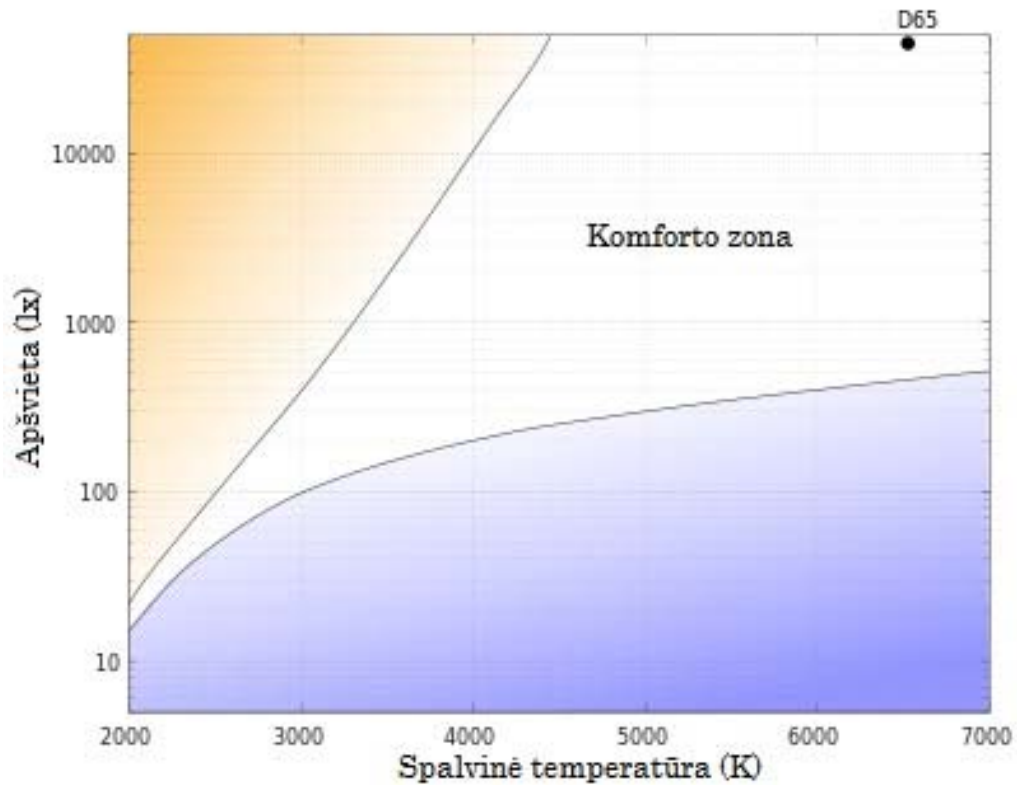
Dar vienas labai svarbus baltų šviesos šaltinių parametras – spinduliuojamos šviesos spalvinė temperatūra. Šis parametras tinka apibūdinti šviesos šaltinius, kurių spinduliuotės spektras yra artimas juodojo kūno spinduliuotės spektrui. Šviesos diodų ar fluorescencinių lempų spalvinės koordinatės nėra tiksliai ant Planko lanko, kuris nurodo juodojo kūno spinduliuotės koordinates (2.2. pav.), todėl tokie šaltiniai apibūdinami koreliuotąja spalvine temperatūra (angl. correlated color temperature - CCT). Spalvinė temperatūra matuojama temperatūros matavimo vienetais kelvinais (K) ir yra susijusi su juodojo kūno temperatūra jam spinduliuojant tam tikro atspalvio šviesą. Pavyzdžiui, standartinių šviesos šaltinių spalvinės temperatūros vertės: volframas apie 2790 K, kaitinamoji lemputė – 2856 K, tiesioginė saulės šviesa – 4874 K, dienos šviesa - 6500 K [20].



2.2. pav. CIE xy spalvinių koordinatų sistema ir baltos šviesos koordinatės nurodantis Planko lankas. [20]

Dirbtiniame apšvietime naudojami šviesos šaltiniai yra skirstomi į tam tikras grupes pagal koreliuotosios spalvinės temperatūros vertes: šiltai balta šviesa (2200 - 3000K), neutrali balta šviesa (3000 - 4500K), šaltai balta šviesa (4500 - 6500K).

Žmogaus regos sistema per daugybę metų prisitaikė prie natūralios - saulės šviesos, todėl svarbu žinoti apie šios šviesos savybes ir į jas atsižvelgti kuriant dirbtinį apšvietimą. Viena iš žmogaus regos ypatybių yra apibrėžta Kruithofo kreive (2.3. pav.), kuri nurodo kokiose ribose esant tam tikriems apšvietimo parametrais ir spalvinei temperatūrai žmogus jaučiasi komfortiškai. Palyginimui galima paimti silpną žvakės šviesos sukuriamą šilto atspalvio sukuriamą apšvietimą ir palyginti su labai intensyvia, aukštos spalvinės temperatūros saulės sukuriamu apšvietimu dienos metu. Rezultatas abiem atvejais tas pats - žmogus jaučiasi komfortiškai.



2.3. pav. Kruithofo kreivė

Lyginant su kitais dirbtinės šviesos šaltiniais, kurie neturi galimybės valdyti šviesos parametru, šviesos diodai yra puiki galimybė gauti įvairias spalvinės temperatūros vertes ir valdyti šviesos intensyvumą. Taip pat šviesos diodai turi dideles trumpabangės (mėlynos) šviesos valdymo galimybes. Mėlyna šviesa stipriai veikia žmogaus biologinius procesus ir yra atsakinga už hormono - melatonino gamybą [12]. Atsižvelgiant į šiuos dėsningumus, svarbu pasirinkti tinkamą dirbtinį apšvietimą. Paprastai gyvenamosioms patalpoms, miegamiesiems yra rekomenduojama šiltos spalvos apšvietimas, darbo patalpoms – šaltos ar neutraliai baltos šviesos.

### 2.1.3. Šviesinis našumas

Šviesos diodai – vieni našiausių šviesos šaltinių. Laboratorijos sąlygomis jau yra pasiektas 254 lm/W šviesinis našumas baltai šviesai [21]. Komerciniai šviesos diodai, priklausomai nuo spalvinės temperatūros, pasižymi 65-120 lm/W šviesiniu našumu [22].

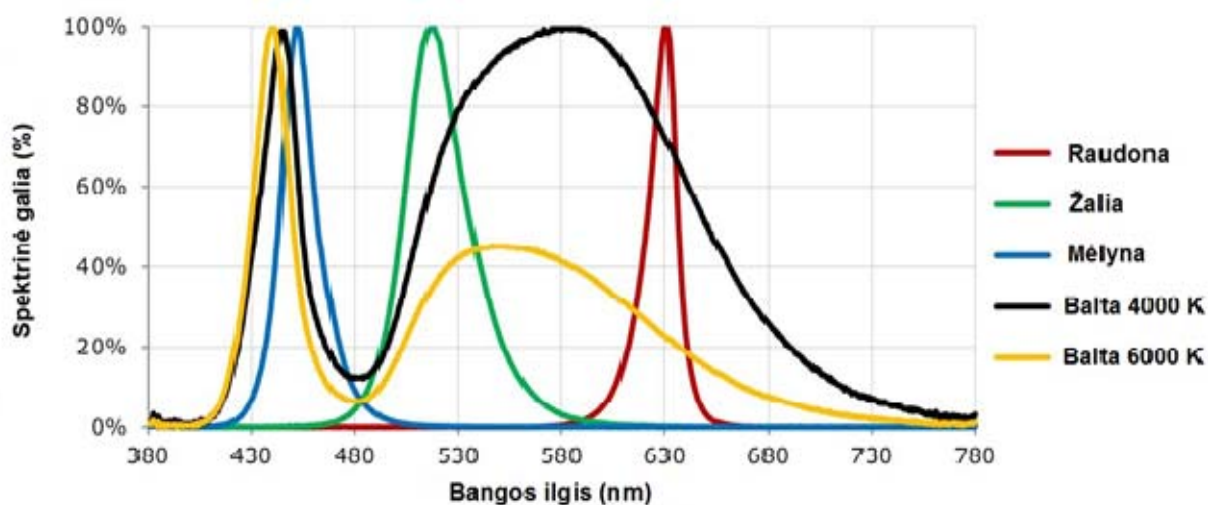
Palyginimui: kaitinamosios 100W lempos šviesinis našumas apie 14 lm/W, fluorescencinių lempų – 40-100 lm/W, gatvių apšvietime naudojamų aukšto slėgio natrio lempų – 85-150 lm/W [23].

Taigi, šviesos diodai ženkliai našesni už kaitinamąsias bei halogenines lempas.

Aktualu tai, kad galutinio gaminio (lempos, ar šviestuvo) šviesinis našumas būna mažesnis dėl elektros energijos nuostolių maitinimo šaltinyje, dėl neoptimalios darbo temperatūros parinkimo, šviesos nuostolių optinėje sistemoje.

## 2.2. Šviesos diodų savybės

1. 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. 2.4. pav. pavaizduoti raudono, žalio, mėlyno bei dviejų spalvinių temperatūrų baltų šviesos diodų spektrinės galios skirstiniai.



2.4. pav. Komercinių Cree šviesos diodų spektrinės galios skirstiniai [24].

2. Šviesos diodai gerai veikia esant žemesnei nei  $0^{\circ}\text{C}$  temperatūrai. Taip pat šviesos diodų sklaidžiamos šviesos diodų srautas priklauso nuo temperatūros – kuo žemesnė temperatūra, tuo didesnis išskiriamas srautas esant tai pačiai maitinimo srovei. Pavyzdžiui, šviesos diodo p-n sandūros temperatūrai sumažėjus nuo  $+75^{\circ}\text{C}$  iki  $-25^{\circ}\text{C}$ , sklaidžiamas šviesos srautas gali padidėti net iki 30-40 %. Tai yra susiję su spindulinės rekombinacijos koeficiento kitimu, krūvininkų gyvavimo trukmės priklausomybe nuo temperatūros ir nuo kitų fizikinių procesų [13].

Kai tuo tarpu fluorescencinės lempos yra optimizuotos naudoti kambario temperatūroje ir jų šviesos srautas stipriai mažėja mažėjant ant didėjant temperatūrai. Pvz. esant  $-15^{\circ}\text{C}$  temperatūrai šviesos srautas tėra apie 30 % nominalaus srauto, o esant  $60^{\circ}\text{C}$  - apie 70 % nuo nominalios vertės [14].

3. Šviesos diodai, skirtingai nei kiti mums įprasti šviesos šaltiniai, turi labai plačias šviesos srauto intensyvumo valdymo galimybes. Šviesos intensyvumas valdomas keičiant per šviesos diodą tekančios srovės stiprį ar moduluojant srovę tam tikrais metodais. Šviesos srauto priklausomybė nuo tiesioginės maitinimo srovės yra beveik tiesinė, tuo tarpu šviesos diodo šviesinis našumas mažinant maitinimo srovę didėja. Tai yra susiję su mažesne kristalo temperatūra, sumažėjusia tiesiogine maitinimo įtampa ir kitais reiškiniais. Tuo tarpu fluorescencinių, kaitinamųjų ar aukšto slėgio natrio lempų šviesinis našumas ženkliai krenta mažinant maitinimo galią, todėl šių lempų temdymas (srauto mažinimas) nėra ekonomišką sprendimą.

4. Šviesos diodų srauto valdymo galimybė labai plačiai naudojama kuriant daugiaspalvius šviesos šaltinius. Tokie šviesos šaltiniai būna sudaryti iš 3-4 pirminių spalvų šviesos diodų. Naudojant tokius šviesos šaltinius spalvų maišymo metodu galima išgauti praktiškai bet kurią spalvą, atspalvį ar bet kurios spalvinės temperatūros baltą šviesą. Šviesos diodų spalvų maišymo metodas plačiai naudojamas dekoratyviniame apšvietime, LED televizoriuose bei tokiose apšvietimo srityse kaip meno dirbinių, prekių apšvietimas ar medicinoje siekiant gauti spalvų sodrinimo, blukinimo ar kitus efektus [15].

5. Šviesos diodai ekonomiškumu pasižymi ne vien dėl didelio šviesinio našumo. Tam tikrose srityse, kuriose nebūtinai yra reikalinga baltos spalvos spinduliuotė, šviesos diodų ekonomiškumas dar labiau jaučiamas, nes generuojama tik tokio bangos ilgio šviesa, kuri yra reikalinga tam tikrai apšvietimo sričiai. Tuo tarpu naudojant įprastinius šviesos šaltinius dalis šviesos yra nufiltruojama. Spalvotų šviesos diodų privalumai plačiai naudojami šviesos signaluose, taip pat augalininkystėje, kur šviesos spektras parenkamas pagal chlorofilo ir kitų pigmentų sugerties spektrus.

6. Dar vienas šviesos diodų privalumas – žema maitinimo įtampa. Šviesos diodui, priklausomai nuo naudojamų puslaidininkinių medžiagų, pakanka 2-3,5 V tiesioginės įtampos, todėl jungiant juos įvairiais būdais į nuoseklias ar lygiagrečias grandines, galima gauti optimalią maitinimo sistemą. Tai ypač aktualu srityse, kur reikalinga saugi žema įtampa arba naudojant fotovoltinius elementus ar akumulatorius.

Šviesos diodas yra srovės įtaisas, todėl jiems maitinti naudojami ne įtampos, o specialūs stabilizuotos srovės šaltiniai.

7. Šviesos diodų apšvietimo sistemų ilgaamžiškumui turi įtakos tinkamo maitinimo šaltinio parinkimas bei šviesos diodų aušinimo užtikrinimas, todėl modeliuojant šviestuvą labai svarbų užtikrinti šių parametru stabilumą.

8. Šviesos diodai pasižymi ypač greitu įsidegimu laiku - paprastai tai kelios nanosekundės. Ši savybė labai naudinga šviesos srauto valdyme. Taip pat tai labai didelis privalumas sceniniame apšvietime, automobilių šviesos signaluose, LED televizoriuose ir kitose srityse.

### **2.3. Baltos spalvos šviesos šaltinio gavimo metodas**

Šiuo metu žinomos kelios baltosios šviesos sukūrimo su šviesos diodais technologijos pasižymi skirtingais pranašumais, tačiau turi panašių trūkumų, kurie išryškėja keičiantis šviesos diodų sandūros temperatūrai bei senėjant jų sudedamųjų dalių medžiagoms. Šie reiškiniai sukelia neleistinus spalvinės temperatūros ir srauto stiprio pokyčius, kuriuos būtina panaikinti [16].

Ši problema gali būti sprendžiama panaudojant kelių grupių vienspalvius šviesos diodus bendram apšvietimui gauti. Balta šviesa išgaunama reguliuojant pirminių spalvų (raudonos-žalios-mėlynos) srautus atitinkamu santykiu. Toks baltos šviesos šaltinio gavimo būdas pranašus tuo, kad galima reguliuoti šviesos srauto stiprį ir spalvinę temperatūrą.

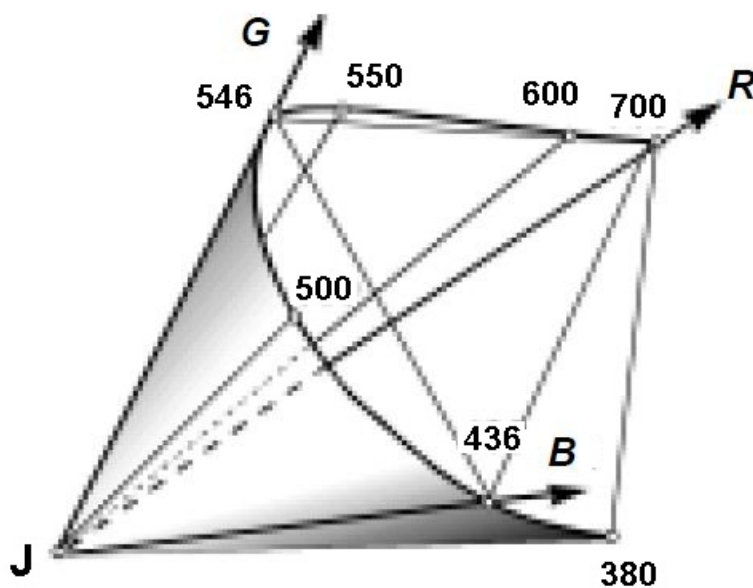
## 2.4. Spalvų matavimas

Žmogaus akies spektrinis jautris skirtingoms regimojo spektro sritims yra nevienodas, priklauso nuo bangos ilgio. Saulės spektre didžiausią galią turi gelsvai žalioji spinduliuotė. Žmogaus akis istoriškai adaptavosi prie Saulės šviesos energinio pasiskirstymo ir tapo jautriausia šiai spinduliuotei (555 nm). Yra daug dirbtinių spindulių, turinčių vienokią ar kitokią spektrinę sudėtį. Dienos šviesa irgi yra įvairių fazių – tiesioginių Saulės spindulių šviesa, saulėto dangaus šviesa, ryškaus dangaus šviesa ir kt. Dienos šviesa priklauso nuo metų ir paros laiko, nuo atmosferos būsenos. Todėl vietoje labai plačiame ruože besikeičiančios dienos šviesos naudojami dirbtiniai baltosios šviesos spinduliai.

Spalvos matavimas iš esmės skiriasi nuo kitų fizikinių dydžių matavimų. Čia negalima panaudoti standartinių metrologijos metodų, kuriuose matuojamasis parametras lyginamas su etalonu ir nustatomas kiek kartų didesnis ar mažesnis už etaloną. Spalvoms toks matavimas iš principo negalimas – negalima pasakyti, pavyzdžiui., kad žalioji spalva tiek tai kartų didesnė ar mažesnė už mėlynąją.

Kolorimetrijoje (spalvų matavimo metoduose, skirtuose kiekybiškai įvertinti spalvą ir spalvų skirtumą) sukurtos sistemos, kuriose spalva matuojama kiekybiškai ir išreiškiama etaloningomis spinduliuotėmis, maišomomis tam tikromis proporcijomis.

Spalvos charakteristika kolorimetrijoje yra trimatė, t. y. spalva kiekybiškai išreiškiama trimis tarpusavyje susietais parametrais. Todėl spalva kolorimetrijoje pateikiama trijų dedamųjų vektorių tiesinėje erdvėje, vadinamoje spalvų erdve (2.5. pav.). [25]



2.5. pav. Spalvų erdvė [25]

Visų spalvos vektorių pradžia yra bendra. Taškas J, atitinkantis koordinatinių sistemos pradžią, yra juodasis taškas – nulinio skaisčio taškas (nėra šviesos). Iš spalvų erdvės koordinatinių pradžios išeina aibė spalvos vektorių. Visi realiųjų spalvų vektoriai yra kūginėje erdvėje, kurią riboja monochromatinės spinduliuotės ir purpurinių spalvų vektoriai.

Trijų spinduliuočių spalvos, kuriomis išreškiama charakterizuojamoji spinduliuotė, vadinamos pagrindinėmis spalvomis. Pagrindinėmis gali būti bet kokios trys tiesiškai nepriklausomos spalvos, t. y. nė viena iš jų negali būti sukuriama kitų dviejų suma.

1931 m. Tarptautinė apšvietimo komisija (TAK) įvedė standartinę sistemą RGB, kurioje pagrindinės spalvos yra raudonoji R (red,  $\lambda = 700,0$  nm), žalioji G (green,  $\lambda = 546,1$  nm) ir mėlynoji B (blue  $\lambda = 435,8$  nm). Jas maišant galima sukurti daugumą realiųjų spalvų. Bet kokia matuojamoji spalva S gali būti pateikta trimatėje spalvų erdvėje koordinatėmis  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$ ,  $\bar{B}$ , vadinamomis spalvos koordinatėmis. Taigi spalvos koordinatės yra trijų pagrindinių spalvų kiekiai, reikalingi atkurti reikiamą spektro spinduliuotę tam tikroje trispalvėje sistemoje.

Vizuali matuojamosios spalvos S ir trijų pagrindinių spalvų mišinio tapatybė išreiškiama vektorine spalvos lygtimi (1).

$$S = \bar{R} R + \bar{G} G + \bar{B} B \quad (1)$$

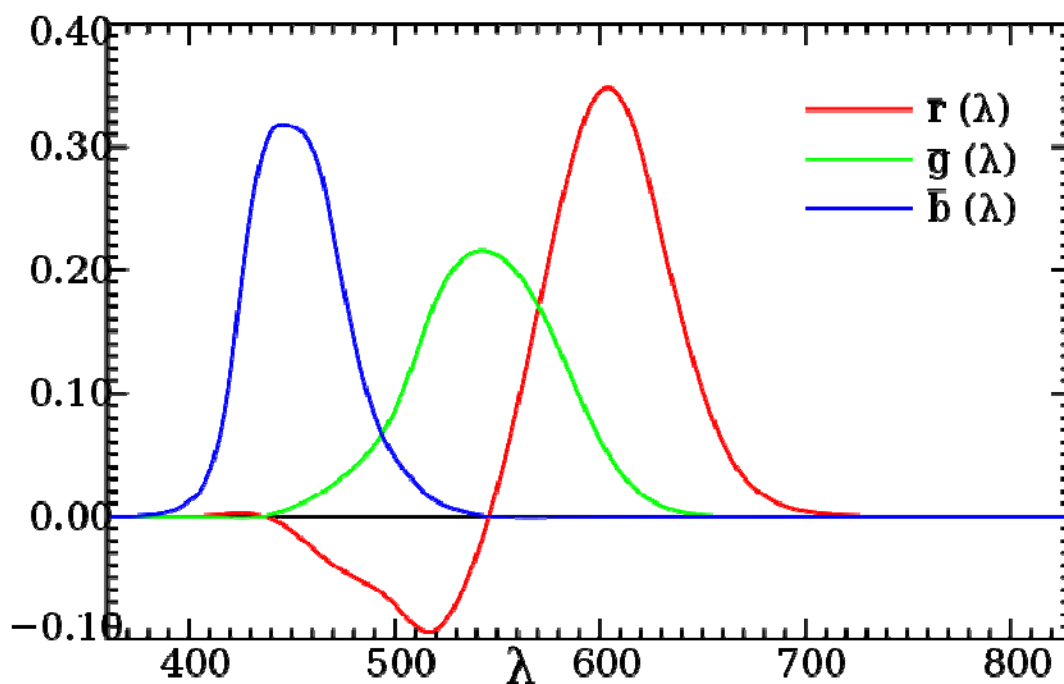
Ši lygtis nusako nagrinėjamąją spalvą. Bet kokia spalva kolorimetrijoje suprantama kaip vektorinė trijų dedamųjų suma.

Esant tam tikroms  $R$ ,  $G$ ,  $B$  vertėms, susidaro baltoji spalva. Tokių spinduliuočių srautai vadinami vienetiniais arba vienetinėmis spalvomis.

## 2.5. Spalvų atitaikymo funkcijos

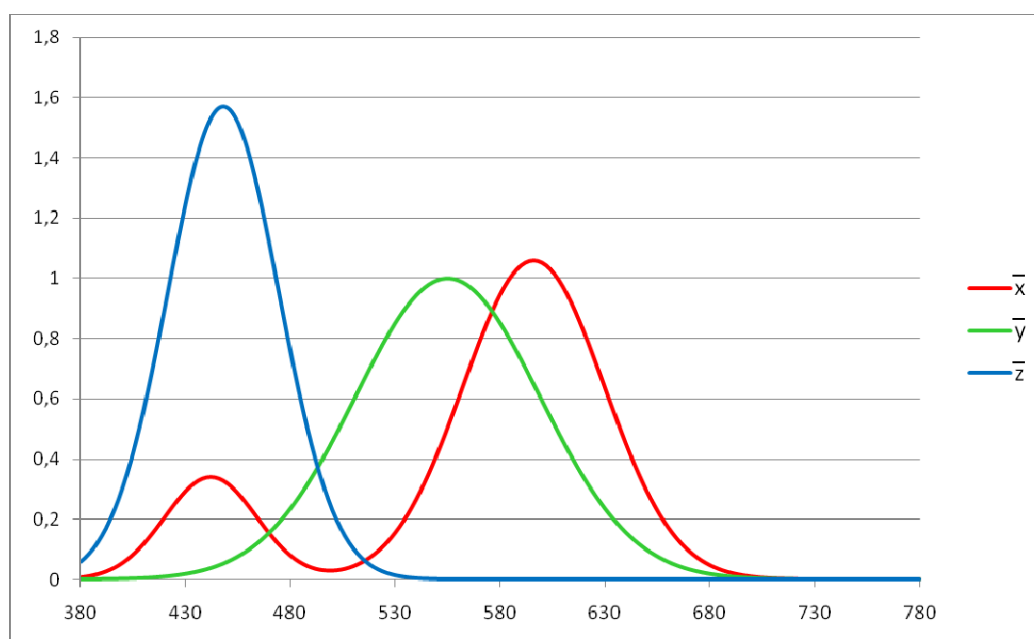
Spalvų atitaikymo funkcijos (ang. Colour matching functions -CMF) – tai santykiniai x, y ir z intensyvumai, kurių reikia, norint atitaikyti monochromatinio  $\lambda$  bangos ilgio šaltinio (pastovios energijos) spalvą.

RGB sistemos spalvų atitaikymo funkcijos pavaizduotos 2.6. pav. paveikslėlyje.



2.6. pav. CIE 1931 RGB spalvų atitaikymo funkcijos [26]

Kaip matome iš grafiko raudonos spalvos funkcija  $\bar{r}(\lambda)$  įgyja neigiamas reikšmes nuo 430 nm iki 550 nm bangų ilgių diapazone. Neigiamos reikšmės pasunkina skaičiavimus spalvai išskirti, todėl tarptautinė apšvietimo komisija (TAK) sukūrė naujas spalvų atitaikymo funkcijas (ang. CMF)  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ . Šios funkcijos skaičiavimams yra patogesnės, nes visame matomos šviesos bangų diapazone (380-780 nm) įgyja teigiamas reikšmes (2.7. pav.).



2.7. pav. XYZ spalvų atitaikymo funkcijos

## 2.6. Spalvų erdvės

Spalvų erdvės būna dvimatės ir trimatės.

Patogumo dėlei, spalvų atitaikymo duomenys išreiškiamos ne spalvų atitaikymo funkcijų CMF koeficientais, bet spalvinėmis koordinatėmis.

Kadangi CMF gali būti daug variantų, tai daug yra ir erdvių, kurių bazinės funkcijos (CMF) yra tiek realios, tiek menamos spalvos.

### 2.6.1. Trimatė RGB spalvų erdvė

Koordinatinių sistema aprašoma, panaudojant  $r$ ,  $g$  ir  $b$  funkcijas.

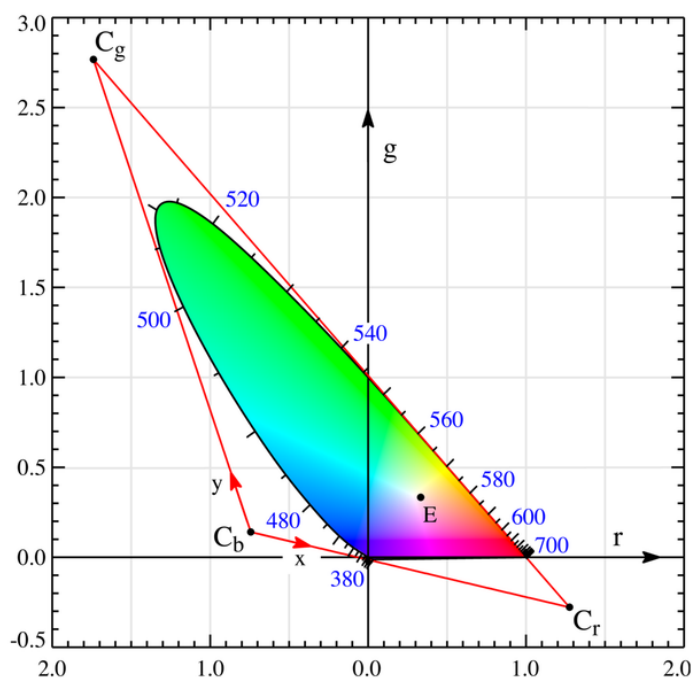
$$\begin{aligned} r(\lambda) &= \frac{\bar{r}(\lambda)}{\bar{r}(\lambda) + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)}; \\ g(\lambda) &= \frac{\bar{g}(\lambda)}{\bar{r}(\lambda) + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)}; \\ b(\lambda) &= \frac{\bar{b}(\lambda)}{\bar{r}(\lambda) + \bar{g}(\lambda) + \bar{b}(\lambda)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Baltoji spalva gaunama tada, kai vienetinių spalvų skaisčių santykis yra:

$$R : G : B = 1 : 4,5907 : 0,0601.$$

### 2.6.2. Dvimatė RGB spalvų erdvė

Ši erdvė braižoma  $xy$  plokštumoje, kadangi yra žinoma, kad  $r(\lambda) + g(\lambda) + b(\lambda) = 1$ . Kitaip sakant žinant  $r$  ir  $g$  reikšmes  $b$  reikšmę galime apskaičiuoti.



2.8. pav. CIE 1931 RGB chromatinė diagrama  $xy$  plokštumoje [26]

E – tai baltos šviesos taškas, parinkus atitinkamas r, g, b reikšmes jis bus lygus  $r=g=b=1/3$ .

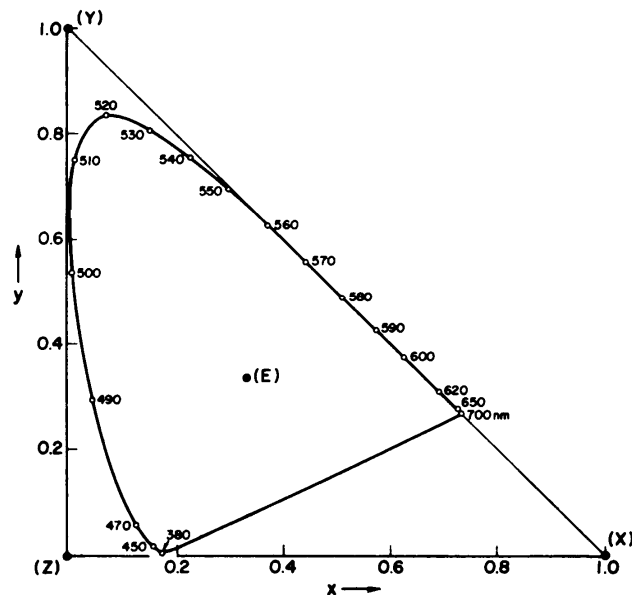
Tačiau tokia spalvų erdvė turi didelį trūkumą - matuojant spalvą koordinatės gali būti neigiamos. Iš to išplaukia, kad RGB sistemoje ne visas realiųjų spalvas galima sukurti maišant tris pagrindines spalvas.

Neigiamos realiųjų spalvų koordinatės yra nepatogios daugelyje skaičiavimų, todėl

1931 m. tarptautinė apšvietimo komisija (TAK) patvirtino kitą standartinę spalvų nustatymo sistemą XYZ, kurioje spalvos trikampis yra stačiakampis.

### 2.6.3. XYZ spalvų erdvė

Pagrindinės spalvos X, Y, Z parinktos taip, kad visas realiųjų spalvų laukas būtų šio trikampio viduje (2.9. pav.). Tada X, Y, Z spalvos yra už RGB sistemos grynųjų spalvų linijos ribų, t. y. jos yra nereališios. Tiesioginiais matavimais spalvos koordinatė XYZ sistemoje gauti negalima. Jos nustatomos perskaičiuojant duomenis, gautus pagal pagrindines prietaiso spalvas.



2.9. pav. XYZ chromatinė diagrama xy plokštumoje

XYZ spalvų erdvės pagrindiniai reikalavimai:

- Visos spalvų atitaikymo funkcijomis CMF turi būti didesnės už nulį visiems bangų ilgiams;
- funkcija  $y(\lambda)$  turi atitikti akies fotopinį jautrį;
- Baltas taškas turi atitikti spalvinę temperatūrą lygią 5400K, kurios koordinatės yra  $x=y=z=1/3$ .

Sąryšis tarp vienetinių XYZ sistemos ir RGB sistemos spalvų išreiškiama (3) lygtimi.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,1956 & 2,4478 & -0,1434 \\ -2,5455 & 7,0492 & 0,9963 \\ 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Spalvos lygtis XYZ sistemoje (4) užrašoma taip:

$$S = \bar{X} X + \bar{Y} Y + \bar{Z} Z \quad (4)$$

Spalvos koordinatės XYZ sistemoje nusakomos analogiškai kaip ir RGB sistemoje (5).

$$x = \frac{\bar{X}}{\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z}}; y = \frac{\bar{Y}}{\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z}}; z = \frac{\bar{Z}}{\bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z}}. \quad (5)$$

Žinant chromatinės spalvos koordinatės spinduliuotės spalvą galima nusakyti kiekybiškai ir kokybiškai.

Kiekybinė spalvos charakteristika yra skaitis, kuris lygus spalvos koordinačių  $\bar{R}$   $\bar{G}$   $\bar{B}$  arba  $\bar{X}$   $\bar{Y}$   $\bar{Z}$  sumai. Spalvos kokybė nusakoma jos trispalviais koeficientais r, g, b (arba x, y, z), tai yra tuo santykiu, kuriuo reikia sumaišyti tris pagrindines spalvas R, G, B (arba X, Y, Z), kad mišinio spalvos kokybė būtų tokia, kaip nagrinėjamosios spalvos.

Tačiau trispalviai koeficientai nėra vieninteliai spalvos kokybę nusakantieji parametrai. Dar yra metodas, kuriame naudojami du dydžiai – atspalvis ir spalvos grynumas.

#### 2.6.4. CIE Lab spalvų erdvė

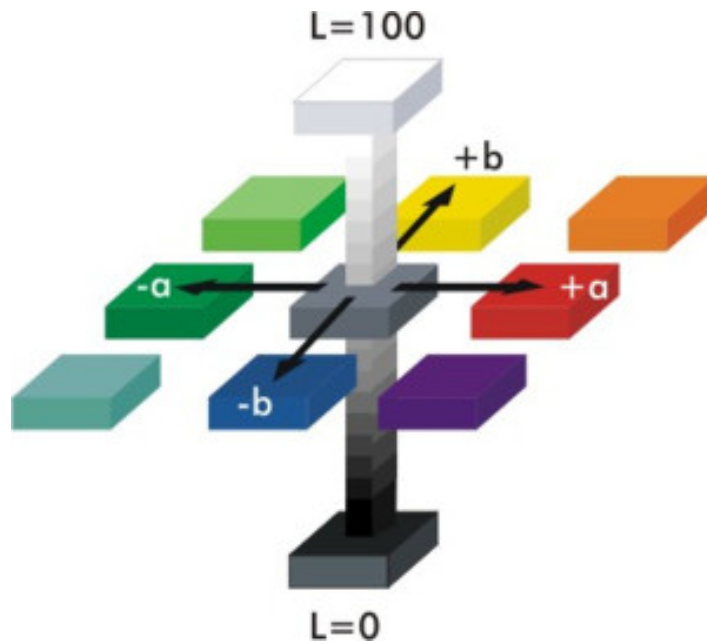
XYZ erdvėje spalvų skirtumai yra šiek tiek netolygūs. T.y., skirtingose koordinatėse vienodi atstumai sukelia nevienodus pojūčio skirtumus.

1976 CIE įvedė CIE Lab spalvų erdvę. Joje atstumas chromatiškumo diagramoje iš esmės atitinka juslinį pokytį tarp spalvų.

CIE Lab spalvos erdvės ypatumai:

- Erdvė yra trimatė, t.y.  $L+a+b \neq 1$ .
- L – šviesumas (0 – juoda, 100 – balta);

- a –padėtis tarp purpurinės ir žalios (neigiamas a – žaliau, o teigiamas – purpuriškiau);
- b –padėtis tarp mėlynos ir geltonos (neigiamas – mėlyna, o teigiamas – geltona);



2.10. pav. CIE Lab spalvų erdvė [27]

CIE Lab yra tarpinė (ang. intermediary) spalvų erdvė, kurios pagalba ICC spalvų profiliai (ang. ICC Profiles) ir CMM spalvų perskaičiavimo programinė įranga (ang. Color Matching Method) gali tiksliai perskaičiuoti spalvas tarp skirtingų įrenginių. Pavyzdžiui, monitoriuje rodomas spalvas (RGB) spalvų erdvėje pirmiausiai perskaičiuoja į Lab, paskui iš Lab perskaičiuoja į spausdintuvo spalvų erdvę CMYK, ir tiksliai tokias pat atspausdina spausdintuvu. [27]

Ryšys tarp CIE XYZ ir CIE Lab spalvų erdvių išreiškiamas (6) formule.

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116f(Y/Y_n) - 16 \\
 a^* &= 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\
 b^* &= 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] ,
 \end{aligned} \tag{6}$$

kur

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{jei } t > (\frac{6}{29})^3 \\ \frac{1}{3} (\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29} & \text{kitais atvejais} \end{cases} ,$$

čia  $X_n, Y_n, Z_n$  – trijų stimulų vertės baltam taškui.

### III. VALDOMO RGBY APŠVIETIMO SISTEMOS MODELIO TYRIMAS

#### 3.1. RGBY šviestuvo projektiniai sprendiniai

Visų pirma norint tyrinėti apšvietimo kokybę ir išmanųjį jos valdymą buvo būtinybė suprojektuoti ir sukonstruoti RGBY LED šviestuvą, kuris ir būtų pagrindinis tyrinėjimo objektas. Valdomas RGBY šviestuvas pavaizduotas 10 pav. susideda iš penkių RGB (raudono – žalio - mėlyno) ir iš keturių Y (geltono) spalvų šviesos diodų, kurių kiekvieno galingumas siekia 3W. Taigi bendras maksimalus valdomo RGBY šviestuvo galingumas yra 27 W.

Taip pat šviesos diodams svarbus maitinimas, nuo kurio kokybės priklauso jų tarnavimo laikas ir skleidžiamos šviesos kokybė. Šviestuvo maitinimo blokas buvo kuriamas ir konstruojamas atsižvelgiant į šviesos diodų maitinimo reikalavimus.

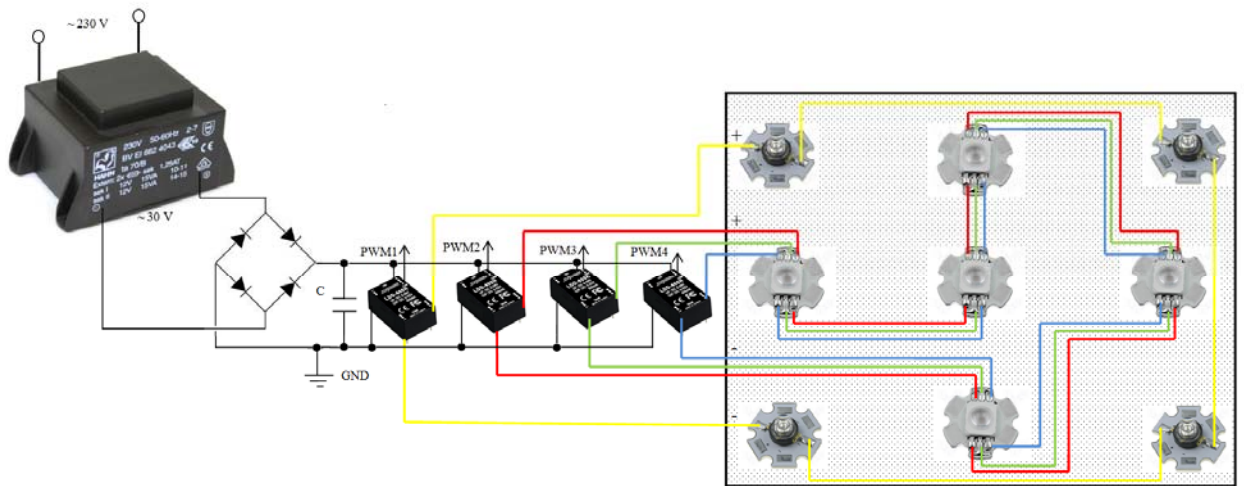
Apskaičiavus šviestuvo galią buvo parinktas įtampos transformatorius 230/12 V, kurio galia siekia 30 VA. Jo paskirtis maitinti visą valdomo RGBY šviestuvo sistemą. Transformatoriaus antrinių apvijų įtampa yra išlyginama per diodų tiltelį. Prie išlygintos įtampos prijungiami srovės stabilizatoriai.

Kadangi šviesos diodai yra sroviniai įtaisai jiems labai svarbu palaikyti pastovią per juos tekančią srovę. Šią funkciją puikiai vykdo srovės stabilizatoriai, kurie palaiko stabilią srovę išėjime.

Norint keisti sukonstruoto šviestuvo skleidžiamos šviesos intensyvumą sumontuoti srovės stabilizatoriai kiekvienai šviesos diodo spalvai. RGB spalvos šviesos diodams - LDD-350H tipo srovės stabilizatoriai (palaiko stabilią 0,35 (A) srovę), o Y spalvos šviesos diodams - LDD-1000H tipo srovės stabilizatoriai (palaiko stabilią 1,0 (A) srovę). Šie srovės stabilizatoriai turi galimybę valdyti išduodamą stabilizuotą srovę impulso pločio moduliacija IPM (ang. PWM). Šią impulsų pločio moduliaciją puikiai gali atlikti ATMEGA32 mikrovaldiklis. Parašius C++ kalba impulso pločio moduliacijos programą (2 Priedas) ir ją sukompiliavus ir įrašius į mikrovaldiklį, impulsai yra generuojami ir siunčiami iš mikrovaldiklio per uostą A (ang. PORTA) į srovės stabilizatoriaus IPM įėjimą.

Visi penki RGB spalvos šviesos diodai (ang. LED) yra sujungti į nuoseklią grandinę ir yra maitinami per srovės stabilizatorius, kurie priklausomai nuo šviesos diodų skaičiaus išduoda reikiamą įtampą.

Tačiau patyrinėjus diodinio tiltelio išduodamą išlygintą įtampą paaiškėjo, kad jų išduodama nuolatinė įtampa pulsuoja. Taigi pulsacijoms sumažinti buvo parinktas elektrolitinis kondensatorius kurio talpa yra 4700uF, jis veikia kaip filtras ir sumažina pulsacijas iki 1,2 V. To pasekoje švytavimai sumažėjo ir šviesos diodų maitinimo įtampos kokybė pagerėjo.



3.1. pav. RGBY šviestuvo supaprastinta struktūrinė schema

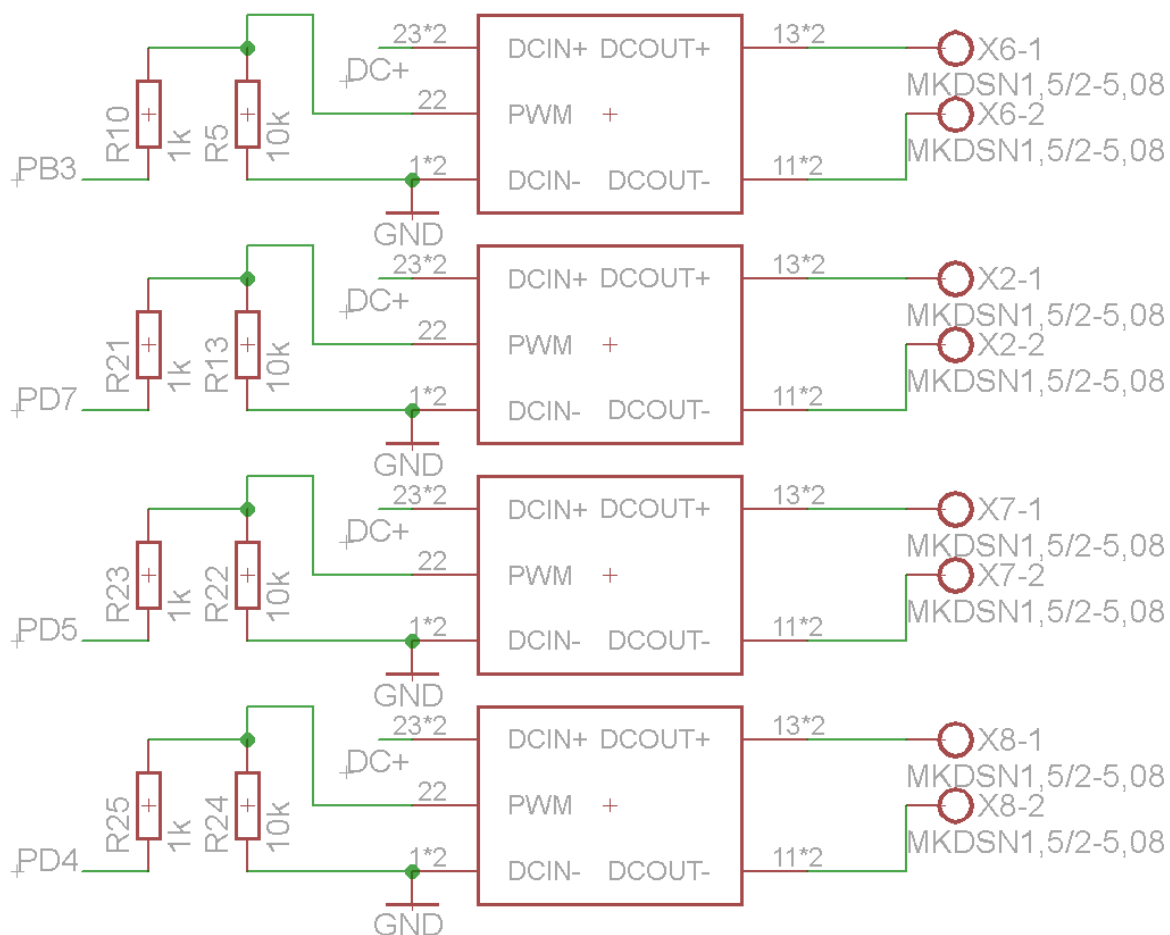
Sukonstruotas šviestuvas ir jo maitinimo bei valdymo blokai pavaizduoti 3.2. pav.



3.2. pav. Sukonstruoto RGBY šviestuvo ir jo maitinimo, išmaniojo valdymo ir grįžtamojo ryšio blokai.  
 (1 – RGBY šviestuvai; 2 – RGBY šviestuvo maitinimo blokas; 3 – Išmaniojo valdymo blokas; 4- Spalvos jutiklis.)

### 3.2. RGBY šviestuvo šviesos srauto intensyvumo valdymo grandis

Norint reguliuoti RGBY šviestuvo kiekvienos spalvos šviesos intensyvumą pasirinkti LDD-350H ir LDD-1000H tipo srovės reguliatoriai, kurie valdomi impulso pločio moduliacijos pagalba. Šiems reguliatoriams suprojektuota valdymo grandies schema (3.3. pav.).



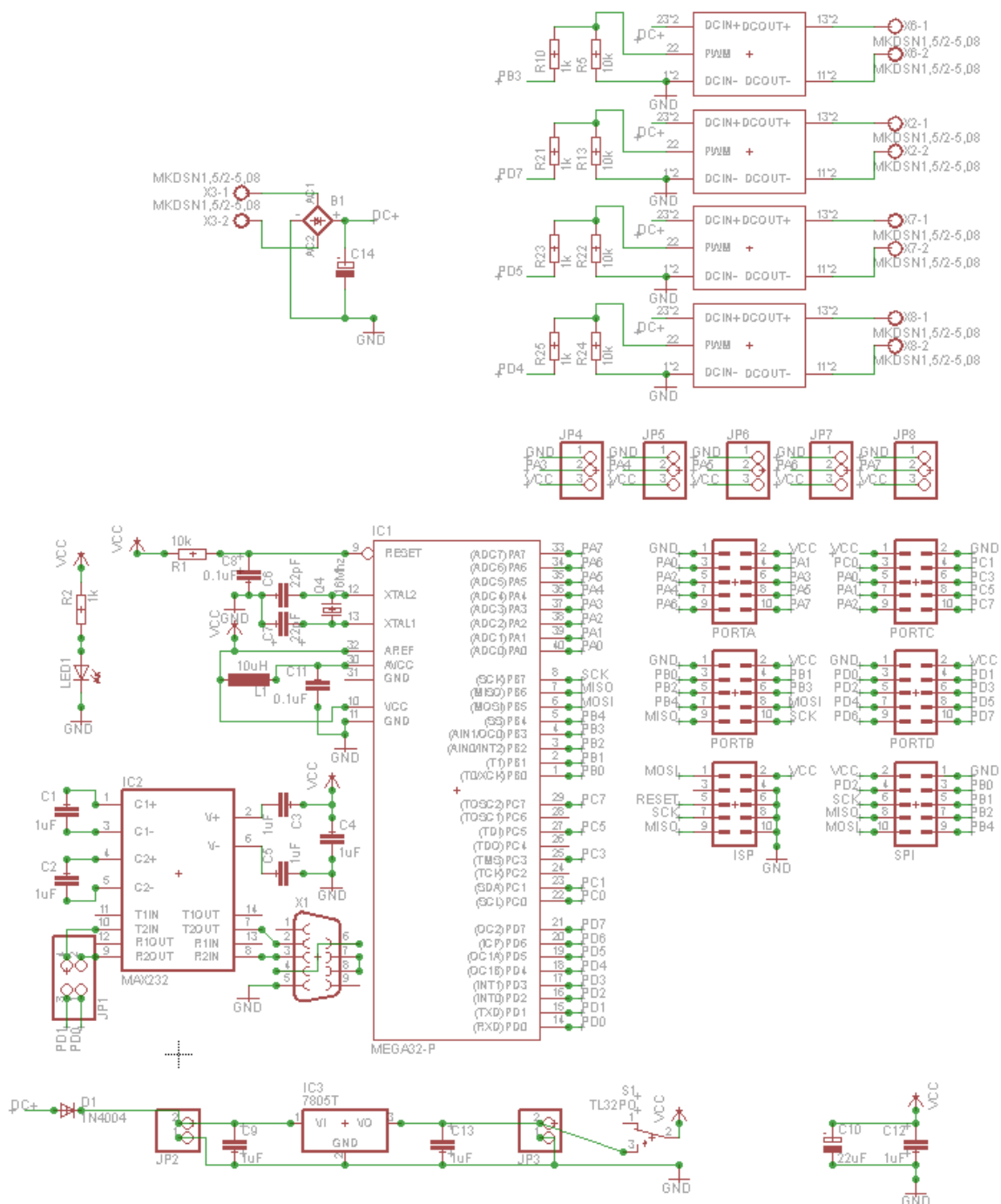
3.3. pav. Srovės reguliatorių valdymo grandies principinė schema

Srovės stabilizatoriaus valdymo signalai paduodami per mikrovaldiklio atitinkamas kojas – PB3, PD7, PD5, PD4. Varžos R10, R5, R21, R13, R23, R22, R25, R24 panaudotos tam, kad išjungus PWM signalus išduodamus iš mikrovaldiklio, srovės stabilizatorius neišduotų išėjime srovės. Kuri nors ir yra minimali, bet šviesos diodams įžiebti yra pakankama. Kitaip sakant PWM įėjimai per varžą yra įžeminami (ang. pull down resistor).



### 3.4. Bendra RGBY šviestuvo valdymo ir kokybės tyrimo schema

Bendra šviestuvo valdymo ir tyrimo schema pavaizduota 3.5. pav. Pagrindą sudaro mikrovaldiklis – ATMEGA32, kuris atlieka šviestuvo valdymo (generuoja PWM signalus), kokybės matavimo, signalų priėmimo ir persiuntimo į personalinį kompiuterį funkcijas.



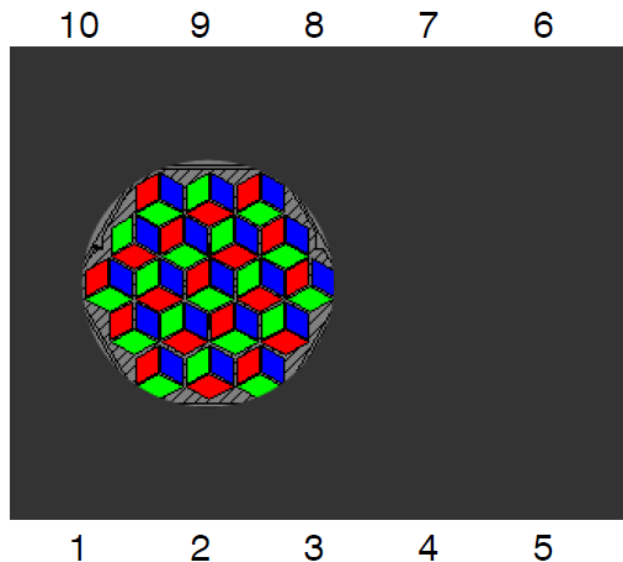
3.5. pav. RGBY šviestuvo bendra valdymo schema

Pagal šią principinę schemą sukurta montažinė PCB plokštė, kuri surinkta ir sumontuota ant RGBY šviestuvo pagrindo.

### 3.5. Spalvos jutiklio sąsaja su mikrovaldikliu

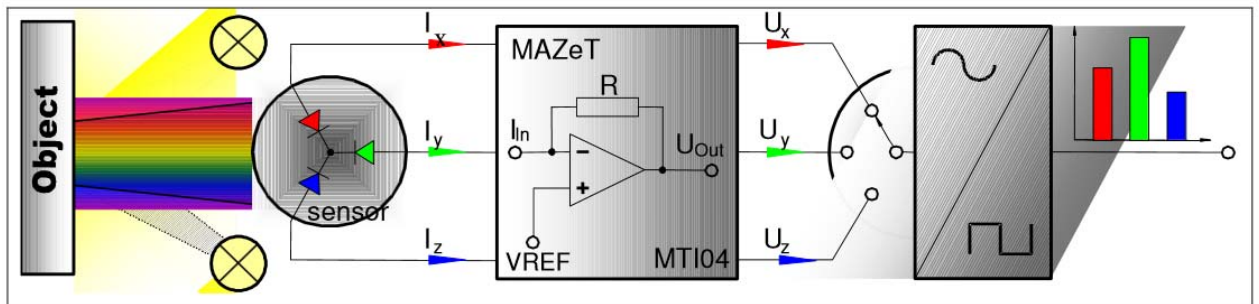
Tikros spalvos jutiklis (ang. True Color sensor) MTCS-TIAM2 pagamintas iš 57 foto-diodų (kiekvienai RGB spalvai po 19), kurie turi dielektrinį spektrinį filtrą vadinamu – tikros spalvos filtru. [17]

Foto-diodai yra integruoti mikroschemoje ir išdėstyti šešiakampės struktūros matricoje (3.6. pav.).



3.6. pav. Foto diodų išsidėstymas [17]

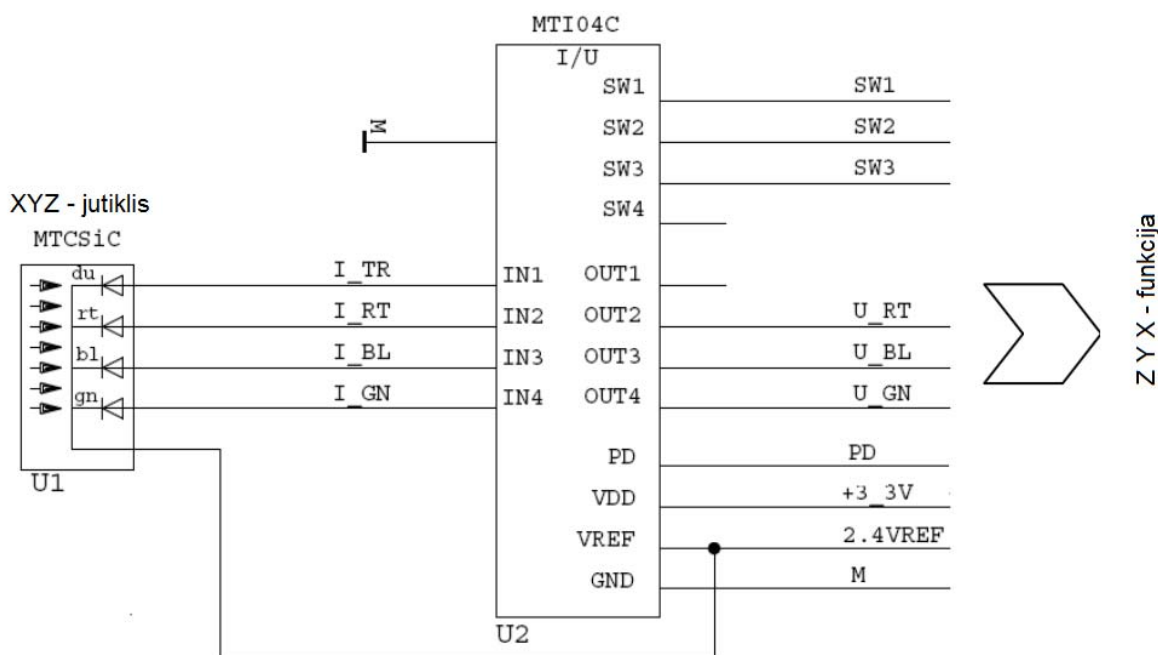
Priklausomai nuo šviestuvo skleidžiamos šviesos atspalvio kiekvienas foto-diodas RGB filtrų pagalba reaguoja tik į atitinkamos bangos ilgio šviesą. Tokiu būdu atitinkamai yra sugeneruojamos srovės  $I_x$ ,  $I_y$  ir  $I_z$ . Šios srovės keitiklio (MAZeT) pagalba paverčiamos atitinkamomis įtampomis, kurias mikrovaldiklis ATMEGA32 gali nuskaityti. Esant reikalui keitiklis gali sustipinti išėjimo signalus iki 50 kartų. Funkcinė apšvietimo kokybės matavimo schema pateikiama 3.7. pav..



3.7. pav. Funkcinė apšvietimo kokybės matavimo schema [17]

Mikrovaldiklio ATMEGA32 analoginiai kanalai (ADC) geba pamatuoti analoginius signalus nuo 0 iki 5V. Norint pamatuoti spalvos jutiklio išduodamus tristimulus funkcijos signalus (VOUT(X), VOUT(Y), VOUT(Z)) jie prijungiami atitinkamai prie mikrovaldiklio ATMEGA32 PORTA išvadų – ADC0, ADC1, ADC2.

Spalvos jutiklis TIAM2 turi integruotą srovės-įtampos keitiklį su signalų sustiprinimo funkcija – MTI04C, kurio pagalba galime sustiprinti visus tris foto-diodų išduodamus signalus. Keitiklio – stiprintuvo schema pateikiama 3.8. pav..



3.8. pav. Integruoto operacinio stiprintuvo schema [17]

Stiprinimo koeficientas parenkamas atitinkama kombinacija paduodant diskretinius signalus į SW1, SW2, SW3.

### 3.6. Mikrovaldiklio programavimas duomenims nuskaityti

ATMEGA32 yra 8 bitų mažos galios mikrovaldiklis, sukurtas pagal AVR RISC architektūrą, dirbantis 16Mhz dažniu, turintis 32 programuojamus įvadus/išvadus. Darbinė valdiklio įtampa 4,5-5,5V, srovė – 3,6mA darbo metu ir 1,0mA laukimo režime.

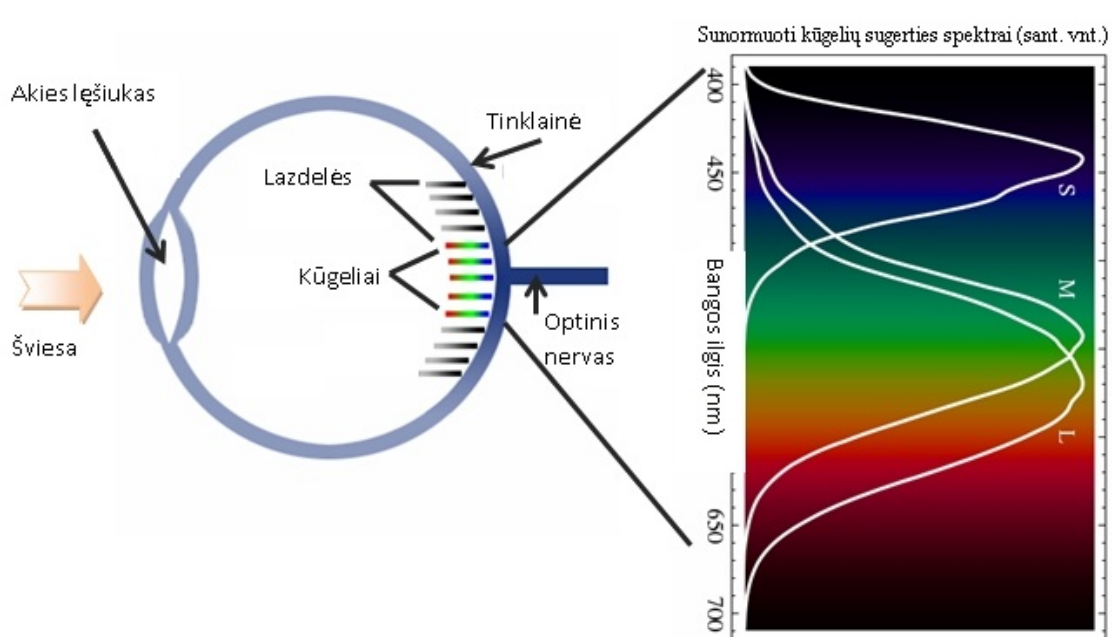
Spalvos jutiklio išduodami signalai nuskaityti ir atvaizduojami panaudojant „Atmega oscilografas“ programinę įrangą. Mikrovaldiklio programinė įrangą „Atmega oscilografas“ [18] parašyta nemokama programavimo aplinka „AVR Studio 4“ ir sukompiliuota (programa paversta į mašininį kodą, tokia byla turi „hex“ priedą) nemokamu kompiliatoriumi „AVR GCC“.

Kompiuterinė programinė įrangą parašyta „Delphi 7“ programavimo aplinkoje, o duomenų saugojimui naudojama nemokama „Firebird“ duomenų bazė. Duomenų analizei naudojama

nemokamas programinės įrangos paketas „R“. Mikrovaldiklio programinė įranga atsakinga už duomenų nuskaitymą realiu laiku, jų filtravimą ir perdavimą kompiuteriui per RS232 sąsają. Kiekvienas ADC kanalas gali būti nuskaitymas skirtingais greičiais nuo vienos nuoskaitos per sekundę iki 1000 nuoskaitų per vieną sekundę.

### 3.7. Kaip žmogaus akis atpažįsta spalvas

Spalva yra vaizdinio jutimo ir suvokimo dalis. Regėti mums padeda skaidrūs akies lęšiukas bei stiklakūnis, praleidžiantys tokio bangos ilgio šviesą, kokią sugeria tinklainėje esantys „šviesos jutikliai“ – fotoreceptoriai. Fotoreceptorių yra dviejų rūšių – kūgeliai ir lazdelės, pavadintus pagal jų formą. Lazdelės yra labai jautrios, todėl jomis mes matome naktį, priedandoje. Tačiau tokiomis sąlygomis beveik neskiriame spalvų tonų. Spalvas skirti padeda trijų rūšių kūgeliai, kiekvienas iš jų reaguoja į skirtingo ilgio šviesos bangų energiją. 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 paveiksle. Šios kreivės vadinamos tristimulus, nes visos kitos spalvos yra šių trijų jutiklių reakcijų rezultatas. [28]

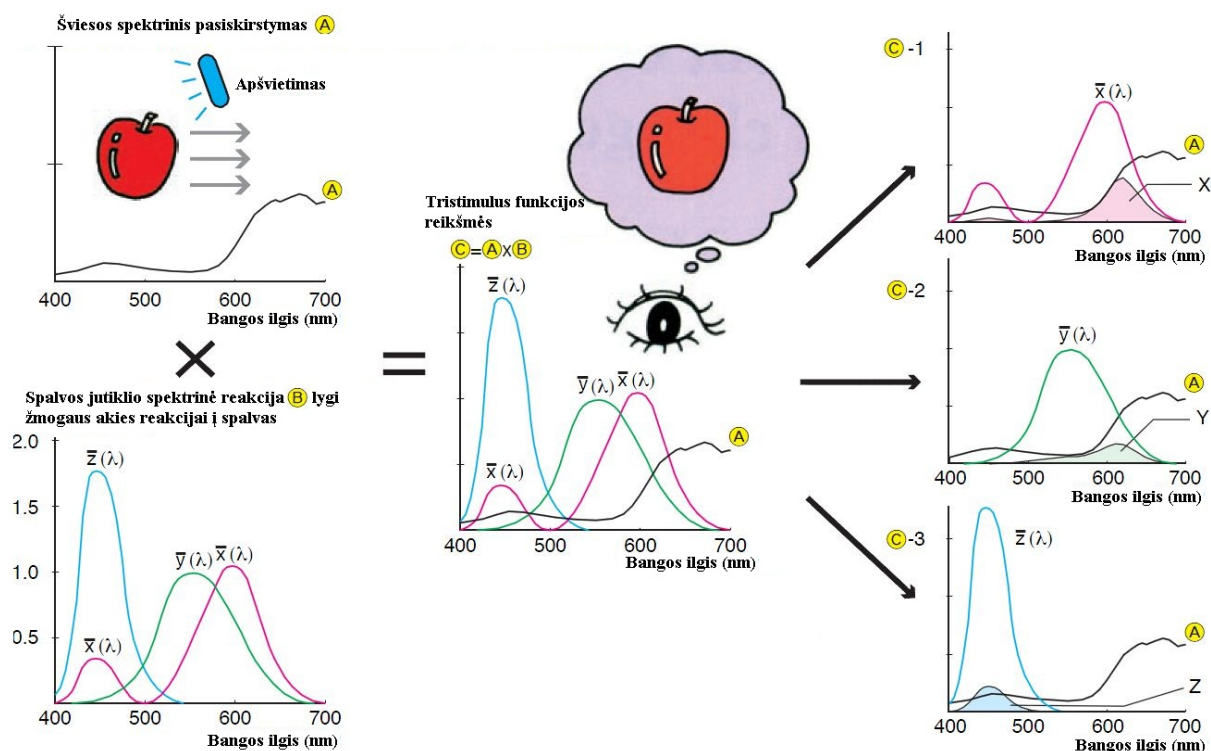


3.9. pav. Akies kūgelių reakcija į šviesą [28]

Akies kūgeliai reaguoja taip pat, kaip ir kuriant ryškumo vertes kiekvienai raudonos, žalios, mėlynos spalvos bangai. Tai žmogaus regos suvokimo modelis.

### 3.8. Spalvos jutiklio veikimo principas

Spalvos jutiklio veikimo principas paremtas žmogaus akies spalvų suvokimo principu, kaip parodyta 3.10. pav.



3.10. pav. Spalvos jutiklio veikimo principas [29]

Veikimo principas paremtas šviesos šaltinio spektriniu pasiskirstymo A ir spalvas atitinkančių funkcijų B sandauga.

Spalvų atitaikymo funkcijos  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  atitinka žmogaus akies spektrinę reakciją į elektromagnetines bangas ir yra patvirtintos tarptautinės apšvietimo komisijos (CIE 1931). Šias funkcijas spalvos jutiklyje realizuoja tikros spalvos filtrai.

Funkcija -  $\bar{x}(\lambda) = (1,06)e^{-\left(\frac{\lambda-596}{47,6}\right)^2} + (0,34)e^{-\left(\frac{\lambda-442}{31,1}\right)^2}$  reaguoja į raudonos bangos ilgio diapazoną.

Funkcija -  $\bar{y}(\lambda) = e^{-\left(\frac{\lambda-555}{62,3}\right)^2}$  reaguoja į žalios bangos ilgio diapazoną.

Funkcija -  $\bar{z}(\lambda) = (1,57)e^{-\left(\frac{\lambda-448}{37,5}\right)^2}$  reaguoja į mėlynos bangos ilgio diapazoną.

Priklausomai nuo apšvietimo spektrinio pasiskirstymo kiekvienas tikros spalvos filtras sureaguoja į jų bangos ilgius atitinkančias elektromagnetines bangas. Taip gaunamos trijų pirminių

spalvų tristimulus funkcijų reikšmės XYZ, kurios lygios atitinkama spalva nuspalvintiems plotams (3.10. pav. c).

Turint XYZ reikšmes galime analizuoti sistemos kokybinius parametrus.

Y – nusako apšvietimo intensyvumą, o iš XYZ verčių pagal formules:

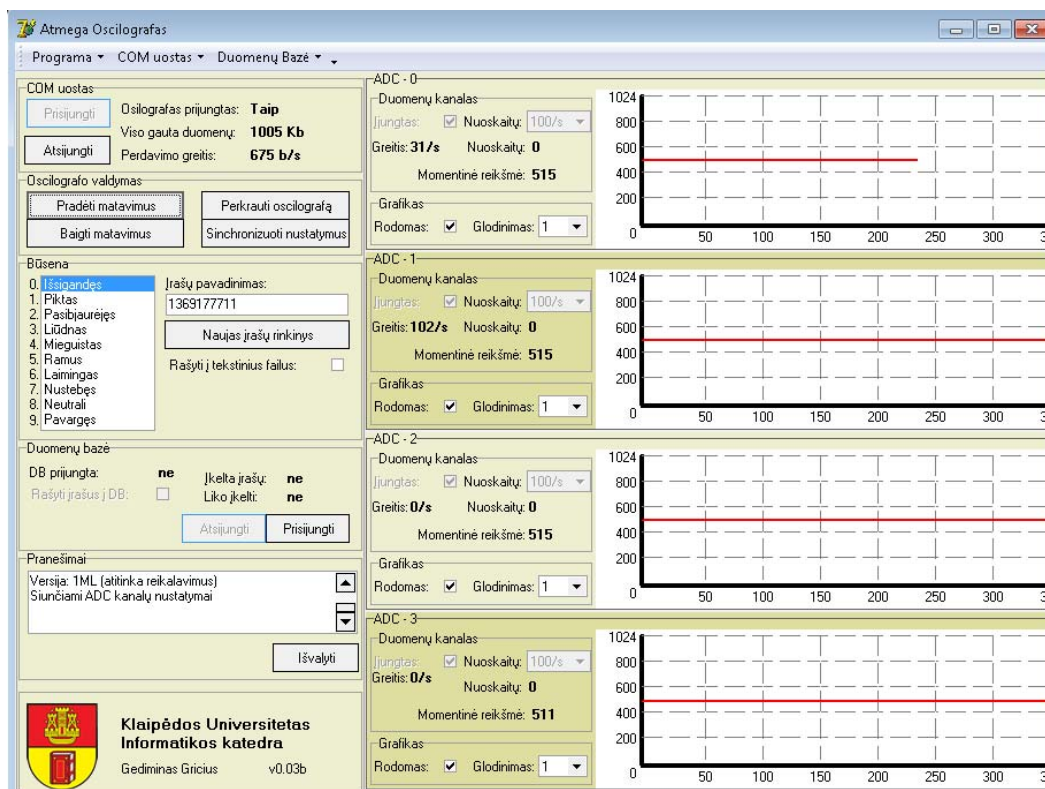
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; y = \frac{Y}{X+Y+Z}; z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \quad (7)$$

apskaičiuojame x ir y chromatinės šviesos koordinates. Pagal šias koordinates nustatome šviestuvo skleidžiamos šviesos atspalvį (2.1 pav.). Turint šiuos pagrindinius apšvietimo sistemos parametrus galime daryti išvadas apie skleidžiamos šviesos kokybinius parametrus ir jų atitikimą apšvietimo reikalavimams.

### 3.9. Matavimų duomenys

Matavimus atliekame panaudojant „Atmega oscilografas“ programinę įrangą. Pirmiausiai matavimus atliekame visiškoje tamsoje, kad žinotume atskaitos tašką.

Gauti rezultatai sekančiame paveikslėlyje.



3.11. pav. „Atmega oscilografas“ programos langas ir matavimo rezultatai gauti matuojant tamsoje

Pirmas grafikas ADC0 matuoja spalvos jutiklio išduodamą tristimulus funkcijos reikšmę Y, antras grafikas ADC1 – Z reikšmę, trečias grafikas ADC2 – X reikšmę, o ketvirtas grafikas ADC3 matuoja srovę.

Kaip matome iš nuskaitytų duomenų visi signalai yra pastovūs ir lygus apytiksliai 512 skaitmeninei įtampos reikšmei.

Signalų skaitmeninės reikšmės paverčiamos į jas atitinkančias įtampos reikšmes pagal sekančią formulę.

$$U_{ADC} = \frac{U_{atram.} \cdot ADC_{reikšm.}}{2^{ADC_{raišk.}}} (V), \quad (8)$$

čia

$U_{ADC}$  – ADC skaitmeninį signalą atitinkanti įtampa (V);

$U_{atram.}$  – atraminė ADC įtampa (V);

$ADC_{reikšm.}$  – ADC reikšmė;

$2^{ADC_{raiška}}$  – maksimali nuoskaitytų reikšmė, priklausanti nuo analoginio-skaitmeninio keitiklio raiškos.

Mikrovaldiklis Atmega32 turi 10 bitų analoginį – skaitmeninį keitiklį, papildžius formulę šia reikšme  $U_{ADC}$  įtampos skaičiavimo formulė lygi:

$$U_{ADC} = \frac{U_{atram.} \cdot ADC_{reikšm.}}{2^{10}} = \frac{U_{atram.} \cdot ADC_{reikšm.}}{1024} (V). \quad (9)$$

Paskaičiuojame atskaitos tašką atitinkančią įtampą:

$$U_{atsk.} = \frac{U_{atram.} \cdot ADC_{reikšm.}}{2^{10}} = \frac{5 \cdot 515}{1024} \approx 2,5 (V). \quad (10)$$

Norint sužinoti tikrąją matavimo prietaiso išduodamą reikšmę paskaičiuojame skirtumą tarp atskaitos taško įtampos  $U_{atsk.}$  ir ADC įtampos  $U_{ADC}$ .

$$U_{išėj.} = U_{atsk.} - U_{ADC} (V) \quad (11)$$

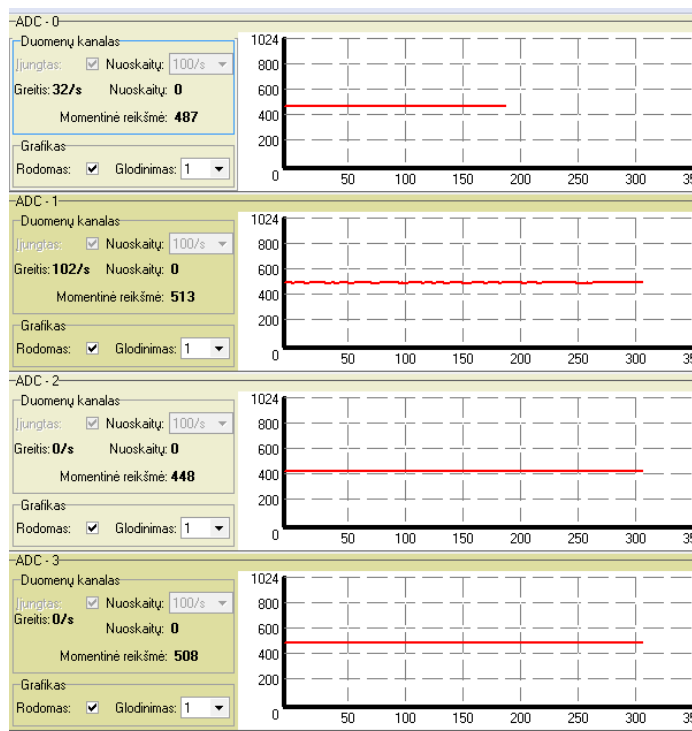
Matavimų duomenys atitinkantys 3.11 pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Matavimo duomenys gauti matuojant tamsoje

Parametrai	$ADC_{reikšmė}$	$U_{ADC}$	$U_{atsk.}$	$U_{išėj.}$
Y	515	2,5	2,5	0,0
Z	515	2,5	2,5	0,0
X	515	2,5	2,5	0,0
I	511	2,5	2,5	0,0

Matavimus atliekame kiekvienai RGBY spalvai atskirai, kad įsitikintume, kad spalvos jutiklis geba atpažinti šviesos atspalvį. Atstumas tarp RGBY šviestuvo ir spalvos jutiklio yra 50 cm, ir yra išlaikomas pastovus visiems matavimams.

Matuojant raudonos spalvos šviesos diodo atspalvį, intensyvumą ir srovę „Atmega oscilografas“ programa gauti rezultatai.



3.12. pav. Matavimo rezultatai gauti matuojant raudonos spalvos šviesos diodą.

Srovei matuoti naudojamas srovės daviklis veikiantis halo efekto principu, kuriuo tekédama elektros srovė magnetiniame lauke generuoja įtampą proporcingą srovei.

Matavimams parinktas halo srovės daviklis geba pamatuoti nuolatinę ir kintamą srovę diapazone nuo -5 iki +5 A. Matavimo jautrumas yra 185 mV/A. Srovės daviklio atskaitos taško įtampa yra lygi 2,5 V.

Išveskime srovės skaičiavimo formulę:

Žinoma, kad

$$U_{ADC.} = U_{atsk.} - 0,185 \cdot I \text{ (V)}; \quad (12)$$

Įstačius 12 išraišką į 11 formulę:  $U_{išėj.} = |-0,185 \cdot I| \text{ (V)}$ ;

Tada srovės apskaičiavimo formulė bus:

$$I = \frac{U_{išėj.}}{0,185} \text{ (A)}.$$

Matavimų duomenys atitinkantys 3.12. pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Raudonos spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	487	2,378	2,500	0,122	-	33,280	3,514
Z	513	2,500	2,500	0,000	-		
X	448	2,188	2,500	0,312	-		
I	508	2,480	2,500	0,020	0,106		

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatas XYZ spalvų erdvės xy koordinatų sistemoje:

$$x = \frac{0,312}{0,312 + 0,122 + 0,000} = 0,719;$$

$$y = \frac{0,122}{0,312 + 0,122 + 0,000} = 0,281.$$

*Apšvietimo intensyvumo skaičiavimas.*

Skaičiavimams reikalingi duomenys paimti iš spalvos jutiklio techninių specifikacijų, kuriuos pateikia gamintojas.

Šviesos srauto intensyvumai prie maksimalių  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  funkcijų reikšmių ir atitinkamo bangos ilgio pateikiami 3 lentelėje. [17]

3 lentelė. Spalvos jutiklio apšvietimo intensyvumai

Parametras	Bangos ilgis $\lambda$ , (nm)	Šviesos srauto intensyvumas S, mV/( $\mu$ W/cm <sup>2</sup> )
Z	445	34,9
Y	555	50,1
X	600	53,2

Iš pateiktų duomenų apskaičiuojame maksimalų intensyvumą, kurį gali pamatuoti mikrovaldiklis, matuojant parametą Y.

$$S_{\max} = \frac{U_{\max}}{S} = \frac{2500}{50,1} = 49,9 \text{ } (\mu\text{W} / \text{cm}^2),$$

arba

$$S_{\max} = 0,499 \text{ } (\text{W} / \text{m}^2).$$

Šis dydis aprašo apšviestą paviršių: tai į paviršiaus ploto elementą krentantis šviesos srautas.

Kadangi  $S_{max}$  yra išreikštas radiometriniams matavimo vienetais, o norint gauti apšvietimo dydžius fotometriniams matavimo vienetais atliekame sekančius veiksmus.

Sąryšis tarp radiometrinių ir fotometrinių dydžių išreiškiamas pagal žemiau esančią formulę.

$$1 W = 683 lm \text{ (prie } 555 \text{ nm)} \quad (13)$$

Taigi 1 W atitinka 683 lm prie bangos ilgio 555 nm, kaip ir parametras Y.

Įvertinus šį sąryšį išreiškiame apšvietimo intensyvumo matavimo formulę fotometriniams matavimo vienetais.

$$S_{max} = 0,499 \cdot 683 (lm / m^2) = 341 (lm / m^2) \quad (14)$$

Fotometrijoje žinoma, kad  $lux = lm/m^2$ , tai spalvos jutiklis maksimaliai geba pamatuoti 341 lx apšvietimo intensyvumo lygį.

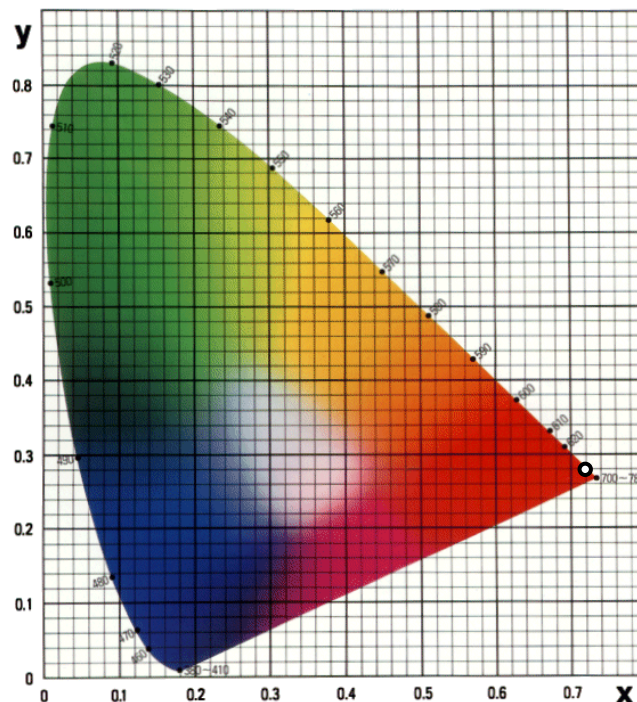
Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 2 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{išėj.} \cdot 10^3}{S} \cdot 0,01 = \frac{0,122 \cdot 10^3}{50,1} \cdot 0,01 = 0,0244 (W / m^2);$$

arba

$$Y = 0,0244 \cdot 683 = 16,67 (lm / m^2).$$

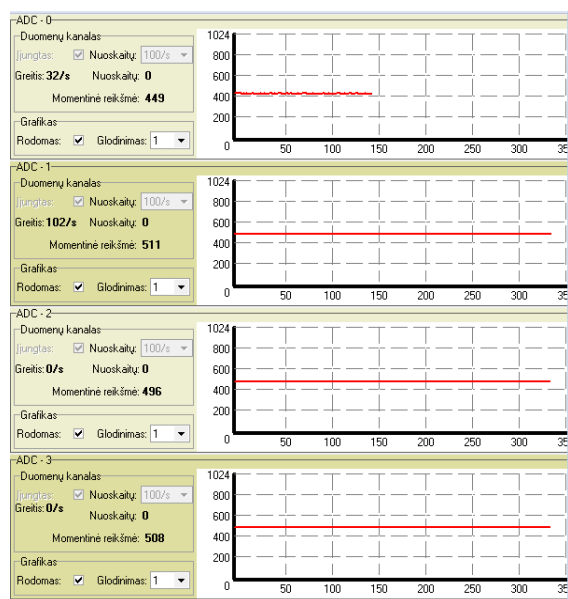
Atidedame apskaičiuotas raudono šviesos diodo koordinatės xy chromatinėje erdvėje.



3.13 pav. Raudonos spalvos šviesos diodo koordinatės CIE 1931 xy plokštumoje

Kaip matome iš atididėto taško xy koordinatinių sistemoje pagal matavimo duomenys spalva atitinka matuojamos spalvos šviesos diodą.

Matavimų rezultatai gauti matuojant žalios spalvos šviesos diodo atspalvį, intensyvumą ir srovę pavaizduoti 3.14. pav.



3.14. pav. Matavimo rezultatai gauti matuojant žalios spalvos šviesos diodą.

Matavimų duomenys atitinkantys 3.14. pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Žalios spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	449	2,192	2,500	0,308	-	33,780	6,923
Z	511	2,495	2,500	0,005	-		
X	496	2,422	2,500	0,078	-		
I	508	2,461	2,500	0,039	0,211		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 4 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{išėj.} \cdot 10}{S} = \frac{0,308 \cdot 10}{50,1} = 0,0615 (W / m^2);$$

arba

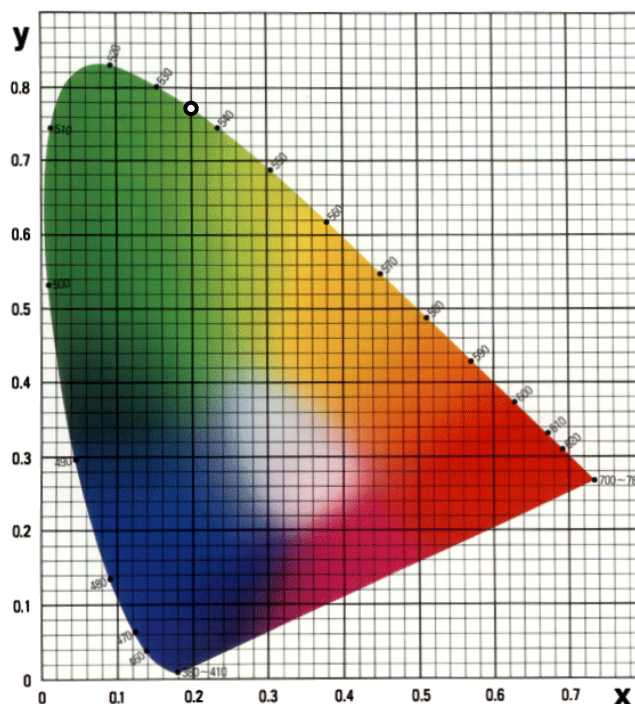
$$Y = 0,0615 \cdot 683 = 42,00 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatės XYZ spalvų erdvės xy koordinatinių sistemoje:

$$x = \frac{0,078}{0,078 + 0,308 + 0,005} = 0,200;$$

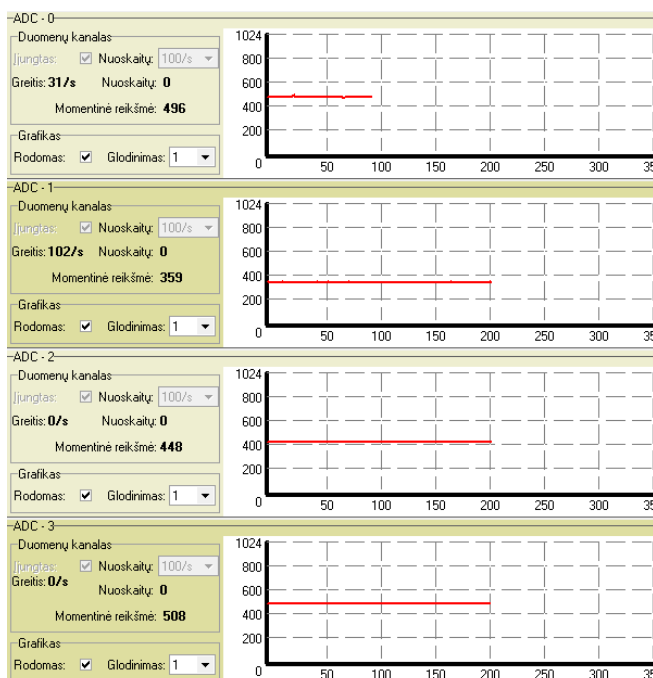
$$y = \frac{0,308}{0,078 + 0,308 + 0,005} = 0,788.$$

Atidedame apskaičiuotas raudono šviesos diodo koordinates xy chromatinėje erdvėje.



3.15. pav. Žalios spalvos šviesos diodo koordinatės CIE 1931 xy plokštumoje  
Matavimų rezultatai atitinka šviesos diodo spalvą.

Matavimų rezultatai gauti matuojant mėlynos spalvos šviesos diodo atspalvį, intensyvumą ir srovę.



3.16. pav. Matavimo rezultatai gauti matuojant mėlynos spalvos šviesos diodą.

Matavimų duomenys atitinkantys 3.16. pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Mėlynos spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	496	2,422	2,500	0,078	-	33,300	7,033
Z	359	1,753	2,500	0,747	-		
X	448	2,188	2,500	0,312	-		
I	508	2,461	2,500	0,039	0,211		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 5 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{i\dot{s}ej.} \cdot 10}{S} = \frac{0,078 \cdot 10}{50,1} = 0,0156 (W / m^2);$$

arba

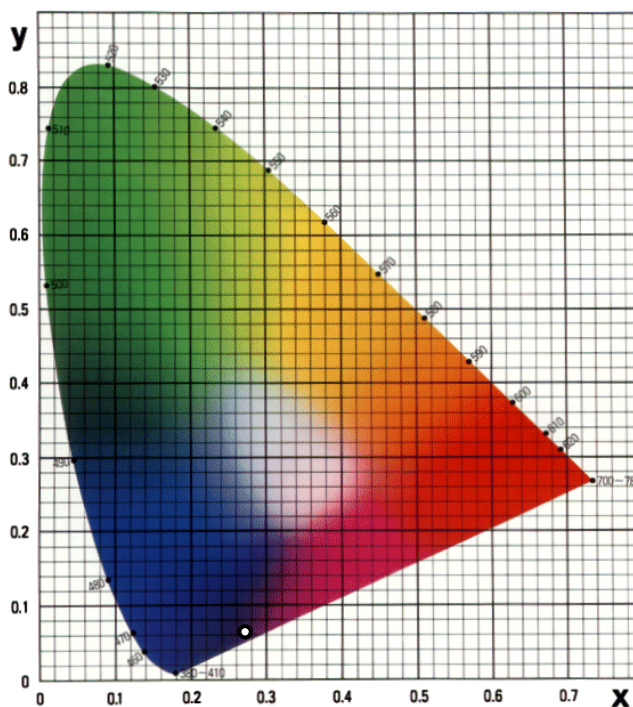
$$Y = 0,0156 \cdot 683 = 10,65 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatės XYZ spalvų erdvės xy koordinatėių sistemoje:

$$x = \frac{0,312}{0,312 + 0,078 + 0,747} = 0,275;$$

$$y = \frac{0,312}{0,078 + 0,078 + 0,747} = 0,069.$$

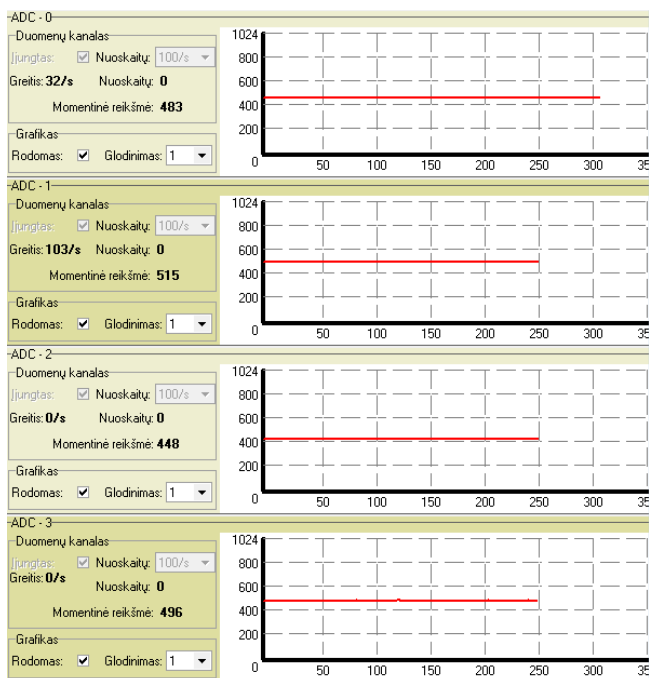
Atidedame apskaičiuotas raudono šviesos diodo koordinatės xy chromatinėje erdvėje.



3.17. pav. Mėlynos spalvos šviesos diodo koordinatės CIE 1931 xy plokštumoje

Matavimų rezultatai atitinka šviesos diodo spalvą.

Matavimų rezultatai gauti matuojant geltonos spalvos šviesos diodo atspalvį, intensyvumą ir srovę.



3.18. pav. Matavimo rezultatai gauti matuojant geltonos spalvos šviesos diodą.

Matavimų duomenys atitinkantys 3.18. pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Geltonos spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametras	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	483	2,358	2,500	0,142	-	31,470	13,293
Z	515	2,500	2,500	0,000	-		
X	448	2,188	2,500	0,312	-		
I	496	2,422	2,500	0,078	0,422		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametru Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 6 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{i\dot{s}ej.} \cdot 10}{S} = \frac{0,142 \cdot 10}{50,1} = 0,0283 (W / m^2);$$

arba

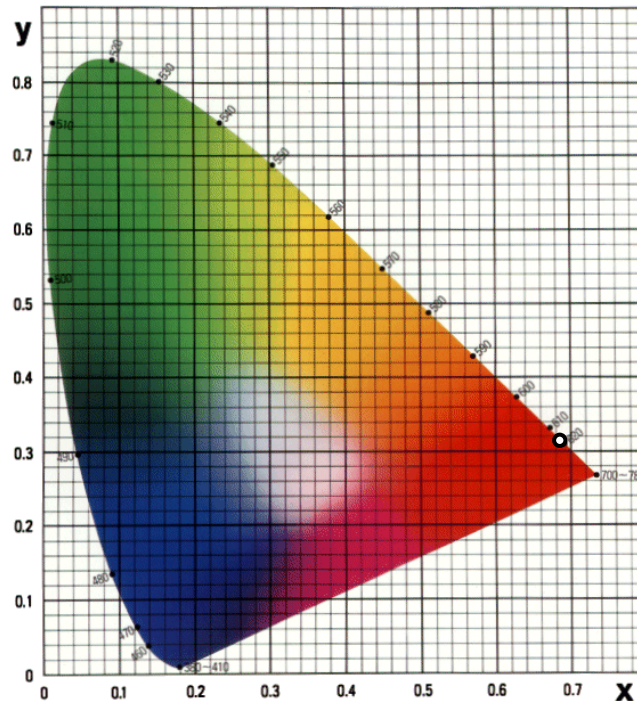
$$Y = 0,0283 \cdot 683 = 19,33 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatas XYZ spalvų erdvės xy koordinatių sistemoje:

$$x = \frac{0,312}{0,312 + 0,142 + 0,000} = 0,688;$$

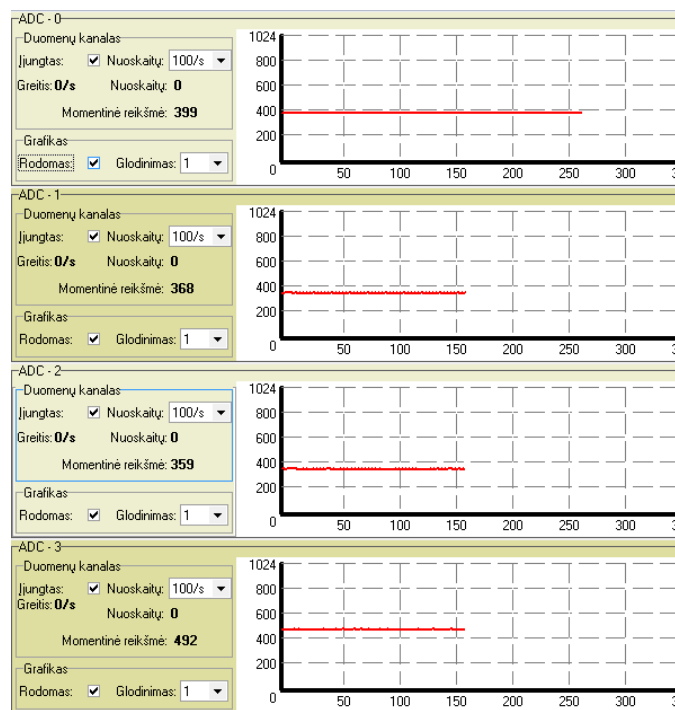
$$y = \frac{0,312}{0,312 + 0,142 + 0,000} = 0,312.$$

Atidedame apskaičiuotas raudono šviesos diodo koordinates xy chromatinėje erdvėje.



3.19. pav. Geltonos spalvos šviesos diodo koordinatės CIE 1931 xy plokštumoje  
Matavimų rezultatai nepilnai atitinka šviesos diodo spalvą.

Matavimo rezultatai, gauti matuojant baltą spalvą sumaišius raudonos-žalios-mėlynos (RGB) spalvų šviesos diodus.



3.20. pav. Matavimo rezultatai gauti matuojant baltą šviestuvo skleidžiamą spalvą.

Matavimų duomenys atitinkantys 3.20. pav. ir skaičiavimo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Baltos spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	399	1,948	2,500	0,552	-	30,880	16,305
Z	368	1,797	2,500	0,703	-		
X	359	1,753	2,500	0,747	-		
I	492	2,402	2,500	0,098	0,528		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 7 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{i\dot{s}ej.} \cdot 10}{S} = \frac{0,552 \cdot 10}{50,1} = 0,1102 (W / m^2);$$

arba

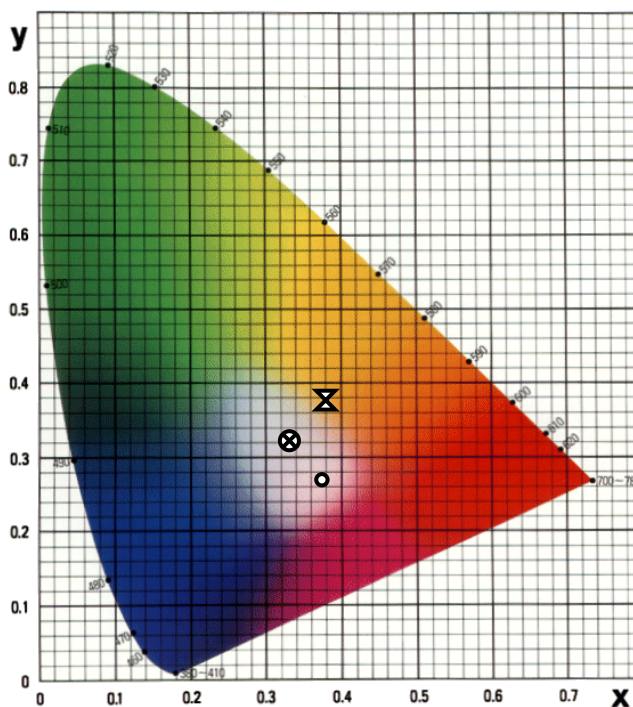
$$Y = 0,1102 \cdot 683 = 75,27 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatės XYZ spalvų erdvės xy koordinatėių sistemoje:

$$x = \frac{0,747}{0,747 + 0,552 + 0,703} = 0,373;$$

$$y = \frac{0,552}{0,747 + 0,552 + 0,703} = 0,276.$$

Atidedame apskaičiuotas baltos šviesos šaltinio koordinatės xy chromatinėje erdvėje.



3.21. pav. Baltos spalvos šviesos šaltinio koordinatės CIE 1931 xy plokštumoje (• - koordinatės su vienodais RGB intensyvumais; ⊗ - koordinatės su skirtingais RGB intensyvumais; ⊗ - koordinatės su RGB+Y)

Kaip matome balta spalva sudaryta sumaišius RGB šviesos diodų spalvas, kurių šviesos srauto intensyvumai yra maksimalūs, neatitinka standartinių baltos spalvos šviesos šaltinio koordinatų ( $x=0,33$ ;  $y=0,33$ ).

Baltos spalvos šviesos šaltinio koordinatės, o tuo pačiu ir kokybę reguliuojame keisdami kiekvieno RGB šviesos diodo skleidžiamos šviesos intensyvumą.

Atlikus eksperimentą paaiškėjo, kad sumažinus raudonos spalvos intensyvumą 57%, o mėlynos 40% baltos spalvos chromatiškumo koordinatės yra artimos TAK standartams.

Gauti duomenys pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Koreguotos baltos spalvos šviesos matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.s.</sub> (A)	U <sub>mat.s.</sub> (V)	P <sub>mat.s.</sub> (W)
Y	408	1,992	2,500	0,508	-	31,290	13,217
Z	402	1,963	2,500	0,537	-		
X	405	1,978	2,500	0,522	-		
I	496	2,422	2,500	0,078	0,422		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 8 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{i\dot{s}ej.} \cdot 10}{S} = \frac{0,508 \cdot 10}{50,1} = 0,1014 (W / m^2);$$

arba

$$Y = 0,1014 \cdot 683 = 69,26 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų apskaičiuojame spalvos koordinatės XYZ spalvų erdvės xy koordinatų sistemoje:

$$x = \frac{0,522}{0,522 + 0,508 + 0,537} = 0,333;$$

$$y = \frac{0,508}{0,522 + 0,508 + 0,537} = 0,324.$$

Atidedame koreguotas baltos šviesos šaltinio koordinatės xy chromatinėje erdvėje (žiūrėti 3.21. pav.).

Šiame taške spalvinė skleidžiamos šviesos temperatūra pagal Planko lanką (žiūrėti 2.2. pav.) yra apie 4830 (K).

Keičiant RGB šviesos diodų skleidžiamos šviesos intensyvumus spalvinę baltos šviesos šaltinio temperatūrą galime keisti labai mažame diapazone. Todėl parinktas sprendimas praturtinti

šių trijų spalvų paletę papildoma geltona spalva (Y). Matavimo duomenys gauti matuojant baltos spalvos šviesą su papildoma geltona spalva pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Baltos spalvos šviesos, praturtintos geltona spalva, matavimo duomenys

Parametrai	ADC <sub>reikšmė</sub>	U <sub>ADC</sub> (V)	U <sub>atsk.</sub> (V)	U <sub>išėj.</sub> (V)	I <sub>mat.š.</sub> (A)	U <sub>mat.š.</sub> (V)	P <sub>mat.š.</sub> (W)
Y	344	1,680	2,500	0,820	-	28,710	23,496
Z	399	1,948	2,500	0,552	-		
X	341	1,665	2,500	0,835	-		
I	481	2,349	2,500	0,151	0,818		

Apšvietimo intensyvumo skaičiavimus atliekame parametrai Y pagal matavimo rezultatus pateiktus 9 lentelėje:

$$Y = \frac{U_{i\dot{s}ej.} \cdot 10}{S} = \frac{0,820 \cdot 10}{50,1} = 0,1637 (W / m^2);$$

arba

$$Y = 0,1637 \cdot 683 = 111,81 (lm / m^2).$$

Iš gautų duomenų paskaičiuojame spalvos koordinatės XYZ spalvų erdvės xy koordinatinių sistemoje:

$$x = \frac{0,835}{0,835 + 0,820 + 0,552} = 0,378;$$

$$y = \frac{0,820}{0,835 + 0,820 + 0,552} = 0,372.$$

Atidedame praturtinta geltona šviesa baltos šviesos šaltinio koordinatės xy chromatinėje erdvėje (žiūrėti 3.21. pav.).

Šiame taške spalvinė skleidžiamos šviesos temperatūra pagal Planko lanką (žiūrėti 2.2. pav.) yra apie 4000 (K).

Praturtinus RGB šviesos diodų spalvų paletę geltonos spalvos šviesos diodais spalvinės temperatūros diapazonas padidėjo nuo 4830 iki 4000 (K). Tačiau tokio šviestuvo suvartojama galia lyginant su RGB padidėja 44 %. Ekonominiu požiūriu toks baltos spalvos šviesos šaltinio spalvinės temperatūros reguliavimo būdas yra nepriimtinas. Tačiau vertinant kokybės gerinimo atžvilgiu šviesos šaltinio kokybės gerinimas yra labai svarbus, nes nuo apšvietimo kokybės priklauso žmogaus emocinė būseną.

## IŠVADOS

1. Spalvotų šviesos šaltinių sudarytų iš RGB šviesos diodų naudojimo sritys vis plečiasi. Vis didesnę nišą jie atranda dekoratyviniame, meniniame bei buitiniame apšvietime. Taip pat spalvoti pagrindinių spalvų RGB šviesos diodai panaudojami baltai šviesai išgauti. Maišant šias tris spalvas skirtingais šviesos srauto intensyvumais išgaunami skirtingų spalvinių temperatūrų baltos spalvos šviesos šaltiniai.

2. Apšvietimo kokybė vertinama tarptautinės apšvietimo komisijos TAK patvirtintais standartais. Spalvoto apšvietimo kokybė vertinama pasinaudojant įvairiomis CIE spalvų erdvėmis. RGB spalvinė erdvė yra nepatogi skaičiavimams dėl įgyjamų neigiamų reikšmių. XYZ spalvų erdvėje šis trukumas yra panaikintas. CIE Lab spalvų erdvė naudojama spalviniams nukrypimams įvertinti, kurie šviesos dioduose atsiranda dėl skirtingų p-n sandūros temperatūrų.

3. Eksperimentinis šviesos kokybės vertinimo modelis sudarytas panaudojant spalvos jutiklį, kuris matuoja XYZ spalvų erdvės parametrus ir sudaro grįžtamąjį ryšį tarp RGBY šviestuvo skleidžiamos šviesos ir jo valdymo grandies. Šis apšvietimo kokybės matavimo įrankis yra geras tuo, kad jo veikimo principas paremtas žmogaus akies regos suvokimo modeliu.

4. Atlikus matavimus gauti duomenys apie apšvietimo kokybinius parametrus. Įvertinus gautus duomenys nustatyta, kad baltos spalvos šviesos šaltinio skleidžiama šviesa neatitinka standartinių normų. Geresnė apšvietimo sistemos kokybė pasiekta sumažinus raudonos spalvos intensyvumą 57 %, o mėlynos 40 %. Apskaičiuotos chromatiškumo koordinatės yra artimos TAK standartams, o spalvinė temperatūra lygi apie 4830 (K). Praturtinus RGB šviesos diodų spalvų paletę geltonos spalvos šviesos diodais spalvinės temperatūros diapazonas padidėjo nuo 4830 iki 4000 (K). Tačiau tokio šviestuvo suvartojama galia lyginant su RGB padidėja 44 %. Ekonominiu požiūriu toks baltos spalvos šviesos šaltinio spalvinės temperatūros reguliavimo būdas yra nepriimtinas. Tačiau vertinant kokybės gerinimo atžvilgiu šviesos šaltinio kokybės gerinimas yra labai svarbus, nes nuo apšvietimo kokybės priklauso žmogaus emocinė būseną.

5. Valdomo RGBY apšvietimo sistemos kokybės tyrimas parodė, kad šviesos kokybė gali būti gerinama panaudojant spalvos jutiklį kaip grįžtamąjį ryšį. Šio įrankio panaudojimas gali būti taikomas tolimesniuose šviesos kokybės tyrimuose sudarant algoritmus protingam apšvietimo sistemos kokybės valdymui.

## LITERATŪRA

### Moksliniai straipsniai:

1. Do Ky Son, Eun Byeol Cho, Inkyu Moon, Yousang Park, and Chung Ghiu Lee „Development of an Illumination Measurement Device for Color Distribution Based on a CIE 1931 XYZ Sensor“, Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 15, No. 1, March 2011, pp. 44-51.
2. Yueh-Ru Yang „A High-Brightness RGB-LED Lamp Using Palette and PNM Current Driver“, Industrial Electronics, 2009. IECON '09. 35<sup>th</sup> Annual Conference of IEEE – P. 3479 – 3483.
3. YongN. Chang, Chung C. Hung, Shih C. Tung, Sun-Yu Chan „Auto Mixed Light for RGB LED Backlight Module“, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2009 –P. 864 – 869.
4. B. Ackermann, V. Schulz, C. Martiny, A. Hilgers, X. Zhu „Control of LEDs“ Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE – P. 2608 – 2615.
5. S. K. Ng, K. H. Loo, Y. M. Lai, K. T. Mok, Chi K. Tse „Variable Bi-Level Phase-Shifted Driving Method for High-Power RGB LED Lamps“, Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 8th International Conference on IEEE – P. 2150-6078.
6. Simone Buso, Giorgio Spiazzi „WHITE LIGHT SOLID STATE LAMP WITH LUMINANCE AND COLOR TEMPERATURE CONTROL“, Power Electronics Conference (COBEP), 2011 Brazilian –P. 837 – 843.
7. Kevin Lima, Joon Chok Lee, George Panotopoulos, Rene Helbing „Illumination and Color Management in Solid State Lighting“, Industry Applications Conference, 2006 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the IEEE – P. 2616 – 2620.
8. M. Crespo, R. Muñiz, M. Rico-Secades, D. Gacio „Lighting System for Pattern Recognition. Workbench Based on a Tricolor LED Array“, 35th Industrial Electronics, 2009. IECON ,09. Annual Conference of IEEE – P. 3545 – 3550.
9. Subramanian Muthu, James Gaines „Red, Green and Blue LED-based White Light Source: Implementation Challenges and Control Design“, Industrial Electronics, 2009. IECON ,09. 35th Annual Conference of IEEE – P. 3545 – 3550.
10. Yoon Hyun Kim, In Hwan Park, Jin Young Kim „Tranceiver Characteristics and Additional Data Transmission Scheme for LED-ID Systems“, Information Science and Applications (ICISA), 2011 International Conference on – P. 1 – 8.

11. Jacob Day and Donald Y. C. Lie, Jose V. Santos „Transient Current Regulation Using a Single DC-DC Converter for High-Efficiency RGB LEDs“, Circuits and Systems (MWSCAS), 2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on – P. 1548-3746.
12. Dieter Lang, Blue enhanced light sources opportunities and risks, SPIE Vol. 8278 827803-1, 2012.
13. A. Žukauskas, „Puslaidininkiniai šviestukai“, Progretus, Vilnius, 2008.
14. J.R. Coaton, A.M. Marsden, „Lamps and lighting“, 2003
15. A. Žukauskas, R. Vaicekuskas, P. Vitta, A. Tuzikas, A. Petrulis, M. Shur Color Rendition Engine, Optics Express 5367, Vol. 20, No. 5, 2012
16. A. Žukauskas, K. Breivė, Z. Bliznikas, G. Kurilčik, A. Novičkovas, R. Vaicekuskas, R. Gaška, M. S. Shur „Kompiuterizuota puslaidininkinė kvadrichromatinė bendrojo apšvietimo lempa“ ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA. 2005. Nr.1 (57) – p.p. 74-79.
17. Data Sheet of MTCS-TIAM2, “Integral true color sensor IC,” 2009.
18. G.Gricius, A. A. Bielskis. Autonominės emocijų atpažinimo sistemos įrenginio „Atmega Oscilorafas“ vystymas. Vadyba, ISSN 1648-7974 Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla, 2009, Nr.1 (14), p.99-106 (Index Copernicus (IC) DB <http://www.indexcopernicus.com>).

#### **Internetiniai šaltiniai:**

19. [http://o.b5z.net/i/u/10069179/f/Lighting\\_Technologies\\_Principles\\_and\\_Measurement\\_2\\_.pdf](http://o.b5z.net/i/u/10069179/f/Lighting_Technologies_Principles_and_Measurement_2_.pdf) (žiūr. 2013 04 15)
20. [http://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_temperature](http://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature) (žiūr. 2013 03 28)
21. <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2012/april/120412-254-lumen-per-watt> (žiūr. 2013 04 07)
22. <http://www.philipslumileds.com/uploads/17/DS61-pdf> (žiūr. 2013 04 10)
23. [http://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](http://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy) (žiūr. 2013 04 12)
24. [http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/arrays-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXML\\_Color](http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/xlamp/arrays-directional/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXML_Color) (žiūr. 2013 04 20)
25. <http://www.bfsk.ff.vu.lt/optika/opt/osk27t.pdf> (žiūr. 2013 04 29)
26. [http://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space) (žiūr. 2013 04 29)
27. <http://www.gamafix.lt/duk/37-spalvu-valdyme-naudojami-terminai-ir-trumpiniai/73-cielab.html> (žiūr. 2013 05 08)
28. <http://www.mokslofestivalis.eu/mokslo-naujienos/kas-yra-spalva> (žiūr. 2013 05 15)
29. [http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf) (žiūr. 2013 05 15)

# PRIEDAI

## 1 Priedas

### Išmanioji mikroklimato valdymo sistema

A.Grinkov, R.Petkus, E.Šikšnis, A.Šipulia, A.A. Bielskis

Klaipėdos universitetas, Elektrotechnikos katedra, Bijūnų 17, LT-91225 Klaipėda, Lietuva

e. paštas: [agrinkov@yahoo.com](mailto:agrinkov@yahoo.com), [redux87@yahoo.com](mailto:redux87@yahoo.com), [djedzis@gmail.com](mailto:djedzis@gmail.com), [saniashblr@yahoo.com](mailto:saniashblr@yahoo.com), [bielskis@ik.ku.lt](mailto:bielskis@ik.ku.lt)

#### Anotacija

Darbe aprašomas neraiškaus neuroninių tinklų valdiklio modeliavimas eksperimentinei mikroklimato valdymo laboratorijai, kuris optimizuotų mikroklimato režimo palaikymą. Valdiklis, jutiklių pagalba, matuoja mikroklimato ir apšvietimo parametrus ir perduoda užduotį sistemos vykdymo įtaisams. Užduotį nustatytose ribose palaiko adaptyvi valdymo sistema, kuri neuroninių tinklų pagalba prognozuoja reikalingos reikšmės valdymo signalą, valdymo signalo nuokrypiui pašalinti. Aprašomos techninės priemonės, leidžiančios prisijungti prie IBM vizijoje aprašytosios debesies įrangos.

*Pagrindiniai žodžiai: AKAP, šildymo, ventiliavimo, kondicionavimo, apšvietimo sistemos, adaptyviosios sistemos.*

#### Summary

This paper describes simulation of the fuzzy neural network controller for the experimental laboratory of climate control, which optimizes the maintenance regime of microclimate. By sensor the controller measures the parameters of the microclimate and light and transmits the assignment to the performance devices of the system. The adaptive control system maintains the assignment in the defined border. The adaptive control with the help of the neural network, predicts the required control signal for removing of the deflection control signal. Described technical means allow connecting to the IBM vision's described cloud software.

*Key words: ACAR, heating, ventilation, conditioning, lighting, adaptive systems.*

#### 1 Įvadas

Išmanioji mikroklimato valdymo koncepcija gali būti vystoma eksperimentinėje mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijoje (EMAVLab), pritaikant joje eksperimentines posistemas [1-4]. Tokios koncepcijos įgyvendinimas leistų Lietuvos mokslo bei akademinėi bendruomenei kartu su verslininkais sparčiau įsijungti į naujo tipo būsto, padedančio aktyviai taupyti energiją ir atsižvelgti į būste gyvenančiųjų asmenų socialinius poreikius, kūrimą. EMAVLab sukūrimas skatintų gamtą ir žmogų tausojančių bevielių paslaugų per išmaniuosius tinklus plėtrą, kurią numato IBM Išmanesniųjų tinklų vizija, pritaikius „Debesies technologijas“ (angl. *Cloud technology*), tai būtų „protingesnio namo“ (angl. *Smarter home*) kūrimo ateitis [<http://www.ibm.com/smarterplanet/>]. Debesies technologija leistų protingesnį namą padaryti „techniškai aprūpintu, susietu ir intelektualiu“ (angl., *instrumented, interconnected and intelligent*). Pagal IBM, „*Instrumented* – tai gebėjimas pajusti ir stebėti besikeičiančias sąlygas, gebėjimas suteikti itin detalią informaciją ir kontrolę apie pačių įrenginių veikimą, bei suteikti informacijos apie aplinką, kurioje šie įrenginiai ir naudojami“. „*Interconnected* – tai gebėjimas bendrauti ir sąveikauti su žmonėmis, sistemomis ir kitais objektais, taip pat suteikia galimybę nuotoliniu būdu naudotis informacija apie įrenginį ir tą įrenginį valdyti“. „*Intelligent* – tai gebėjimas priimti sprendimus, atsižvelgiant į gaunamus duomenis, ... šie sprendimai turėtų suteikti geresnių rezultatų nei ankstesni. Išmanieji įrenginiai turi suteikti galimybę veikti optimaliai, juos naudojant tiek individualiam asmeniui, tiek teikiant kokias nors paslaugas“.

Šio darbo tikslas – aprašyti minimaliais kaštais sukonstruotą eksperimentinį modelį, kuris galėtų teikti protingos ekologiškos ir socialios laboratorijos darbuotojams adaptyvaus apšvietimo ir mikroklimato valdymo paslaugas pagal apšviestumo, temperatūros ir asmens emocinės būsenos matavimus.

## 2 Išmaniosios mikroklimato valdymo sistemos modelio parinkimas

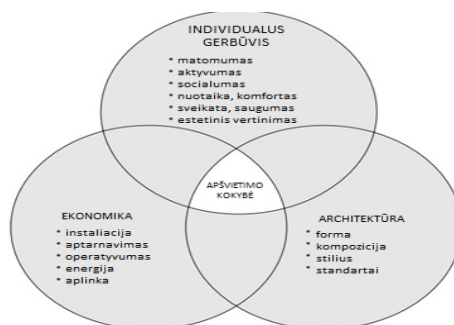
Ekspertinė mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) modeliui gali būti pritaikytas „protingosios aplinkos“ (angl., „*the smart environment*“) modelis. Šis modelis paremtas automatinio valdymu, kuris yra susijęs su adaptyviaja aplinka. Valdymas vyksta matuojant žmogaus fiziologinius parametrus. Norint gauti optimalias aplinkos charakteristikas, pritaikomas paskata besiremiantis mokymas (angl. Reinforcement learning) [5, 6] aplinkos komforto afekto paskatinimu pagrįstam apšvietimo valdikliui (AKAPPAV) (angl., Ambient Comfort Affect Reward Based Lighting Controller (*ACARBLC*)), kurio architektūra aprašyta [6] šaltiniuose. AKAPPAV tikslas yra surasti tokias aplinkos charakteristikas, kurios sukurtų optimalų komfortą žmonėms, esantiems šioje aplinkoje. Žmogaus komfortas išreikštas kaip *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo* (angl., *Ambient Comfort Affect Reward (ACAR)*) funkcija:

$$ACAR = f\{a(t, c, d), v(t, c, d)\}, \quad ACAR \in [-3, 3] \quad (1)$$

čia  $a$  ir  $v$  yra susijaudinimo ir malonumo funkcijos, kurios atitinkamai priklauso nuo žmogaus fiziologinių parametrų, tokių kaip:  $t$  – temperatūros,  $c$  – EKG, elektrokardiogramos (angl., ECG) ir  $d$  – OEA, odos elektrinio aktyvumo (angl., elektro-dermal activity (EDA)). Lygtis (1) gali būti apskaičiuojama naudojant neuroninius tinklus, neraiškiają logiką (*fuzzy logic*) ar kitus metodus. Lygčiai (1) apskaičiuoti šiame darbe naudojama neraiškioji logika apibrėžiant dvi sistemas: *Susijaudinimo-Malonumo* sistemą ir *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* sistemą. Pagrindinė AKAPPAV komponentė yra radialinis bazinis neuroninis tinklas, kuris atsakingas už dvi dalis – elgsenos struktūrą, dar žinomą kaip *Aktorius* (angl., *Actor*), jis skirtas parinkti veiksmus ir numatytos vertės funkciją, žinomą kaip *Kritikas* (angl., *Critic*), kuris vertina *Aktorius* parinktus veiksmus. *Kritikas* naudojamas kaip reikšminė funkcija nuolatiniam mokymui atlikti, nes diskretus tolydžiai besikeičiančios aplinkos atstovavimas gali būti problematiškas.

## 3 EMAVLab apšvietimo valdymas

Tikėtina, jog šviesą spinduliuojantys diodai (LED) netolimoje ateityje taps pagrindiniais šviesos šaltiniais. Viena iš šių diodų rūšių, taip vadinamų raudonos-žalios-mėlynos (RGB) spalvų LED'ais, galintys realiu laiku keisti skleidžiamos šviesos spalvą, randa savo nišą biomedicinos aparatų, detektorinių sistemų, skystųjų kristalų televizorių (LCD) konstravime, žinoma, ir patalpų apšvietime. Tokių LED šviestuvų panaudojimas būtų racionalus pasirinkimas, kuriant išmaniosios laboratorijos apšvietimą ar netgi kuriant tos pačios laboratorijos atskirų darbo vietų išmanųjį apšvietimą. Sudaromos dirbtinės šviesos parametrai, tokie kaip intensyvumas, šviesos sklaida ar netgi skirtingos spalvos turi gan didelę įtaką žmogaus emocinei būsenai [8]. Taip pat yra atlikta tyrimų, kuriais remiantis nustatyta, jog apšvietimo kokybė tiesiogiai 1 pav. Pagrindiniai apšvietimo kokybės faktoriai priklauso nuo 1 pav. parodytų trijų faktorių: individualaus gerbūvio, ekonominio poveikio ir aplinkos architektūros [9]. Dažniausias LED apšvietimo valdymas vykdomas impulsų pločio moduliacijos (PWM) principu [10]. Tačiau toks paprasčiausias valdymas nevisiškai patenkina išmaniojo apšvietimo idėją (nėra tiesioginio sąryšio tarp žmogaus būsenos ir valdymo sistemos). Norint išvengti šios problemos, naudojama „*Ambient Comfort Affect Reward*“ (*ACAR*) automatinė išmanios aplinkos kontrolės sistema, t.y. naudojami metodai, kurių dėka randami aplinkos parametrai, automatiškai sureguliuojama sistema, taip leidžiant žmonėms komfortabiliai jaustis toje aplinkoje [1, 6].

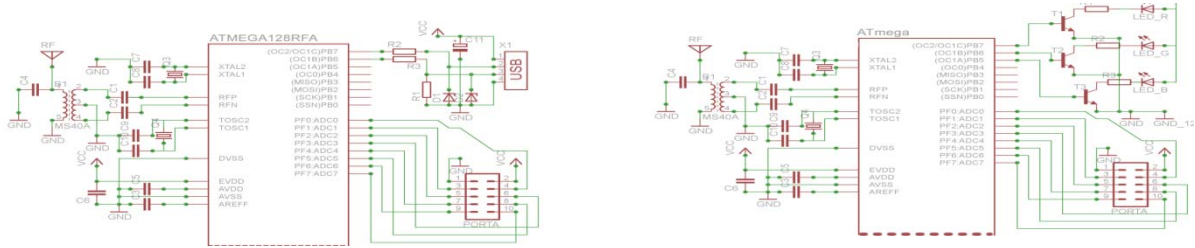


1 pav. Pagrindiniai apšvietimo kokybės faktoriai

#### 4 EMAVLab mikroklimato nuotolinio valdymo įterptiniais agentais sistemos modeliavimas.

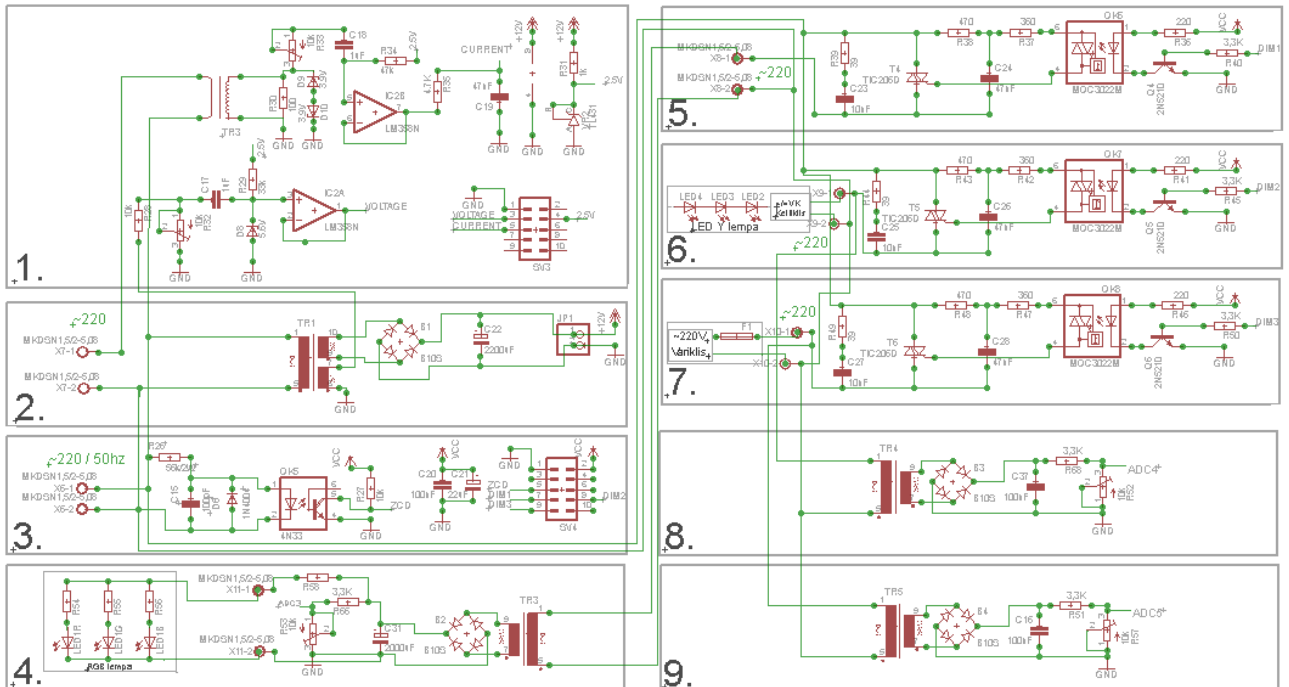
Ekspertinė mikroklimato ir apšvietimo adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) paslaugų valdymo įterptiniai agentais sistemos modeliavimas vykdytas sukuriant, programuojant ir tiriant 2 – 3 pav. įterptinius agentus

3 pav. pavaizduotoje schemoje turime 9-is blokus. Pirmasis blokas operacinio stiprintuvo LM358N pagalba matuojama srovės ir įtampos momentines vertes. Antrasis blokas skirtas matuojamos įtampos transformavimui, bei kaip 12V maitinimo šaltinis. Trečiojo bloko pagalba nustatomas nulinio kirtimo momentas, šis matavimas skirtas tolesniam simistorių valdymui. Ketvirtasis blokas skirtas RGB LED'ų maitinimui stabilizuota 12V įtampa. Penktasis blokas skirtas kintamos įtampos įrenginio valdymui. Šeštasis blokas įgalina 220V LED'inių šviestuvų apšvietimo valdymui. Septintasis blokas skirtas šilumos siurblio valdymui. Aštuntasis ir devintasis blokai atitinkamai yra šešto ir septinto blokų įtampų grįžtamieji ryšiai į Atmega32 mikrovaldiklio atitinkamus bitus.



a) b)

2 pav. ATmega 128RFA bevielio ryšio modulių principinės schemos: a) sluoksniui “Instrumented“; b) sluoksniui “Interconnected“

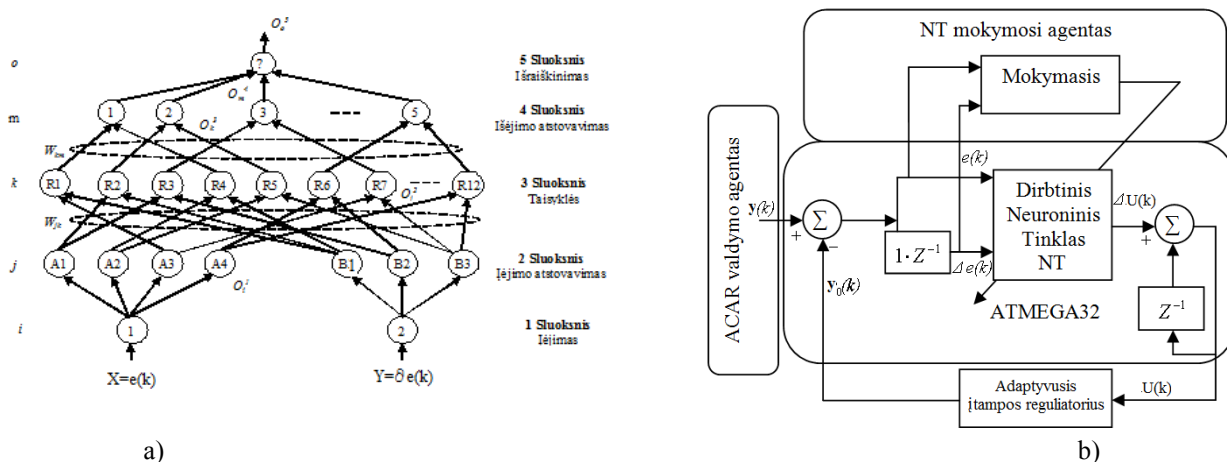


3 pav. Maitinimo bloko ir galios reguliatoriaus principinė schema: 1) Srovės *Current* ir įtampos *Voltage* momentinių verčių matavimo blokas; 2) Matuojamos įtampos transformavimo ir maitinimo blokas; 3) Nulinio kirtimo ZCD signalo ir ryšio blokas; 4) Stabilizuotos +12V RGB LED maitinimo blokas; 5),6) ir 7) Simistorių valdymo impulsų DIM1, DIM2 ir DIM3 generavimo blokai; 8) 220V LED Y šviestuvų įtampos grįžtamojo ryšio blokas; 9) Šilumos siurblio įtampos grįžtamojo ryšio blokas.

Mikroklimato išmanaus valdiklio ryšio su debesies įranga priemonės parodytos 2 pav. Parodyta ATMEGA128RFA1-ZU signalo priėmimo ir perdavimo moduli pagrindu sukurta sistema, naudojanti 802.15.4 ZigBee žemos galios trumpų atstumų ISM standarto 2,4 GHz radijo bangas. Moduliai naudojami techninio aprūpinimo ir tarpusavio ryšio su debesies įranga EMAVLab “Instrumented“ ir “Interconnected“ sluoksniams sukurti.

## 5 Įterptinio agentinio vykdyklio adaptyvaus valdymo modelis

4 pav. blokinė schema aprašo adaptyvųjų neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklį, skirtą daugiagentei mikroklimato sistemai valdyti. Pateikta struktūra sugeba adaptuotis prie netiesinių dinamiškosios mikroklimato sistemos vykdymo įtaisų, valdymo procesų ir išorinių trikdžių, užtikrina stabiliąją vykdymo įtaisų maitinimo įtampą. Valdymo sistemos jutikliai nuskaityti skirtingus mikroklimato ir apšvietimo parametrus: patalpos temperatūrą  $t(k)$ , apšvietumą  $E(k)$ , drėgnumą  $RH(k)$  ventiliuojamo oro greitį  $v_a(k)$ . Priklausomai nuo mikroklimato, apšvietimo užduoties, nustatytos adaptyviosios valdymo sistemos, vykdymo įtaisai maitinami skirtingos reikšmės reguliuojama įtampa. Priklausomai nuo kontroliuojamo mikroklimato parametro laiko momentu  $k$ , skirtingiems sistemos agentams nustatytas skirtingas darbo režimas, kurį nusako jų maitinimo reguliuojama įtampa. Skirtumas tarp užduotos įtampos reikšmės ir įtampos tikrosios reikšmės išreikštas per paklaidą  $e(k)$  ir paklaidos pokytį  $\Delta e(k)$ .



4 pav. Neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklio blokinė schema a) ir struktūra b)

Vykdyto įtaisų maitinimo įtampos reikšmės laiko momentu  $k$  gali keistis nuo tam tikros reikšmės  $U(k)_{min}$  iki tam tikros reikšmės  $U(k)_{max}$ . Tada vykdyto įtaiso maitinimo įtampos paklaida laiko momentu  $k$ ,  $e(k)$  bus:

$$e(k) = U_0(k) - U(k), \quad (2)$$

čia  $U_0(k)$  – užduota parametro reikšmė;  $U(k)$  – tikroji parametro reikšmė.

Vykdyto įtaiso maitinimo įtampos paklaidos pokytis laiko momentu  $k$ ,  $\Delta e(k)$  bus:

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1). \quad (3)$$

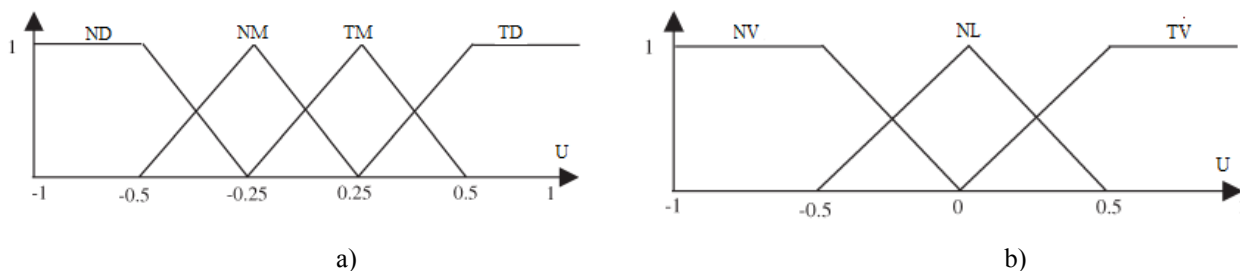
Adaptyvusis neraiškiosios logikos valdiklis  $k$  momentais išskaido kontroliuojamojo vykdyto įtaiso maitinimo įtampos reikšmės  $U(k)$  ir įtampos nustatytosios reikšmės  $U_0(k)$  skirtumą į paklaidą  $e(k)$  ir paklaidos pokytį  $\Delta e(k)$ . Šiomis vertėmis naudojasi neuroninio tinklo *Mokymosi Agentas* neuroninio tinklo *Dirbtinis Neuroninis tinklas* mokymui. *Dirbtinis Neuroninis tinklas* generuoja kiek turi pasikeisti vykdyto įtaiso valdymo signalas. Šią vertę  $U(k)$  realiu laiku generuoja Atmega32 mikrovaldiklis, skaičiuodamas:

$$U(k) = U(k-1) + \Delta U(k), \quad (4)$$

čia  $U(k)$  – vykdyto įtaiso maitinimo įtampa  $k$  momentu;  $U(k-1)$  – vykdyto įtaiso maitinimo įtampa  $k-1$  momentu;  $\Delta U(k)$  – vykdyto įtaiso maitinimo įtampos pokytis.

4a pav. pirmas sluoksnis atstovauja įėjimus  $X = e(k)$  – maitinimo įtampos paklaidą  $e(k)$  ir  $Y = \Delta e(k)$  – maitinimo įtampos paklaidos pokytį  $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$  į neraiškųjį neuroninį valdiklį. Antrasis sluoksnis susideda iš septynių įėjimo atstovavimo mazgų, sudarytų iš keturių  $X$  įėjimą atstovaujančių  $A1, A2, A3$  ir  $A4$  funkcijų ir trijų  $Y$  įėjimą atstovaujančių  $B1, B2$  ir  $B3$  funkcijų. Kiekvienas antrojo sluoksnio mazgas veikia kaip lingvistinė žymė vienam pirmojo sluoksnio kintamųjų, įvertindamas atstovavimo vertę, parodančią tą laipsnį, kuriuo duotoji įėjimo vertė priklauso šio sluoksnio neraiškiajai aibei. Šiame modelyje yra naudojamos 5a pav. trikampės formos atstovavimo funkcijos. Matuojant įtampos paklaidą  $e(k)$  ir paklaidos prieauglį  $\Delta e(k)$ , 6 pav. parodytų trikampių atstovavimo funkcijų kampų parametrai  $a_j, b_j$  ir  $c_j$  parenkami taip, kad atstovavimo funkcijos būtų tolygiai išdėstytos kiekvieno įėjimo

parametro pasiskirstymo srityje. Mikroklimato parametro reikšmės gali būti paskirstytos tam tikrame intervale, o nukrypimas nuo nustatytos reikšmės  $e(k)=y_0(k)-y(k)$  gali būti apibūdintas kaip neigiamas didelis  $ND=A1$ , neigiamas mažas  $NM=A2$ , teigiamas mažas  $TM=A3$ , teigiamas didelis  $TD=A4$ .



5 pav. Paklaidos  $e(k)$  a) ir jos pokyčio  $\Delta e(k)$  b) atstovavimo funkcijos

Paklaidos pokytis gali būti išreikštas trimis atstovavimo funkcijomis: neigiama vidutine  $NV=B1$ , nuline  $N= B2$  ir teigiama vidutine  $TV=B3$ .

Svariai tarp įėjimo ir atstovavimo sluoksnių yra lygūs vienetui. Neuronų  $j=1, 2, 3, 4$  išėjimas  $i=1$  įėjimui ir neuronų  $j=1, 2, 3$  antrojo  $i=2$  sluoksnio įėjimui gali būti taip skaičiuojamas: Teigiamam trikampiui nuolydžiui, jei  $X_i \geq a_j$  ir  $X_i \leq b_j$ ,

$$O_{2j} = (X_i - a_j) / (b_j - a_j), \quad (5)$$

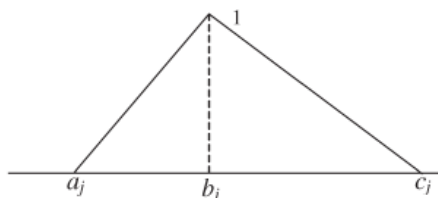
čia  $X_i$  yra  $i$ -tasis įėjimo į antrojo sluoksnio neuroną kintamasis;  $b_j$  ir  $c_j$  yra 2-jo sluoksnio  $j$ -tosios trikampės atstovavimo funkcijos kampų koordinatės.

Kitai, esant neigiamam nuolydžiui, jeigu  $X_i \geq b_j$  ir  $X_i \leq c_j$ :

$$(6) \quad O_{2j} = (X_i - c_j) / (b_j - c_j),$$

čia  $c_j$  yra 2-jo sluoksnio  $j$ -tosios trikampės atstovavimo funkcijos kampų koordinatės.

Kiekvienas 4a pav. trečiojo taisyklių sluoksnio mazgas sudaugina įeinančius signalus ir išveda jų sandaugos rezultatą, kaip neraiškiojo valdymo taisyklę. Kiekvienas trečiojo sluoksnio mazgas priima vieną įėjimą iš  $A1-A4$  antrojo sluoksnio mazgų ir kitą įėjimą – iš  $B1-B3$  antrojo sluoksnio mazgų.  $A1-A4$  mazgai išreiškia maitinimo įtampos paklaidos atstovavimo reikšmes, o  $B1-B3$  mazgai išreiškia maitinimo įtampos paklaidos prieauglio atstovavimo reikšmes.



6 pav. Trikampė atstovavimo funkcija

Tuo būdu, trečiajame taisyklių sluoksnyje yra sukurta 12 mazgų neraiškiųjų taisyklių žinių bazė dviem įėjimo kintamiesiems, keturiais lingvistiniais kintamaisiais atstovaujamiems įtampos paklaidos  $e(k)$  reikšmės ir trimis lingvistiniais kintamaisiais atstovaujamiems įtampos pokyčio  $\Delta e(k)$  reikšmės. Kiekvienas trečiojo sluoksnio mazgo  $k$  išėjimas, išreiškiantis  $k$ -tosios iš 12 taisyklių įvykdymo galią – antecedentą, yra skaičiuojamas kaip:

$$(7) \quad O_{3k} = W_{3jk} * y_{3j},$$

čia  $y_{3j}$  atstovauja  $j$ -ąjį įėjimą į 3-jį sluoksnį, o svoris  $W_{3jk} = 1$ . Išėjimo atstovavimo sluoksnio neuronai sukuria neraiškiasias aibes, kurios yra naudojamos kaip neraiškiųjų taisyklių konsekventai. Kiekvienas išėjimo atstovavimo neuronas priima po du įėjimus – vieną iš paklaidos  $e(k)$  grupės, o kitą – iš paklaidos prieauglio  $\Delta e(k)$  grupės ir sujungia juos neraiškiają sąjungos operacija pagal maksimumo funkciją. Ketvirtasis sluoksnis veikia pasinaudodamas trečiojo sluoksnio išėjimais  $O_{3k}$ , padauginais iš jungiančiųjų svorių  $W_{km}$ . Jo išėjimai:

$$(8) \quad O_{4m} = \max(O_{3k} * W_{km}),$$

čia skaičius  $k$  priklauso nuo jungčių iš 3 sluoksnio į atitinkamą  $m$ -ąjį 4 sluoksnio išėjimą;  $W_{km}$  jungties svoris yra  $m$ -tojo išėjimo, susijusio su  $k$ -tąja taisykle, poveikio laipsnis. Šis sluoksnis įtakoja į sistemos stabilumą ir valdymo

kokybę. 5 sluoksnis yra išėjimo sluoksnis, veikiantis kaip išraiškintojas (angl. *Defuzzifier*). Vienintelis penktojo sluoksnio mazgas surenka išėjimo neraiškiasias aibes pagal jų integruotas galias iš 4-tojo sluoksnio ir jas sujungia į vieną neraiškiają aibę. Neuroninės neraiškiosios sistemos išėjimas yra tikrasis dydis (angl. *Crisp*), todėl pertvarkytoji neraiškioji (angl. *Fuzzy*) išėjimo aibė turi būti išraiškinta (angl. *Defuzzified*). Tam buvo panaudotas sumos-sandaugos kompozicijos metodas, skaičiuojantis išraiškintąjį išėjimą kaip vėžio formos darinių (angl. *Cancroids*) pasvertąjį vidurkį nuo visų išėjimo atstovavimo funkcijų:

$$O_{5o} = \text{Sum}(O_{4m} * a_{cm} * b_{cm}) / \text{Sum}(O_{4m} * b_{cm}), \quad (9)$$

čia  $a_{cm}$  ir  $b_{cm}$  visiems  $m = 1, \dots, 5$  yra atitinkamai išėjimo neraiškiųjų aibių centrai ir pločiai.

Dydžių  $b_{cm}$  vertės yra lygios vienetui. Toks normuotasis išėjimas atitinka valdymo signalo poveikio procentinį ciklą, per kurį Atmega32 mikrovaldiklis turi generuoti vykdomo įtaisų darbo režimus maitinimo įtampos pastoviai vertei palaikyti. Jungčių tarp trečio ir ketvirto sluoksnio svoriai  $W_{km}$  buvo išreniruoti panaudojant atbulinės sklaidos neuroninį tinklą. Neuroninio tinklo svoriai buvo treniruojami atskirai nuo valdymo proceso, pasinaudojant R-programine aplinka pagal tokį algoritmą:

1 žingsnis: Atmega32 mikrovaldikliui paskaičiuoti valdymo signalo poveikio procentinio ciklo paklaidą  $E_o = T_o - O_5$ , čia  $E_o$ ,  $T_o$ , ir  $O_5$  atitinkamai yra išėjimo paklaida, tikslo valdymo signalas ir tikrasis valdymo signalas;

2 žingsnis: Paskaičiuoti paklaidos gradientą  $\delta_m = (T_o - O_{5o}) * (\text{Sum}(O_{4j}(a_{cm} - a_{cj})$  visiems  $j = 1$  iki  $m-1$ , ( $j <> m$ ) /  $\text{Sum}(O_{4j}$  visiems  $j = 1$  iki  $m$ )\*2, čia  $a_{cm}$  ir  $b_{cm}$  visiems  $m = 1, \dots, 5$  yra atitinkamai išėjimo neraiškiųjų aibių centrai ir pločiai;

3 žingsnis: Paskaičiuoti svorio korekciją  $\Delta w_{km} = \eta \delta_m O_{3k}$  mokymo spartos padidimui, pasinaudojant Sejnowski – Rosenberg atnaujinimo algoritmu, įvertinančiu praeities svorių efektą ir judėjimą duotąjį kryptį svorių erdveje, skaičiuojant  $\Delta w_{km}(t) = \eta(1 - \alpha)\delta_m O_{3m} + \alpha \Delta w_{km}(t - 1)$ , čia  $\alpha$  yra glodinimo koeficientas, kintantis nuo 0 iki 1, o  $\eta$  yra mokymosi sparta;

4 žingsnis: Atnaujinti svorius  $w_{km}(t + 1) = w_{km}(t) + \Delta w_{km}(t)$ , čia  $t$  yra iteracijos numeris. Svoriai, siejantieji taisyklių sluoksnį ir išėjimo atstovavimo sluoksnį, yra treniruojami sistemos dinamikos stabilizavimui ir pulsacijų apie darbo tašką minimizavimui.

## 6 Išvados

Šiame straipsnyje pasiūlytos tokios eksperimentinės mikroklimato adaptyvaus valdymo laboratorijos (EMAVLab) modeliavimo priemonės: 1) EMAVLab išmaniosios mikroklimato valdymo sistemos modelio sukūrimui pritaikytinas „protingosios aplinkos“ (angl., „*the smart environment*“) modelis, kuris paremtas adaptyviuoju aplinkos parametrų valdymu, gerinančiu toje aplinkoje esančių žmonių komfortą, o pastarasis galėtų būti patikrintas periodiškai matuojant žmogaus fiziologinius parametrus; 2) Optimalioms aplinkos charakteristikoms gauti pritaikytinas paskata besiremiantis mokymas (angl. *Reinforcement learning*), panaudojant žmogaus komfortą apibudinančią *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* (angl., *Ambient Comfort Affect Reward (ACAR)*) funkciją; 3) Eksperimentinės mikroklimato ir apšvietimo adaptyvaus valdymo laboratorijos paslaugų valdymui pasiūlyti laboratoriniai įterptiniai agentai – skaitmeniniai apšvietimo ir variklių maitinimo įtampos automatiniai reguliatoriai, leidžiantieji keisti aplinkos parametrus toje aplinkoje esančio žmogaus komfortui užtikrinti; 4) Pasiūlytos mikroklimato išmanaus valdiklio ryšio su debesies įranga priemonės, besiremiančios ATMEGA128RFA1-ZU signalo priėmimo ir perdavimo modulio pagrindu sukurtomis sistemomis, naudojančiomis 802.15.4 ZigBee žemos galios trumpų atstumų ISM standarto 2,4 GHz radijo bangas, įgyvendinančios galimybes techninio aprūpinimo ir tarpusavio ryšio su debesies įranga EMAVLab IBM vizijoje numatytiems „*Instrumented*“ ir „*Interconnected*“ sluoksniams sukurti; 5) Adaptyvusis neraiškiosios logikos neuroninių tinklų valdiklis pritaikytas daugiagentei mikroklimato sistemai valdyti, adaptuotis prie netiesinių dinaminių mikroklimato sistemos valdymo procesų ir išorinių trikdžių, užtikrinant stabiliąją vykdomo įtaisų maitinimo įtampą pagal patalpos temperatūrą  $t(k)$ , apšvietumą  $E(k)$ , drėgnumą  $RH(k)$  ventiliuojamo oro greitį  $v_a(k)$  ir duotąjį *Aplinkos Komforto Afekto Paskatinimo (AKAP)* indeksą.

## Literatūra

1. A. Andziulis, A.A. Bielskis, V. Denisovas, O. Ramašauskas, J. Bielskienė, P. Bielskis, E. Guseinovicė. 2009. An Approach of Creating of an Intelligent Mobile Tutoring Eco-social Laboratory for Assisted Recreation. *Electronics and Electrical Engineering*, Nr. 3(91) pp. 61-66.
2. A.A. Bielskis, P. Grecevičius, O. Ramašauskas. 2009. Development of an intelligent eco-social environment for assisted living. *Vadyba*, Nr.1 (14), pp.89-98.
3. A.A. Bielskis, D. Dzemydienė, V. Denisov, A. Andziulis, D. Drungilas. 2009. An approach of multi-agent control of bio-robots using intelligent recognition diagnosis of persons with moving disabilities. *Technological and economic development of economy*. Vol. 15, p. 377-394.
4. A. A. Bielskis, V. Denisovas, D. Drungilas, G. Gričius, O. Ramašauskas. 2008. Modeling of Intelligent Multi-Agent based E-health Care System for People with Movement Disabilities, *Elektronika ir elektrotechnika*, Nr.6 (86), pp. 37-42.

5. Dalamagkidis K., Kolokotsab D., Kalaitzakisc K., Stavrakakis G.S. 2007. Reinforcement learning for energy conservation and comfort in buildings. *Building and Environment* 42, - pp. 2686–2698.
6. D.Drungilas, G. Gričius, A.Grinkov, A.A. Bielskis. 2012. Modeling of Embedded Agents for Control of Human and Nature Friendly Heating/Cooling Automation Systems, *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*, VIII.
7. Kuller R. , Ballal S. , Laike T. 2006. The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environment, *Journal of Ergonomics*, Vol.49(14), pp. 245.
8. Rubaai A., Ofoli A. R., Burge L., Garuba M. 2005. Hardware Implementation of an Adaptive Network-Based Fuzzy Controller for DC–DC Converters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 6, pp. 1557-1565.
9. Veitch, J.A. 2006. Lighting for high-quality workplaces, *Creating the Productive Workplace*, 2nd ed, pp. 206-222.
10. Xiaohui Qu, Siu Chung Wong and Chi K. Tse. 2007. Color Control System for RGB LED Light Sources Using Junction Temperature Measurement. Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 33, pp. 314-325.

## 2 Priedas

### Programa RGBY šviestuvo intensyvumui keisti

```
#define F_CPU 16000000
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/pgmspace.h>

const char intensyvumas[] PROGMEM = "Apsvietimo intensyvumas \r\n";
const char R[] PROGMEM = "R: ";
const char G[] PROGMEM = "G: ";
const char B[] PROGMEM = "B: ";
const char Y[] PROGMEM = "Y: ";
const char pabaiga[] PROGMEM = " % \r\n";
const char mazinimas[] PROGMEM = "Apsvietimo intensyvumas mazinimas 1 \r\n";
const char nl[] PROGMEM = " \r\n";

volatile uint8_t count=0;
volatile int ryskumas=0,sk1=0, laikas=0, pertrauktis=0, t0=0,t1=0,t2=0,t3=0,k0=1,k1=1,k2=1,k3=1;
volatile unsigned long t=0;
volatile char RGB;

void USART_Init(int baudrate){
    UBRRH = (unsigned char)(baudrate>>8);
    // UBRR perstumiamas i ?emesni baita
    UBRRL = (unsigned char)baudrate;
    // Cia ikeliama UBRR reik?me
    UCSRA |= (1<<U2X);
    // Dvigubo UART greicio re?imas
    UCSRB = (1<<RXEN)|(1<<TXEN)|(1<<RXCIE);//(1<<TXCIE);
    // Ijungti: imtuvas, siustuvas, gautu,
    // priimtu duomenu pertrauktys i jungtos
    UCSRC = (1<<URSEL)|(1<<USBS)|(3<<UCSZ0);
    //Duomenys ra?omi i UCSRC registra,
    //2 stop bitai, 8 duomenu bitai
}

void USART_Transmit( unsigned char data )
{
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) ) ;
    //Laukiama kol bus i?siustas prie? tai siunciamas duomuo
    UDR = data;
    //Ikeliamas siunciamas duomuo
}

void USART_Send_String(const char *FlashSTR)
{
    uint8_t i;
    for (i = 0; pgm_read_byte(&FlashSTR[i]); i++)
    {
        USART_Transmit(pgm_read_byte(&FlashSTR[i]));
    }
}

void skaiciaus_perdavimas(unsigned int sk){

    int skaitmenys[4];

    for (int k=0;k<4;k++){
        skaitmenys[k]=0;
    }
    for (int k=0;k<4;k++){
        skaitmenys[k]=sk %10;
        sk/=10;
    }
    for (int k=3;k>=0;k--){
```

```

        USART_Transmit(skaitmenys[k]+48);
    }
    USART_Transmit(10);
    USART_Transmit(13);
}

void Start_ADC(uint8_t input){
    ADCSRA = 0x00; //disable adc
    ADMUX = input;
    ADCSRA=(1<<ADEN)|(1<<ADPS1)|(1<<ADIE)|(0<<ADIF)|(1<<ADSC);
}

void USART_Transmit_data(uint8_t input){
    int liekana[4],sk=sk1, i=0;
    USART_Transmit(input+48);
    USART_Transmit(':');
    for(int j=0;j<=3;j++){
        liekana[j]=0;
    }
    while(sk>0){
        liekana[i++]=sk % 10;
        sk /=10;
    }
    for(int j=3;j>=0;j--){
        USART_Transmit(liekana[j]+48);
    }
    USART_Transmit(10);
    USART_Transmit(13);
}

void init(void)
{
    MCUCR = (0<<ISC00)|(1<<ISC01);    //1 -> 0 pasikeitimas INT0

        // Sugeneruoja pertraukti
    GICR = (1<<INT0);                //Ijungiamas INT0 pertraukimas

                                                                    //Ijungia
    pertraukimus (globaliai)
}

void init_Time(void)
{
    TCCR1A= (0<< WGM11 ) | ( 1 << WGM10 ) | (1<<WGM12 );
    TCCR1B= (1<<WGM12);
    TCCR1B |= (0 << CS10) | (1 << CS12) ; //Laikmacio taktas =sisteminiam taktui/ 64
    TIMSK |= (1 << TOIE1)|(1<<OCIE1A)|(1<<OCIE1B); //enable timer interrupt

    //nustatome laikmati Timer2
//Laikmacio taktas =sisteminiam taktui/ 64
    TCCR2 = (1<<WGM20)|(1<<WGM21)|(1<<CS22)|(1<<CS21)|(0<<CS20);
    //i valome TOV2
    TIFR|=(1<<TOV2);
    //ijungiame laikmati Timer2
    TIMSK|=(1<<OCIE2)|(1<<TOIE2);

    //nustatome laikmati Timer0
//Laikmacio taktas =sisteminiam taktui/ 64
    TCCR0 = (1<<WGM00)|(1<<WGM01)|(1<<CS02)|(0<<CS00);
    //i valome TOV0
    TIFR|=(1<<TOV0);
    //ijungiame laikmati Timer0
    TIMSK|=(1<<OCIE0)|(1<<TOIE0);
}

int main(void)
{DDRB=0x08;
  DDRD=0xB0;

```

```

    USART_Init(207);
    USART_Transmit('a');
    init_Time();

    OCR0=255;
    OCR1A=150;
    OCR1B=10;
    OCR2=100;
    _delay_ms(1);
    init();
    sei();
//    PORTB|=0x08;
    PORTD|=0xB0;

    while(1)
    {

    }
}

ISR(TIMER0_OVF_vect){
    cli();
/*    t0++;
    if (t0==600){
        t0=0;
        if ((OCR0<254)&&(OCR0>1))
            OCR0+=k0;
        else{
            k0*=-1;
            OCR0+=k0;
        }
    }
*/

    PORTB&=~0x08;
//    laikas++;
//    if(laikas == 61) {skaiciaus_perdavimas(pertrauktis);
//    laikas=0;
//    pertrauktis=0;
//    };
    sei();
}

ISR(TIMER0_COMP_vect){
    cli();
    if (OCR0<255)
    PORTB|=0x08;
    sei();
}

ISR(TIMER1_OVF_vect){
    cli();
    PORTD&=~0x10;
    PORTD&=~0x20;
//    laikas++;
//    if(laikas == 61) {skaiciaus_perdavimas(pertrauktis);
//    laikas=0;
//    pertrauktis=0;};
    sei();
}

ISR(TIMER1_COMPA_vect){
    cli();
/*    t1++;
    if (t1==100){
        t1=0;
        if ((OCR1A<254)&&(OCR1A>1))

```

```

OCR1A+=k1;
else{
    k1*=-1;
    OCR1A+=k1;
}
}*/
// if (OCR1A<255)
PORTD|=0x10;
sei();
}

ISR(TIMER1_COMPB_vect){
cli();
/* t2++;
if (t2==100){
    t2=0;
    if ((OCR1B<254)&&(OCR1B>1))
        OCR1B+=k2;
    else{
        k2*=-1;
        OCR1B+=k2;
    }
}*/
// if (OCR1B<255)
PORTD|=0x20;
sei();
}

ISR(TIMER2_OVF_vect){
cli();
PORTD&=~0x80;
// laikas++;
// if(laikas == 61) {skaiciaus_perdavimas(pertrauktis);
// laikas=0;
// pertrauktis=0;};
sei();
}

ISR(TIMER2_COMP_vect){
cli();
/* t3++;
if (t3==100){
    t3=0;
    if ((OCR2<254)&&(OCR2>1))
        OCR2+=k3;
    else{
        k3*=-1;
        OCR2+=k3;
    }
}*/
// if (OCR2<255)
PORTD|=0x80;
sei();
}

```