



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Tadas Marcinkus**

**BELAUDŽIO RYŠIO SISTEMOS IŠMANIAM APŠVIETIMO**  
**VALDYMUI SUKŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Vytautas Deksnys

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**BELAUDŽIO RYŠIO SISTEMOS IŠMANIAM APŠVIETIMO  
VALDYMUI SUKŪRIMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

**Vadovas**

Prof. dr. Vytautas Deksnys

**Recenzentas**

Prof. dr. Vytautas Dumbrava

**Projektą atliko**

Tadas Marcinkus

**KAUNAS, 2017**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Tadas Marcinkus

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (kodas 621H61002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Belaidžio ryšio sistemos išmaniam apšvietimo valdymui sukūrimas ir tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. Birželio \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tado Marcinkaus**, baigiamasis projektas tema „Belaidžio ryšio sistemos išmaniam apšvietimo valdymui sukūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

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

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Marcinkus, Tadas. Belaidžio ryšio sistemos išmaniam apšvietimo valdymui sukūrimas ir tyrimas. Elektronikos inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vytautas Deksnys; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *apšvietimo sistema, intensyvumas, šviesos parametrai, LED, RGB.*

Kaunas, 2017. 59 p.

## **SANTRAUKA**

Baigiamojo magistro projekto tikslas buvo išanalizuoti šiuo metu rinkoje esančias apšvietimo valdymo sistemas, jų funkcionalumą ir panaudotus metodus, o taip pat sukurti apšvietimo sistemos prototipą, kuris turėtų iki šiol neaptinkamas funkcines galimybes. Pagrindinė sistemos funkcija yra išmanus pagal vartotojo užgaidas ir nustatytus profilius šviesos intensyvumo valdymas nuotoliniu būdu, naudojantis interneto naršykle. Internetinis puslapis yra pritaikytas visoms platformoms. Vartotojas gali valdyti šviesos intensyvumą, kontroliuoti šviesos spalvos temperatūrą, nustatyti šviesos parametrus pasirinktam laikotarpiui. Darbe buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai siekiant nustatyti komunikacijų tempą prie įvairių sąlygų, o taip pat švytėjimo intensyvumo valdymo tikslumas.

Marcinkus, Tadas. Research and Development of Smart Wireless Node Mesh for Lighting Control: Final project of electronics engineering Master's degree / supervisor assoc. prof. dr. Vytautas Deksnys. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electronics engineering

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *lighting system, intensity, light settings, LED, RGB.*

Kaunas, 2017. 59 p.

## **SUMMARY**

Main task of master's thesis is to gather information about similar lightning control systems and analyze their functionality and operating principles. In the project was developed lighting control system prototype with possibility to remotely control light intensity and color using web browser. Client can control light intensity, temperature of color, can determine systems parameters for specified periods. Experimental tests were done evaluating control speed depending on various net conditions and light intensity control errors.

# TURINYS

SANTRUMPOS .....	7
ĮVADAS .....	8
1. APŽVALGINĖ DALIS .....	9
1.1. Bevielis tinklas.....	9
1.1.1. Infraraudonųjų spindulių sąsaja. ....	9
1.1.2. Palydovinis ryšys.....	10
1.1.3. Wi-Fi .....	10
1.2. Tinklų klasės .....	11
1.3. Tinklų topologijos.....	11
1.4. Belaidžių tinklų rūšys .....	12
1.5. Apsimokanti sistema.....	12
1.5.1. Dirbtinis neuroninis tinklas .....	14
1.5.2. Dirbtinio neuroninio tinklo apmokymas .....	15
1.6. Sistemų apžvalga .....	16
1.6.1. LightGrid.....	16
1.6.2. SmartCast .....	16
1.6.3. xPoint Wireless .....	17
1.6.4. Patentas belaidžio tinklo pritaikymas apšvietimo maitinimo šaltiniui.....	18
1.7. Sistemos koncepcija.....	21
1.7.1. Valdymas.....	22
1.7.2. Informacijos surinkimas .....	22
1.7.3. Tinklai ir potinkliai.....	22
1.7.4. Papildomos funkcijos .....	22
1.8. Sistemos specifikacijos .....	23
1.8.1. Belaidis apšvietimo valdiklis .....	23
1.8.2. Saugumas .....	24
1.8.3. Tinklai ir potinkliai.....	24
1.8.4. Serveris.....	24
1.8.5. Apsimokymas, rekomendavimas .....	25
1.8.6. Vartotojo valdymo panelė .....	25
1.8.7. Belaidžiai jutikliai .....	25
1.8.8. Avarinio apšvietimo galimybė .....	26
1.9. Šviesos parametrai .....	26
1.10. Apibendrinimas .....	28
2. BELAIDĖS APŠVIETIMO SISTEMOS KOMPONENTAI .....	30

2.1. Anaren's A20737 daugiafunkcinis kontrolieris .....	30
2.2. Internetinis puslapis .....	32
2.2.1. Internetinio puslapio struktūra .....	32
2.2.2. Duomenų bazė.....	33
2.2.3. Saugumas .....	34
2.3. TCP/IP serveris .....	37
3. SISTEMOS PROTOTIPO TESTAVIMAS .....	39
3.1. Internetinio puslapio testavimas .....	39
3.2. Belaidžio apšvietimo valdiklio modeliavimas.....	43
3.3. Šviesos intensyvumo aproksimacija .....	45
3.4. Kintamos įtampos šviesos valdymo tyrimas.....	48
3.5. Programos algoritmas .....	49
3.6. RGB šviesos diodo intensyvumo valdymas .....	50
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI .....	56
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	58

## SANTRUMPOS

- LED - šviesos diodas (angl. *Light Emitting Diode*)
- RGB - raudona, žalia, mėlyna spalvos (angl. *Red, Green, Blue*)
- IR - infraraudonieji spinduliai (angl. *infrared*)
- ISM - dažnių juosta skirta industriniams, moksliniams, medicininiams tikslams (angl. *Industrial, scientific and medical*)
- OFDM - ortogonalioji dažnių tankinimo moduliacija (angl. *Orthogonal frequency-division multiplexing*)
- IP - interneto protokolas (angl. *Internet protocol*)
- TCP - duomenų perdavimo protokolas (angl. *Transmission control protocol*)
- HTTP - pagrindinis žiniatinklio protokolas (angl. *HyperText Transfer Protocol*)
- ADC - analogas – kodas keitiklis (angl. *Analog to Digital Converter*)
- PWM - impulso pločio moduliacija (angl. *Pulse-width modulation*)
- UART - universalus asinchroninis imtuvas siųstuvas (angl. *Universal Asynchronous Receiver – Transmitter*)
- GPIO - bendro naudojimo įėjimo, išėjimo prievadai (angl. *General-purpose input/output*)
- ID - identifikacijos dokumentas (angl. *Identity document*)
- DB - duomenų bazė (angl. *database*)
- SSL - saugaus sujungimo lygmuo (angl. *Secure Sockets Layer*)



## IVADAS

Elektros energijos taupymas būdingas visiems, tiek verslininkams, valdantiems gamyklas, tiek buitiniams vartotojams, apmokantiems elektros energijos sąskaitas. Energijos taupymas taip pat mažina globalinį atšilimą, dėl ko sumažinamas anglies dvideginio išsiskyrimas į aplinką.

Vienas iš būdų mažinti elektros sąnaudas už apšvietimą – pereiti prie LED šviestuvų. LED lemputės turi didesnę naudingumo koeficientą nei kaitrinės lempos ir suvartoja 25 - 80% mažiau elektros energijos lyginant su paprastomis kaitrinėmis lempomis. Pavyzdžiui, norint išgauti 750 - 900 lm šviesos srautą reikalinga 60 W kaitinamoji lempa, o naudojant LED užtenka 6 - 8 W lempos, sumažinant elektros sąnaudas net iki 10 kartų naudojant minėtą LED lemputę. Taip pat, LED lemputės yra patvarios, nedūžta ir tarnauja iki 40 kartų ilgiau nei kaitrinės.

Kitas elektros sąnaudų mažinimo būdas – išmanusis apšvietimas kuris atitinka vartotojo poreikius ir prisitaiko prie aplinkos veiksnių. Pavyzdžiui, dienos metu biure galima sumažinti šviestuvų, esančių prie lango, intensyvumą, o mažiau apšviestoje vietoje šviesos srauto intensyvumą padidinti. Taip išlaikomas optimalus darbo aplinkos šviesos intensyvumas ir sumažinama bendrai suvartojama šviestuvų energija. Valdymo sistema patrauklesnė vartotojui, kai sistema valdoma nuotoliniu būdu iš išmaniųjų įrenginių.

Šio darbo tikslas yra sukurti išmanų šviesos šaltinių valdymo įrenginį, kuris valdytų šviestuvų intensyvumą, atliktų šviestuvų parametrų matavimus ir radijo ryšiu komunikuotų su serveriu, išsaugodamas sistemos duomenis. Sistema apdoroja valdymo įrenginio duomenis ir pateikia operatoriui, prisijungusiam prie sistemos nuotoliniu būdu, per internetą iš kompiuterio ar kito išmanaus įrenginio. Užtikrinti patikimą kaitrinės lempos ir LED šviesos intensyvumo valdymą, RGB LED spalvos parinkimą.

# 1. APŽVALGINĖ DALIS

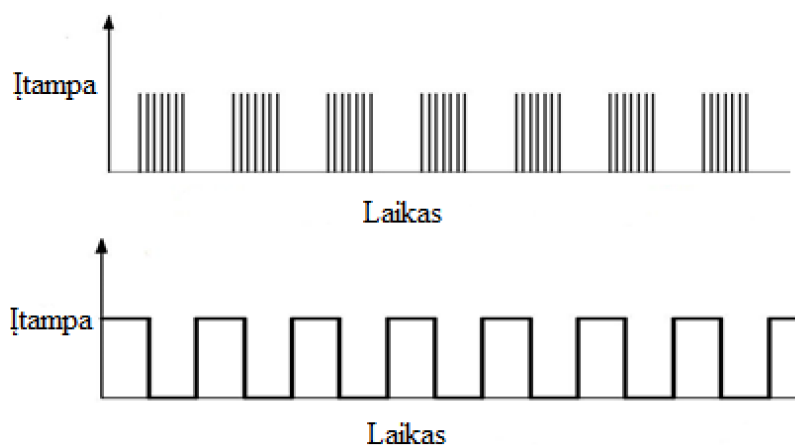
Šioje dalyje apžvelgiami įvairūs belaidžiai komunikacijų tinklai bei rinkoje esančios panašios belaidės išmanios apšvietimo valdymo sistemos, jų funkcionavimo metodai ir komponentai.

## 1.1. Bevielis tinklas

Bevielis tinklas – tai tinklas, kuris komunikuoja su kitais įrenginiais nenaudojant kabelių informacijai perduoti. Veikimo atstumas siekia nuo kelių metrų (pavyzdžiui televizoriaus pultas) iki tūkstančius kilometrų (pavyzdžiui, radijo ryšys). Susisiekimo atstumas priklauso nuo komunikavimo tipo.

### 1.1.1. Infraraudonųjų spindulių sąsaja.

Informacija moduluojama pasinaudojus amplitudine moduliacija ir paverčiama šviesos impulsų seka, perduodama naudojant šviesos diodą (1.1 pav.). Šią šviesos impulsų seką fiksuoja imtuvo jutiklis, jautrus infraraudoniesiems spinduliams ir atkuria perduodamą signalą. Šios sąsajos duomenų perdavimo sparta nedidelė ir paprastai dirba nuoseklaus prievado (COM) sparta, kuri siekia iki kelių šimtų kilobitų per sekundę.



1.1 pav. Šviesos impulsų seka (viršuje) ir atkurtas signalas (apačioje)

Infraraudonųjų spindulių (IR) sąsają turi privalumų lyginant ją su radijo ryšiu. Šios sąsajos veikimo pralaidumo juosta nėra reglamentuojama ryšių tarnybos. Dėl panašaus bangos ilgio su matoma šviesa, IR bangos nesklinda per sieną ar kitus nepermatomus objektus. Dėl to sąsaja yra saugesnė ir sumažėja tikimybė, kad duomenys bus nuskaityti pašalinių asmenų.

Pagrindinis trūkumas naudojant IR sąsają tas, kad reikia užtikrinti tiesioginį siųstuvo ir imtuvo matomumą ir pasirinkti tinkamą atstumą tarp įrenginių. Dėl per didelio atstumo didėja triukšmo lygis iš aplinkos apšviestumo imtuve, priiminėjant signalą [1].

1.1 lentelė. Infraraudonųjų spindulių ir radijo kanalų savybės

Savybė	Infraraudonųjų spindulių	Radijo ryšio
Dispersija	Taip	Taip
Pralaidumo apribojimo šaltiniai	Aukštas fotodiodų talpumas, dispersija	Reguliuojamas
Vyraujančio triukšmo šaltiniai	Aplinkos apšvietimas	Interferencija su kitais vartotojais
Saugumo lygis	Aukštas	Žemas
Atstumas	Mažas	Didelis

1.1 lentelėje palyginamos infraraudonųjų spindulių sąsajos ir radijo ryšio savybės.

### 1.1.2. Palydovinis ryšys

Signalas siunčiamas į orbitoje skriejančią palydovą, kur signalas sustiprinamas ir išsiunčiamas atgal į žemės paviršiuje esančią stotį. Taip pasiekiamas didelis komunikavimo atstumas neatsižvelgiant į trukdžius dėl reljefo tarp siųstuvo ir imtuvo. Palydovinio ryšio signalui perduoti naudojamos elektromagnetinės bangos, kad būtų išvengta interferencijos su kitais ryšio kanalais. Skleisto spektro galimybė palydovuose leidžia pasiekti didelę pralaidumo juostą. Ji naudojama daugiausiai fiksuoto ryšio paslaugoms [2].

### 1.1.3. Wi-Fi

Wi-fi naudoja 2.4 GHz (12 cm) ultratrumpą bangas ir 5 GHz (6 cm) centimetrines ISM (angl. *Industrial, scientific and medical*) bangas. IEEE 802.11 standartų grupė aprašo perdavimo terpės valdymo (angl. *MAC*) lygmenį, valdymo protokolus ir paslaugas ir 3 fizinius lygmenis (angl. *PHY*). Wi-Fi technologija apibendrina IEEE 802.11 standartai [3].

- IEEE 802.11a veikia 5 GHz dažnių ruože ir siekia iki 54 Mbps perdavimo spartą. Fizinis lygmuo naudoja ortogonalų dažnių tankinimą (angl. *OFDM*) su 52 subnešliais, 48 skirta perduoti duomenis, 4 signaliniai subnešliai. Naudojama 64 bitų greitoji Furjė transformacija signalams priimant ir apdorojant.
- IEEE 802.11b veikia 2.4 GHz dažnių ruože ir perduoda duomenis 5,5 ir 11 Mb/s sparta. Taip pat palaiko 1 bei 2 Mb/s spartą. 802.11b standartas palaiko DBPSK, DQPSK moduliacijas. Naudojama atvirkštinio kodo manipuliavimo moduliacija siekiant padidinti

duomenų perdavimo spartą.

- IEEE 802.11g veikia 2,4 GHz dažnių ruože ir gali veikti iki 54 Mb/s sparta. Palaiko 4 moduliacijas: 2 privalomos, 2 papildomos. Naudojant tiesinės sekos spektro sklaidos (angl. *DSSS*), atvirkštinio kodo manipuliavimo (angl. *CCK*) moduliacijas suteikiama galimybė komunikuoti su IEEE 802.11b standarto įrenginiais.

## 1.2. Tinklų klasės

Belaidžiai tinklai skirstomi į 4 klases [5]:

1. PAN (angl. *private area network*) – privačios prieigos tinklas, kai sistema veikia apie 10 m atstumu tarp jos įrenginių. Dažniausiai šį tinklą sudaro išmanusis telefonas, Bluetooth sąsaja sujungtas su išmaniuoju laikrodžiu, ausinėmis ir pan. Belaidžio PAN tinklo įrenginiai dažniausiai naudoja mažai energijos ir yra maitinami mažomis baterijomis.

2. LAN (angl. *local area network*) – lokalsios prieigos tinklas, kai visa sistema išsidėsčiusi 100 m atstumu. Tokios sistemos pavyzdys – belaidis Wi-Fi tinklas namų įrenginiams, tokiems kaip kompiuteris, televizorius, telefonas, ir kt..

3. NAN (angl. *neighbor area network*) – kaimynystės prieigos tinklas, kai sistema išsidėsčiusi apie 25 km atstumu. Šis tinklas transliuoja galingas radijo bangas, tačiau informacijos perdavimo greitis – lėtas. Tokio tinklo pavyzdys – skaitiklių matavimų perdavimas vietinei įmonei, naudojant patentuotą 868/915 MHz radijo bangų protokolą.

4. WAN (angl. *wide area network*) – globalios prieigos tinklas, kai sistema išsidėsčiusi visame pasaulyje. Internetas laikomas WAN tinklu ir yra sukurtas iš kompleksinių belaidžių ir laidinių junginių.

Pagrindinis bevielio tinklo privalumas, kad nereikia kabelių tarp įrenginių, taip pat lengva įdiegti ir naudotis.

## 1.3. Tinklų topologijos

Belaidžiai tinklai skirstomi ir pagal jų topologiją – kaip tinkle yra išsidėstę mazgai ir kaip jie komunikuoja tarpusavyje. Dvi pagrindinės tinklų topologijos yra žvaigždės (angl. *star*) ir tinklelio (angl. *mesh*).

Žvaigždės topologijoje visi mazgai sujungti su centriniu mazgu, kuris dažniausiai naudojamas kaip vartai (angl. *gateway*) į internetą. Populiarus žvaigždės topologijos pavyzdys – Wi-Fi tinklas, kai centrinis mazgas vadinamas prieigos tašku (angl. *access point*), o kiti mazgai vadinami stotelėmis (angl. *stations*).

Tinklelio topologijoje visi mazgai yra sujungti vienas su kitu. Vienas ar daugiau mazgų šiame tinkle yra naudojamas kaip interneto vartai. Privalumai: tinklas sumodeliuotas su galimybe lengvai jį praplėsti, naudojant mažą radijo bangų perdavimo galią. Taip pat galima patikimiau perduoti duomenis tinkle nei naudojant žvaigždės topologiją, kadangi sistema suranda optimaliausią kelią iki prieigos taško. Tinklo dydis arba maksimalus prisijungusių įrenginių skaičius taip pat gali skirtis. Bluetooth technologija gali vienu metu palaikyti iki 20 junginių, o ZigBee gali palaikyti tūkstančius [4].

#### 1.4. Belaidžių tinklų rūšys

Bluetooth – tai PAN belaidžio tinklo technologija, naudojama trumpų atstumų komunikavimui. Duomenų perdavimo sparta siekia iki 2 Mbps ir dažniausiai naudojama P2P vienas su vienu (angl. *pair-to-pair*) ar žvaigždės topologijose. Ši žemos galios technologija sujungia įrenginius, kurie naudoja mažas įkraunamas baterijas ar šarminius elementus.

ZigBee – žemos spartos, žemos galios technologija. Ji veikia 2.4 GHz dažnių ruože, bet gali palaikyti ir 868 MHz ar 915 MHz radijo bangų dažnius. ZigBee perdavimo sparta yra iki 250 Kbps, bet dažniausiai naudojama mažesnė sparta. Taip pat ZigBee gali išlaikyti ilgus miego intervalus ir mažos galios operacijų ciklus, naudojant monetos dydžio elementą ir veikiant ištisus metus. Naujieji ZigBee įrenginiai netgi turi energijos surinkimo technologiją, kuri suteikia galimybę mažiau eikvoti elementų energiją. ZigBee standartas naudojamas tinklelio topologijose ir gali palaikyti tūkstančius įrenginių vienu metu.

6LoWPAN yra pirmas belaidis standartas, sukurtas IoT (angl. *Internet of Things*) daiktų internetui. Be to, 6LoWPAN įrenginys gali bendrauti su bet koku kitu IP pagrindu paremtu serveriu ar įrenginiu internete, įskaitant Wi-Fi ar *Ethernet* įrenginius. IPv6 protokolas pasirinktas dėl to, kad jis palaiko didesnę adresavimo erdvę, tokiu būdu gaunamas platesnis tinklas ir IPv6 turi automatinę tinklo konfigūraciją. 6LoWPAN tinklas reikalauja *Etherneto* ar Wi-Fi vartų, kad prisijungtų prie interneto. Šis belaidis tinklas veikia tiek 2.4 GHz, tiek 868 MHz, 915 MHz radijo dažnių diapazonuose.

#### 1.5. Apsimokanti sistema

Apsimokančios sistemos tikslas – nustatyti tinkamiausią sprendimo variantą naudojantis turimais duomenimis. Tokios sistemos veikimas paremtas mokymusi iš duomenų rinkinio, pvz. iš nuotraukų, vaizdo ar garso įrašų, kur kiekvienas rinkinio elementas sudarytas iš įėjimo ir išėjimo duomenų. Šiuolaikiniai algoritmai gali apsimokyti ir be mokytojo, nepateikiant jiems išėjimo duomenų. Didžiausias skirtumas tarp tradicinio programavimo ir apsimokančios sistemos yra tas,

kad galima apmokytį sistemą, jog ši atliktų užduotis, neprogramuojant kiekvieno atskiro atvejo ir žingsnio, o leidžiant viską padaryti algoritmams [6].

Šiuolaikiniai gilieji tinklai gali klasifikuoti ar prognozuoti bet kokią informaciją: vaizdus, garsus, tekstą, DNR, laike kintančius duomenis (orus, akcijų biržos tendencijas, ekonomines lenteles). Pritaikymo sričių sąrašas labai platus: veidų, rašytinių simbolių, hieroglifų, teksto atpažinimas, kalbos vertimas į tekstą ir atvirkščiai, autonominių automobilių apmokymas, duomenų gavyba (angl. *data mining*), robotų dirbtinis intelektas, ekonominės, orų prognozės, medicininiai tyrimai, piktybinių navikų atpažinimas ar netgi kompiuterinių žaidimų įvaldymas.

**Dirbtinis neuronas.** Kiekvieno dirbtinio neuroninio tinklo pagrindinė sudedamoji dalis – neuronas. Pagrindinė dirbtinio neurono užduotis – priimti įėjimo kintamųjų rinkinį, atlikti atitinkamus skaičiavimus bei išvesti išėjimo rezultatą. Analizuojant neuroną išskiriamos penkios pagrindinės jo dalys:

1. Įėjimų (angl. *Input*) aibė.

Kiekvienas neuronas turi įėjimų rinkinį  $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$  kurį sudaro realūs skaičiai.  $X$  – įėjimų rinkinys,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – įėjimų reikšmės.

2. Sviurių (angl. *Weight*) aibė.

Kiekvienam įėjimui priskiriamas atitinkamas svorio koeficientas  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ ,  $W$  – sviurių aibė,  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – sviurių koeficientai. Tai realūs skaičiai nurodantys kiekvieno įėjimo svarbą analizuojamam neuronui. Šių koeficientų vertės nustatomos apmokymo metu. Sumuojant įėjimo aibę, padaugintą iš atitinkamų svorio koeficientų, gauname svorinę sumą (1.1):

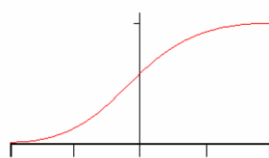
$$a = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n = \sum_{k=1}^n w_kx_k \quad (1.1)$$

3. Slenksčio (angl. *Threshold*) vertė.

Kiekvienas neuronas turi savo aktyvavimo vertę  $w_0$ . Ši reikšmė yra atimama iš įėjimo reikšmių svorinės sumos. Kartais vietoje slenksčio taikoma poslinkio (angl. *Bias*) vertė. Tokiu atveju ši vertė yra pridedama, o ne atimama.

4. Aktyvacijos (angl. *Activation*) funkcija.

Aktyvacijos funkcija  $f(a)$  naudojama galutinės neurono išėjimo vertės skaičiavimui. Šiam tikslui gali būti naudojamos įvairios aktyvacijos funkcijos, jų sudėtingumas priklauso nuo konkretaus neuroninio tinklo sprendžiamo uždavinio. Klasikiniu atveju perdavimo funkcija yra sigmoidinė (1.2 pav.). Taip pat dažnai taikomos tiesinė, slenksčio, hiperbolinė tangento funkcijos.



$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

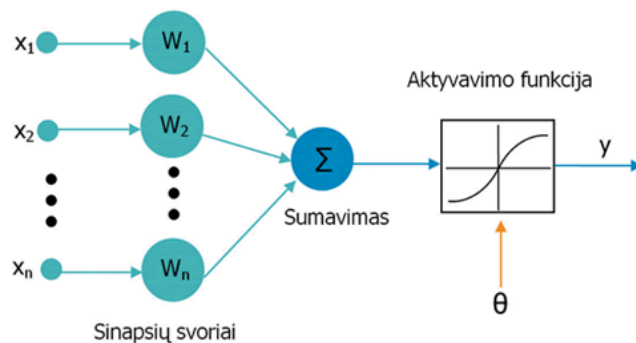
1.2 pav. Perdavimo funkcija – loginis sigmoidas

## 5. Išvestis (angl. Output).

Suskaičiuojamas galutinis neurono išvesties rezultatas, bendruoju atveju naudojama formulė (1.1):

$$y = f(\sum_{k=1}^n w_k x_k - \theta) = f(a - \theta) \quad (1.1)$$

Supaprastinta dirbtinio neurono struktūra pateikiama žemiau (1.3 pav.).



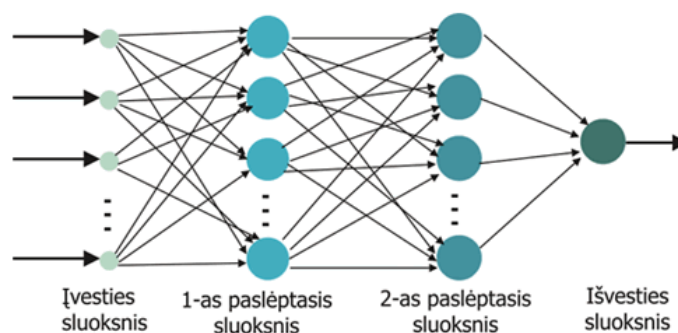
1.3 pav. Dirbtinio neurono sandara[8]

### 1.5.1. Dirbtinis neuroninis tinklas

Naudojamos įvairios dirbtinių neuroninių tinklų atmainos bei struktūros. Paprasčiausia jų – iš vieno sluoksnio sudarytas perceptronas. Jis pasižymi labai ribotomis galimybėmis ir tinka tik nesudėtingų duomenų klasifikavimui. Esant poreikiui atpažinti ir apdoroti sudėtingas duomenų struktūras, imta naudoti daugiasluoksnius perceptronus (angl. *Multi-layer perceptron*) su padidinto funkcionalumo klasifikatoriais. Tokio tipo neuroninis tinklas sudarytas iš įvesties, išvesties bei paslėptųjų sluoksnių, kurių kiekvienas turi atitinkamą neuronų kompleksą[8]:

- Įvesties sluoksnyje neuronai priima informaciją iš išorinių šaltinių ir siunčia ją į paslėptuosius sluoksnius tolesniam apdorojimui. Tai gali būti jutiklių įvestys ar tinklo išorėje esančių sistemų siunčiami signalai.
- Paslėptajame sluoksnyje neuronai priima informaciją iš įvesties sluoksnio bei ją apdoroja taikant tam tikras matematinės operacijas. Šis sluoksnis jungiasi tik su kitais neuroninio tinklo sluoksniais.
- Išvesties sluoksnyje neuronai priima jau apdorotą informaciją bei atlieka šios informacijos išvedimą atitinkamu pavidalu.

Dauguma atvejų neuroniniai tinklai susideda iš nuosekliai vienas po kito einančių sluoksnių. Šių sluoksnių kiekvienas neuronas turi sąsają su kito sluoksnio neuronais. Iš žemesnio sluoksnio signalai keliauja į aukštesnį, kol galiausiai pasiekia išvestį (angl. *Feedforward*). Supaprastinta daugiasluoksnių perceptronų tipo neuroninio tinklo schema pateikta 1.4 pav.



1.4 pav. Daugiasluoksnių perceptronų tipo neuroninis tinklas

### 1.5.2. Dirbtinio neuroninio tinklo apmokymas

Daugiasluoksnių perceptronų tinklo treniravimui būtinas apmokymas su mokytoju (angl. *Supervised Learning*). Tokiam apmokymui reikalingi specialūs mokymui skirti duomenys arba stebėtojas vertinantis neuroninio tinklo tikslumą. Minėto mokymosi įgyvendinimui plačiausiai naudojamas klaidos skleidimo atgal (angl. *Error Backpropagation*) algoritmas. Jis grindžiamas parenkant klaidos funkciją ir minimizuojant ją neuroninio tinklo koeficientų svorių atžvilgiu. Šio algoritmo vykdymo metu atliekamas įėjimo reikšmių skleidimas pirmyn link išėjimo sluoksnio (angl. *Feedforward*), tuomet suskaičiuota paklaida grąžinama atgal link įėjimų sluoksnio bei keičiami svorių koeficientai kiekvienam neuronui [9].

Atlikus daugybę iteracijų tinklo koeficientai vis labiau prisitaiko to tipo duomenų atpažinimui. Norint didinti neuroninio tinklo pajėgumą reikia didinti neuronų ir sluoksnių skaičių, tačiau didėjant dirbtiniam neuroniniam tinklui sudėtingėja jo apmokymo procesas. Daug sluoksnių turintys tinklai vadinami giliaisiais neuroniniais tinklais (angl. *Deep Net*) [10]. Iki 2006 metų tokių tinklų apmokymas trukdavo itin ilgai, o tikslumas dažnai nepasiekdavo reikiamo lygio. Keičiant neuronų svorio koeficientus, išėjime būdavo pastebimas itin mažas pokytis, o didinant koeficientų keitimo žingsnį būdavo sudėtinga priartėti prie optimalių rezultatų. Ši situacija pasikeitė po 2006 metais padarytų atradimų giliųjų tinklų mokyme.

Šie atradimai smarkiai paspartino neuroninių tinklų vystymąsi bei padidino jų pritaikomumą. Pagrindiniai pokyčiai lėmę šį giliųjų tinklų šuolį buvo stochastinio gradientinio nusileidimo taikymas minimizuojant klaidos funkciją, apmokymo be mokytojo (angl. *Unsupervised*) taikymas treniruojant tinklus automatiškai aptikti bazines ypatybes duomenų fragmentuose bei vaizdo plokščių taikymas skaičiavimų pagreitinimui dirbant su dideliais duomenų kiekiais.



## 1.6. Sistemų apžvalga

Trumpai apžvelgiamos šiuo metu esamos, populiariausios apšvietimo sistemos, aptariama kokias pagrindines funkcijas jos atlieka. Taip pat apžvelgiama LED reguliatorių ir pačių apšvietimo sistemų patentai.

### 1.6.1. LightGrid

*General Electric* kompanija yra sukūrusi gatvių apšvietimo stebėjimo sistemą pavadinimu „*LightGrid*™“. Ši sistema renka duomenis ir radijo ryšiu siunčia juos į „*gateway*“ iš kurio per internetą visi surinkti duomenys perkeliama į serverį. Tik serveryje apdorojus duomenis, jie prieinami klientui per išmanųjį įrenginį, per kurį gali valdyti apšvietimo sistemą. Analizuojamos įrenginio atliekamos funkcijos.

Mazgas (angl. „*node*“) matuoja suvartojamą galią, srovę, įtampą, darbo laiką realiu laiku. Visi parametrai išmatuojami gana tiksliai, iki 0,5 % tikslumu. Visi gauti duomenys apsaugomi šifruojant AES šifravimo metodu ir siunčiami į „*gateway*“. Mainai vyksta 915 MHz radijo ryšiu naudojant „*ISM*“ (angl. *Industrial, Scientific and Medical*) dažnių juostą su kuria pasiekama iki 500 m ryšys su „*gateway*“. Kiekvienas mazgas savyje turi integruotą GPS siųstuvą (tikslumas iki 3 metrų) leidžiantį nustatyti mazgo buvimo vietą realiu laiku. Kiekvienas įrenginys valdomas nuotoliniu būdu [6].

Visa sistema veikia tinklelio principu (angl. *mesh*), kai visi mazgai gali komunikuoti tarpusavyje. Tai leidžia įgyvendinti „*Self-forming*“ funkciją, kuri suranda optimalų ryšį tarp „*node*“ ir „*gateway*“ per kitus „*node*“. Adresavimas veikia IPv6 protokolu, o tinklo ryšys veikia IEEE 802.15.4 standartu, naudojant (angl. *Frequency Hopping Spread Spectrum*) šokinėjančio dažnio, skleistos spektro moduliaciją ir galinčiu sujungti iki 50 įrenginių [11].

Iš mazgų gauti duomenys apdorojami serveryje ir pateikiami vartotojui tekstiniu arba grafiniu pavidalu. Duomenų stebėjimas vyksta realiu arba nustatyto laiko intervalu, priklausomai nuo vartotojo pasirinkimo. Taip pat yra galimybė stebėti grupės arba pavienių įrenginių duomenis.

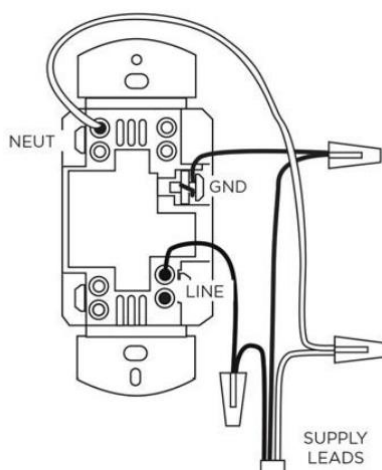
### 1.6.2. SmartCast

„*Cree*“ rinkos lyderė siejanti savo darbus apšvietimo, LED komponentų ir puslaidininkinių komponentų radijo ryšio programoms. Kompanija turi užpatentavusi „*TrueWhite*“ technologiją, kurią panaudojus išgaunama aukštos kokybės balta šviesa (9+ CRI). Pagal kompanijos teigimą ši sistema gali sutaupyti iki 70% apšvietimo išlaidų.

„*Cree SmartCast® Technology*“ tai „*Cree*“ kompanijos sukurta vidaus apšvietimo sistema. Sistemą sudaro apšvietimo reguliatoriai (dimeriai), šviestuvai, nuotolinio valdymo pultas,

valdymo modulis. Nuotolinio valdymo pultas veikia 2,4 GHz tinklelio principu radijo ryšiu naudojant AES 128 bitų šifravimą, leidžiančiu valdyti iki 100 įrenginių tinkle. Veikimo atstumas iki 9,1 metrų komercinės paskirties patalpose arba iki 91,4 metrų atviroje erdvėje be kliūčių.

Apšvietimo reguliatorius nedidelis, komfortabilus, savyje turintis įjungimo, išjungimo ir šviesos intensyvumo reguliavimo funkcijas. Reguliatorius maitinamas 120 – 277 V kintama įtampa, įėjimo galia 0,7 W, kai 120 V ir 1 W, kai 277 V. Įrenginiui reikalingas tik maitinimas, nes šviesos reguliatorius su valdymo moduliu komunikuoja 2,4 GHz radijo ryšiu. 1.5 paveikslėlyje pateikiama sujungimo schema.



1.5 pav. Belaidžio šviesos apšvietimo reguliatoriaus sujungimo schema

Valdymo modulis kontroliuoja šviesos intensyvumą liuminescencinėse lempose paduodant 0-10 V įtampą. Pats modulis maitinamas 120 – 277 V kintama įtampa, didžiausia įėjimo srovė siekia iki 10A, 1 W esant budėjimo režimui. Valdymo modulio išėjime turima 0 – 10 V įtampa, su kuria valdoma šviesos intensyvumas specialiose „Cree“ lempose. Taip pat, modulis turi tiesiogiai prijungtą pasyvųjį infraraudonųjų spindulių (PIR) judesio detektorių. Jis aptinka judėjimą 30,5 m<sup>2</sup> plote jutikliui esant pakabintam 3 m aukštyje [12].

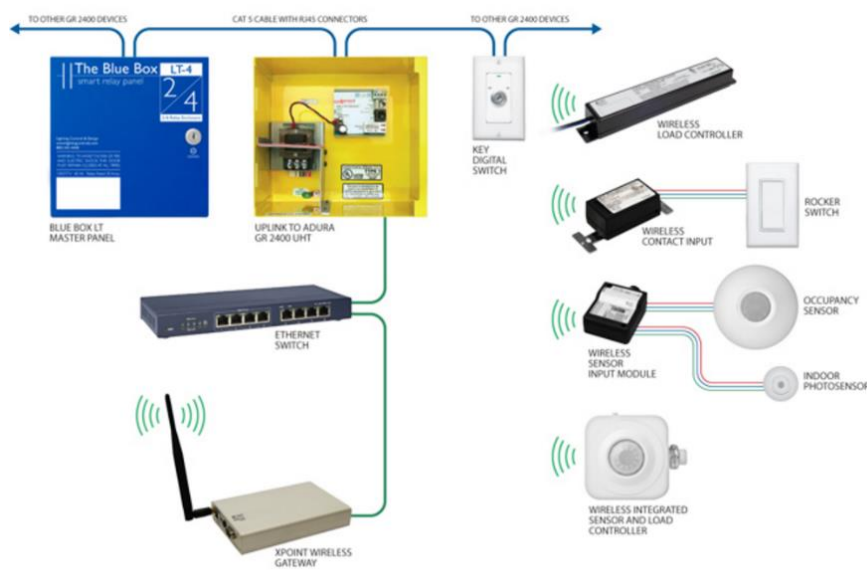
Apšvietimo sistema naudoja „Cree“ kompanijos šviestuvus, kuriuose naudojama „TrueWhite®“ technologija, leidžianti išgauti aukštos kokybės baltą šviesą. Šviestuvai maitinami 120 – 277 V kintama įtampa, bendras harmonikų iškraipymas mažiau nei 20 %, veikia 0 – 35 °C temperatūrų ruože. Su šiais šviestuvais galima keisti šviesos intensyvumą nuo 5 % iki 100 %.

### 1.6.3. xPoint Wireless

Tai „Lighting Control & Design“ kompanijos išleista belaidžio ryšio apšvietimo sistema. Ši sistema leidžia lengvai valdyti individualius arba grupinius apšvietimo įrenginius, reaguojančius tik į nustatytus jutiklius. Visą sistemą sudaro valdiklis, maršrutizatorius, sensoriai (patalpos vietos užimtumui tikrinti), valdymo sąsaja. Apšvietimo mikrokontroleris pagal nustatytą

laiką surenka informaciją iš šviestuvų apie suvartotą galią. Pats mikrokontroleris maitinamas 120 – 277 V kintama įtampa, veikia -20 – 70 °C temperatūrų diapazone, išėjimo galia +12 dBm. Matuojamos įtampos ir srovės tikslumas siekia 2 %. Visa informacija saugoma mikrokontrolerio atmintyje, kad informacija nebūtu prarasta nutrūkus maitinimui. Taip pat savyje turi integruotą anteną komunikavimui su maršrutizatoriumi.

Valdiklis sujungtas su jungikliu, kurio pagalba šviesa įjungiama/išjungiama, kontroliuojamas šviesos intensyvumas. Srovė sąsajoje 0,5 mA, išėjimo galia +5 dBm, su maršrutizatoriumi komunikuoja 2,4 GHz. Taip pat sistema turi belaidžius vietos užimtumo jutiklius (angl. *occupancy sensor*), be to turi funkciją rinkti saulės energiją, nes jutiklyje įmontuotos saulės baterijos [13]. Jutikliai prijungti prie specialios sąsajos, per kurią perduoda duomenis iš jutiklių, fotoelementų į kontrolerį. 1.6 pav. pateikiama apšvietimo sistemos struktūra.



1.6 pav. „XPoint“ belaidės apšvietimo sistemos struktūra

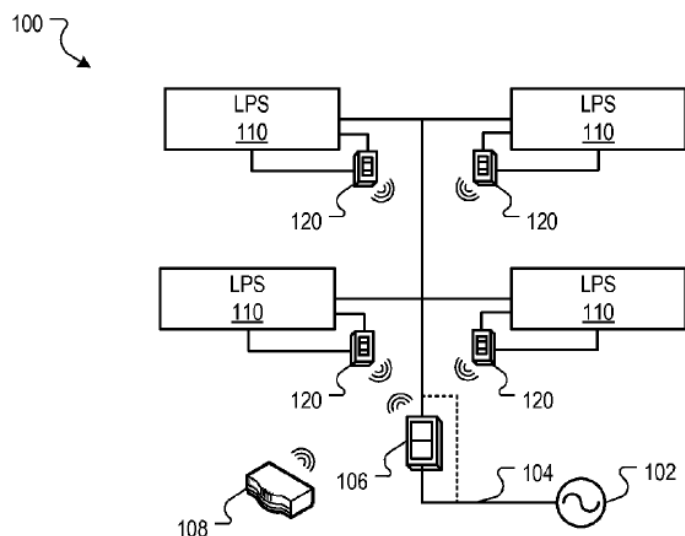
Sistemoje visi įrenginiai tarpusavyje komunikuoja 2,4 GHz tinklelio tipo radijo ryšiu su „self-healing“ funkcija. Visi surinkti duomenys siunčiami į maršrutizatorių, kuris prijungtas prie interneto. Per TCP/IP duomenys patalpinami duomenų bazėje, kur jie apdorojami.

#### 1.6.4. Patentas belaidžio tinklo pritaikymas apšvietimo maitinimo šaltiniui

Belaidė kontrolės sistema, tai valdiklis, kuris priima belaidį signalą ir per trumpą laidinį sujungimą valdo šviestuvo maitinimo šaltinį. Belaidės kontrolės sistemos dažniausiai būna įdiegiamos į jau egzistuojančias laidines valdymo sistemas. Pavyzdžiui, belaidis jungiklis gali suteikti rankinį valdymą išjungiant, įjungiant ar pritemdant apšvietimą, panaudojant tiristorių fazės kampo nukirtinėjimui. Belaidis valdiklis priimdamas belaidį valdymo signalą gali valdyti šviestuvo maitinimo šaltinį panaudodamas sugeneruotą 0-10 V signalą.

Belaidis valdiklis turi įtampos keitiklių ir reguliatorių grandines, kad užtikrintų maitinimą sau nuo pagrindinės tinklo įtampos linijos, generuotų nuolatinę srovę kitiems įrenginiams ir 0 - 10 V valdymo signalą šviestuvo maitinimo šaltiniui.

Panašaus tipo apšvietimo valdymo sistemos apsiriboja tik šviestuvų įjungimu, išjungimu ir šviesos intensyvumo valdymu. Papildomos nuoseklios sąsajos (SPI, UART) tarp valdiklio ir šviestuvo maitinimo šaltinio leidžia kaupti informaciją apie elektros suvartojimą (jei šviestuvo maitinimo šaltinyje yra integruota galios matavimo grandinė) ar šviestuvo maitinimo šaltinio būklę, aptikti jo gedimą.



1.7 pav. Belaidės valdymo sistemos blokinė diagrama [15]

1.7 pav. pavaizduota apšvietimo sistema 100, kurią valdo pagrindinis belaidis įrenginys 108 ir belaidžiai šviestuvų valdikliai 120. Sistemoje pavaizduoti keturi apšvietimo maitinimo šaltiniai (LPS) 110, kurie sujungti su sienoje esančiu jungikliu 106. Maitinimo šaltiniai, pavyzdžiui, gali būti apšvietimo balastai konferencijos salėje, kurie maitina liuminescencines lempas. Taip pat jie gali būti kaip šviesos diodų (LED) ar HID lempų maitinimo šaltiniai.

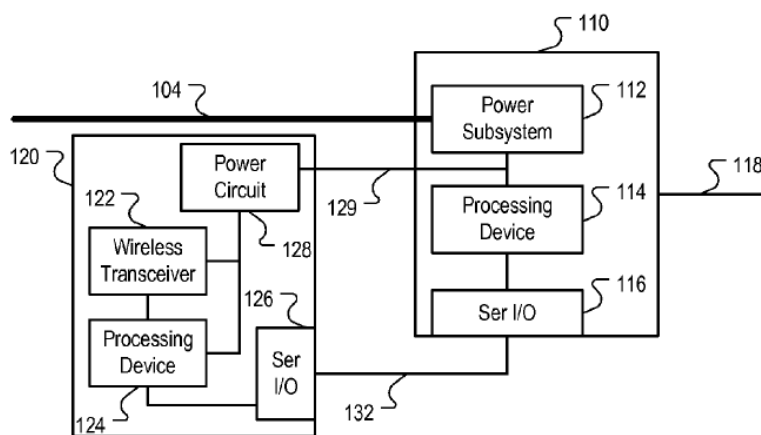
Sienoje įmontuotas jungiklis 106 yra prijungtas prie pagrindinės maitinimo linijos 102. Kaip parodyta, jungiklis gali rankiniu būdu sujungti ar atjungti maitinimo liniją. Kitais atvejais, jungiklis gali būti belaidis, kuris belaidžiu būdu perduoda informaciją valdikliams, kurie išjungia ar įjungia apšvietimą.

Kiekvienas belaidis valdiklis 120 turi belaidį siųstuvą, kuris siunčia ir priima duomenis iš pagrindinio valdiklio 108. Pagrindinis valdiklis 108 turi galios valdymo programinę įrangą, kuri atlieka galios valdymą ir optimizavimą visai apšvietimo sistemai 100.

Visi belaidžiai įrenginiai gali atitikti ZigBee specifikacijas, kurios paremtos IEEE 802.15.4 standartu (žemo dažnio personalinio tinklo standartas). Žemos galios suvartojimo ir žemos greitaveikos reikalavimai ZigBee įrenginiui, sumažina išlaidas ir prailgina elemento gyvavimo

trukmę, todėl dažniausiai šie įrenginiai naudojami kaip jutikliai, kontrolieriai.

1.8 pav. Belaidžio valdiklio ir apšvietimo maitinimo šaltinio blokinė diagrama. 1.8 pav. pavaizduota detalesnė belaidžio valdiklio 120 ir apšvietimo maitinimo šaltinio 110 blokinė diagrama. Belaidis valdiklis 120 turi belaidžiu būdu komunikuojantį įrenginį, kaip pvz. siųstuvą-įmtuvą 122, kuris priima nurodymus iš pagrindinio valdymo įrenginio 108. Priimti duomenys apima valdymo signalus, skirtus apšvietimo maitinimo šaltiniui 110 ir šie signalai perduodami pagrindiniam valdiklio procesoriui 124.



1.8 pav. Belaidžio valdiklio ir apšvietimo maitinimo šaltinio blokinė diagrama [15]

Valdiklio procesorius 124 generuoja valdymo komandas iš belaidžiu būdu priimtų valdymo signalų ir perduoda tas komandas nuoseklia sąsaja 126. Belaidis valdiklis taip pat turi adaptyvią maitinimo grandinę 128, kuri priima nuolatinę srovę iš maitinimo šaltinio 110 per laidininką 129.

Maitinimo šaltinis 110 turi maitinimo posistemę 112, kuri priima kintamą srovę, pavyzdžiui, iš maitinimo linijos 104 ir generuoja reguliuojamą maitinimo signalą apdorojimo įrenginiui 114, ir maitinimą apšvietimo apkrovai 118. Apšvietimo apkrovos 118 maitinimas gali būti tiek kintamos, tiek nuolatinės srovės, priklausomai nuo apšvietimo apkrovos tipo 118. Maitinimo posistemė 112 gali turėti kelias skirtingas galios reguliavimo grandines, pavyzdžiui, kintamos-nuolatinės srovės keitiklis, kintamos srovės reguliatorius. Apdorojimo įrenginys 114 generuoja valdymo signalus, kurie nusako maitinimo posistemei reguliuoti apšvietimo apkrovos 118 maitinimo signalą, pavyzdžiui, pritemdyti apšvietimą.

Siunčiant ir priimant valdymo duomenis, belaidis valdiklis 120 gali komunikuoti su maitinimo šaltinio 110 apdorojimo įrenginiu 114 ir gauti informaciją apie šviestuvo veikimo laiką, galios suvartojimą, sistemos būklę.

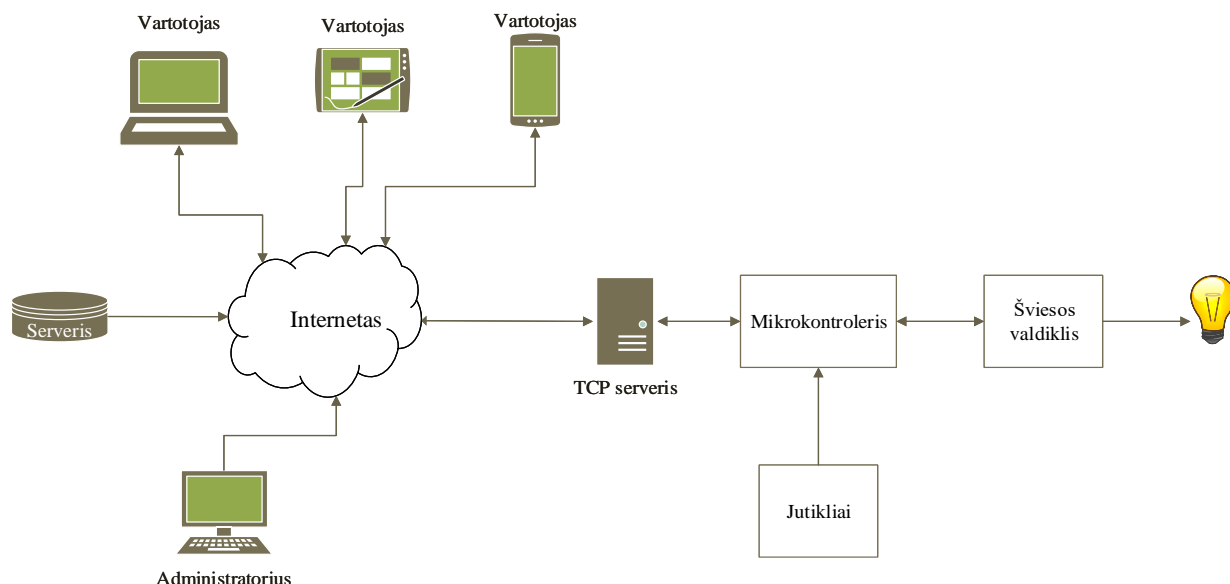
Prie valdiklio gali būti prijungiami ir kiti įrenginiai, kurie suteikia daugiau papildomos informacijos, tai – judesio jutiklis, apšviestos jutiklis, terminis jutiklis [14].

Šios sistemos pagrindinis privalumas – belaidžiai valdikliai yra montuojami nuosekliai maitinimo linijai tiesiogiai susijungdami su apšvietimo maitinimo šaltiniu, todėl galima juos įmontuoti į jau veikiančią apšvietimo sistemą.

Sistemos trūkumai: apšvietimo maitinimo šaltiniai turi turėti nuosekliai sąsają, kad galėtų būti valdomi belaidžio valdiklio, todėl valdikliai nepritaikomi paprastai apšvietimo sistemai. Sistema negeba rinkti informacijos apie galios suvartojimą ir pateikti tai vartotojui.

## 1.7. Sistemos koncepcija

Atlikus panašių sistemų analizę, sudaroma projektuojamos sistemos koncepcija. Prie valdymo įrenginio yra galimybė prijungti jutiklius (šviesos, judesio), kurie padeda nustatyti patalpoje esama padėtį: ar yra patalpoje žmonių, kiek šviesos patenka iš aplinkos. Visi šie duomenys surenkami ir apdorojami mikrokontroleryje. Pastarasis yra prijungiamas prie TCP serverio, kuris komunikuoja su duomenų baze. Surinkta informacija apie šviestuvo parametrus (suvartojamą galią, elektros energiją, apšvietimo intensyvumo lygį) talpinama į duomenų bazę, kurioje visa surinkta informacija apdorojama ir pateikiama vartotojui skaitiniu, grafiniu pavidalu. Prisijungus prie sistemos visa informacija pasiekama per interneto naršyklę naudojantis išmaniuoju telefonu, planšete ar nešiojamu kompiuteriu. Taip pat priimtina galimybė valdyti sistemą per mobiliąją aplikaciją.



1.9 pav. Sistemos aparatinės dalies struktūra.

1.9 paveikslėlyje pateikiama sistemos struktūra su sistemos įrenginiais

### **1.7.1. Valdymas**

Sistema turi būti valdoma nuotoliniu būdu per interneto tinklą. Tai galima daryti per interneto naršyklę ar mobiliąją programėlę išmaniajame telefone ar planšetėje. Prisijungus prie sistemos, vartotojui yra suteikiama galimybė valdyti šviesos intensyvumą, kurti ir redaguoti profilius. Profiliai, tai vartotojo sukurti šviesos efektai (pvz.: tam tikrą valandą sumažink šviesos intensyvumą). Sistema turi būti valdoma ne tik pagal šviesos intensyvumą, bet ir pagal nustatytą galios limitą šviestuvui ar jų grupei. Taip pat sistema turi turėti nustatytą avarinio režimo profilį, kuriuo ji veiktų, jei dingtų interneto ryšys.

### **1.7.2. Informacijos surinkimas**

Sistema turi matuoti darbo laiką ir rinkti informaciją apie suvartotą elektros energiją bei momentinį galingumą. Visą šią informaciją turi pateikti grafiniu pavidalu vartotojo sąsajoje. Žinant šiuos parametrus, sistema turi iš anksto apskaičiuoti ir aptikti gedimo faktą iki jam pasireiškiant. Dažniausiai šviesos šaltiniai turi nustatytą veikimo valandų skaičių, tad nuolat matuojant darbo laiką sistema turi įspėti vartotoją apie galimai greitai perdegsiančią lempą. Taip pat vartotojo sąsajoje sistema turi parodyti kiekvienos lempos buvimo vietą.

### **1.7.3. Tinklai ir potinkliai**

Tinklo dalinimas į potinklius leidžia vieną bendrą tinklą padalinti į mažesnius loginius tinklus. Potinklis sudaromas pasiskolinant bitus iš mazgų numeruoti skirtų bitų. Dalinant tinklą į potinklius, galimų tinklų skaičius išauga, o mazgų skaičius, šiuose tinkluose – sumažėja. Kiekvienas sudarytas naujas potinklis turi visus tinklui būdingus bruožus: potinklio IP adresą, mazgams skirtus IP adresus ir transliacinį adresą. Dalinant tinklą į potinklius, nustatoma planuojamų tinklo segmentų kiekį, mazgų adresų kiekį kiekvienam segmentui. Kiekvienam iš segmentų paliekama neišnaudotų adresų, tai leidžia ateityje plėsti tinklą.

### **1.7.4. Papildomos funkcijos**

Panaudojimo vietos: koridoriai, laiptinės, rūšiai, laukas (daviklis montuojamas po stogu, kur nėra jokių vandens patekimo galimybių). Daviklis savyje turi 3 reguliatorius, kurie reguliuoja: 1-asis judesio daviklio jautrumą (tam kad daviklis nesuveiktų nuo naminių gyvūnų judėjimo patalpoje), 2-asis reguliuoja apšvietimo įjungimo laiką nuo 5 sek. iki 420 sek. (pasireguliuojama kiek laiko turi degti apšvietimas davikliui suveikus), 3-asis reguliuoja daviklį, kad šis neįjungtų apšvietimo esant pakankamam apšvietimui (šviesa nebūtų įjungiamas ir suveikus davikliui dienos metu, kai apšvietimas pakankamas).

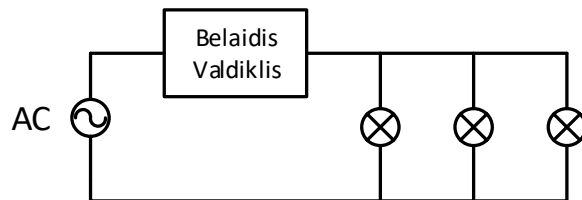
## 1.8. Sistemos specifikacijos

Skyriuje pateikiama informacija apie sistemos sudedamąsias dalis ir jai keliamus reikalavimus. Trumpai pateikiami veikimo principai.

### 1.8.1. Belaidis apšvietimo valdiklis

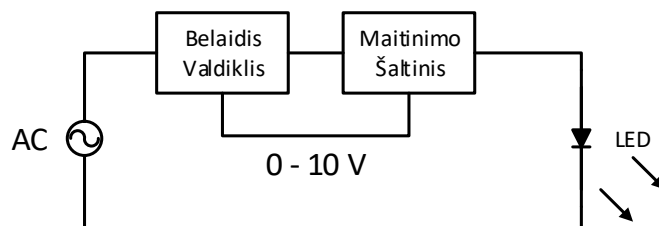
Belaidis sistemos valdiklis turi atlikti daugybę funkcijų:

1. Valdyti kaitrinių lempučių galingumą, kurių dėka reguliuojamas apšvietimo intensyvumas, įjungimas ar išjungimas. Galingumas keičiamas „nukertant“ kintamos tinklo įtampos signalą valdiklio (dimerio) išėjime. Tai galima įgyvendinti tiristoriaus pagalba, kuris bus valdomas mikrovaldikliu. Mikrovaldiklis generuodamas valdymo signalus atidarinėja tiristorių, o jis užsidaro, tik kai tinklo įtampos signalas kerta nulinę ribą. Kuo rečiau bus siunčiami valdymo signalai į tiristorių, tuo labiau bus nukertamas tinklo įtampos signalas ir išėjime turėsime mažesnę įtampą bei galingumą.



1.10 pav. Belaidžio valdiklio jungimas į kaitrinių lempų apšvietimo sistemą

2. Generuoti 0-10 V nuolatinės įtampos signalą. Šis signalas bus naudojamas liuminescencinių ir LED šviestuvų maitinimo šaltinių valdymui. Jei apšvietimo sistema jau įdiegta ir turi paruoštus valdyti maitinimo šaltinius, tai paranku belaidžiui valdikliui generuoti šį signalą.



1.11 pav. Belaidžio valdiklio jungimas į LED lempų apšvietimo sistemą

3. Generuoti DALI valdymo signalą. Šis signalas bus naudojamas šviestuvų maitinimo šaltinių valdymui, kurie turi DALI valdymo įėjimus.

4. Turėti atsarginį avarinį režimą. Nutrūkus elektros tiekimui, veikti iš elemento ir nustatyti minimalų šviesos srautą. Tam atlikti bus parašoma programa mikrovaldikliui.

5. Matuoti momentinį galingumą ir siųsti informaciją į serverį.

6. Fiksuoti šviestuvo veikimo laiką ir siųsti informaciją į serverį.



7. Turėti apsaugą nuo viršįtampio. Tam reikalingas viršįtampio ribotuvas.
8. Veikti -30 °C – 70 °C temperatūros diapazone.

### 1.8.2. Saugumas

Pagrindiniai saugumo reikalavimai keliami saugiam duomenų perdavimui vartotojui.

1) Reikalavimai vartotojo paskiros apsaugai: užtikrinti vartotojų slaptažodžio patikimumą neleidžiant registruoti silpnų slaptažodžių ir galimybę atkurti prisijungimo duomenis. Taip pat, naudoti užrakinimo mechanizmą (angl. *Lockout mechanism*). Turėti galimybę prisijungti naudojant elektroninį parašą.

2) Reikalavimai naudojimo aplinkos apsaugai: naudoti HTTPS protokolą apsaugoti perduodamą informaciją naudojant naršyklę. Užtikrinti saugų interneto ryšį atliekant operacijas ir apsaugoti nuo kibernetinių atakų.

3) Duomenų šifravimas: duomenų apsaugai naudoti AES-128 arba AES-256 šifravimo metodą. Užtikrinti saugų komunikaciją tarp internetinio ir TCP serverio.

### 1.8.3. Tinklai ir potinkliai

Tinklo dalinimas į potinklius padalina vieną bendrą tinklą į mažesnius loginius tinklus. Potinklis sudaromas pasiskolinant bitus iš mazgui numeruoti skirtų bitų. Dalinant tinklą į potinklius, galimų tinklų skaičius išauga, o mazgų skaičius, šiuose tinkluose, sumažėja. Kiekvienas sudarytas naujas potinklis turi visus tinklui būdingus bruožus: potinklio IP adresą, mazgams skirtus IP adresus ir transliacinį adresą. Dalinant tinklą į potinklius, nustatoma planuojamų tinklo segmentų kiekį, mazgų adresų kiekį kiekvienam segmentui. Kiekvienam iš segmentų paliekama neišnaudotų adresų, tai leidžia ateityje plėsti tinklą.

### 1.8.4. Serveris

Serverio paskirtis yra kaupti duomenis apie kiekvieno sistemoje esančio šviestuvo suvartojamą elektros energiją, momentinį galingumą, darbo laiką. Naudoti NTP (angl. *Network Time Protocol*) protokolą sistemos realaus laiko sinchronizavimui. Taip pat saugoti vartotojo panelės konfigūracijas, profilius, slaptažodžius, atliktų veiksmų istoriją ir kitus duomenis duomenų bazėje. Galimybė prisijungti prie vidinio žiniatinklio serverio per *ethernet* jungtį. Prie serverio rekomenduojama prijungti nepertraukiamos srovės maitinimo šaltinį, kad įvykus gedimui ir nutrūkus elektros energijos tiekimui serveris būtų aktyvus ir palaikytų sistemos darbą. Esant

kritiniam atvejui, nepertraukiamos srovės maitinimo šaltinis galėtų saugiai išjungti sistemos serverį neprarandant ir nesugadinant svarbių duomenų esančių serveryje.

### **1.8.5. Apsimokymas, rekomendavimas**

Prietaisų duomenys renkami ir saugomi duomenų bazėje. Jie naudojami sistemos apsimokymui. Kiekvienas sluoksnis giliajame tinkle naudoja ypatybes kurias išrinko ankstesnis sluoksnis, bei jas apjungus išskiria vis sudėtingesnius duomenų modelius. Sistemai padavus komandą įjungti apšvietimą, įvesties sluoksniui pateikiami realaus laiko jutiklių parametrai. Tokiu atveju paslėptuose sluoksniuose duomenys išanalizuojami, palyginant su anksčiau naudotais nustatymais su panašiais parametrais, ir tiksliausias atitikmuo pateikiamas išėjime. Sistema reaguoja į pasikartojančius parametrus ir pasiūlo juos vartotojui.

### **1.8.6. Vartotojo valdymo panelė**

Vartotojo valdymo panelė yra interneto puslapis, patalpintas sistemos serveryje, kuri galima pasiekti iš bet kurios pasaulio vietos prisijungiant prie interneto. Prisijungimui naudojamas vartotojo identifikavimo vardas ir slaptažodis. Valdymo panelėje vartotojas gali matyti šviestuvų suvartojamą elektros energiją (tekstu ir grafiniu pavidalu), momentinį galingumą (tekstu ir grafiniu pavidalu), darbo laiką, jutiklių parodymus. Vartotojas gali reguliuoti intensyvumą, išjungti ar įjungti šviestuvus, pasirinkti norimą šviesos atspalvį, kurti valdymo profilius pagal: laiką, šviestuvo galią, judesio ir šviesos jutiklio duomenis. Taip pat nustatyti automatinį šviestuvų valdymo režimą, grupuoti šviestuvus, matyti ir nustatyti jų dislokacijos vietą. Vartotojo panelėje taip pat pateikiama informacija apie artėjantį šviestuvo gedimo faktą.

### **1.8.7. Belaidžiai jutikliai**

Panaudojimo vietos: koridoriai, laiptinės, rūšiai (sausai), laukas (kai daviklis montuojamas po stogu, nėra jokių vandens patekimo galimybių). Daviklis savyje turi 3 reguliatorius, kurie reguliuoja: 1-asis judesio daviklio jautrumą (tam kad daviklis nesuveiktų nuo naminių gyvūnų judėjimo patalpoje), 2-asis reguliuoja apšvietimo įjungimo laiką nuo 5sec. iki 420sec. (pasireguliuojama kiek laiko turi degti apšvietimas davikliui suveikus), 3-asis reguliuoja daviklį kad šis neįjungtų apšvietimo esant pakankamam apšvietimui, kad šviesa nebūtų įjungžiama ir suveikus davikliui dienos metu, kai apšvietimas pakankamas.

Apsaugos funkcija. Taip pat judesio davikliai naudojami kaip apsaugos priemonė. Nustačius funkciją, kad patalpoje, pastate nieko nėra, jutikliai nepereina į miego režimą, o išlieka

budėjimo režime. Jutikliams patalpoje aptikus judėjimą išsiunčiamas pranešimas nustatytam asmeniui, kad patalpoje yra žmonių, siekiant jį atsakingas asmuo sureaguotų į situaciją.

Apšvietimo jutikliai. Dirbtinio apšvietimo intensyvumas nuolat koreguojamas, kad atspindėtų natūralios šviesos savybes. Vidurdienį, visa arba didžioji dalis apšvietimo gaunama iš išorės, o artėjant vakarui apšvietimo funkciją perima dirbtinio apšvietimo sistema. Patys jutikliai reaguoja į skenuojamos zonos apšvietimą, optimaliomis sąlygomis tai būtų darbo sritis, kuri reikalauja nuolatinio apšvietimo. Automatinis intensyvumo reguliavimas leidžia sumažinti eikvojamą apšvietimo energiją. Patys jutikliai neturėtų būti tvirtinami nukreipti nuo šviesos šaltinių, pavyzdžiui, langų, nes tai gali neigiamai paveikti jutiklių duomenis. Kai aplinka neturi vienodos prieigos prie dienos šviesos, tada galima suskirstyti patalpą į skirtingas dalis ir skirtingai išdėstyti jutiklius. Tokiu principu galima užtikrinti tolygų apšvietimą visoje patalpoje. Belaidėje apšvietimo sistemoje bus naudojami judesio ir apšvietimo jutikliai. Jutikliams keliami reikalavimai yra:

1. Matuoti aplinkos apšvietumą. Tam bus naudojami jutikliai su fotorezistoriumi.
2. Fiksuoti judesius. Tam bus naudojami jutikliai su PIR elementais. Judesio aptikimo atstumas – iki 5 m. Aptikimo kampas – 100-150°.
3. Veikti -10 °C – 40 °C temperatūros diapazone.
4. Miego režime suvartoti <0,5 W galios.

### **1.8.8. Avarinio apšvietimo galimybė**

Avarinio apšvietimo funkcija leistų apšviesti patalpas nutrūkus ryšiui su pagrindiniu energijos šaltiniu. Nutrūkus ryšiui sistemos išlaikymui būtų naudojamų papildomas energijos šaltinis (atsarginis generatorius). Tokiu atveju patalpa vis dar būtų apšviesta su mažesniu apšvietimu taip nesukeliant asmenims nepatogumą ir palengvinant gedimo šalinimą.

## **1.9. Šviesos parametrai**

Šviesos srautas  $\Phi$  tai fotometriniis parametras ir nusako energijos kiekį šviesos šaltinis išspinduliuoja į ploto vienetą. Šviesos srautas matuojamas liumenais (lm). Esant 555 nm bangoms ir 1 W spinduliavimo galiai atitinka 683 lm.

Šviesos stipris  $I_v$  tai šviesos srauto ir erdvinio kampo, kuriame jis sklinda ir vienodai pasiskirsto santykis. Šviesos stiprio matavimo vienetą yra liumenas (lm). Liumenas yra tarptautinės matavimo vienetų sistemos vienetą:

$$1 \text{ lm} = \text{cd} \cdot \text{sr} \text{ (kandela steradianui)} \quad (1.2)$$

Kur *cd* kandela yra dar vienas šviesos srauto matavimo vienetą, tačiau tai yra srautas,

matomas tam tikru apibrėžtu kampu, už kurio ribų šviesos intensyvumas idealiu atveju būtų lygus nuliui. Pilna sfera turi  $4 \cdot \pi$  steradianų erdvinį kampą, tokiu būdu šviesos šaltinis, kuris tolygiai spinduliuoja vieną kandelę į visas puses, apibūdinamas bendru šviesos srautu, lygiu:

$$1 \text{ cd} \cdot 4\pi \text{ sr} = 4\pi \text{ cd} \cdot \text{sr} \approx 12,57 \text{ lm} \quad (1.3)$$

Apšvieta – šviesos srautas, tenkantis vienetiniam paviršiaus plotui. Ji paprastai žymima raide  $E$ , o jos matavimo vienetas yra liuksas:

$$E = \Phi/S, \quad (1.4)$$

čia  $\Phi$  – šviesos srautas [lm],  $S$  – plotas  $\text{m}^2$ .

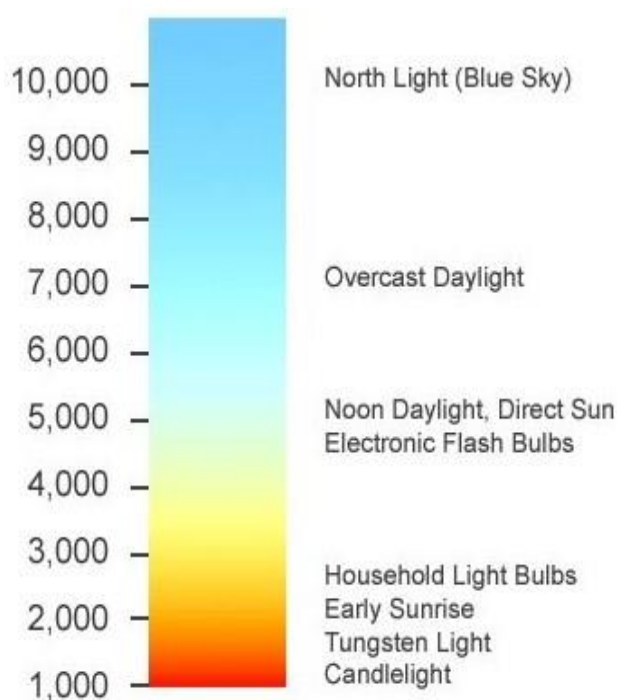
$$[E] = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ cd} \cdot \text{sr}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ lx} \quad (1.5)$$

Liuksas – apšvietos matavimo vienetas. 1 liuksas – tai paviršiaus apšvieta, kurią sukelia 1 lm šviesos srautas, krintantis į  $1 \text{ m}^2$  ploto paviršių [15].

1.1 lentelė. Natūralūs šviesos šaltiniai ir sklaidžiama šviesa [16].

Šviesos šaltinis	Apšvieta, lx
Tiesioginiai saulės spinduliai	100 000
Giedras dangus	1 000
Apsiniaukusi diena	100 – 1000
Saulėlydis	1 - 10
Pilnatis	0,1

Šviesos temperatūra yra svarbus regimos šviesos parametras, nurodomas kelvinais ( $K$ ). Kitaip tariant šviesos temperatūra nusako šviesos šaltumą. Šviesos temperatūros virš 5000 K yra vadinamos šaltomis (mėlynai balta), o žemesnės temperatūros (2700 - 3500 K) šiltomis (geltonai balta, rausva) [16].



1.12 pav. Šviesos temperatūros skalė

Šalta šviesa labiau tinkama darbo aplinkoje nei šilta šviesa, nes išgauna didesnę kontrastą. Šilta šviesa tinkama namų aplinkoje, nes yra jaukesnė žmogui. Įvairūs tyrimai rodo, kad žmogui rytais yra naudingesnė melsva balta šviesa, nes padeda greičiau prabusti, būti žvalesniam, o vakare – gelsva šviesa, kuri padeda atsipalaiduoti, paruošia organizmą miegui [16].

Efektyvumas parodo, kiek išskiriama šviesos stiprumo sunaudojant vieną vatą elektros energijos.

## 1.10. Apibendrinimas

Pagal aprašytus patentus ir panašias rinkoje esančias sistemas, daroma išvada, kad jos nėra daugiavardinės ir nepasiūlo vartotojui visų galimų funkcijų. Pagrindinės funkcijos, kurias atlieka esami produktai, tai apšvietimo valdymas nuotoliniu būdu, bevielis prietaisų komunikavimas, energijos suvartojimo stebėjimas realiu laiku, duomenų saugojimas debesyse (angl. *cloud*). Kai kurios firmos siūlo apšvietimo sistemas su papildomais jutikliais (apšvietos, judesio). Esamos apšvietimo sistemos pritaikomos tik vienoje srityje, pvz. namų, sandėlių, gatvių apšvietimui.

Sistema turi būti pritaikoma tiek paprastai apšvietimo sistemai, tiek sudėtingai, su šviestuvo viduje įmontuotais maitinimo šaltiniais. Šviestuvai turėtų būti valdomi ne vien vidiniu tinklu, kaip kai kuriose sistemose, bet ir nuotoliniu būdu per internetą. Taip pat svarbu kaupti informaciją apie šviestuvų suvartojamą elektros energiją, galingumą, darbo laiką ir pateikti šią informaciją paprastam vartotojui paprastai ir suprantamai. Vartotojo panelėje suteikti plačias šviestuvų valdymo galimybes, nustatyti darbo laiką, galingumą, įspėti apie galimus sistemos

sutrikimus. Kuriama sistema turi apsimokymo funkciją, kuri leistų sistemai apsimokyti savaime iš surinktų duomenų, pasikartojamų parametrų. Taip pat sistema rinktų informaciją apie prietaisų patikimumą ir leistų rekomenduoti juos kitiems vartotojams.

1. Belaidės apšvietimo sistemos valdymas nuotoliniu būdu iš išmaniųjų įrenginių per interneto naršyklę;
2. Gedimo aptikimas ir jo požymio nustatymas;
3. Šviestuvų momentinio galingumo matavimas ir pateikimas grafiniu pavidalu realiu laiku;
4. Šviestuvų energijos matavimas ir pateikimas grafiniu pavidalu;
5. Šviestuvų darbo laiko matavimas;
6. Apšvietimo profilių, šviesos efektų sukūrimas ir konfigūravimas;
7. Gedimo fakto apskaičiavimas ir aptikimas iki jam pasireiškiant;
8. Šviestuvų dislokacijos vietos nustatymas vartotojo sąsajoje;
9. Šviestuvų valdymas pagal nustatytą galios limitą;
10. Sistemos dalių suskirstymas į tinklus ir potinklius;
11. Apšvietimo, judesio, temperatūros jutiklių integracija;
12. Sistemos tinklo saugumo užtikrinimas (šifravimas, sertifikatų paskirstymas);
13. Automatinis apsimokymas ir pritapimas prie vartotojo poreikių;

## 2. BELAIDĖS APŠVIETIMO SISTEMOS KOMPONENTAI

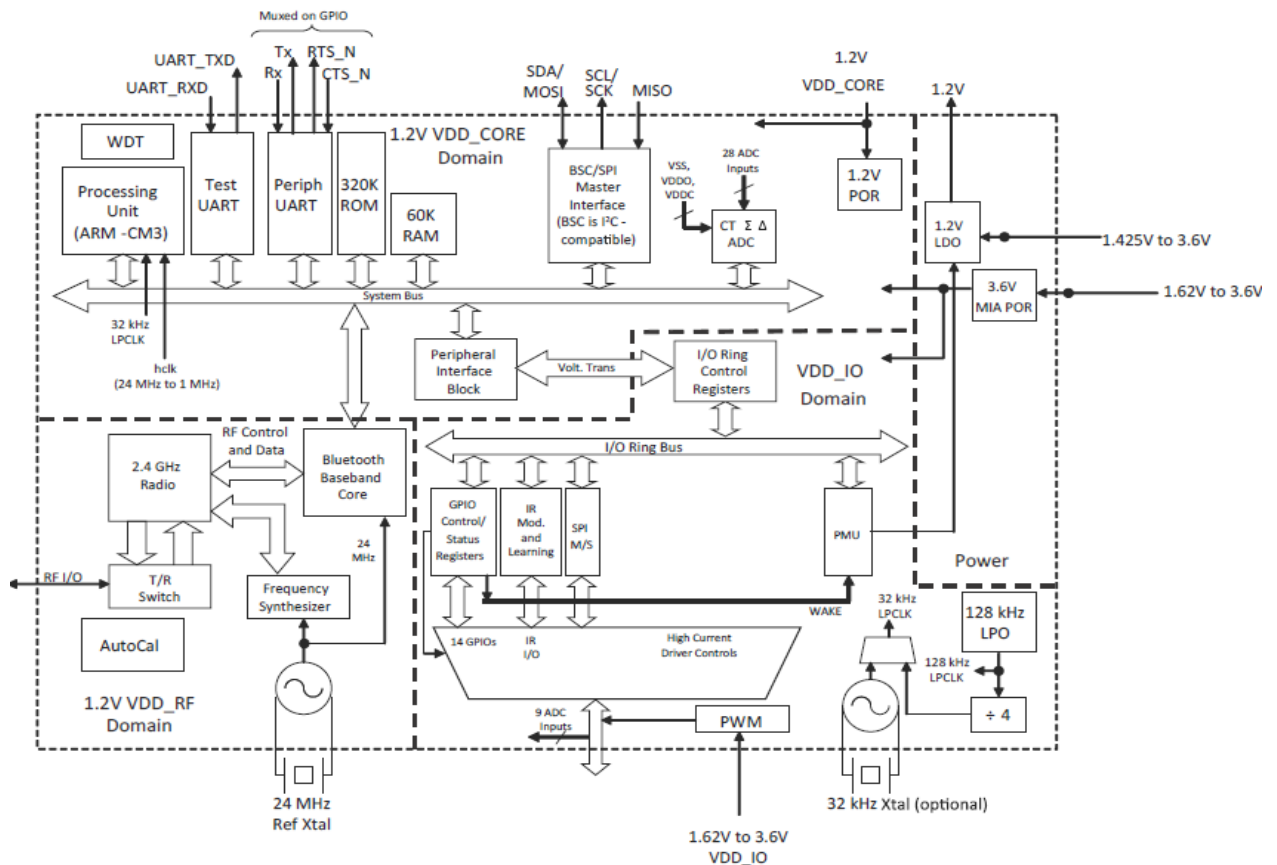
Šiame skyriuje aptariama belaidės apšvietimo sistemos komponentai, posistemės. Apžvelgiami veikimo principai pritaikant anksčiau išnagrinėtas panašias sistemas.

### 2.1. Anaren's A20737 daugiafunkcinis kontroleris

Šviesos valdymui naudojamas *Anaren* firmos BCM20737 kontroleris su A20737 bluetooth moduliu. Šis kontroleris savyje turi: 2.4 GHz imtuvą su *Bluetooth Smart* technologija, Integruotą *ARM Cortex-M3* mikroprocesorių, 4 išorinius PWM valdomus pinus, 10 bitų *ADC* konverterį su 9 analoginiais kanalais, mažas galios suvartojimas priimant (25 mA) ir siunčiant (20 mA), palaiko SPI, I<sup>2</sup>C, PWM, UART, GPIO sąsajas [17].

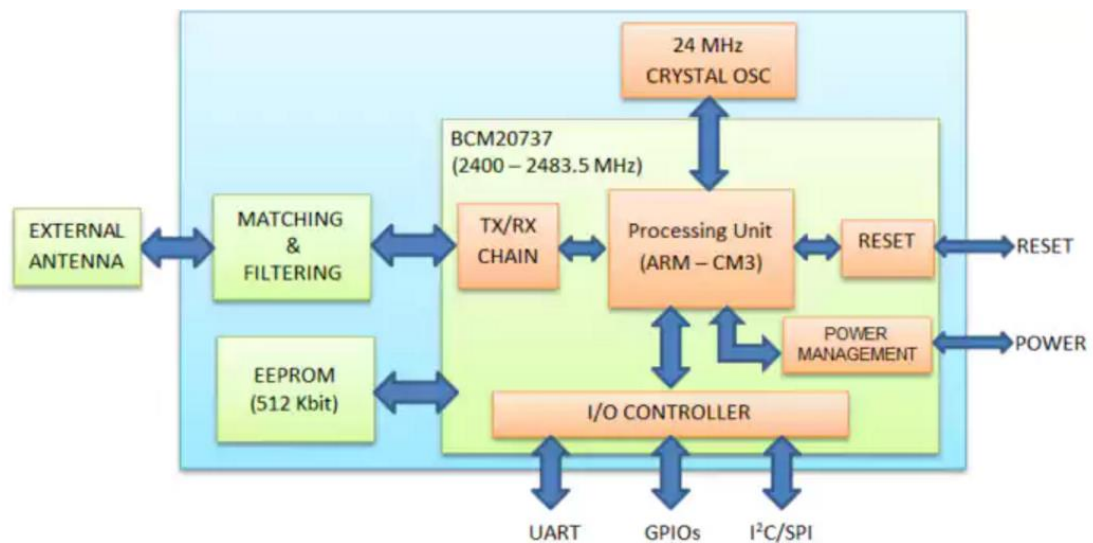
*Bluetooth smart* arba BLE (angl. *Bluetooth Low Energy*) technologija, kurios dėka sumažinta bluetooth įrenginių suvartojama energija, yra sumažintas komunikacijos modulio dydis. Įrenginiai su šia technologija veikia tame pačiame dažnyje kaip ir įrenginiai su sena bluetooth technologija tačiau naudoja tiesinės sekos spektro skaidos (angl. *direct sequence spread spectrum arba DSSS*) moduliaciją. Bluetooth modulis beveik visada būna miego režime, tik siuntimo ar priėmimo metu pabunda iš režimo.

Kontroleris naudojamas aptikti frontų pasikeitimus ir formuojant impulsus šviesos valdikliui įjungti, taip pat jame skaičiuojamas vėlinimo laikas pagal norimą šviesos intensyvumą. Kontroleris programuojamas per interneto naršyklę, nereikalaujant jokių sudėtingų programavimo programų. Sukurti projektai saugomi *Anaren* kompanijos duomenų bazėje su registruota paskyra ir pasiekiami iš bet kurios vietos pasinaudojus paskyros prisijungimo duomenis. Programavimo aplinkoje sukuriama aplikacija, palaikanti *Android* ir *iOS* mobilių telefonų operacines sistemas. Kontroleris naudoja BLE technologiją leidžianti kontrolerį maitinti iš baterijos, užtikrina patikimą komunikavimo ryšį su įrenginiais naudojant raktų parinkimo kriptografiją. Kontrolerio blokinė schema pateikiama 2.1 pav.



2.1 pav. BCM20737 kontrolerio blokinė schema [17]

BCM20737 kontroleris turi 2 nepriklausomas SPI sąsaja: viena valdančioji, o kita valdomoji ir valdoma. Kiekviena iš jų turi 16 baitų siuntimo ir priėmimo buferius. SPI sąsaja palaiko 12 MHz duomenų spartą kai  $VDDIO \geq 2.2\text{ V}$  ir 6 MHz spartą  $2.2\text{ V} > VDDIO \geq 1.62\text{ V}$ . Kontroleris turi išorinius prievadus SPI sąsajai išplėsti, 4 PWM valdomus išėjimus. Kiekvienas iš kanalų turi 10 bitų registrus. Taip pat kontroleris turi išorinius GPIO pinus išplečiant panaudojimo galimybes [17].



2.2 pav. A20737 AIR modulio blokinė schema [17]



Modulio viduje yra *ARM Cortex-M3* mikroprocesorius atlikti operacijoms, 512 Kbit EEPROM atmintį, 24 MHz osciliatorių.

## **2.2. Internetinis puslapis**

Apšvietimo sistemos valdymui naudojama internetinė svetainė, kuri pasiekama per naršyklę. Internetinis puslapis vien valdymu neapsiriboja, per jį stebima visa sistema, nuo suvartojamos energijos iki gedimo pastebėjimo.

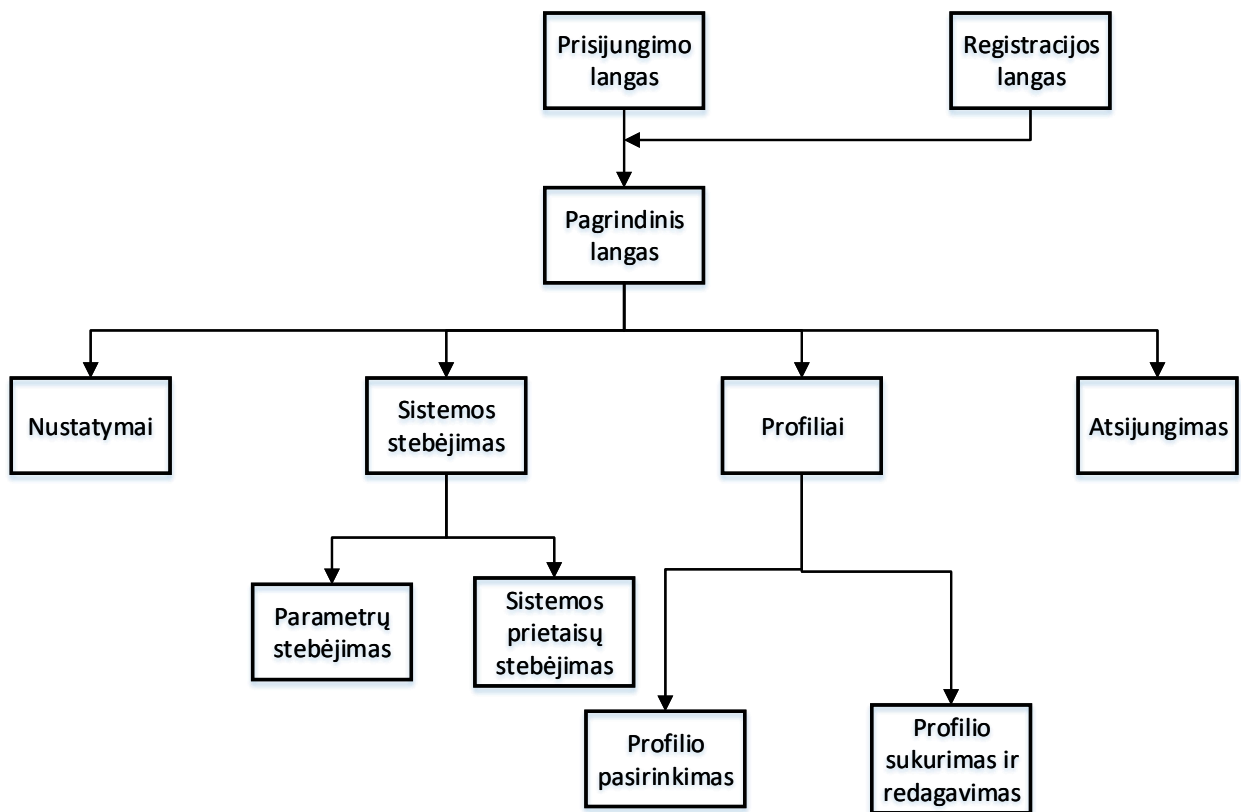
### **2.2.1. Internetinio puslapio struktūra**

Internetinio puslapio paskirtis – valdyti apšvietimo sistemą nuotoliniu būdu. Tinklapijo dizainas paprastas, o naršymas tinklapyje nesudėtingas. Pagrindinės atliekamos funkcijos:

- valdyti lempų intensyvumą, pasirinkti norimą atspalvį,
- stebėti sistemos parametrus (suvartojamą energiją, darbo laiką, šviestuvų momentinę galią) tekstiniu ir grafiniu pavidalu,
- stebėti sistemos įrenginių veikimą, nuspėti galimus gedimus,
- kurti pageidaujamų nustatymų profilius.

Prie tinklapijo prisijungiama naudojantis atitinkamos sistemos prisijungimo vardu ir slaptažodžiu. Esant naujai apšvietimo sistemai tinklo administratorius pateikia vartotojui registracijos užklausa, kurioje reikalaujama pateikti asmeninius duomenis, kad vartotojas būtų įtrauktas į duomenų bazę. Įtraukus vartotoją į duomenų bazę, vartotojui suteikiami prisijungimo duomenys prie sistemos. Iš pagrindinio lango pasiekiami visi tinklapijo puslapiai, dėl to supaprastėja naršymas. Nuėjus į nustatymų puslapį vartotojas turi galimybę valdyti pasirinktų šviestuvų intensyvumą ir šviesos atspalvį realiu laiku. Parametrų stebėjimo puslapyje vartotojas stebi sistemos suvartojamą galią, momentinę galią, darbo laiką. Yra galimybė peržiūrėti pasirinkto laiko intervalo duomenis, nes visi duomenys saugomi duomenų bazėje. Visa informacija galima stebėti tekstiniu arba grafiniu pavidalu. Taip pat galima stebėti prietaisų veikimą ir taip aptikti artėjančius gedimus.

Profilio puslapyje vartotojas turi galimybę susikurti apšvietimo parametrų profilius, kurie aktyvuojami nustatytu laiku. Dėl apsimokančios sistemos algoritmo sistema skaičiuoja kaip dažnai naudojami sukurti profiliai ir tam tikromis aplinkybėmis pasiūlo vartotojui aktyvuoti vieną iš sukurtų nustatymo profilių. Apibendrinta internetinio tinklapijo naršymo struktūra pateikiama žemiau (2.3 pav.).



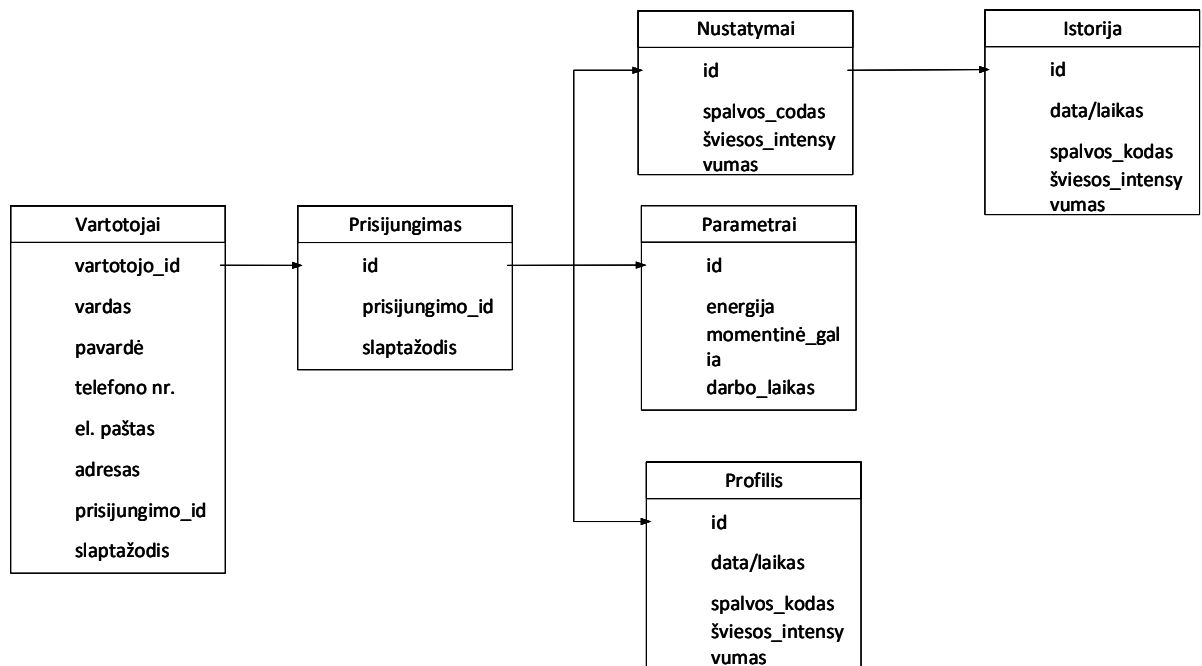
2.3 pav. Bendra internetinio tinklapio struktūra.

Internetinio puslapio kūrimui naudojamas *Apache HTTP* tinklo serveris arba trumpiau vadinamas *Apache*. Tai tinklo serveris, plačiai naudojamas statinio ir dinaminio turinio internetiniams tinklapiams publikuoti. *Apache* sukurtas taip, kad sumažintų tinklapio užkrovimo laiką ir padidintų greitaveiką, siekiant užtikrinti stabilų darbą esant dideliame užklausų kiekiui [18].

### 2.2.2. Duomenų bazė

Administratoriui įtraukus vartotoją į sistemą, visa svarbi informacija apie vartotoją įtraukiama į duomenų bazę (vartotojo vardas, pavardė, adresas, telefono nr., t.t.). Vartotojui suteikiamas unikalus ir tik jam skirtas prisijungimo ID. Pagal priskirtą ID visi sistemos duomenys priskiriami vartotojui ir visos paieškos atliekamos pagal ID. Jungiantis vartotojui prie sistemos reikalaujama prisijungimo ID pagal kurį DB ieškoma atitikmens ir slaptažodžio. Jei pagal įvestus duomenis randamas atitikmuo tada vartotojas prijungiamas prie sistemos pateikiant sistemos parametrus.

Keičiant parametrus nustatymų lange visi nustatymai tai pat išsaugomi DB. Tai daroma, kad sistema išanalizavus pasikartojančius parametrus galėtų vartotojui pateikti pasiūlymus su optimaliais parametrais. Taip pat saugoma sistemos valdiklio parametrai, kad būtų galima pateikti vartotojui juos grafiškai



2.4 pav. Supaprastinta duomenų bazės struktūra

Supaprastinta duomenų bazės struktūra su duomenimis pateikiama 2.4 pav.

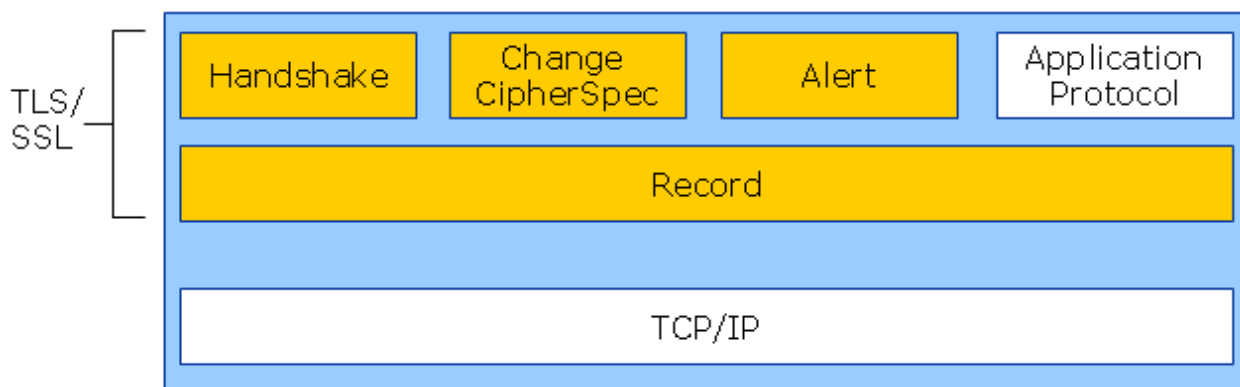
### 2.2.3. Saugumas

Saugumui užtikrinti *Apache* programos pakete yra *SSL/TLS* saugumo sertifikatai. Sertifikatai užtikrina saugų duomenų perdavimą tarp serverio ir naršyklės. Vartotojui prisijungus prie serverio su *SSL* (angl. *Secure Socket Layer*) sertifikatu sukuriamas apsaugotas virtualus kanalas.

Duomenų perdavimo veiksmai su *SSL* sertifikatu:

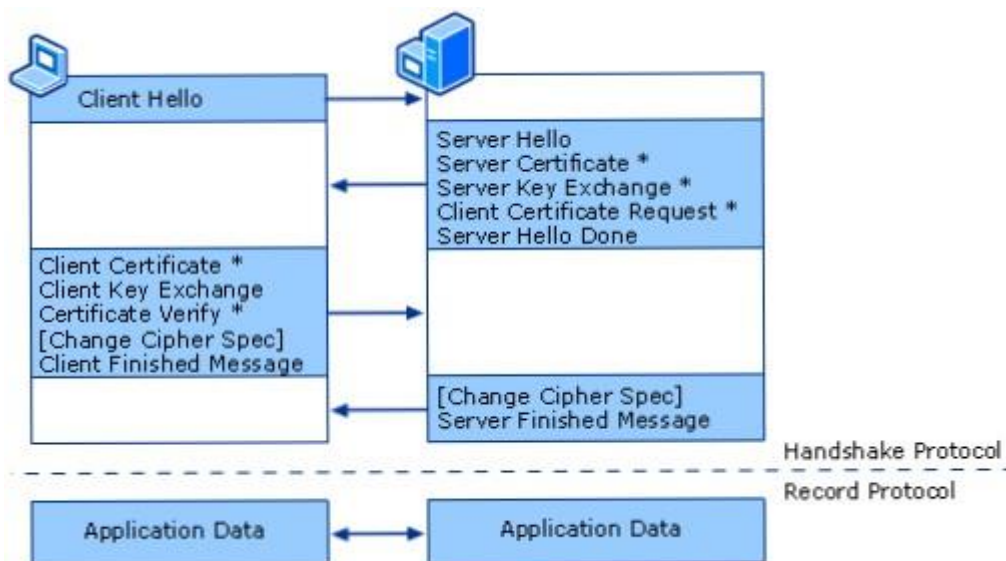
- Autentifikacija – užtikrinamas serverio autentiškumas ir išspėjama apie perdresiravimą į kitą, nesusijusį sistemą puslapį.
- Žinutės privatumas – visa perduodama informacija užšifruojama naudojant unikalius sesijos raktus. Kiekvienos sesijos vartotojui sukuriamas vis naujas raktas todėl raktai nesikartoja.
- Žinutės vientisumas – siunčiant ar priimant duomenis yra sukuriama paketo santrauka, o pakeitus bent vieną simbolį santrauka keičiasi dėl to pasikeitus santraukai vartotojas išspėjamas dėl paketo turinio pasikeitimo.

*SSL/TLS* protokolas skirstomas suskaidyti į 2 sluoksnius. Pirmame sluoksnyje vyksta serverio ir vartotojo autentifikavimas, sesijos raktų paskirstymas. Antrame sluoksnyje šifruojami duomenys. 2.5 paveikslėlyje pateikiama supaprastinta *SSL/TLS* protokolo sluoksnių struktūra su komponentais [19].



2.5 pav. SSL/TLS protokolo sluoksniai [20]

Klientui prisijungus prie svetainės, sistema patvirtina svetainės tapatybę pasirašant sertifikatą ir nusiunčia jį vartotojui. Naršyklė pasinaudoja viešuoju *SSL* raktu gautu su sertifikatu, kad nustatyti serverio sertifikato savininko tapatybę. Jei nustatoma, kad sertifikatas išduotas nežinomo paslaugų tiekėjo, naršyklė informuoja vartotoją. Patikrinus patikimą serverio tapatybę, serveris reikalauja skaitmeninio sertifikato, privataus rakto iš vartotojo patvirtinti tapatybę. Patvirtinus tapatybes serveris sukuria ir užkoduoją sesijos raktą ir nusiunčia jį vartotojui taip sukuriant saugų virtualų kanalą, per kurį siunčiami duomenys (2.6 pav.).

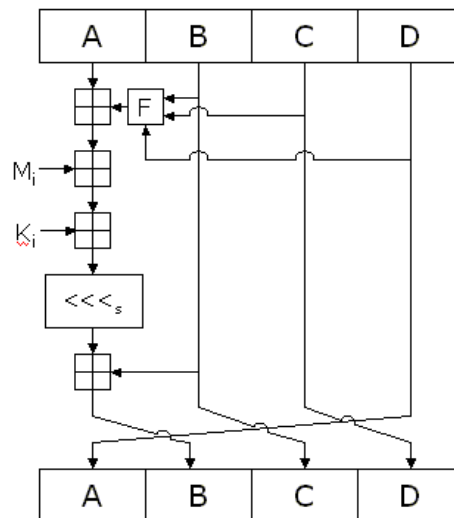


2.6 pav. Serverio ir kliento autentifikavimo veikimo principas [21]

Dėl sudėtingų procesų šifruojant bei iššifruojant viešąjį ir privatų raktus, šie procesai atliekami tik vieną kartą nustatant tapatybes [20].

Vartotojo registravimui ir prisijungimui prie sistemos naudojama specialios santraukos funkcija (angl. *hash function*), kuri iš prisijungimo duomenų sugeneruoja fiksuoto ilgio duomenų bloką. Santraukos funkcija užtikrina duomenų vientisumą ir užtikrina, kad pranešimas (duomenys)

nebuvo pakeisti [22]. Santraukos funkcijoje naudojamas slaptasis raktas  $K$  pagal kurį pranešimas užšifruojamas ir iššifruojamas. Slaptasis raktas  $K$  žinomas tik siuntėjui ir gavėjui.

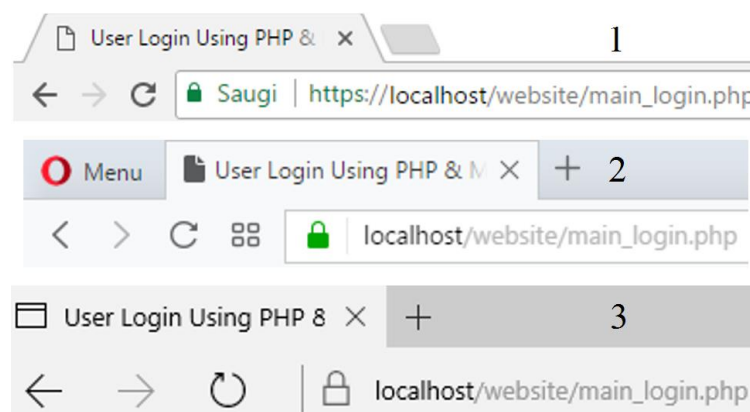


2.7 pav. MD5 algoritmo struktūra

Pagrindinė tokio šifravimo savybė - greitas informacijos transformavimas ( $t \rightarrow H(t)$ ) ir sudėtingas informacijos atkūrimas ( $H(t) \rightarrow t$ ) [23].

Tinklapyje naudojamas MD5 kriptavimo algoritmas kuris transformuoja duomenis į santrauką. Pradžioje pranešimas (duomenys) papildomas bitais iki  $X \pmod{512} = 448$ , pirmasis papildomas bitas įrašomas „1“, o po to surašomi „0“. Papildžius pranešimą pridedamas 64 bitų blokas interpretuojamas kaip sutraukiamo pranešimo ilgio teigiamas sveikasis skaičius. Po to inicializuojami 4 (A, B, C, D) 32 bitų registrai. Apibrėžiamos 4 pagalbinės funkcijos kurios kiekviena vykdo operacijas su trimis 32 bitų žodžiais, o išėjime grąžina vieną 32 bitų žodį. Toliau atliekami skaičiavimai su ankstesnių ciklų rezultatais[24][25].

Patikrinamas internetinio puslapio užkrovimas naudojant *https* priedašo prie tinklapio pavadinimo ir gauti rezultatai pavaizduoti 2.8 pav.



2.8 pav. Saugaus naršymą identifikavimas: 1 – *Google Chrome*, 2 – *Opera*, 3 – *Microsoft Edge*

Patikrai naudojamos 3 interneto naršyklės: *Google Chrome*, *Opera*, *Mircosoft Edge*. Prisijungus prie tinklapio matomas spynos simbolis prie internetinio adreso kuris reiškia, kad naršymas saugus ir visi siunčiami duomenys apsaugomi juos užšifruojant.

### 2.3. TCP/IP serveris

TCP/IP – vienas iš pagrindinių internetinių protokolų, sujungiantis dvi ar daugiau sistemų tarpusavyje, nepriklausomai nuo tinklo topologijos. Tai transportavimo lygmuo OSI (angl. *Open System Interconnection*) kompiuterinių tinklų modelyje. TCP protokolo paskirtis persiųsti duomenų paketą iš vieno taško į kitą.

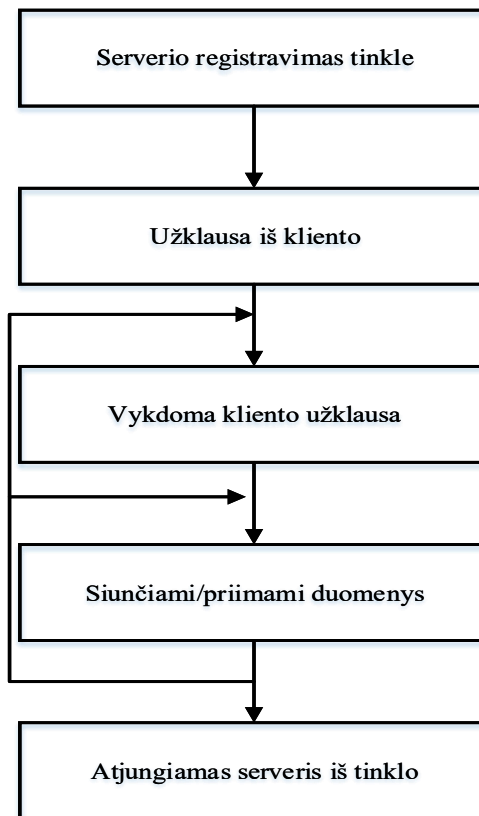
Transportavimo sluoksnis (angl. *transport layer*) veikia kaip tarpininkas tarp aplikacijų, nes aplikacijų protokolai neveikia tiesiogiai su IP protokolais. Transportavimo sluoksnis patalpina duomenis į IP paketą kurs siunčiamas tinkle [26].

TCP segmentai siunčiami kaip interneto paketai, kurių pradžiose patalpinama informacija apie šaltinio ir paskirties adresus [27]. 2.9 paveikslėlyje pavaizduotas TCP paketo formatas.

TCP antraštė			
šaltinio portas, 16 bitų		paskirties portas, 16 bitų	
sekos numeris, 32 bitai			
Patvirtinimo numeris, 32 bitai			
antraštės ilgis, 4 bitai	rezervuota, 6 bitai	požymiai, 6 bitai	lango dydis, 16 bitų
duomenų patikros suma, 16 bitų		pirmumo rodyklė, 16 bitų	
duomenys, 0 – 40 bitų			

2.9 pav. TCP antraštės formatas

Žemiau pateikiamas serverio veikimo struktūros algoritmas (2.10 pav.).



2.10 pav. TCP serverio veikimas

Serveris įregistruojamas tinkle su priskirtu IP adresu ir portu numeriu. Įregistravus TCP serverį tinkle laukiama užklausių iš klientų. Gavus užklausą serveris nuskaito kliento adresą ir priimi duomenis ar išsiunčia juos klientui priklausomai nuo užduotos užklaustos. Po atliktos užklaustos TCP serveris laukia sekančių užklausių iš kliento.

### 3. SISTEMOS PROTOTIPO TESTAVIMAS

Šiame skyriuje pateikiami apšvietimo sistemos prototipo skaičiavimų ir testavimo rezultatai.

#### 3.1. Internetinio puslapio testavimas

Buvo atliekami internetinio puslapio testavimai siekiant nustatyti jo efektyvumą. Vienas iš pagrindinių internetinių puslapių parametras – greیتaveika. Greitaveika parodo kaip greitai tinklapis pilnai užkraunamas vartotojui. Nepriklausomai nuo to kiek trunka atidaryti tinklapį, užkrovimo laiką galima išskirstyti į tinklapio turinio sugeneravimą ir puslapio turinio atsisiuntimą į vartotojo naršyklę. Dėl to patartina sumažinti generavimo laiką serveryje, taip sumažinant duomenų kiekį ir sutrumpinant siunčiamų paketų dydžius. Tinklapių generavimo laikas priklauso nuo to kaip suprogramuotas tinklapis ir nuo to, kokia turinio valdymo sistema naudojama.

Pasinaudojus Uptrends.com svetainės teikiamomis paslaugomis patikrinamas puslapio veiksmingumas skirtingose pasaulio šalyse. Siunčiamo paketo dydis 2 kB. Gauti rezultatai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė Tinklapių užkrovimo greitis

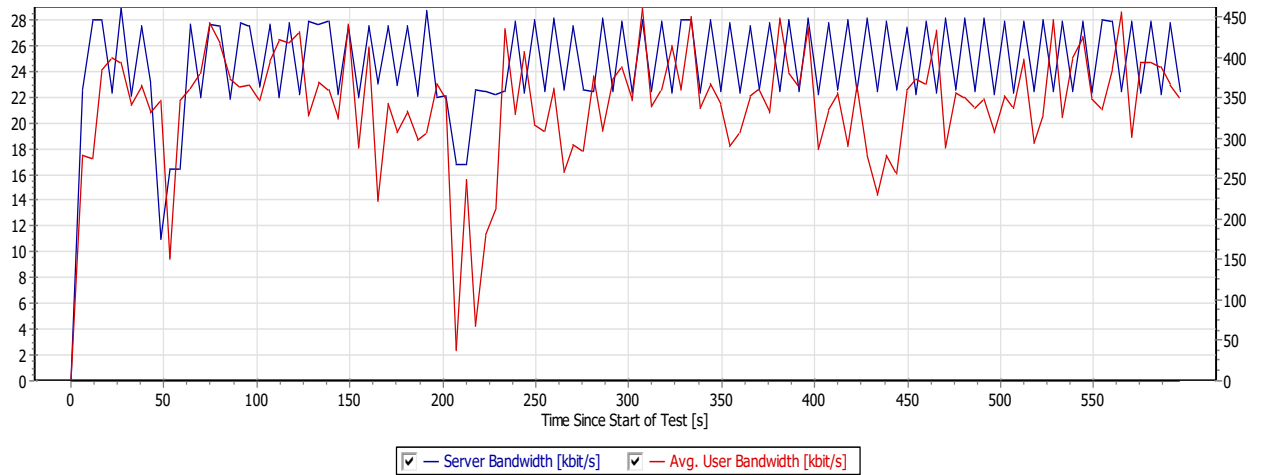
Žemynas	Miestas	Prisijungimo laikas, s	Parsisiuntimo laikas, s	Bendras laikas, s
Europa	Lelystad	0,031	0,07	0,101
	Leipzig	0,039	0,087	0,126
	Berlin	0,046	0,106	0,152
	Roma	0,062	0,134	0,196
Šiaurės Amerika	New York	0,116	0,257	0,373
	Tampa	0,157	0,321	0,478
	San Diego	0,177	0,365	0,542
	Seatlas	0,19	0,414	0,604
Azija	New Delhi	0,179	0,349	0,528
	Tokyo	0,275	0,579	0,854
	Hong Kong	0,321	0,592	0,913

Iš lentelės duomenų matyti, kad greičiausiai tinklapių užkrovimo vyksta Europoje, vidutiniškai apie 0,143 sekundės, o lėčiausiai Azijoje, vidutiniškai apie 0,765 sekundės. Lėtam užkrovimo laikui turi įtakos jungimasis prie kito žemyno.

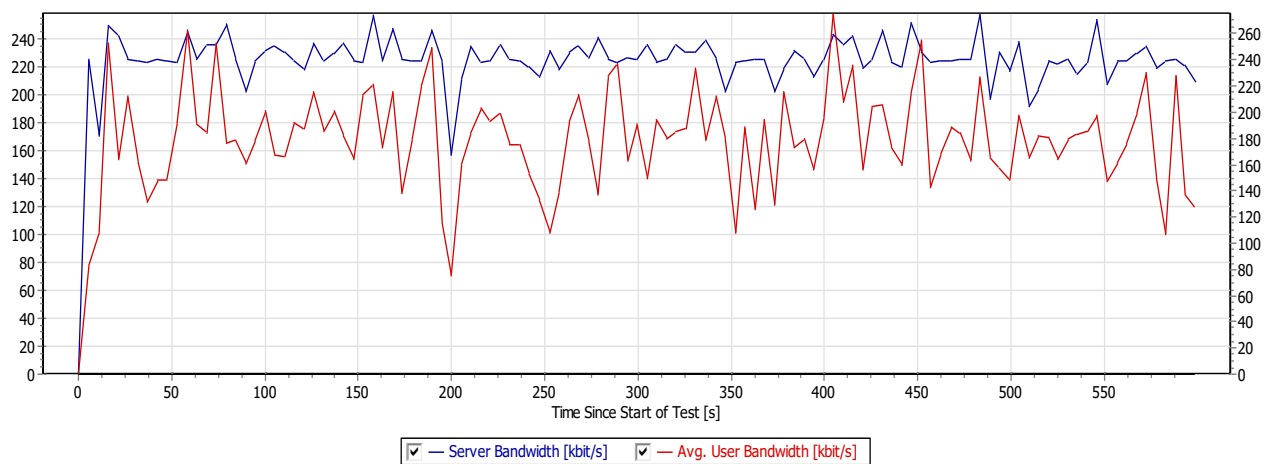
Pasinaudojus „Paessler“ kompanijos „Webserver stress tool 8“ programa atlikti tinklapių stresiniai testai. Šių testų tikslas patikrinti tinklapių veikimą stresinėse situacijose esant skirtingam kiekiui vartotojų. Testavimo trukmė 10 minučių. Pirma patikrinama tinklapių ir vartotojų



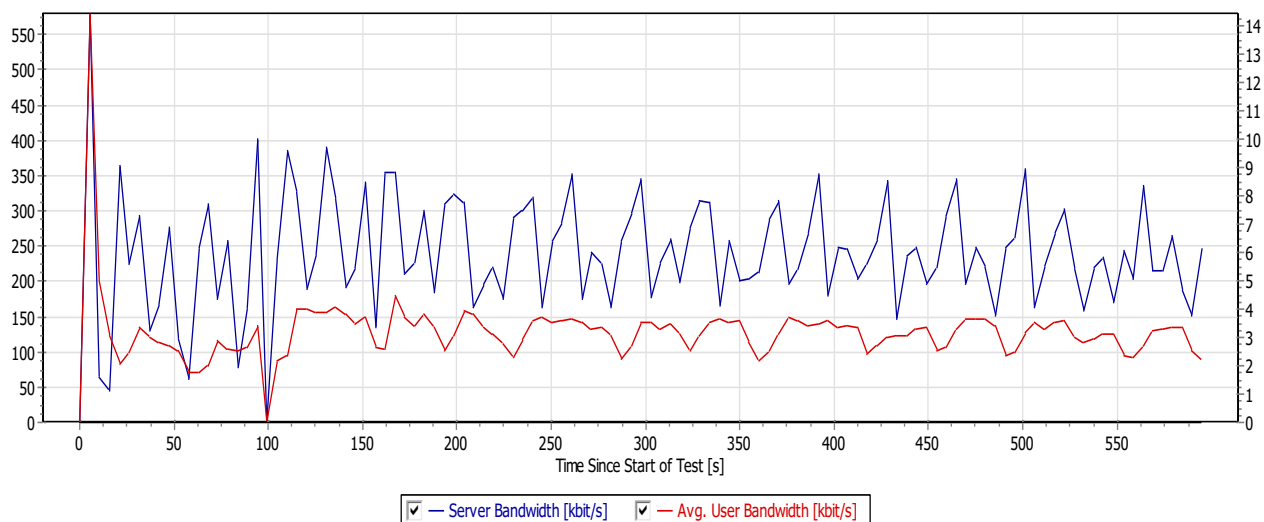
pralaidumo juostos, sistemoje esant tik 1 vartotojui ir rezultatai pateikiami 3.1 paveikslėlyje. Pastebima, kad vartotojo pralaidumo juosta (raudona kreivė 3.1 pav.) apie 10 kartų didesnė nei tinklapiu (mėlyna kreivė 3.1 pav.). Tačiau padidinus vartotojų kiekį iki 10, serverio pralaidumas padidėja ir apie 10 kartų (3.2 pav.).



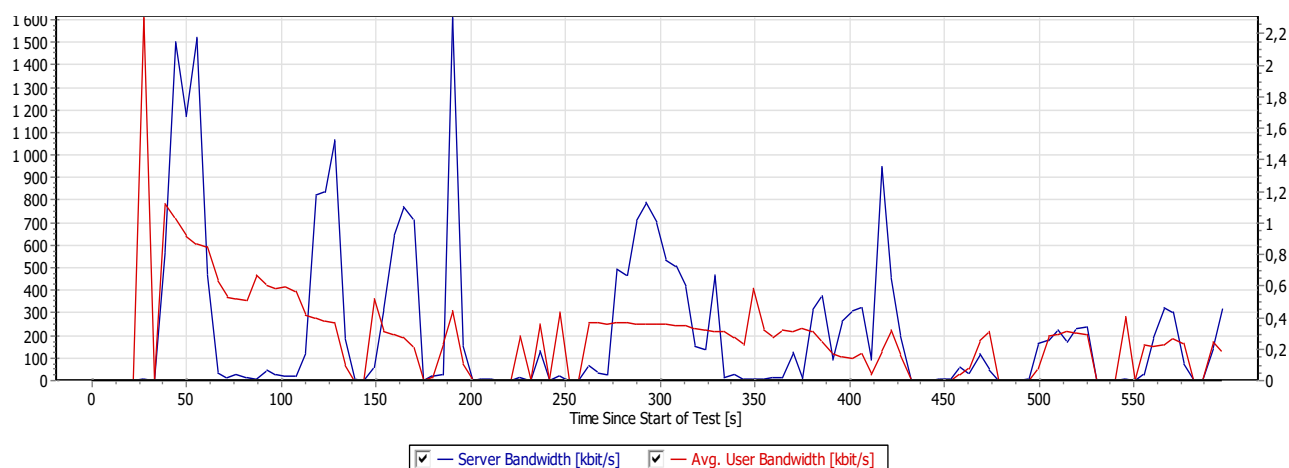
3.1 pav. Tinklapiu ir vartotojo pralaidumo juostos esant 1 vartotojui



3.2 pav. Tinklapiu ir vartotojo pralaidumo juostos esant 10 vartotojų



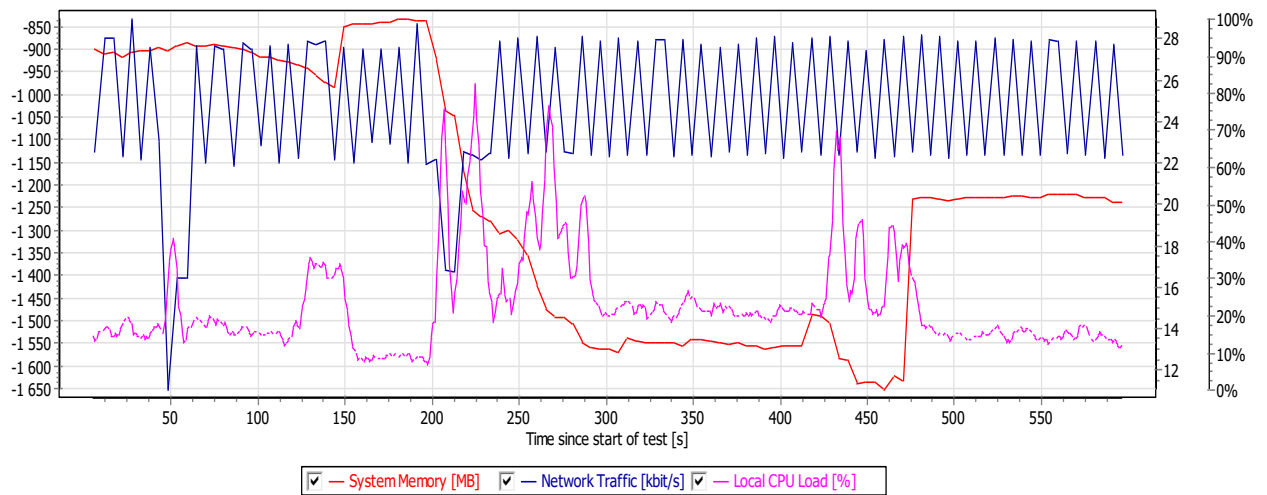
3.3 pav. Tinklapio ir vartotojo pralaidumo juostos esant 100 vartotojų



3.4 pav. Tinklapio ir vartotojo pralaidumo juostos esant 1000 vartotojų

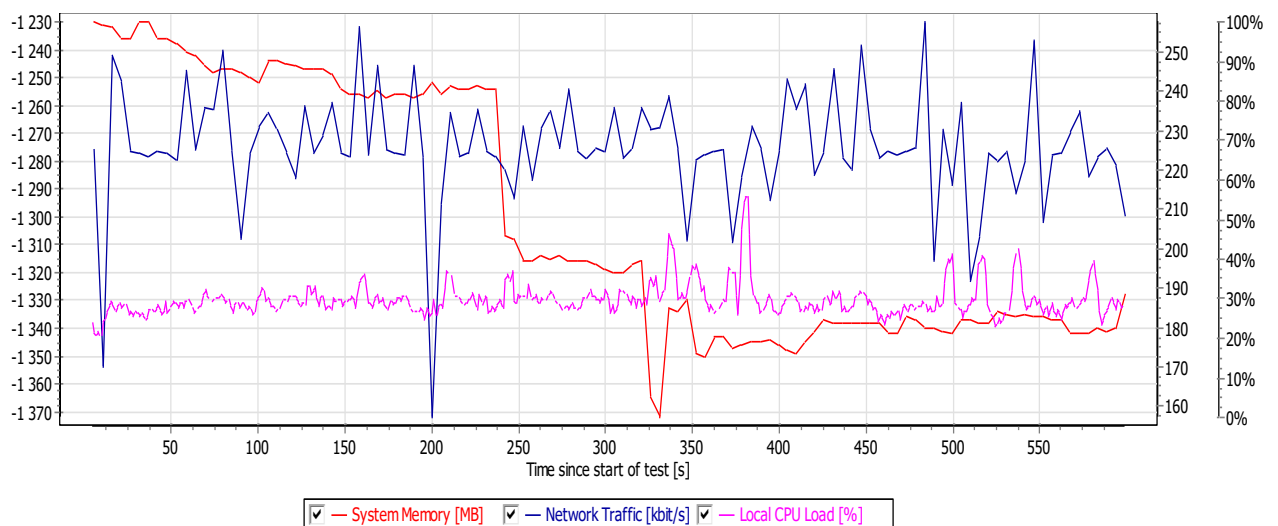
Ištestavus serverio pralaidumo juostą su 100 ir 1000 vartotojų serverio siuntimo juosta didėja netiesiškai nes didinant vartotojų kiek 10 kartų juosta padidinama 2 – 3 kartus. Dėl tokio netiesiško serverio duomenų pralaidumo augimo užtikrinama apsauga nuo nereikalingų serverio įrangos resursų naudojimo ir tuo pačiu užtikrinant stabilų serverio veikimą. Taip pat atliekant testus esant 1000 vartotojų pastebimas serverio veikimo sutrikimas ir persikrovimas (3.4 pav.) nes sistema nebespėja aptarnauti visų vartotojų.

Patikrinama kaip apkraunama serverio įranga esant komunikacijai su vartotoju. Esant 1 vartotojui serverio procesorius stipriai neapkraunamas ir nesiekia 30 % procesoriaus našumo (rožinė kreivė 3.5 pav.). Besikeičiantis siuntimo greitis neturi poveikio procesoriaus apkrovimui nes siuntimo greitis nėra didelis, apie 22 – 29 kbit/s. Dėl to, kad eksperimentui naudojamas asmeninis kompiuteris kaip serveris tai į sistemos atminties kitimą nekreipiama nes dalį sisteminės atminties suvartoja pašalinės programos.

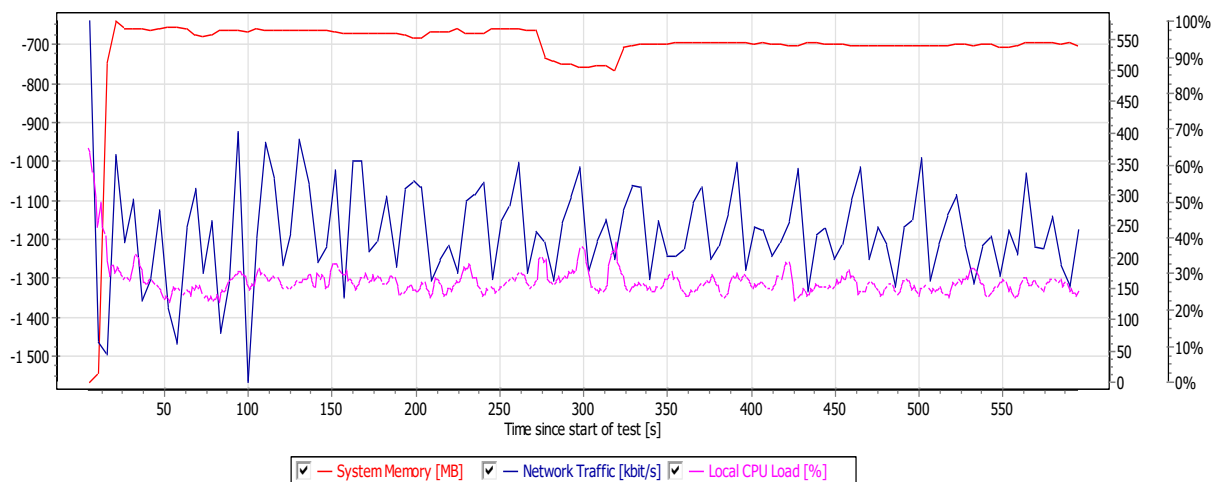


3.5 pav. Serverio įrangos apkrovimas prisijungus 1 vartotojui

Eksperimentas atliekas su 10 prisijungusių vartotojų. Padidėjus vartotojų kiekiui pastebimas nežymus procesoriaus apkrovimas ir vidutiniškai išsilaiko apie 30 %. Viena iš priežasčių dėl kurios padidėja procesoriaus apkrova, tai padidėjęs duomenų siuntimo greitis.

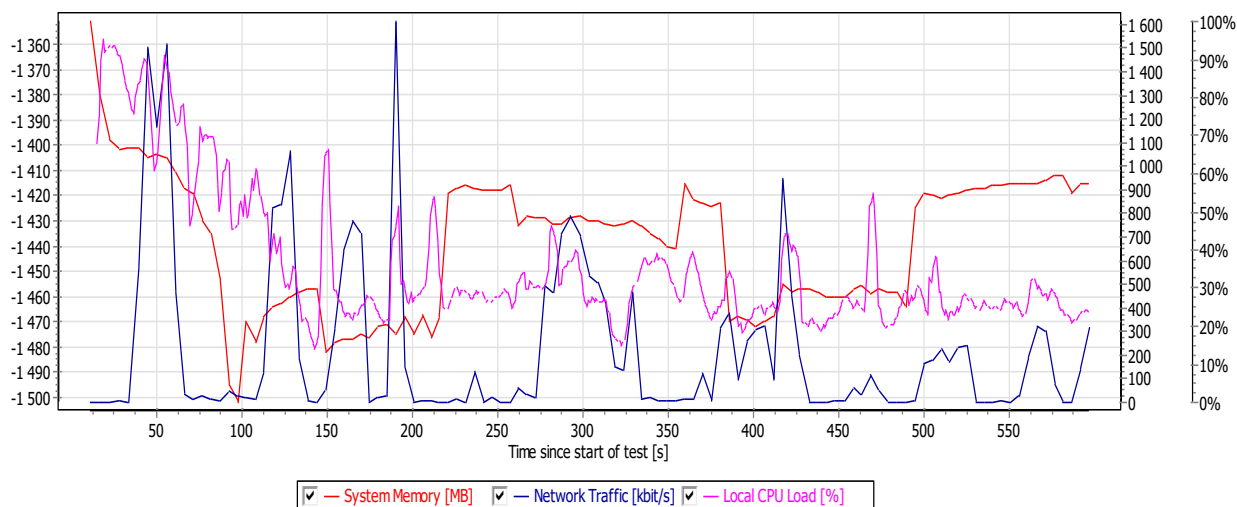


3.6 pav. Serverio įrangos apkrovimas prisijungus 10 vartotojų



3.7 pav. Serverio įrangos apkrovimas prisijungus 100 vartotojų

Esant 100 vartotojų nepastebimas žymus įrangos apkrovimas. Tačiau prie 1000 vartotojų serverio centrinio procesoriaus apkrovimas išauga nuo 30 % iki vidutiniškai 40 %. Tai lėmė padidėjęs siunčiamų duomenų kiekis ir sistemos persikrovimas dėl per didelio vartotojų srauto.

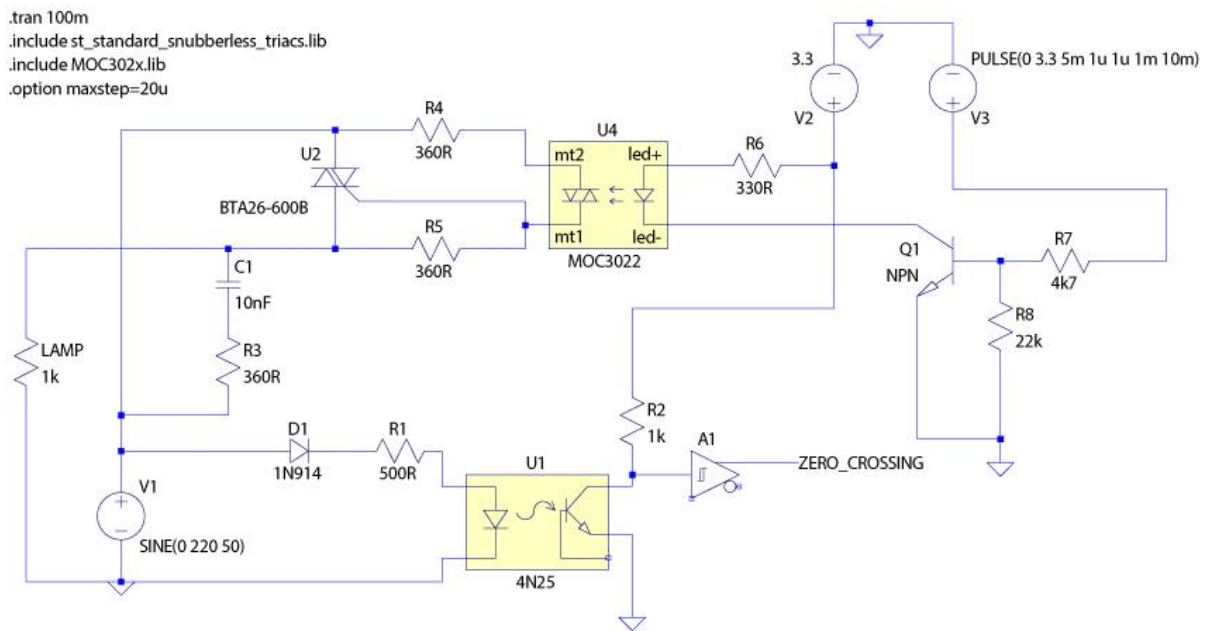


3.8 pav. Serverio įrangos apkrovimas prisijungus 1000 vartotojų

### 3.2. Belaidžio apšvietimo valdiklio modeliavimas

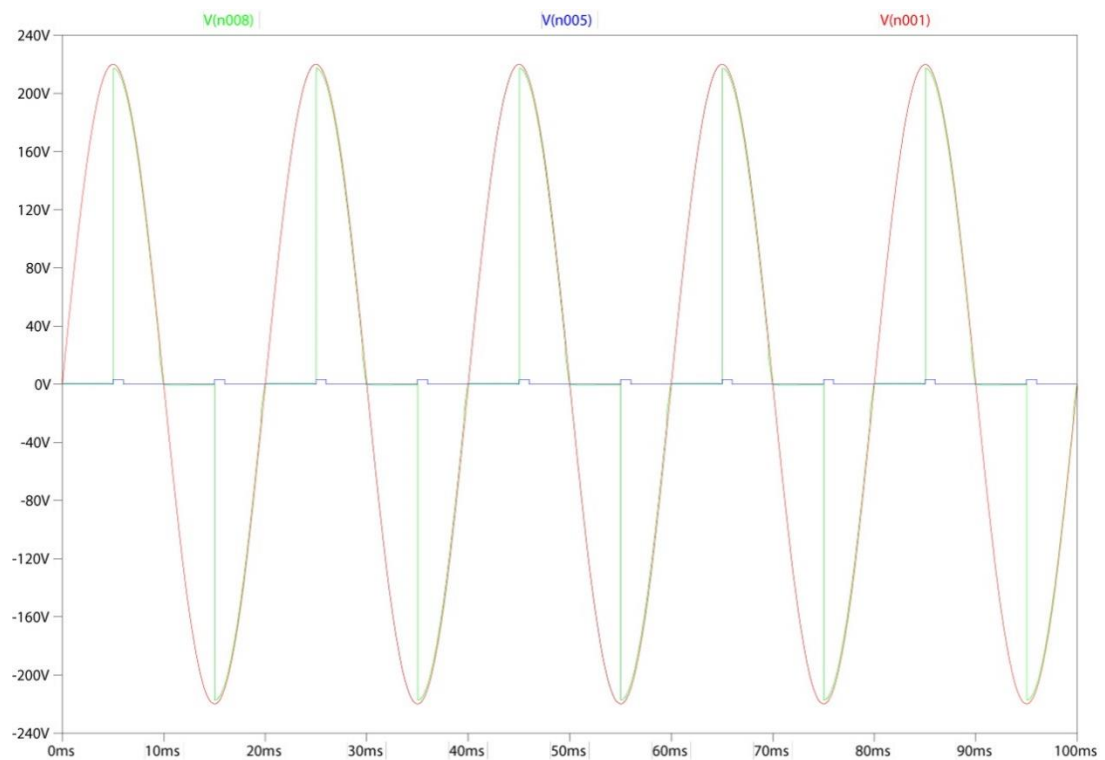
Viena iš projektuojamo apšvietimo valdiklio funkcijų – reguliuoti kaitrinių lempučių šviesos intensyvumą. Valdiklis yra jungiamas prie kintamos tinklo įtampos, o vartotojas nustato norimą apšvietimo lygį.

Modeliuoti valdiklį ir ištirti schemas veikimo principą, bei valdymo signalus naudojama „LTspice IV“ programinę įrangą. Valdiklio principinė schema pateikta 3.9 pav. schemeje pateiktas stačiakampių impulsų šaltinis (V3 šaltinis, 3.9 pav.) atstoja iš mikrovaldiklio siunčiamus signalus. Taip pat vėlinimo laikas mikrovaldiklyje pradedamas skaičiuoti nuo kylančių frontų, o programoje vėlinimas laikas nustatomas konstanta.



3.9 pav. Valdiklio principinė schema

Modeliavimo tikslas – pamatyti kaip sinuso signalas yra „nukertamas“ simistoriaus išėjime. Tinklo įtampa 220 V, dažnis 50 Hz, periodas 20 ms. Valdymo impulsus siunčiamas nustatytais laiko intervalais, kas 10 ms, tai atitinka pusę tinklo įtampos sinuso periodo. Modeliavimo rezultatai pateikiami 3.10 pav.



3.10 pav. Modeliavimo rezultatai

Iš gauto grafiko galime matyti, kad tinklo įtampa yra nukertama kai gaunamas valdymo signalas iš mikrovaldiklio. Šiuo atveju signalas yra nukertamas ties sinuso ekstremumais abiejuose pusperiodžiuose, nes valdymo signalas yra vėlinamas 5 ms.

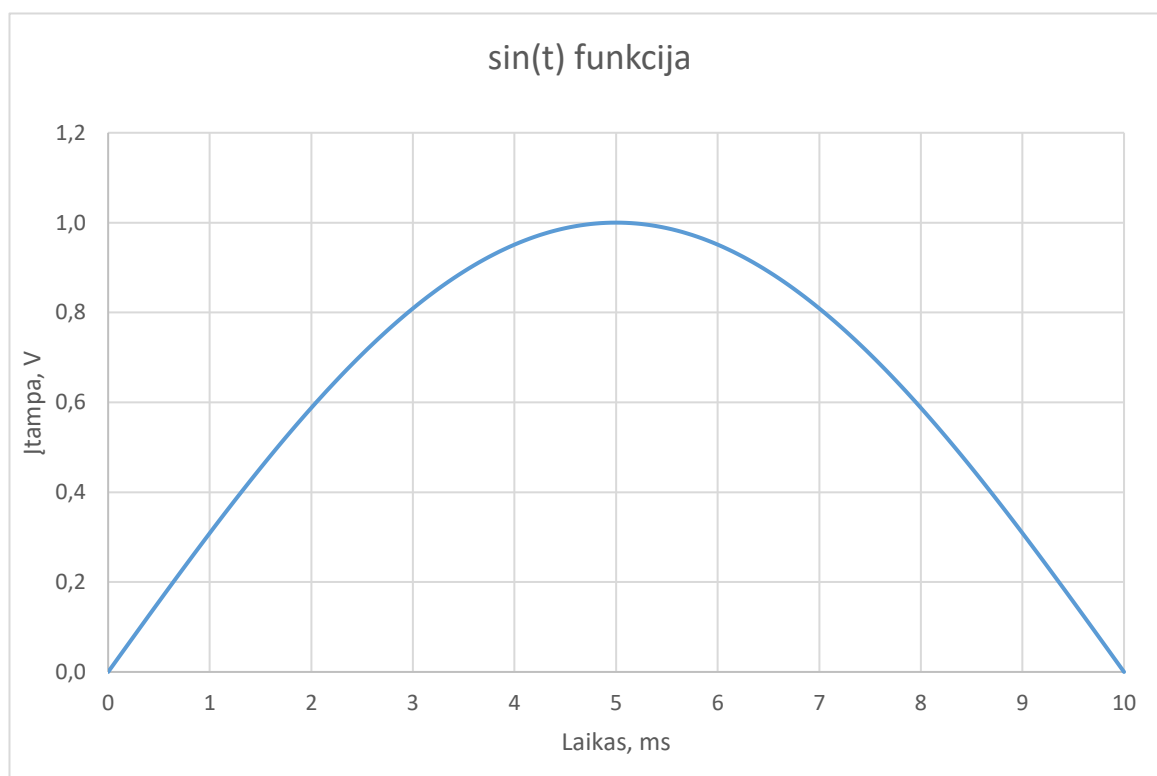
### 3.3. Šviesos intensyvumo aproksimacija

Dėl netiesiško sinuso amplitudės kitimo laike, negalima iš sinuso polinomų lygties apskaičiuoti reikiamo vėlinimo laiko, kuris atvaizduotu reikiamą šviesos intensyvumą. Tinkamai nustatyti reikiamą vėlinimo laiką, apskaičiuojama sinuso integralų suma ir iš gautos kreivės išsivedama polinomų lygtis, pagal kurią gaunamas tikslus vėlinimo laikas.

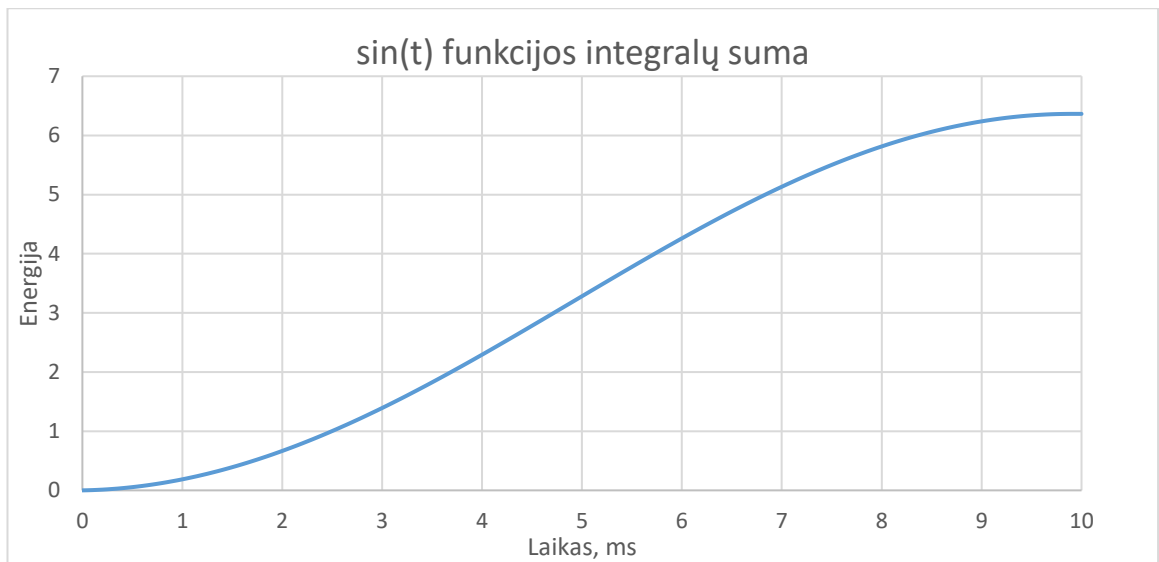
Skaičiavimai atliekama prie 220V 50 Hz tinklo įtampos. Prie 50 Hz signalo periodas 20 ms (3.1), o skaičiavimams atlikti užtenka pusperiodžio, dėl to skaičiavimo intervalas pasirenkamas puse periodo, tai yra 10 ms.

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 20 \text{ ms} \quad (3.1)$$

Skaičiavimai atliekami „Microsoft Office“ paketo „Excel“ programa. Sinuso pusperiodžio ir jo apskaičiuota integralų suma pateikiama žemiau (3.11 ir 3.12 pav.).

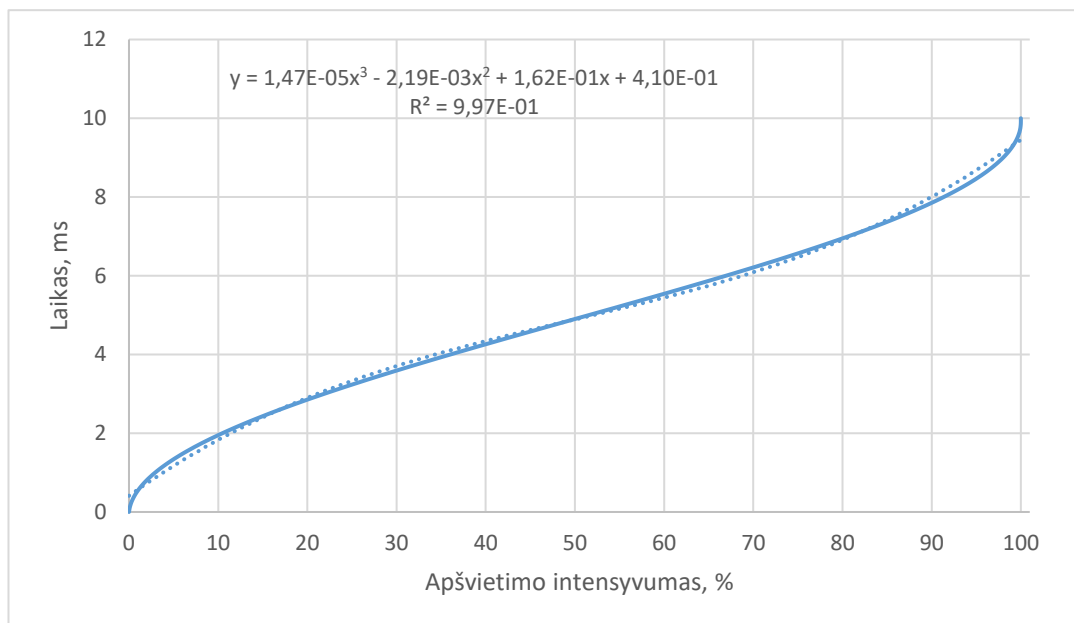


3.11 pav. 50 Hz dažnio sinuso pusperiodis



3.12 pav. Apskaičiuota integralų suma

Iš integralų sumos grafiko pastebima, kad einant laikui energijos dydis kinta netolygiai. Tačiau užtikrinti šviesos intensyvumą tolygiai reikia tiksliai nustatyti procentinę energijos kiekį paduodamą į šviesos valdiklį. Kitas žingsnis – apkeisti grafiko ašis vietomis, jas sunormuoti ir išvesti polinomų lygtį. Rezultatas pateikiamas 3.13 pav.



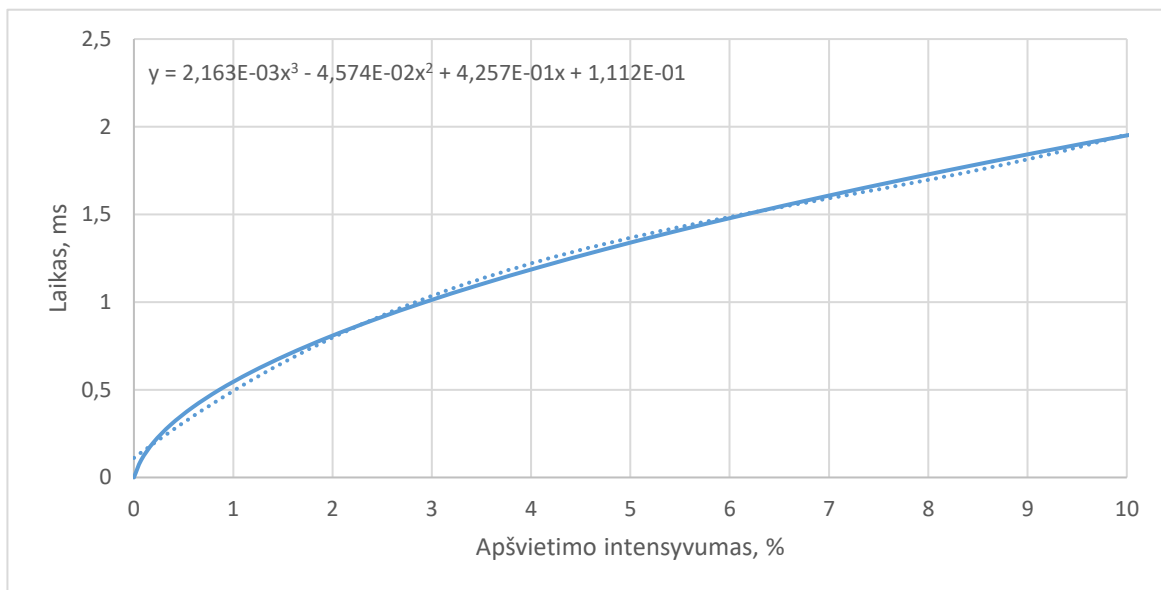
3.13 pav. Energijos dalis paduodama į šviesos šaltinį

Gauta 3 eilės polinomų lygtis:

$$y = 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2,19 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,162 \cdot x + 0,41 \quad (3.2)$$

Dėl netolygiai kintančios sinuso integralų sumos kreivės matosi, kad 3.13 pav. grafiko pradžioje (0 – 10 % intervale) staigus kitimas ir vidutinė šios atkarpos paklaida siekia apie 17 %. Dėl šio staigaus kitimo gaunama visos kreivės absoliutinė paklaida viršija  $< 5 \%$ , dėl ko atsiranda

netikslus energijos kiekio padavimas į šviesos šaltinį. Norint sumažinti vidutinę paklaidą skaičiavimuose kreivė išskaidoma į 2 intervalus, 0 – 10 % ir 10 –100 %.

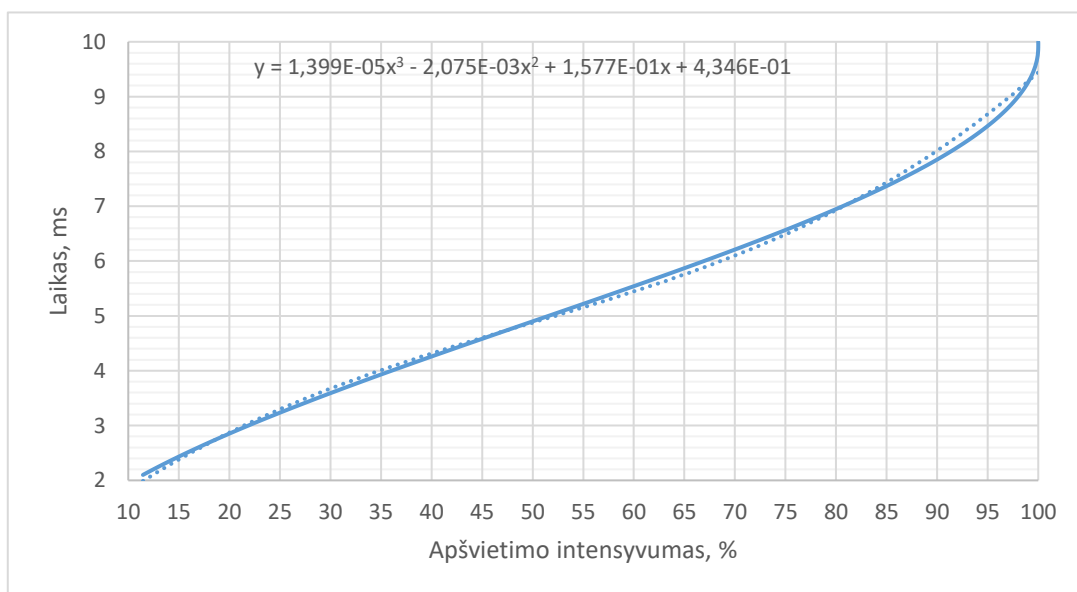


3.14 pav. Energijos dalis (0 – 10 %) paduodama į šviesos šaltinį

Gauta 3 eilės polinomų lygtis (3.3):

$$y = 2,163 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 4,574 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 + 0,4257 \cdot x + 0,1112 \quad (3.3)$$

Panaudojus 3 eilės polinomų lygtį vidutinė paklaida sumažinama iki 5,19 %. Iš grafiko (3.14 pav.) matosi netolygus kreivės kitimas intervale 0 – 1 %, o toliau tiesė kinta daugmaž tolygiai. Naudojant didelės galios lempas šis kitimas turėtų įtakos šviesos intensyvumo nustatymui, bet šiuo atveju naudojant 12 V automobilinės lempos valdymui didelės įtakos neturi.



3.15 pav. Energijos dalis (10 – 100 %) paduodama į šviesos šaltinį



Dėl beveik tolygaus tiesės kitimo naudojama 3 eilės polinomų lygtis (3.4), taip supaprastinant lygtį.

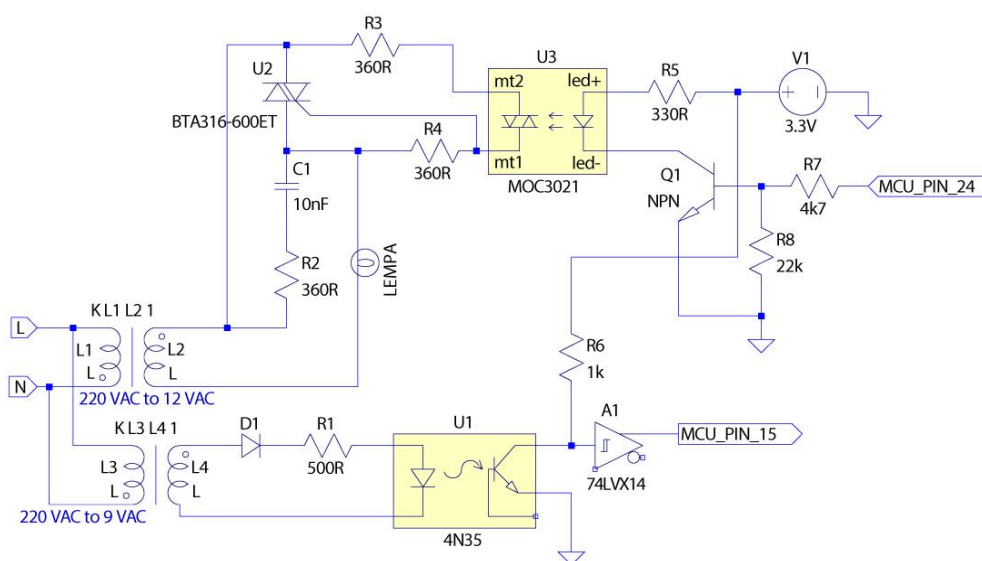
$$y = 1,399 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 2,075 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 0,1577 \cdot x + 0,4346 \quad (3.4)$$

Apskaičiuojama aproksimacijos santykinė paklaida ir nustatoma, kad sistemoje absoliutinė paklaida yra 2,94 %. Tokio dydžio paklaida atsiranda dėl staigaus signalo pokyčio kreivės pradžioje ir pabaigoje. Taip pat grafiko pradžioje ir pabaigoje paklaidos siekia apie 5 – 6 % dėl per didelės kreivės augimo. Tačiau šių paklaidų galima nepaisyti nes naudojant mažos galios lempas precizinio tikslumo keičiant šviesos intensyvumą nereikia.

### 3.4. Kintamos įtamos šviesos valdymo tyrimas

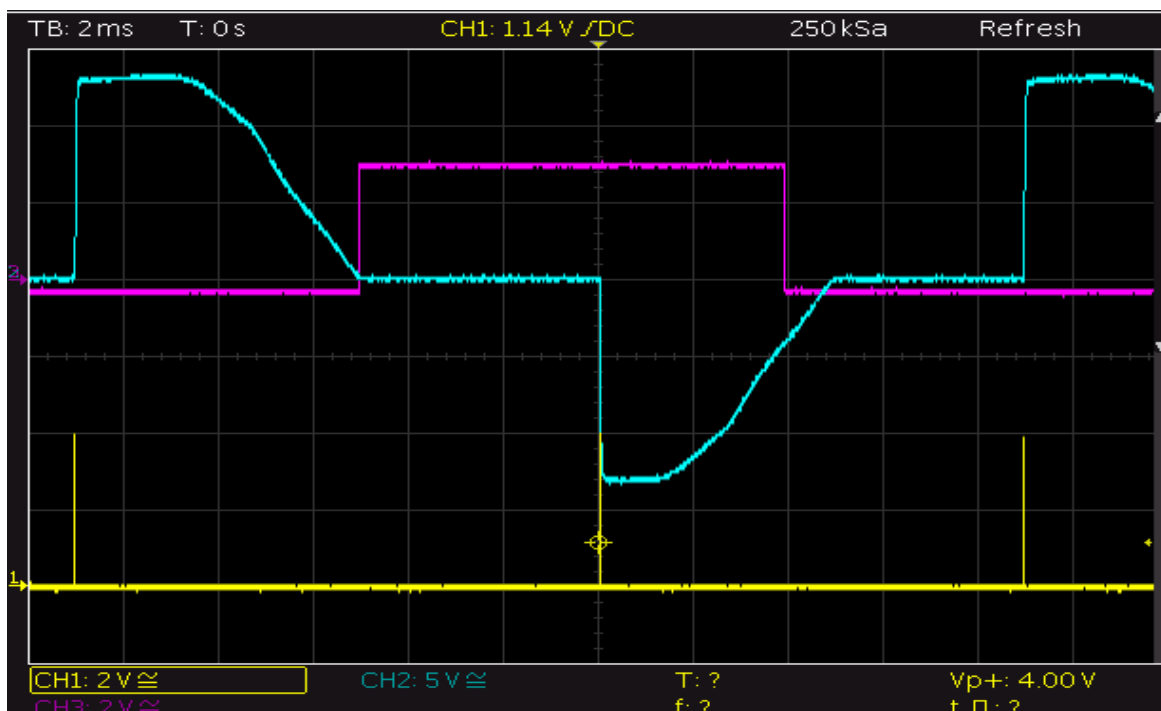
Atliekamas modeliuoto kintamos įtamos šviesos valdymo tyrimas, prie šviesos valdiklio prijungiant *BCM20737* kontrolerį. Naudojami komponentai ir šviesos valdiklio principinė schema pateikiama 3.16 pav.

Naudojamas transformatorius 220 V įtampai pakeisti į 12 V norint valdyti 12 V kaitrinės lemputės šviesos intensyvumą. Sumodeliuotas sinuso persivertimo per nulį detektorius su optopora, tačiau gaunami drebantys signalo frontai. Stabilizuoti frontus naudojamas Šmito trigeris su histereze. Stabilizavus frontus (3.17 pav. violetinis signalas) signalas siunčiamas į kontrolerio 15 išvadą. Kontroleris, aptikęs kylantį frontą, pereina į pertrauktį, pertrauktyje apskaičiuojamas užvėlinimo laikas iki simistoriaus atidarymo. Praėjus šiam laiko intervalui mikrovaldiklyje suformuojamas impulsas (3.17 pav. geltonas signalas), kuris per tranzistorių, valdo optosimistorių MOC3021. Pastarasis valdo galios simistorių BTA316-600ET, kuris nukirtinėja sinuso formos signalo dalį, patenkančią į apkrovą.



3.16 pav. Šviesos valdiklio principinė schema

Nustačius lempos ryškumą ties 50 %, signalas užvėlinamas 5,1 ms, po to signalas įjungiamas. Apšvietimo signalas valdiklio išėjime oscilografe atvaizduoti 3.14 paveikslėlyje (3.17 pav. mėlynas signalas). Tinklo signalo pusperiodis 10ms.

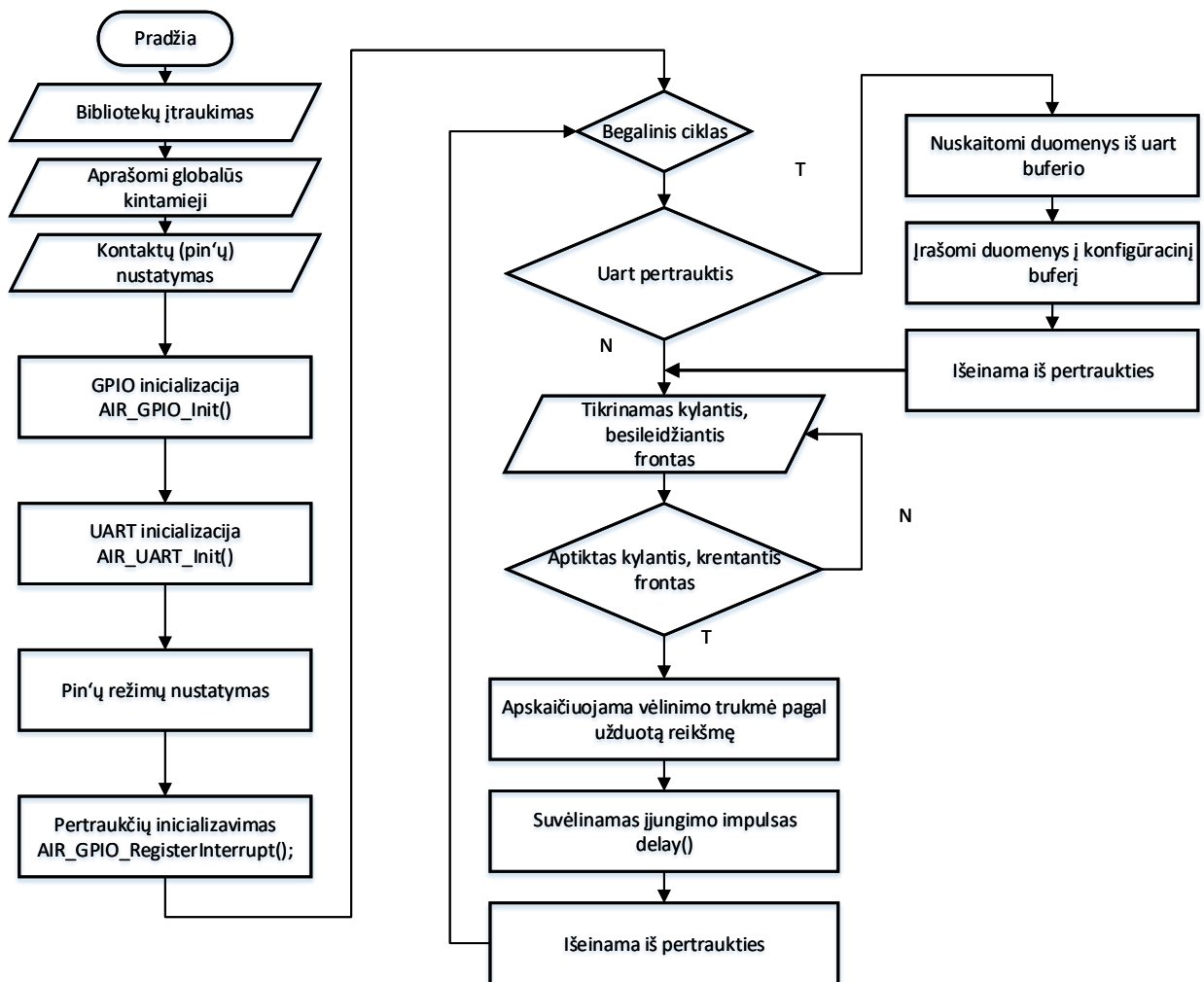


3.17 pav. Sistemos signalai oscilografe

Iš oscilografo grafiko matyti, kad sinuso signalas yra nukertamas ties sinuso ekstremumais abiejuose pusperiodžiuose. Tai atspindi 50 % intensyvumą lemposje. Violetine spalva pavaizduotas Šmito trigerio išėjimo signalas nulinio detektoriaus išėjime. Nuo šio signalo kylančio fronto skaičiuojamas vėlinimo laikas. Valdymo impulsas (3.17 pav. geltonas signalas) iš mikrovaldiklio siunčiamas į galios simistorių.

### 3.5. Programos algoritmas

Panaudotos UART, GPIO, SPI sąsajos. Kylančio, besileidžiančio fronto aptikimui priskiriamas 15 mikrovaldiklio išvadas. Valdymo impulsams siųsti į maketą priskiriamas 24 išvadas, jam nustatomas *Push Pull* režimas. Pasiuntus duomenis per UART sąsają, programa pereina į pertrauktį, kurioje priimami duomenys ir perkeliama į konfigūracijos buferį. Aptikus kylantį ar besileidžiantį frontą programa pereina į pertrauktį *myInterrupt()*. Pertrauktyje nuskaitymas konfigūracijos buferis, kuriame įrašyta reikalinga lempos šviesos intensyvumo reikšmė. Pagal ją apskaičiuojamas vėlinimo laikas, po kurio siunčiamas trumpas, 30  $\mu$ s trukmės impulsas simistoriui įjungti. 3.18 pav. pateikiamas algoritmas.

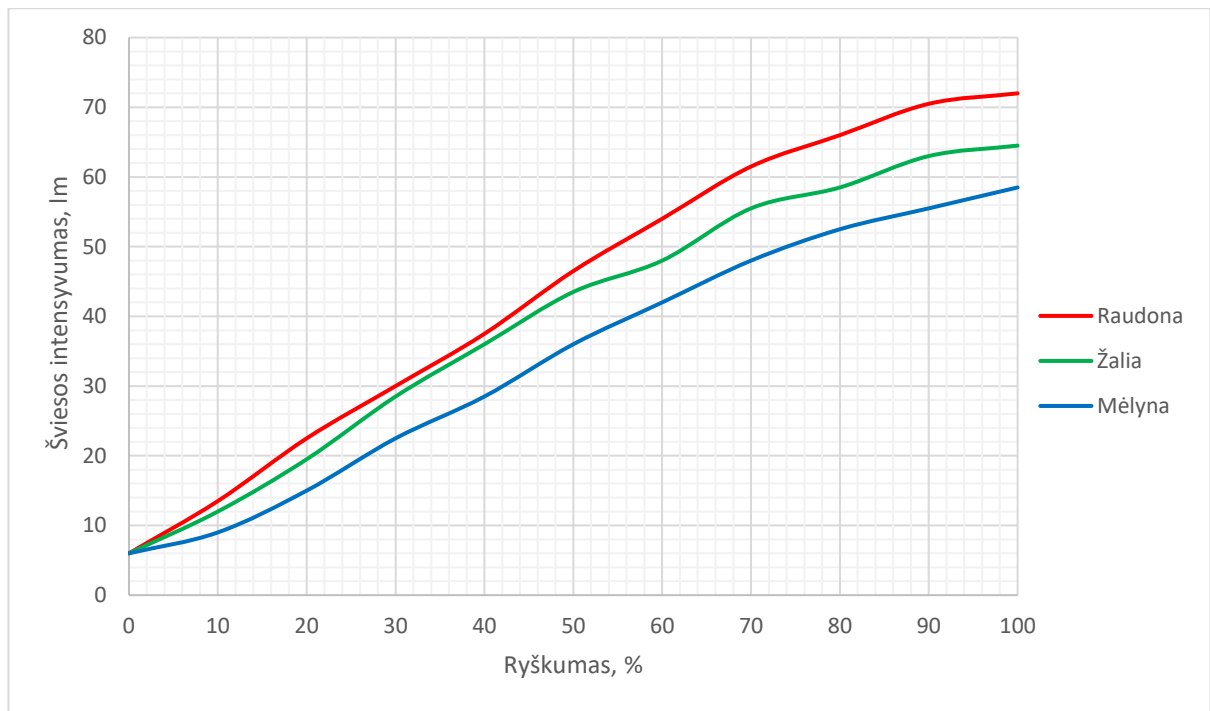


3.18 pav. Programos algoritmas

### 3.6. RGB šviesos diodo intensyvumo valdymas

Tyrimo metu matuojamas RGB šviesos diodo intensyvumas naudojant šviesos sensoriumi. Matavimai atliekami kiekvienai spalvai atskirai keičiant ryškumą nuo 0 iki 100 % keičiant stačiakampių impulsų skverbį (angl. *duty cycle*). Impulsų periodas nustatomas tinklo įtampai. Reguluojant impulsų skverbį keičiamas laiko intervalas kada valdymo signalas būna aukštame lygyje. Kuo ilgesnį laiko intervalą valdantysis signalas būna aukštame lygyje tuo ryškiau LED šviečia.

Matavimai atliekami uždaroje sistemoje sumažinant aplinkos poveikį matavimams. Atstumas tarp sensoriaus ir šviesos šaltinio 5 cm. Išmatuojama įtampa sensoriaus išėjime ir pasinaudojant sensoriaus perdavimo ch-ka transformuojama į liumenus. Iš surinktų duomenų braižomas grafikas (3.19 pav.).



3.19 pav. Išmatuoti atskirų spalvų intensyvumai

Skirtinga spalva atitinka skirtingą matomos šviesos bangos ilgį. Trumpesnės šviesos bangos reikalauja daugiau energijos išspinduliuoti fotonus. Apskaičiavus raudonos, žalios ir mėlynos spalvos fotono energijas pagal pateiktą formulę (3.6)

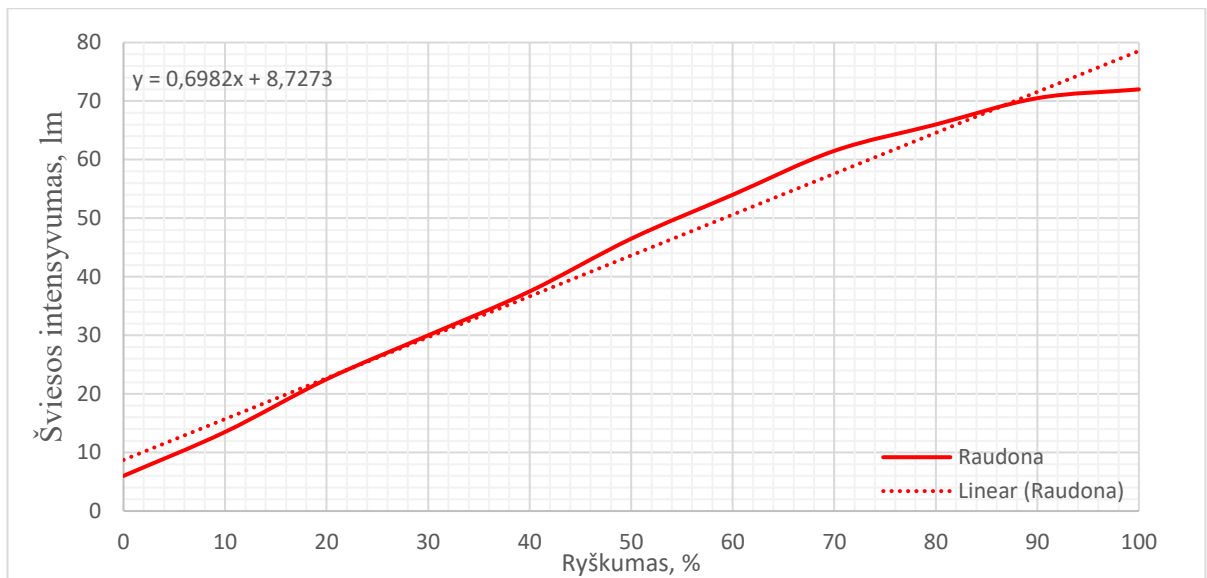
$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.6)$$

kai  $h$  Planko konstanta ( $6,626 \cdot 10^{-34}$ ),  $c$  – šviesos greitis ( $3 \cdot 10^8$ ),  $\lambda$  – bangos ilgis. Iš 3.2 lentelės matyti, kad raudonos spalvos spinduliams išspinduliuoti reikia mažiau energijos nei žalios ar mėlynos spalvos spinduliams. Kadangi naudojami tie patys parametrai visais trimis atvejais tik keičiamas intensyvumas, todėl raudonos spalvos spinduliai išspinduliuoja daugiau fotonų ir sensorių pasiekia didesnis kiekis fotonų.

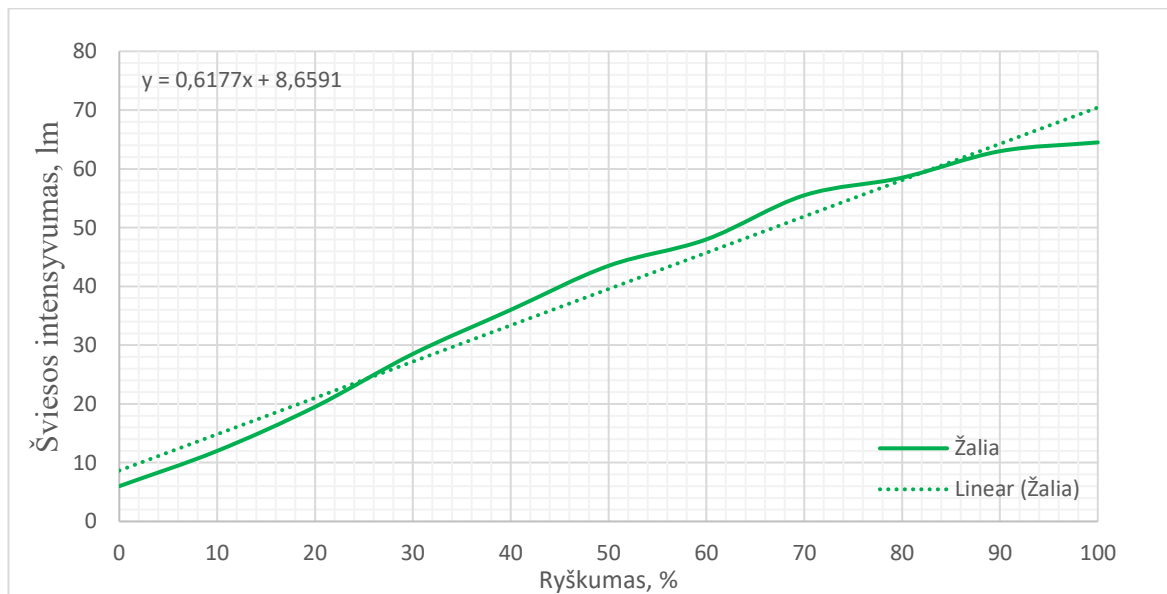
3.2 lentelė. Pagrindinių sudedamųjų spalvų bangos ilgiai [28].

Spalva	Bangos ilgis, nm	Fotono energija, eV
raudona	700	1,77
žalia	530	2,34
mėlyna	450	2,76

Teoriškai didinant ryškumą, šviesos intensyvumas turėtų kisti tolygiai tačiau dėl aplinkos poveikio grafikai gaunasi su užlinkimais gale. 3.20 paveikslėlyje punktyrine linija pavaizduotas teorinis šviesos intensyvumo kitimas sensoriuje apšvietus raudonos spalvos spinduliams. Kreivės užlinkimui turi įtakos aplinkos apšvietimas nes bandymo metu matavimai atlikti ne visiškai tamso dėl to į sensoriaus fotodiodą galėjo pakliūti šviesos spindulių iš aplinkos.



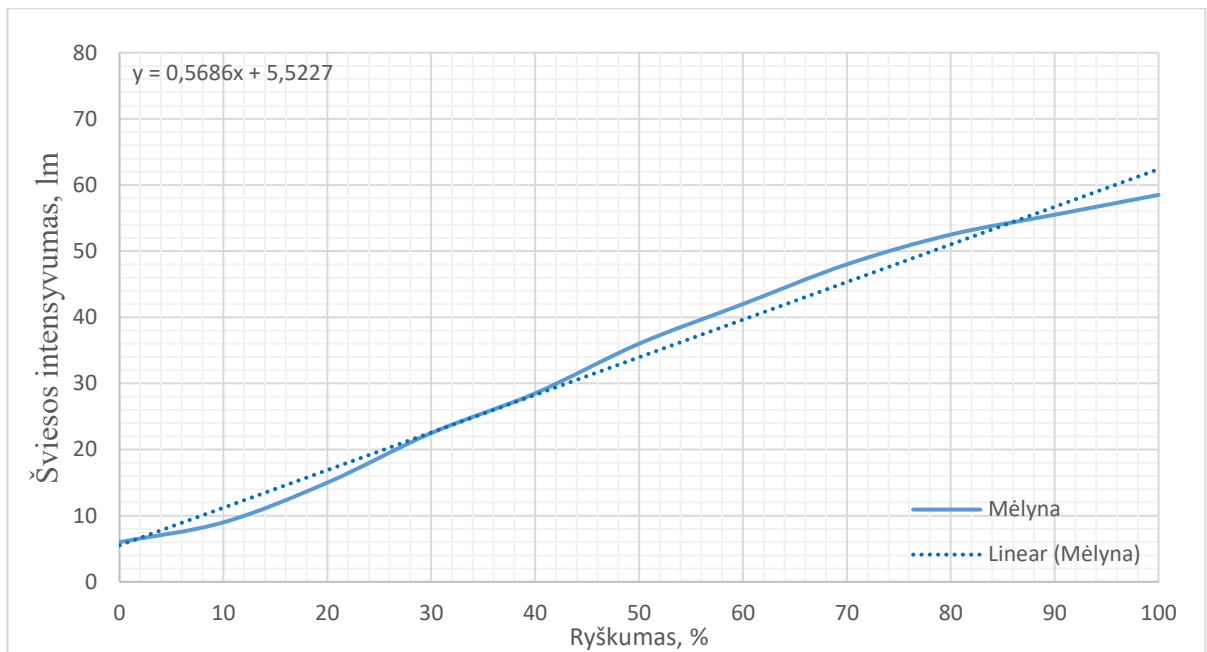
3.20 pav. Raudonos spalvos spindulių šviesos intensyvumo kitimas



3.21 pav. Žalios spalvos spindulių šviesos intensyvumo kitimas

Iš 3.21 grafiko matosi, kad žalia spalva šviečia mažesniu intensyvumu nes katodas išspinduliuoja mažesnę kiekį fotonų į aplinką esant 530 nm ilgio bangoms. Dalis fotonų pakeičia skriejimo trajektoriją ir nepasiekia tikslo, šiuo atveju sensoriaus.

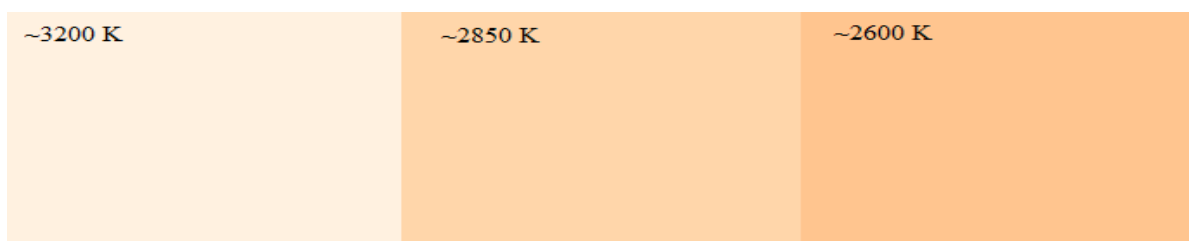
Dėl tų pačių priežasčių mėlynos spalvos spinduliai išspinduliuoja mažesnę kiekį fotonų (3.22 pav.). 3.21 ir 3.22 grafikuose punktyrinėmis linijomis pažymėta teoriškas tolygus įtampos kitimas sensoriuje.



3.22 pav. Žalios spalvos spindulių generuojama įtampa sensoriuje

Apšviečiant patalpas dienos šviesa naudojant LED lempas visi trys RGB LED spalvų katodai spinduliuoja vienodu intensyvumu, mėlynos spalvos spinduliai turi daugiausia energijos regimajame spektre ir yra artimos ultravioletiniams spinduliams. Didelis kiekis mėlynos spalvos spindulių vakare sumažina melatonino gamybą kankorėžinėje liaukoje dėl to atsiranda aktyvios deguonies forma (angl. *ROS – reactive oxygen species*) kurios metu skatinamas molekulių senėjimą [29]. Taip pat naudojantis baltos spalvos apšvietimu vakarais susilpnindama regeneracijos ir atkūrimo procesai akies tinklainėje. Susilpnėjus regeneracijos procesui pagreitėja amžiaus maulos degeneracija arba sutrumpintai *AMD* (angl. *age-related macular degeneration*) kuri yra pagrindinė priežastis vyresniame amžiuje.

Sumažinti šiuos mėlynos spalvos spindulių poveikius žmogaus organizmui galima mažinant apšvietimo spalvos temperatūrą. Tokiu būdu mažinama mėlynos ir žalios spalvos intensyvumus apšvietimo šaltinyje. Eksperimento metu parenkamos 3 skirtingų temperatūrų šviesos atspalviai: ~ 3200 K, ~2850 K, ~ 2600 K (3.23 pav.) ir išmatuojama intensyvumas skirtingoms RGB spalvoms.



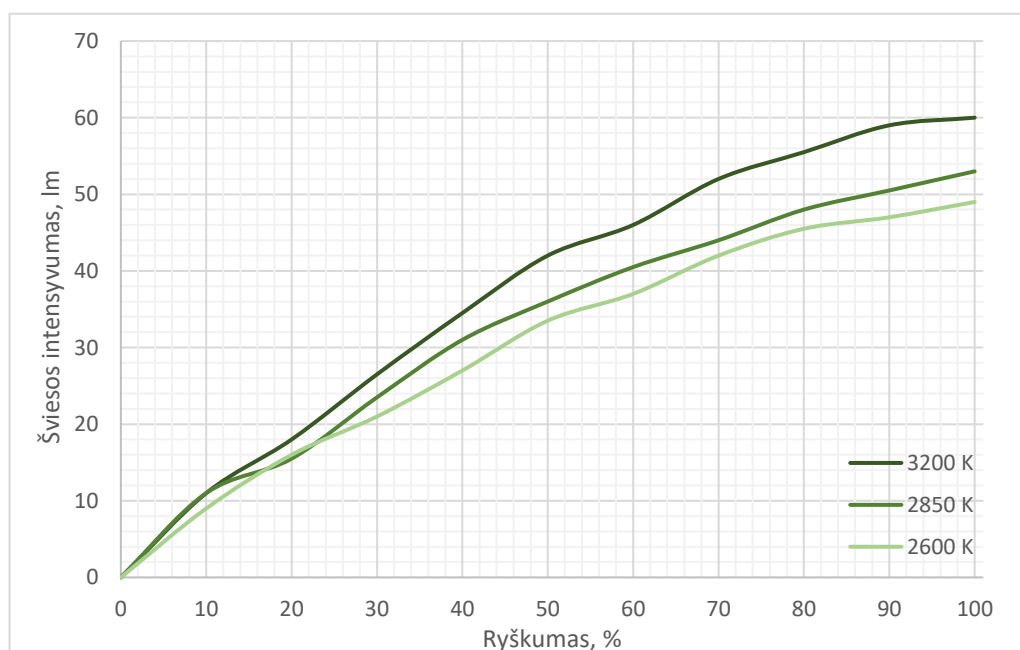
3.23 pav. Skirtingų temperatūrų šviesos atspalviai

Išmatuoti duomenys surašomi į 3.3 lentelę.

3.3 lentelė. Išmatuotos intensyvumų reikšmės

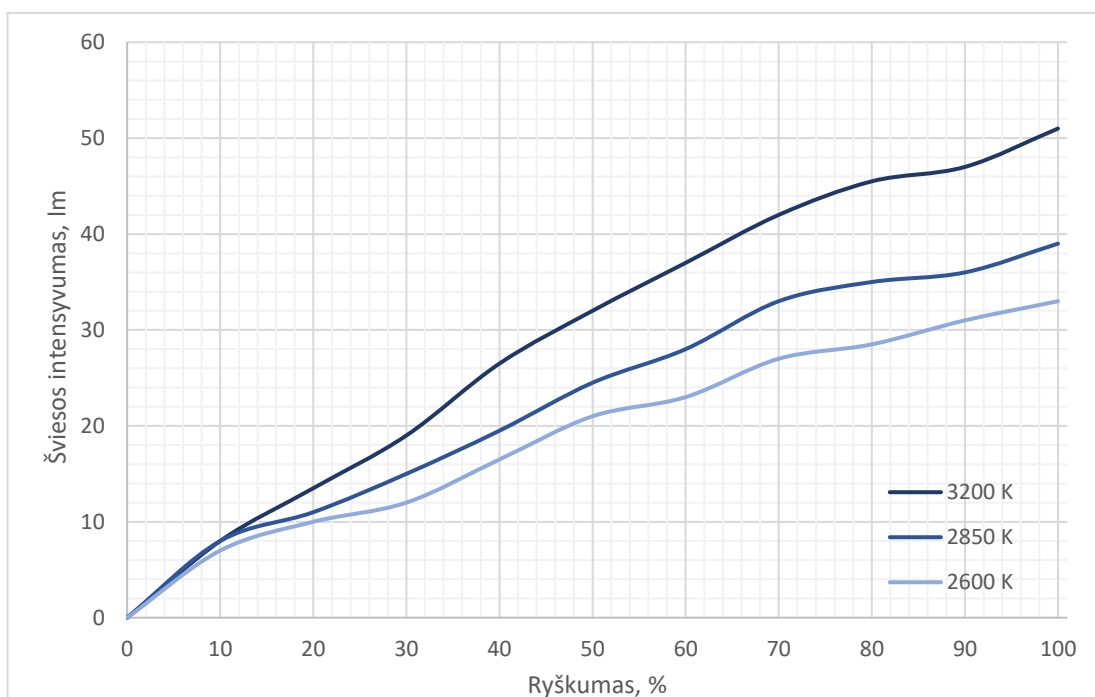
Temperatūra, K									
Intensyvumas, %	3200			2850			2600		
	R	Ž	M	R	Ž	M	R	Ž	M
100	71	60	51	71	53	39	71	49	33
90	70	59	47	69	51	36	69	47	31
80	66	56	46	66	48	35	67	46	29
70	62	52	42	62	44	33	62	42	27
60	52	46	37	51	41	28	52	37	23
50	44	42	32	44	36	25	44	34	21
40	37	35	27	37	31	20	38	27	17
30	31	27	19	31	24	15	31	21	12
20	24	18	14	23	16	11	24	16	10
10	12	11	8	12	11	8	11	9	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Iš gautų duomenų matosi, kad mažinant temperatūrai raudonos spalvos intensyvumas beveik nesikeičia, o labiausiai keičiasi mėlynos spalvos intensyvumas. Laikantis prielaidos, kad raudonos spalvos intensyvumas nesikeičia, atvaizduojami tik žalios (Ž stulpeliai) ir mėlynos (M stulpeliai) reikšmės esant skirtingoms spalvos temperatūroms.



3.24 pav. Žalios spalvos intensyvumų reikšmės prie skirtingų spalvos temperatūrų

Iš grafiko (3.24 pav.) matosi, kad mažinant spalvos temperatūrą žalios spalvos intensyvumas sumažinamas apie 11 %, o sumažinus temperatūrą (spalvos) iki 2600 K intensyvumas sumažėja 18 %.



3.25 pav. Mėlynos spalvos intensyvumų reikšmės prie skirtingų spalvos temperatūrų

Sumažinus mėlynos spalvos temperatūrą nuo 3200 K iki 2850 K intensyvumas sumažinamas apie 23 %, o sumažinus iki 2600 K intensyvumas sumažėja 35 % (3.25 pav.). Tiek sumažinus mėlynos spalvos intensyvumą galima užtikrinti komfortišką ir šiltą atmosferą patalpose vakaro metu.

Mažinant apšvietimo temperatūrą sukuriama komfortiška aplinka kurioje žmogaus organizmas nejaučia streso dėl apšvietimo spindulių. Sumažinus temperatūrą (apšvietimo) labiausiai mažinamas mėlynos spalvos spinduliavimas kuris daro didžiausią poveikį žmogaus miego ritmui vėlinant užmigimo laikui ir netrikdo melatonino gamybos kankorėžinėje liaukoje vakaro metu. Tačiau visiškai nuslopinus mėlynos spalvos spindulius apšvietimui suteikiamas geltonos spalvos atspalvis, o tai stimuliuoja žmogaus pasąmonę bendravimui. Todėl patartina išlaikyti mėlynos spalvos intensyvumą apšvietime.



## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Išanalizavus rinkoje esamas apšvietimo sistemas ir patentus pastebėta, kad labai maža dalis rinkoje esamų sistemų yra daugiafunkcinės ir pasiūlo tik dalį projekto koncepcijoje numatytų funkcijų.
2. Plačiausiai naudojamas Bluetooth ryšys tarp sistemos įrenginių. Naudojant „*bluetooth smart*“ technologiją sumažinamas energijos suvartojimas ryšio mazguose dėl to ryšio mazgus galima maitinti iš ličio jonų baterijos gana ilgą laiką, bet ryšio nuotolis šiuo atveju siekia tik iki 10m atviroje erdvėje. Bluetooth dažnių diapazonas labai užpildytas, todėl komunikacijos tempas nestabilus.
3. Sukurtas sistemos prototipas, kuris gali būti panaudotas tiek paprastai apšvietimo sistemai, tiek sudėtingai, su šviestuvo viduje įmontuotais maitinimo šaltiniais.
4. Sukurta per interneto naršyklę dirbanti sistemos valdymo programinė įranga, todėl valdymui gali būti panaudotas ne tik lokalus, bet ir globalus tinklas. Saugiam ryšiui tinkle užtikrinti panaudotas SSL saugumo sertifikatas, užtikrinantis vartotojo autentiškumą, o tinklapiio užkrovimo laikas prailgėja  $< 10$  ms.
5. Bandymo metu pastebėta, kad dėl netiesiško sinuso kitimo laike reikalinga sinuso signalo aproksimacija, kuri tiksliai apskaičiuoja reikiamą vėlinimo laiką nuo signalo nulio kirtimo vietos.
6. Naudojant apskaičiuotomis polinomų lygtimis kontroliuojamas kaitrinės lempos intensyvumo valdymas buvo užtikrintas su paklaida  $< 2,77$  %. Ji didžiausia ties maksimaliu sinusinės kitimo greičiu (prie mažų intensyvumų). Naudojant mažos galios lempas tokio dydžio paklaida yra priimtina ir didelės įtakos šviesumui neturi nes žmogaus akis nėra tokia jautri, kad pastebėtų nežymų šviesos intensyvumo pakitimą.
7. Atliekant eksperimentą su RGB šviesos diodais buvo naudojama impulsų pločio moduliacija, kurios pagalba valdomas šviesos intensyvumas. Keičiant stačiakampių impulsų skverbtį keičiamas šviesos diodo intensyvumas.
8. Su kalibruotu RGB sensoriumi buvo išmatuotas LED šviestuvo intensyvumo valdymo efektyvumas. Atvaizdavus gautus duomenis grafike pastebėta, kad intensyvumas kinta netiesiškai, nukrypstant vidutiniškai 7,38 % nuo teorinės reikšmės. Tai yra dėl to, kad dalis iš diodo išspinduliuotų fotonų nepasiekia sensoriaus fotodiodo.
9. Mažinant apšvietimo spalvos temperatūrą sumažinama mėlynos spalvos intensyvumas. Bandymo metu sumažinus temperatūrą (spalvos) nuo 3200 K iki 2600 K mėlynos spalvos spindulių intensyvumas sumažėjo 35 %, o žalios spalvos – 18 %.

10. Įvertinus psichoanalitinį faktorių, kuriame nustatyta, kad mėlynos spalvos spinduliai turi neigiamą poveikį žmogaus miego ritmui, rekomenduojama vakarais naudoti profilius su ryškesne šiltos spalvos komponente.

## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. BARRY, J. R. Wireless Infrared Communications. Kluwer 1994, p. 2 – 7 psl.
2. ELBERT, B. R. Introduction to satellite communication. Third edition. 2008, p. 1 - 14
3. AGARWAL, T. Different Types of Wireless Communication with Applications. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 03 20]. Prieiga per internetą:  
<https://www.elprocus.com/types-of-wireless-communication-applications/>
4. FOROUZAN, B. A. Data Communications and Networking, Fourth Edition. 2007, 2. Network Models. ISBN 9780073250328.
5. CHRISTIANSEN, D., ALEXANDER, CH, K., JURGEN, R., K. Standard Handbook of electronic engineering. Fifth edition. 2005, 17.5 Wireless Networks.
6. UNGURYTĖ,,J. Neuroninių tinklų taikymas daugiakriteriniame optimizavime. 2012.
7. MARR, B. A Short History of Deep Learning. [interaktyvus],[žiūrėta 2017 01 24]. Prieiga per internetą:  
<http://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/03/22/a-short-history-of-deep-learning-everyone-should-read/#7336bbc461b7>
8. MAKŪNAITĖ, R. Neuroniniai tinklai. [interaktyvus] 2006. [žiūrėta 2017 01 24]. Prieiga per internetą:  
<http://www.elektronika.lt/teorija/kompiuterija/4342/neuroniniai-tinklai/>
9. A Basic Introduction To Neural Networks. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 01 25]. Prieiga per internetą:  
<http://pages.cs.wisc.edu/~bolo/shipyard/neural/local.html>
10. Deep Learning and Convolutional Neural.[interaktyvus], [žiūrėta 2017 01 25] Prieiga per internetą:  
<http://www.rsipvision.com/exploring-deep-learning/>
11. LightGrid [interaktyvus], [žiūrėta 2016 10 19]. Prieiga per internetą:  
[http://www.gelighting.com/LightingWeb/na/images/94439-GE-LightGrid-Wireless-Lighting-Control-Systems-Brochure\\_tcm201-65709.pdf](http://www.gelighting.com/LightingWeb/na/images/94439-GE-LightGrid-Wireless-Lighting-Control-Systems-Brochure_tcm201-65709.pdf)
12. Cree SmartCast® Technology. [interaktyvus], [žiūrėta 2016 10 19]. Prieiga per internetą:  
<http://lighting.cree.com/products/indoor/controls/cree-smartcast-technology>
13. xPoint Wireless System. [interaktyvus], [žiūrėta 2016 10 22]. Prieiga per internetą:  
[http://www.lightingcontrols.com/productcatalog/xPoint\\_Wireless\\_System.asp](http://www.lightingcontrols.com/productcatalog/xPoint_Wireless_System.asp)
14. CHOO, J., BUCHANAN. D., I., GARCIA, T., MAI, N., P., Wireless Adaptation of Lighting Power Supply. 2010. US20120112654 A1
15. WITTELS, N. Introductory Photometry. Version 2.01. 1986-97.

16. SMITH, W., J. Modern Optical Engineering: The Design of Optical System. Fourth edition. 2008. 12.9. Photometry. ISBN 9780071476874
17. A20737A Datasheet – Anaren [interaktyvus], [žiūrėta 2016 11 20]. Prieiga per internetą: <https://www.anaren.com/sites/default/files/Part-Datasheets/A20737A.pdf>
18. Apache HTTP server project. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 02 15]. Prieiga per internetą: [http://httpd.apache.org/ABOUT\\_APACHE.html](http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html)
19. Optimize and secure your website, Everything you need to know about SSL certificates. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 02 15]. Prieiga per internetą: [https://www.verisign.com/en\\_US/website-presence/website-optimization/ssl-certificates/index.xhtml](https://www.verisign.com/en_US/website-presence/website-optimization/ssl-certificates/index.xhtml)
20. FOROUZAN, B. A. Data Communications and Networking, Fourth Edition. 2007, 32.2 SSL/TLS. ISBN 9780073250328.
21. How TLS/SSL works. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 02 27]. Prieiga per internetą: [https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc783349\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc783349(v=ws.10).aspx)
22. KASERA, S., NARANG, N., NARANG, S., Communication Networks: Principles and Practise. 2005, 14.6. Hash functions. ISBN 97800583542
23. SAKALAUSKAS, E., LISTOPADSKIS, N., DOSINAS, G., S. Kriptografijos teorija. 2008, p. 76 – 78. ISBN 978-9955-686-75-0
24. SAKALAUSKAS, E., LISTOPADSKIS, N., DOSINAS, G., S. Kriptografijos teorija. 2008, p. 81 – 90. ISBN 978-9955-686-75-0
25. ZHENG, X., JIN, J. Research for the Application and Safety of MD5 Algorithm in Password Authentication. 2012,
26. DAVIES, M. .Standart Handbook for Aeronautical and Astronautical Engineers. 2003, 5.15.6. TCP/IP. ISBN 9780071362290
27. FOROUZAN, B. A. Data Communications and Networking, Fourth Edition. 2007, 23.3. TCP. ISBN 9780073250328
28. SOLOMAN, S. Sensors and Control Systems in Manufacturing, Second Edition. 2010, 1.9. Chromaticity – Color Rendering Index (CRI). ISBN 9780071605724.
29. MILDAŽIENĖ, V. Naujausių gamtos mokslo žinių sklaidos mokytojams tinklas. Oksidacinis stresas ir senėjimas. [interaktyvus], [žiūrėta 2017 06 05] Prieiga per internetą: [http://gamta.vdu.lt/mokytojai/kursai/Oksidacinis\\_stresas\\_ir\\_senejimas.pdf](http://gamta.vdu.lt/mokytojai/kursai/Oksidacinis_stresas_ir_senejimas.pdf)