



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Tomas Brazys

**AUTONOMINIO ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO PRAMONINĖS
PASKIRTIES AIKŠTELEI SUDARYMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Prof. dr. Alvydas Dosinas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**AUTONOMINIO ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO PRAMONINĖS
PASKIRTIES AIKŠTELEI SUDARYMAS IR TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Energijos technologijos ir ekonomika (621H30004)

Vadovas

Prof. dr. Alvydas Dosinas
2017 06 07

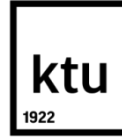
Recenzentas

Doc. dr. Konstantinas Otas
2017 06 07

Projektą atliko

Tomas Brazys
2017 06 07

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Brazys

(Studento vardas, pavardė)

Energijos technologijos ir ekonomika (kodas 621H30004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Autonomionio šviesos diodų apšvietimo pramoninės paskirties aikštei sudarymas ir tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio 6 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tomo Brazio**, baigiamasis magistro projektas tema „*Autonomionio šviesos diodų apšvietimo pramoninės paskirties aikštei sudarymas ir tyrimas*“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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 nesažiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Brazys, Tomas. Autonominio šviesos diodų apšvietimo pramoninės paskirties aikštei sudarymas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Alvydas Dosinas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

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

Reikšminiai žodžiai: šviesos šaltiniai, šviesos diodas, maitinimo šaltinis, autonominis apšvietimas.

Kaunas, 2017. 66 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe buvo ištirta mažos, nutolusios nuo elektros tinklo dujų skirstymo stotelės natrio dujų lempų apšvietimo sistema, kurią sudaro 70 W galios natrio dujų lempų šviestuvai, ir ji lyginama su šiuolaikine autonomine šviesos diodu apšvietimo sistema. Na dujų lempų šviestuvų charakteristikos buvo testuojamos šviestuvų testavimo įranga LabSpion. Tikslios fotometrines apšvietimo sistemos kreivės buvo modeliuojamos apšvietimo projektavimui skirta programa DIALux. Apskaičiuotos vartojamosios elektros energijos apkrovos iš elektros tinklo, apšvietos lygis teritorijoje ir ištirtas sistemos valdymo principas. Tyrimas parodė, kad tokia apšvietimo sistema yra neekonomiška, lyginant su šviesos diodų apšvietimo sistema.

Pagal gautus tyrimo rezultatus, buvo sudaryta ir ištirta autonominio šviesos diodų apšvietimo sistema. Tyrimo eigoje buvo pagaminti ir praktiškai ištestuoti šiuolaikiniai šviesos diodų šviestuvai, sudaryta DALI valdymo sistema, pritaikyti judesio jutikliai ir foto jutikliai jungikliai. Apskaičiuota ir sudaryta saulės fotomodulių elektrinė ir kaupikliai. Gauta, kad autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos šviestuvai vartoja 10,4 kartų mažiau elektros energijos, nei natrio dujų lempų apšvietimo sistema, o tai lėmė šiuolaikinės valdymo technologijos, kurios buvo pritaikytos šviesos diodų šviestuvuose.

Ekonominio vertinimo dalyje, šios dvi apšvietimo sistemos yra sulyginamos taikant diskontavimo metodą, kai diskonto norma 3 %. Išanalizavus tyrimo rezultatus pateiktos darbo išvados.

Brazys, Tomas. Projection and Research on Autonomous LED Lighting for Industrial Site: Master's thesis in Energy Technologies and Economics / supervisor assoc. prof. Alvydas Dosinas, Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

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

Key words: light sources, light emitting diode, LED power supply, autonomous lighting
Kaunas, 2017, 66 p.

SUMMARY

Small, distant from electrical network gas station was investigated in this work, which is composed of 70 W power lighting system of sodium gas. According to the characteristics of these lighting fixtures the exact copy was made and tested in LabSpion light measurement lab. Photometric curves received from previous system were simulated in DIALux lighting design software. Consumer power load, illuminance level in territory were calculated and investigated system control principle showed that this lighting system is not economical.

According to received data, autonomous LED lighting system was designed and investigated. During research LED lighting fixtures were made and practically tested. As result, autonomous LED lighting system uses 10,4 times less electric power because of modern technologies which are applied in LED illuminators.

In economic assessment report, both lighting systems are compared by discount method when discount is 3 %. The findings in this work are provided after analyzing research results.

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	10
ĮVADAS.....	12
1.APŠVIETIMO ŠALTINIAI IR JŲ SAVYBĖS	13
1.1. Kaitinamosios elektros lempos	13
1.2. Liuminescencinės lempos	13
1.3. Halogeninės lempos	14
1.4. Metalų halogenų lempos	15
1.5. Natrio dujų lempos	15
1.6. Didelės galios lauko šviestuvai	16
1.6.1. Saugos klasė IP.....	16
1.6.2. Apsaugos nuo elektros smūgio klasės.....	17
1.7. Dujų skirstymo stočių teritorijos apšvietimas	18
2.ŠVIESOS DIODAI.....	20
2.1. Šviesos diodo atsiradimas	20
2.2. Šviesos diodo sandara ir veikimo principas.....	20
2.3. Šviesos diodų savybės.....	21
2.4. Automatinis šviesos diodų apšvietimo valdymas.....	23
3.ŠVIESOS DIODŲ ŠVIESTUVŲ MAITINIMO ŠALTINIAI.....	25
4.AUTONOMINIO ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO SISTEMOS SUDARYMAS ..	27
4.1. Analizuojama dujų skirstymo stoties apšvietimo sistema.....	27
4.2. Tyrimo metu naudojama testavimo įranga.....	27
4.3. Na dujų lempų apšvietimo sistemos tyrimas.....	28
4.4. Šviesos diodų apšvietimo sistemos tyrimas	33
4.4.1. Šviesos spindulio formavimo lęšis	33
4.4.2. Šviesos diodų apšvietimo sistemos projektavimas.....	34

4.5.	Autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos struktūra	40
4.6.	Šviesos diodų šviestuvų sudarymas	41
4.6.1.	Šviesos diodų maitinimo šaltinis	42
4.6.2.	Foto jutiklis jungiklis.....	43
4.6.3.	Judesio jutiklis	44
4.7.	Sudarytos apšvietimo sistemos tyrimas.....	44
4.8.	Apšvietimo sistemų vartojamų elektros energijos apkrovų skaičiavimas.....	47
4.9.	Autonominės apšvietimo sistemos kaupikliai	49
4.10.	Fotovoltinių saulės elementų elektrinė.....	50
4.11.	Autonominės apšvietimo sistemos įtampos keitiklis ir įkroviklis.....	55
5.DUJŲ SKIRSTYMO STOTIES AUTONOMINĖS ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO SISTEMOS EKONOMINIS VERTINIMAS		58
IŠVADOS.....		63
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....		65
PRIEDAI		67
Priedas 1. Šviesos diodų optinių lęšių spindulio formavimo fotometrinių kreivės.....		67

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

LED — šviesos diodai

IP — šviestuvų apsaugos laipsnis nuo išorinių veiksnių

DSS — dujų skirstymo stotis

AC — kintama įtampa

DC — nuolatinė įtampa

DALI — adresuojama apšvietimo valdymo skaitmeninė sistema

SFM — saulės fotomodulis

AB — akumuliatorinė baterija arba kaupiklis

FJ — foto jutiklis jungiklis

JJ — judesio jutiklis

MŠ — maitinimo šaltinis

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 4.1 lentelė. Gaminamo Na dujų lempų šviestuvų pagrindiniai komponentai
- 4.2 lentelė. Na dujų lempų šviestuvo tyrimo rezultatai
- 4.3 lentelė. DSS projektuojamo teritorijos apšvietimo duomenys (budėjimo režimas)
- 4.4 lentelė. DSS projektuojamo teritorijos apšvietimo duomenys (visi šviestuvai įjungti)
- 4.5 lentelė. Pagamintų LED šviestuvų pagrindiniai komponentai
- 4.6 lentelė. Kampinio ir šoninio LED šviestuvų tyrimų duomenys
- 4.7 lentelė. DSS teritorijos projektuojamo LED šviestuvų apšvietimo duomenys
- 4.8 lentelė. DSS teritorijos projektuojamo optimalaus LED šviestuvų apšvietimo duomenys
- 4.9 lentelė. LED šviestuvų preliminarios specifikacijos
- 4.10 lentelė. LCA 60W 350- 2100 mA one4all PRIE OTD maitinimo šaltinio charakteristikos
- 4.11 lentelė. MINI-NIGHT-SWITCH foto jutiklio jungiklio charakteristikos
- 4.12 lentelė. 317M High-Bay PIR Presence/Absence Detector judesio jutiklio charakteristikos
- 4.13 lentelė. Sudarytų šviesos diodų šviestuvų tyrimo rezultatai (pilnos galios režime)
- 4.14 lentelė. Sudarytos šviesos diodų apšvietimo sistemos duomenys (pilnos galios ir budėjimo režime)
- 4.15 lentelė. Vartojamos elektros energijos apkrovos apšvietimo sistemoms
- 4.16 lentelė. 12 Volt Deep Cycle GEL BAT412101100 kaupiklis
- 4.17 lentelė. Polikristalinio silicio saulės elemento Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W parametrai
- 4.18 lentelė. Daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija (kWh/m^2), tenkanti horizontaliam paviršiui kiekvieną mėnesį ir per visus metus
- 4.19 lentelė. Saulės elektrinės, parinktos pagal gruodžio mėnesio apkrovą (4 fotomoduliai), generuojama elektros energija
- 4.20 lentelė. Saulės elektrinių, parinktų pagal gruodžio mėnesio apkrovas (4 fotomoduliai) ir rugsėjo mėnesio apkrovas (1 fotomodulis), generuojamos elektros energijos
- 4.21 lentelė. Keitiklio — įkroviklio EasySolar 12 V 1600VA charakteristikos
- 5.1 lentelė. Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo sąmata
- 5.2 lentelė. Sudarytos autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo sąmata
- 5.3 lentelė. Prognozuojamas atsipirkimo laikas ir pinigų srautai (diskonto norma 3%)

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav. Kaitinamosios elektros lempos sandara
- 1.2 pav. Liuminescencinių lempų pavyzdžiai
- 1.3 pav. Halogeninė lemputė
- 1.4 pav. Natrio dujų lempos skleidžiama šviesa
- 1.5 pav. DSS teritorijos apšvietimui naudojamas šviestuvas
- 2.1 pav. Šviesos diodo supaprastinta puslaidininkinio kristalo struktūra
- 2.2 pav. XY spalvinių koordinacių sistema ir baltos šviesos koordinatės nurodantis

Planko lankas

- 2.3 pav. Kruithofo kreivė
- 2.4 pav. Šviesos diodo santykinio šviesos srauto priklausomybė nuo tiesioginės

maitinimo srovės

- 2.5 pav. DALI valdymo struktūrinė schema

- 3.1 pav. LED maitinimo šaltinių klasifikacija

- 4.1 pav. Na dujų lempų šviestuvų išdėstymas DSS teritorijoje

- 4.2 pav. Šviestuvų testavimo įrangą — LabSpion

- 4.3 pav. Na dujų lempų šviestuvo fotometrinių kreivės

- 4.4 pav. DSS projektuojamas teritorijos apšvietimas (budėjimo režimas)

- 4.5 pav. DSS projektuojamas teritorijos apšvietimas (visi šviestuvai įjungti)

- 4.6 pav. DSS apšvietimo bendrai apšviečiama teritorija

- 4.7 pav. Kampinių šviestuvų ir šoninių šviestuvų optinių lęšių spindulio laužimo kreivės

- 4.8 pav. Testuojamas LED šviestuvas ir jo optinis lęšis

- 4.9 pav. LED šviestuvų fotometrinių kreivės, kampinių — viršuje, šoninių — apačioje

- 4.10 pav. DSS teritorijos projektuojamas LED šviestuvų apšvietimas

- 4.11 pav. DSS teritorijos projektuojamas optimalus LED šviestuvų apšvietimas

- 4.12 pav. Struktūrinė autonominio LED apšvietimo sistemos schema

- 4.13 pav. Foto jutiklio jungiklio pozicija šviestuvo korpuse

4.14 pav. Sudarytos šviesos diodų apšvietimo sistemos apšvieta DSS teritorijai (budėjimo režime — 10 % visos galios)

4.15 pav. Na dujų ir šviesos diodų apšvietimo sistemų vartojamos galios palyginimo grafikas (budėjimo ir pilnos galios režimais)

- 4.16 pav. Apšvietimo sistemų mėnesinės elektros energijos apkrovos grafikas

4.17 pav. Šviesos diodų apšvietimo sistemos vartojamos mėnesinės apkrovos ir saulės elektrinių, parinktų pagal gruodžio ir rugsėjo mėnesius, generuojamos elektros energijos, palyginimas

4.18 pav. Keitiklio — įkroviklio EasySolar 12 V 1600VA principinė schema

5.1 pav. Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštai (įvertintas mokestis už prijungimą prie skirstomo elektros tinklo) ir autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo kaštai

5.2 pav. Autonominio šviesos diodų apšvietimo diskontuoto pelno srautai 25 metų laikotarpyje

IVADAS

Apšvietimo sektoriuje didelę revoliuciją sukėlė kietakūnių šviesos šaltinių technologija (angl. solid-state lighting). Ši technologija grindžiama puslaidininkiniais šviesos diodais (toliau LED, angl. light-emitting diode). LED apšvietimas, užima vis didesnę rinkos dalį, randa pritaikymą vis įvairesnėse srityse ir turi didžiulį potencialą tiek šviesos prietaisų funkcinių galimybių plėtroje, tiek energijos taupymo ir ekologijos srityse.

Šiuolaikiniai LED šviestuvai skleidžia šiltą ir malonią šviesą, LED produktų veikimo trukmė yra didesnė nei 25 000 valandų, o kartais net ir 50 000 valandų. Be to, juose nėra sveikatai kenksmingų sunkiųjų metalų. Šios savybės gali bet ką įtikinti vietoje kitų šviesos šaltinių rinktis LED, tačiau jų populiarumą daugiausiai lemia itin mažas elektros energijos suvartojimas. LED yra laikomi nekenksmingais aplinkai, nes jų naudojimas gali sumažinti energijos sunaudojimą ir į aplinką išmetamo CO₂ kiekį, net iki 80 %.

LED lauko šviestuvai - puikus LED technologijos pavyzdys, kaip tinkamai ir produktyviai panaudoti LED apšvietimą. Įvairaus galingumo lauko šviestuvai ar lauko apšvietimas labai dažnai naudojami įrenginėjant ne tik namų, kiemo, sodo apšvietimą, bet ir įvairios paskirties pastatų fasadų, aikščių, parkų, gatvių ir pramoninių aikštelių - lauko apšvietimą. Lauko LED šviestuvai su atitinkamu IP laipsniu — puikiai tinka ir yra lengvai derinami ne tik su judesio davikliais, bet ir įvairiausiomis autonominėmis valdymo sistemomis. Tai puiki galimybė padidinti apšvietimo efektyvumą pramoninio lygio aikštelėse, nutolusiose nuo elektros skirstomojo tinklo.

Darbo tikslas: sudaryti didelės galios autonominę šviesos diodų apšvietimo sistemą, skirtą mažos, pramoninės paskirties aikštelės apšvietimui, bei ištirti šios sistemos rentabilumą.

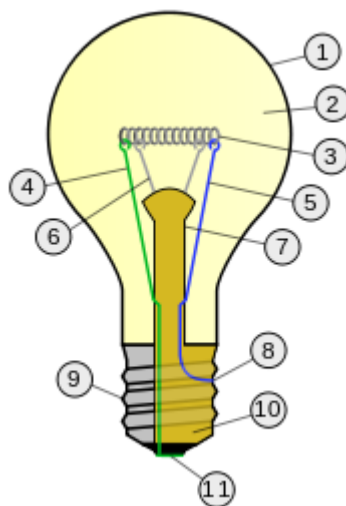
Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti apšvietimui skirtus šviesos diodus, šviesos diodų maitinimo šaltinius, ir kitus reikalingus įrenginius autonominio apšvietimo sistemai;
2. Analizuoti pramoninio lygio paskirties aikštelės apšvietimo sistemą ir pagal tai sukurti šiuolaikinę autonominę šviesos diodų apšvietimo sistemą;
3. Ištirti sukurtos šiuolaikinės autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos parametrus;
4. Ištirti autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos rentabilumą ir atlikti ekonominį vertinimą.

1. APŠVIETIMO ŠALTINIAI IR JŲ SAVYBĖS

1.1. Kaitinamosios elektros lempos

Kaitinamosios elektros lempos atsirado 1840 m., kai jas pirmą kartą pagamino mokslininkas Warren de la Rue. Pirmasis kaitinamosios elektros lempos siūlas buvo pagamintas iš platinos, tačiau dėl per didelės platinos kainos, pramoniniam naudojimui netiko. Po to, platinos siūlą pakeitė anglies strypelis, o tik 1912 m. buvo pagaminta pirmoji kaitrinė lempa su inertinėmis dujomis ir volframo siūlo [1].



1.1 pav. Kaitinamosios elektros lempos sandara (1 - stiklinė kolba, 2 - inertinės dujos, 3- volframo siūlas, 4 ir 5 - kontakcinė viela, 6 - atraminės vielos, 7 - stiklinis stiebas, 8 - kontakcinė viela, 9 - galva su sriegiu, 10 - izoliacinis sluoksnis, 11 - elektrinis kontaktas.) [1]

Didžiausi privalumai šio šviesos šaltinio yra tai, kad kaitinamosios elektros lempos gaminamos įvairiomis maitinimo įtampomis, nuo 1,5 V iki 300 V. Jos yra pigios, o sugadintos lempos nėra pavojingos žmogaus sveikatai. Jas nesudėtinga įžiebt, nereikia papildomų technologijų joms paleisti, o tam nedaro jokios įtakos nei per aukšta, nei žema aplinkos temperatūros [1].

Tačiau kaitinamosios elektros lempos turi daug trūkumų. Tokio tipo lempos suvartoja daugiausiai elektros energijos ir yra ypač neekonomiškos. Jų efektyvumas siekia nuo 8 lm/W iki 20 lm/W, o tarnavimo laikas yra tik iki 1 500 valandų. Kaitinamosios elektros lempos vis rečiau naudojamas, o jas pakeičia efektyvesni lempų tipai [2].

1.2. Liuminescencinės lempos

Tai žemo slėgio lempa, kurios vidų sudaro gyvsidabrio garai. Vidus pripildytas apie 1 Pa slėgio gyvsidabrio garų, o juose vyksta elektros išlydžiai. Lempos korpusas yra pagamintas iš stiklo, vamzdžio formos, o jo galuose yra elektrodai. Tarp elektrodų yra įtampa ir tekanti srovė.

Judantys krūviai susiduria su gyvsidabrio atomais. Vidinis lempos paviršius padengtas liuminoforu, kurio dalelės yra sužadinamos ultravioletinės spinduliuotės, pradeda skleisti mažos energijos ir didesnio bangos ilgio regimąją šviesą. Pagal liuminoforo cheminę sudėtį, galima išgauti įvairiausias šviesos spalvas — dienos, baltą, šiltai baltą, gelsvą ar net žalsvą šviesos spalvas [3].



1.2 pav. Liuminescencinių lempų pavyzdžiai

Vykstant išlydžiui dujose, didėjant srovei, mažėja įtampa lemposje. Jei tekanti srovė pradėtų didėti, tai ji imtų didėti kaskart vis labiau, todėl didėtų maitinimo įtampos perteklius, lyginant su įtampos kritimu lemposje. Tokiu būdu atsiranda tikimybė sugadinti lemputę. Tam, kad to išvengtų, lemputė prijungiama prie elektros tinklo ne tiesiogiai, bet per elementą, kuris stabilizuotų srovės dydį [3].

Liūminescencinių lempų efektyvumas siekia iki 100 lm/W, priklausomai ar lemputė yra kompaktinė ar linijinė, tačiau šviesos srautas labai priklauso nuo aplinkos temperatūros. Šios lempos maitinamos 50 Hz dažnio srove, ir blykstelė apie 100 kartų per sekundę, o veikimo laikas apie 15 000 valandų. Susidėvėjusios lempos mirgėjimas gali būti pastebimas ir kenkti žmogaus sveikatai, sukelti stroboskopinį efektą [2].

1.3. Halogeninės lempos

Halogeninė lemputė panaši į kaitinamąją lemputę, tačiau jos stiklinė kolba daug mažesnė. Vidus pripildytas inertinių dujų su jodo arba bromo priemaišomis. Volframo dalelės susijungdamos su halogenu, nusėda ant kolbos sienelių, o jas ten išlaiko lakus volframo ir halogeno junginys. Jei jis priartėja prie volframo siūlo, aukštos temperatūros pagalba, vėl sukyla į volframą ir halogeną. Tokiu principu visas ciklas kartojasi [4].



1.3 pav. Halogeninė lemputė [2]

Tačiau metalo halogenų lempos įkaista žymiai daugiau nei kaitinamosios elektros lempos ir sukelia didesnę riziką sugesti, o patekę teršalai ant stiklo, gali susprogdinti lempos kolbą. Halogenų lempos yra ilgaamžiškesnės ir efektyvesnės nei kaitinamosios elektros lempos, jų efektyvumas gali siekti 30 lm/W, o veikimo laikas iki 3 500 valandų. [2].

1.4. Metalų halogenų lempos

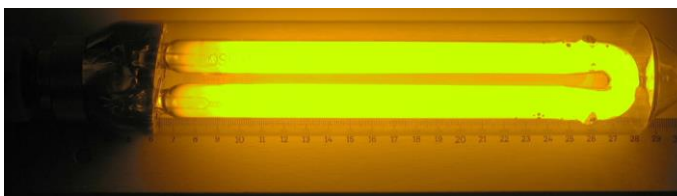
Šios lempos yra aukšto slėgio, plataus spinduliavimo spektro, o jos degiklyje yra net iki argono ir gyvsidabrio, bet ir kitų metalų. Tokios lempos veikia aukštose temperatūrose, bei tarnauja apie dešimt kartus ilgiau, nei kaitinamosios elektros lempos. Dėl to, kad halogenai yra elektriškai neigiami ir sugeria laisvuosius elektronus, įsižiebia po tam tikro laiko, o tam atlikti reikalingas balastinio tipo maitinimo šaltinis [3].

Metalų halogenų lempos efektyvumas gali būti iki 100 lm/W, o gyvavimo laikas apie 10 000 valandų. Skleidžia pulsuojančią šviesą, taip pat yra jautrios maitinimo įtampos nuokrypiams [4].

1.5. Natrio dujų lempos

Natrio dujų lempose šviesą skleidžia sužadinti natrio dujų garai. Natrio šviesos spektras susideda iš 589 nm ir 589,6 nm bangų ilgių, kurios yra regimojoje spektro dalyje, todėl nereikalinga šviesos transformacija. Tai vienas iš efektyviausių elektrinių šviesos šaltinių. Stikliniame vamzdelyje, kuriame yra natrio ir inertinių dujų, neveikiant lempai natrius išlieka kietoje būsenoje. Įjungta lempa tam tikrą laiką šviečia rausva šviesa. Visa galia lempa pradeda veikti tik po tam tikro laiko, kai natrius virsta garais [3].

Žemo slėgio natrio lempose vyksta išlydis, kur slėgis siekia 1 Pa, o temperatūra pasiekia 300°C. Aukšto slėgio natrio lempose vyksta išlydis, kur slėgis pasiekia 105 Pa, o temperatūra yra apie 750°C.



1.4 pav. Natrio dujų lempos skleidžiama šviesa

Tačiau natrio dujų lempos turi ir trūkumų, vienas iš jų, kad lempa maksimalų šviesos srautą pasiekia tik 10 minučių praėjus nuo įjungimo laiko. Taip pat, tokios lempos netiksliai atkuria daiktų spalvas. Dažniausiai natrio dujų lempos palyginus su kito tipo lempomis yra labai didelės [3].

Šio tipo lempos dažniausiai naudojamos gatvių apšvietimui. Jų efektyvumas yra nuo 100 lm/W iki 180 lm/W, o gyvavimo trukmė siekia 8 000 valandų.

1.6. Didelės galios lauko šviestuvai

Pramonėje, gamyklose, sandėliuose, pardavimo vietose ar žemės ūkio objektuose apšvietimas svarbus tiek komforto, tiek ekonomiais aspektais. Tyrimais nustatyta, kad nuo apšvietimo kokybės priklauso ne tik žmonių darbingumas bet ir gyvūnų prieauglis, augalų augimo tempai, prekės išvaizda lentynoje. Galingose apšvietimo sistemose sunaudojama ypač daug elektros energijos, todėl labai svarbūs energijos taupymo sprendimai, tačiau būtina atsižvelgti į tam tikrus reikalavimus. Norint pasirinkti saugų šviestuvą, reikia įvertinti jo naudojimo sąlygas ir šviestuvo techninius duomenis bei apsaugos laipsnį. Vieni šviestuvai skirti naudoti įprastinėmis sąlygomis, tokie šviestuvai turi būti apsaugoti nuo atsitiktinio kontakto su įtampa, tačiau neturi kitų specialių apsaugų, pavyzdžiui, nuo dulkių, pašalinių daiktų ar drėgmės. Kiti šviestuvai gali būti specifinės paskirties. Jie paprastai skirti naudoti lauko sąlygomis ar agresyvioje aplinkoje, pavyzdžiui, dirbtuvėse, baseinuose, gamyklose. Tokie šviestuvai turi papildomų specialių apsaugų.

1.6.1. Saugos klasė IP

IP klasė - tai šviestuvo apsaugos laipsnis, nurodantis jo atsparumą įvairiems išoriniams veiksniams. Tarptautinė klasifikavimo sistema EN 60529 nusako elektros įrenginių apsaugos nuo svetimkūnių bei drėgmės, galinčius į juos patekti. Ši klasifikavimo sistema reglamentuoja standartinį žymėjimą raidėmis „IP“ (angl. „Ingress Protection“) ir du skaičiai. Pirmasis IP skaičius nurodo šviestuvo apsaugos nuo kietųjų kūnų į korpuso vidų laipsnį, antrasis skaičius nurodo šviestuvo apsaugą nuo įvairios drėgmės galinčios patekti į vidų. Atvejais, kai šviestuvo korpusas

apsaugos nuo tam tikros srities svetimkūnių neturi — žymimas simboliu 0 arba X, pvz. IP20. Šis žymėjimas nurodo, kad šviestuvai visiškai nėra apsaugoti nuo drėgmės [2]

Kuo didesnis savo vertė skaičius, tuo apsauga yra didesnė. Mažiausiai apsaugoto šviestuvo IP klasė yra IP20. Šiuo ženklu žymimi įvairūs dekoratyviniai šviestuvai, skirti gyvenamosioms zonoms apšviesti. Didesnės apsaugos reikėtų šviestuvams, kurie būtų montuojami vonioje, duše, pirtyje. Tokiems elektros įrenginiams turi būti taikoma apsauga nuo IP44 klasės ir daugiau. Lauko šviestuvams taikoma ne žemesnė nei IP44 klasė [2].

Apsauga nuo kietų objektų:

IP0X - apsaugos nėra;

IP1X - apsauga nuo didelių kūno dalių, tokių kaip ranka;

IP2X - apsaugotas nuo kietų objektų, kurie dydis yra 12,5 mm ir daugiau;

IP3X - apsauga nuo kietų objektų, kurie yra didesni nei 2,5 mm;

IP4X - apsauga nuo kietų objektų, kurie didesni nei 1,0 mm;

IP5X - apsauga nuo dulkių;

IP6X - nepralaidus dulkiams.

Apsauga nuo vandens ir drėgmės:

IPX0 - apsaugos nėra;

IPX1 - apsauga nuo vertikaliai krentančio vandens;

IPX2 - prietaisas yra apsaugotas nuo vertikaliai krentančio vandens, kai jis krenta 15 laipsnių kampu;

IPX3 - apsauga nuo purškiamo vandens,

IPX4 - apsauga nuo vandens purslų,

IPX5 - apsauga nuo vandens srovių,

IPX6 - apsauga nuo stiprių vandens srovių,

IPX7 - apsaugotas nuo trumpalaikio panardinimo į vandenį,

IPX8 - apsauga nuo ilgalaikio panardinimo į vandenį.

1.6.2. Apsaugos nuo elektros smūgio klasės

0 klasės prietaisas - apsaugą nuo elektros smūgio sudaro pagrindinė izoliacija, o ją pažeidus negali kilti elektros smūgio pavojus [2].

I klasės prietaisas - apsaugą nuo elektros smūgio sudaro pagrindinė izoliacija, o pasiekiamos srovei laidžios dalys sujungiamos su žemėjimo laidu [2].

II klasės prietaisas - apsaugą nuo elektros smūgio sudaro ne tik pagrindinė izoliacija, bet ir papildoma dviguba arba sustiprintoji izoliacija, tačiau nėra apsauginio žemėjimo [2].

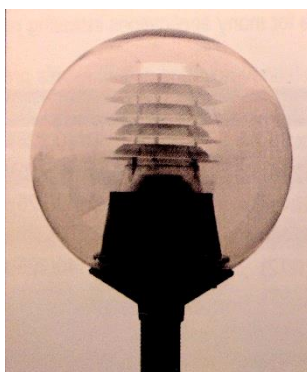
III klasės prietaisas - tai prietaisas, kuris maitinamas saugia žemiausiaja įtampa ir kuriame nesusidaro įtampa aukštesnė už saugią žemiausiąją įtampą. Tokiame prietaise negali kilti elektros smūgio pavojus [2].

1.7. Dujų skirstymo stočių teritorijos apšvietimas

Kadangi šio darbo tikslas yra sudaryti ir ištirti autonominių šviesos diodų apšvietimą pramoninio lygio aikštei, labai patogu, kaip objektą pasirinkti magistralinio dujotiekio, gamtinių dujų skirstymo stotį (toliau DSS), kuri yra nutolusi nuo skirstomųjų tinklų. Šios stotys visoje Lietuvoje yra naudojamos magistralinio dujotiekio gamtinių dujų paskirstymui ir apskaitai atlikti.

Pagal Lietuvos magistralinių dujotiekių eksploatavimo taisykles — tokių pramoninių aikštelių teritorija, tamsiu paros metu, privalo būti aptverta ir apšviesta [5]. Tam gali būti įrengtas nuolatinis teritorijos apšvietimas arba įjungiamas prie aptvaro, atėjus eksploatuojančiajam personalui. Elektros apšvietimas turi atitikti teisės aktą — statybos techninis reglamentas STR 1.11.01:2002 „Statinių pripažinimo tinkamais naudoti tvarka“, taip pat — Lietuvos higienos norma HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“[6].

DSS aikštelė gali užimti iki 1 200 m² ploto teritoriją, tačiau įprastai, nedidelės DSS užima iki 200 m² plotą. Šiomis dienomis teritorijos apšvietimui yra naudojamos žemo slėgio natrio dujų (Na) lempos, o šviestuvai įprastai yra parko tipo (AC 230 V, 1x70 W, IP 54). Jie montuojami ant 3,5 m aukščio atramų, o jų skaičius priklauso nuo teritorijos ploto. Šviestuvų gaubto forma yra sfera, o pagamintas iš skaidraus poli karbonato plastiko. Tokia šviestuvo optinės dalies sandara, neleidžia sukoncentruoti šviesą į norimą vietą, o visas šviesos srautas išskaidomas į šalis 360°.



1.5 pav. DSS teritorijos apšvietimui naudojamas šviestuvas

Šiuo metu naudojamas daugelyje DSS apšvietimas yra gana primityvus, tiek fiziškai ir morališkai nusidėvėjęs. Tai yra, dėl to, nes pagrindinį apšvietimą sudaro viena šviestuvų grupė, kurie yra valdomi foto relės ir foto jutiklių, todėl tiesiog automatiškai įsijungia pilnu pajėgumu,

pagal nustatytą foto relės apšvietimo lygį. Kita šviestuvų grupė yra valdoma rankiniu būdu. Tuo metu budintis operatorius, šią šviestuvų grupę, įjungia tik esant papildomo apšvietimo poreikiui.

Šios apšvietimo sistemos trūkumas — nereguliuojamo galingumo natrio dujų lempų šviestuvai. Juos įjungus visi šviestuvai šviečia maksimaliu galingumu iki tol, kol yra išjungiami. Taip veikianti apšvietimo sistema yra visiškai neekonomiška.

Norint tokio tipo pramoninėje aikštelėje pritaikyti ekonomiškai efektyvesnę teritorijos apšvietimą, privaloma ištirti jau esamus Na dujų lempų šviestuvus. Ypač, turime atkreipti dėmesį į šviestuvo brėžiamas fotometrines kreives, šviesos srautą ir intensyvumą, bei apšvietą pasiskirsčiusią DSS teritorijoje. Tokio tyrimo rezultatai leidžia toliau tirti, bei ieškoti ekonomiškesnių alternatyvų visai apšvietimo sistemai.

2. ŠVIESOS DIODAI

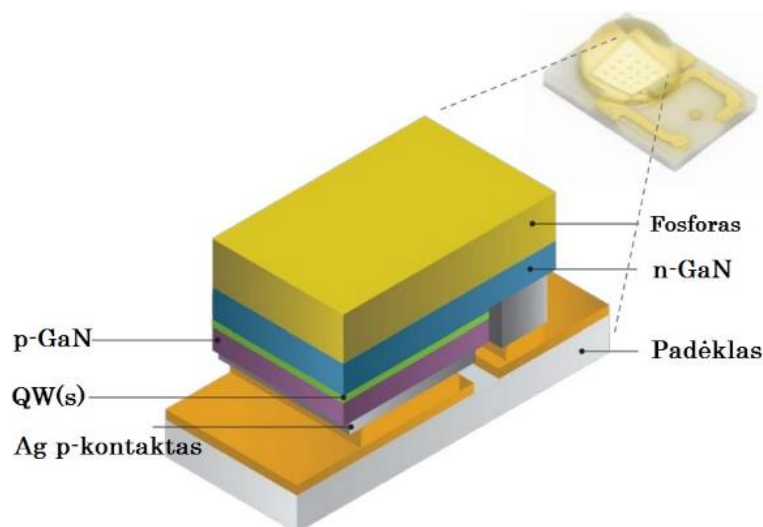
2.1. Šviesos diodo atsiradimas

1907 m. silicio karbido kristale pastebėtas elektroluminescencijos efektas. Šis reiškinys suprastas 1951 m. remiantis p-n sandūros teorija. Pirmasis komercinis šviesos diodas pasirodė 1962 m. Tie patys metai siejami ir su regimosios spinduliuotės šviesos diodo atsiradimu (R. N. Hall'o GaAs lazerinis diodas). XXI a. pradžioje, susintetinus AlGaInP kristalus, pagaminti didelio skaišcio raudonos, oranžinės ir geltonos spinduliuotės šviesos diodai. Vėliau, buvo susintetinta medžiaga galio nitridas, tinkama trumpų bangų spinduliuotei. Štai tokiu būdu, buvo gauti, visą regimosios spinduliuotės spektrą dengiantys puslaidininkiniai šviesos šaltiniai [7].

2.2. Šviesos diodo sandara ir veikimo principas

Šviesos diodų veikimo principas panašus kaip ir kiekvieno puslaidininkinio elemento. Jis veikia dėl injekcinės elektroluminescencijos. Šis šviesos generavimo principas yra dirbtinis ir galimas tik puslaidininkiuose, kuriose yra sudarytos p (skylinio) ir n (elektroninio) laidumo sritys. Spinduliai gaunami per šią p-n sandūrą tekant elektros srovei. Spinduliuojamos šviesos bangos ilgis ir spalva priklauso nuo draustinio juostų tarpo tarp p ir n puslaidininkių [8].

Pagaminti baltą šviesą skleidžiančius šviesos diodus yra daug sunkiau. Baltos šviesos spektras yra daug platesnis su sąlyginai siaurais spalvotų diodų spektrais. Maišant spalvas, galima išgauti baltą šviesą. Tačiau, bendrajame apšvietime naudojami konversijos fosfore šviesos diodai. Tokie šviesos diodai yra pagaminti naudojant trumpos bangos (mėlyną – 450 nm.), atkuriantį šviesą kristalą ir kelis fosforus. Šiais fosforais būna padengtas puslaidininkinis kristalas arba naudojama nutolusio fosforo technologija [7].



2.1 pav. Šviesos diodo supaprastinta puslaidininkinio kristalo struktūra [7]

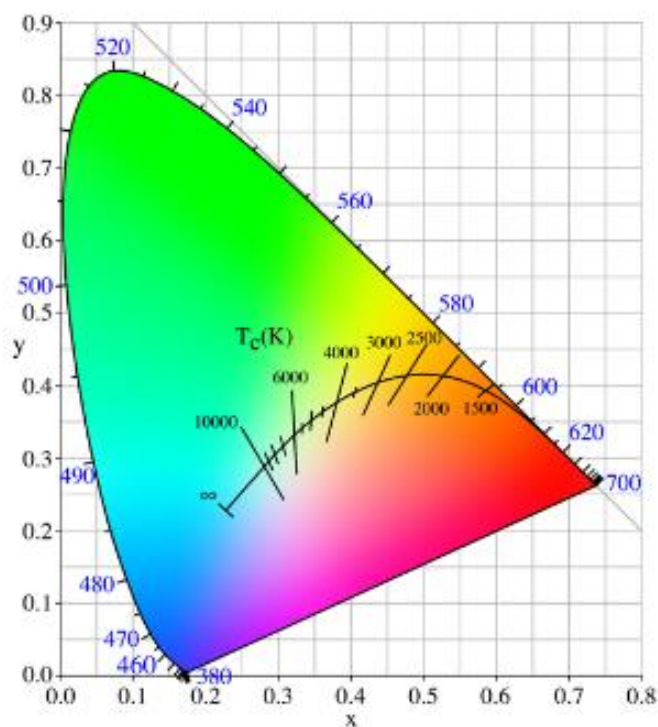
2.3. Šviesos diodų savybės

Apšvietimo efektyvumas pirmųjų šviesos diodų siekė tik 10 lm/W, tačiau šiomis dienomis šviesos diodai pasižymi aukštu efektyvumu. Laboratorijos sąlygomis efektyvumas siekia 254 lm/W, o komerciniai rinkoje labiausiai paplitę šviesos diodai yra 126 lm/W efektyvumo [2].

Šviesos diodai pasižymi savo ilgaamžiškumu. Didelę rinkos dalį užimančių šviesos diodų deklaruojamas veikimo laikas yra 50 000 valandų, kai maitinimo srovė 1000 mA, o kristalo sandūros temperatūra 135°C [7].

Taip pat, šviesos diodų spalvos atkūrimo rodiklis (CRI), kuris parodo baltos šviesos kokybę, gali būti labai aukštas ir viršinti 90 %, kai natrio lempų CRI yra tik 24 % [2].

Kitas svarbus baltų šviesos šaltinių parametras – šviesos spalvinė temperatūra. Šis parametras tinka apibūdinti šviesos šaltinius, kurių spinduliuotės spektras yra artimas juodojo kūno spinduliuotės spektrui. Spalvinė temperatūra matuojama kelvinais (K). Keletas standartinių spalvinės temperatūros pavyzdžių: kaitinamosios elektros lempos apie 2856 K, saulės šviesa – 4874 K, dienos šviesa - 6500 K [7].



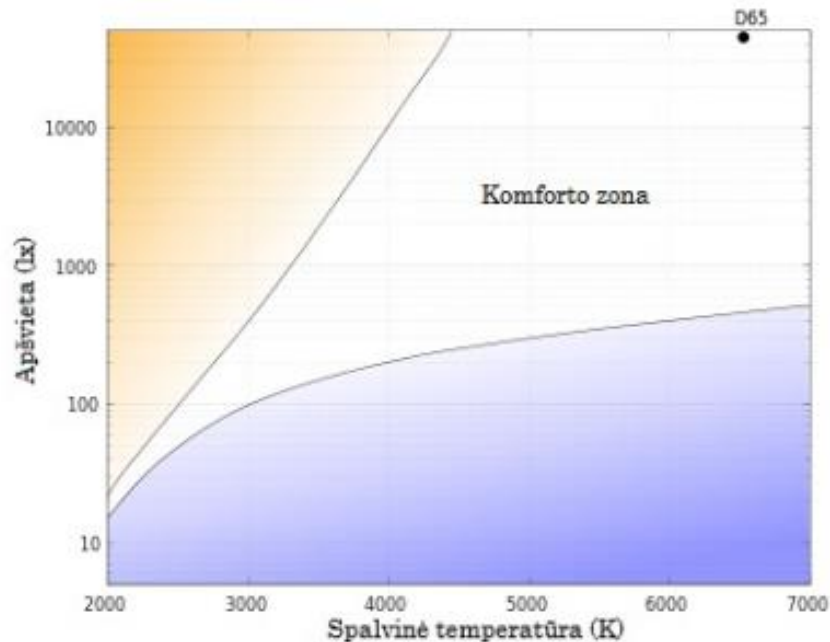
2.2 pav. XY spalvinių koordinatinių sistema ir baltos šviesos koordinatės nurodantis Planko lankas [7]

Rinkoje naudojamų šviesos diodų pagrindinės keturios spalvinės temperatūros [9]:

- 2600 K – 2800 K – geltonai balta;
- 3200 K – 3400 K – šiltai balta;
- 4000 K – 4200 K – natūrali balta;

- 5700 K – 6300 K – šaltai balta.

Žmogaus regos sistema yra prisitaikiusi prie natūralios saulės šviesos, todėl svarbu žinoti kokią spalvinę temperatūrą parinkti dirbtiniam šviesos diodų apšvietimui. Žmogaus regos ypatybė kaip komforto zona yra apibrėžta Kruithofo kreive (2.3 pav.), kuri nurodo kokiose ribose esant tiksliai apšvietai ir spalvinei temperatūrai žmogus jaučia komfortą.

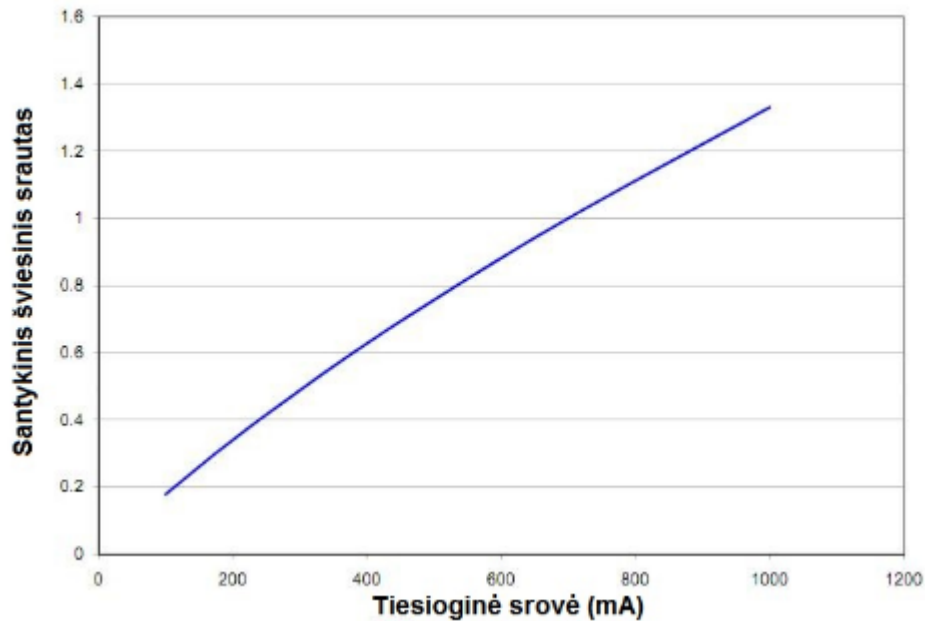


2.3 pav. Kruithofo kreivė [10]

Šviesos diodai pasižymi greitu įsižiebimo laiku — kelios nanosekundės. Tai labai didelis privalumas sceniniame apšvietime, šviesos signaluose, LED televizoriuose ir kt. [7].

Šviesos diodai gerai veikia ir prie minusinių aplinkos temperatūrų. Be to, kuo žemesnė temperatūra, tuo šviesos diodų didesnis šviesos srautas, esant tai pačiai maitinimo srovei. Tai priklauso nuo spindulinės rekombinacijos koeficiento kitimo, krūvininkų gyvavimo trukmės priklausomybės nuo temperatūros ir kitų fizikinių procesų [7].

Šviesos diodai turi plačias šviesos srauto intensyvumo valdymo galimybes. Šviesos intensyvumas valdomas keičiant per šviesos diodą tekančios srovės stiprį ar moduluojant srovę tam tikrais metodais. Šviesos srauto priklausomybė nuo maitinimo srovės — tiesinė (2.4 pav.), tačiau šviesos diodo efektyvumas mažinant tiesioginę maitinimo srovę didėja. Tai yra susiję su mažesne kristalo temperatūra [7].



2.4 pav. Šviesos diodo santykinio šviesos srauto priklausomybė nuo tiesioginės maitinimo srovės [11]

Šviesos diodai yra kryptiniai šviesos šaltiniai, kurių sklaidos kampas dažniausiai būna apie 120° . Tačiau pritaikant tinkamus optinius lęšius, galima lengvai valdyti šviesos diodo spindulio laužimą, ir tokiu būdu sukoncentruoti šviesos srautą į reikalingą vietą.

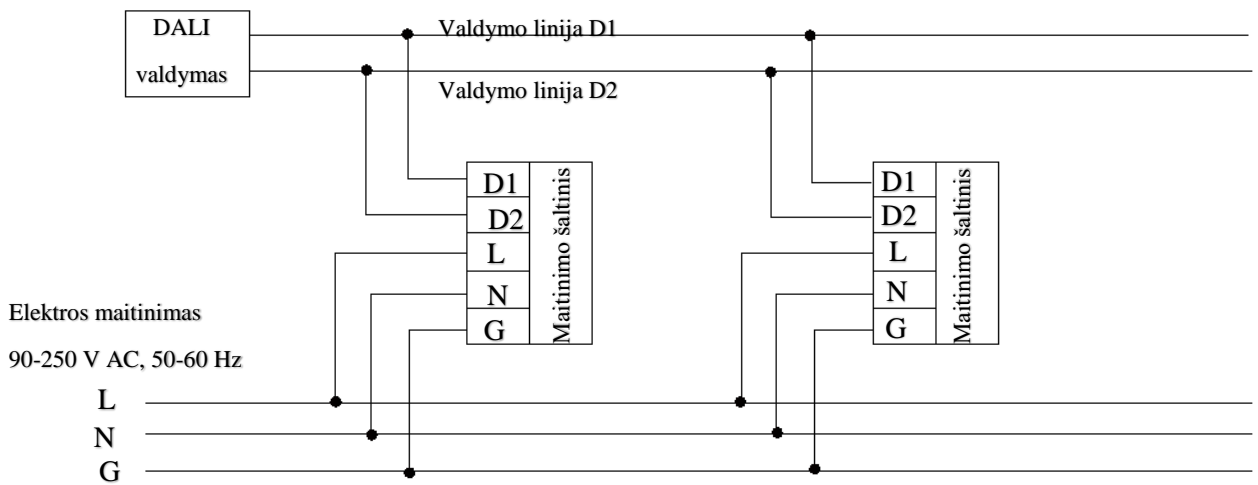
Šviesos diodai turi šviesos srauto intensyvumo reguliavimo galimybę. Dažnai yra svarbu išlaikyti apšvietimą tam tikru paros metu, arba tuomet kai erdvėje yra judesys. Todėl plačiai naudojamos įvairiausios laiko relės, foto jutikliai ir judesio jutikliai, kurie reguliuoja šviesos srauto intensyvumą ar visai išjungia, bei įjungia apšvietimą. Tokiais principais valdomi šviesos diodai sumažina elektros energijos vartojimą.

Dar vienas šviesos diodų privalumas – žema maitinimo įtampa. Priklausomai nuo naudojamų puslaidininkinių medžiagų, šviesos diodui užtenka tik 3,5 V įtampos. Todėl, galime sujungti šviesos diodus įvairiausiais būdais, taip galime gauti reikalingą maitinimo sistemą [2].

2.4. Automatinis šviesos diodų apšvietimo valdymas

Šiomis dienomis, šviesos diodų apšvietimo valdymo technologijų rinkoje labai paplitusi valdymo sistema DALI (angl. Digital Addressable Lighting Interface). Tai skaitmeninė adresuojama apšvietimo valdymo sistema, kurią sukūrė populiari kompanija „Tridonic“. Valdymo sistema DALI, tai lengvai diegiama apšvietimo skaitmeninė komunikacija tarp įrenginių tam tikro protokolo pagalba. Net ir naudojant skirtingų gamintojų DALI valdymo sistemas, įrenginiai gali tarpusavyje komunikuoti. Šioje sistemoje maitinimo šaltiniai jau turi skaitmenines elektrines valdymo schemas, bei yra prijungiami prie DALI valdymo linijų [2].

Ši sistema yra decentralizuota, kuriai nereikia papildomų ir vietą užimančių skydų ar blokų. Kiekvienas sistemos elementas turi integruotą programuojamąjį mikrokompiuterį, kuris atlieka ryšio formavimo funkciją kanaluose. Programuojama DALI valdymo sistema leidžia įgyvendinti įvairiausių situacijų valdymo funkcijas [2].

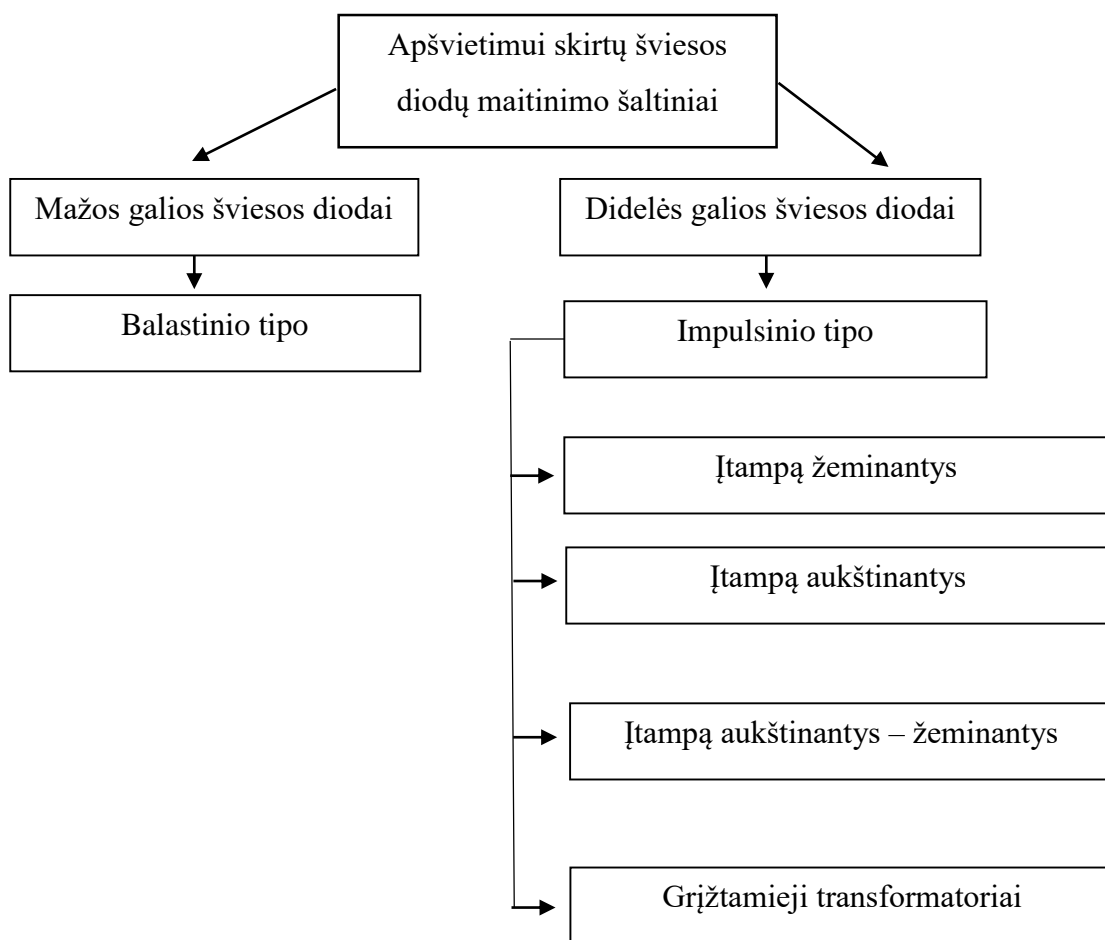


2.5 pav. DALI valdymo struktūrinė schema

DALI valdymą sudaro dvi linijos D1 ir D2, tačiau tokios vienos šviestuvų grupės kabelis negali būti ilgesnis nei 300 metrų. Tokia viena sistema gali valdyti iki 64 šviestuvų. Priklausomai nuo šviestuvo maitinimo šaltinio, maksimali srovė į DALI sistemos kanalus gali būti iki 250 mA. Kiekvienas šviestuvas pajungtas į DALI valdymo sistemą gali veikti kaip valdantysis įrenginys ir komunikuoti, bei reguliuoti kitus šios sistemos įrenginius. Tokie maitinimo šaltiniai kurie turi integruotą DALI valdymo mikrokompiuterį, yra programuojami ir turi labai plačias panaudojimo galimybes [2].

3. ŠVIESOS DIODŲ ŠVIESTUVŲ MAITINIMO ŠALTINIAI

Visi šviesos diodai, pagal jų maitinimo srovę, yra skirstomi į dvi grupes — mažo galingumo (iki 100 mA) ir didelio galingumo (virš 100 mA) (3.1 pav.). Didelės galios šviesos diodų maitinimui yra naudojami impulsiniai maitinimo šaltiniai. Priklausomai nuo to, kokia įtampa turi būti maitinimo šaltinio išėjime ir nuo to, koku būdu jis yra maitinamas. Šviesos diodų maitinimo šaltiniai gali būti įtampą žeminantys arba įtampą aukštinantys [12].



3.1 pav. LED maitinimo šaltinių klasifikacija [12]

Balastinio tipo maitinimo šaltiniai. Šviesos diodai yra jautrūs įtampos pokyčiams, nes voltamperinė charakteristika yra netiesinė, todėl viršijus leistiną darbinę įtampą, tekanti srovė per šviesos diodą kyla pagal eksponentinį dėsnį. Todėl, net ir mažai viršinus leistiną darbinę įtampą, srovė tekanti per šviesos diodą gali išaugti daug kartų. Taip pat, šviesos diodo įtampa, priklauso ir nuo aplinkos temperatūros. Dėl šių priežasčių, šviesos diodams reikia stabilizuoti per juos tekančią srovę, o ne įtampą. Vienas iš užmaitinimo būdų yra per balastinio tipo maitinimo šaltinį, kaip pavyzdys, tai gali būti paprastas rezistorius. Rezistorius yra jungiamas nuosekliai šviesos diodui

arba keliems nuosekliai sujungtiems šviesos diodams. Lygiagrečiai jungti šviesos diodus nerekomenduojama, nes gali šiek tiek skirtis jų įtampa, be to, sugedus nors vienam šviesos diodui, kiti bus iš karto sugadinti. Tai yra paprastas šviesos diodų maitinimo būdas, tačiau praktiškai jau nenaudojamas [12].

Impulsinis įtampą žeminantis maitinimo šaltinis. Savo konstrukcija ir veikimo principu yra vienas iš paprasčiausių maitinimo šaltinių. Tokie šaltiniai naudojami tada, kai išėjimo įtampa neviršija 85 % įėjimo įtampos. Jie yra naudojami žemos įtampos šviesos diodų šviestuvams maitinti iš kintamos įtampos tinklo ir kurių eksploatacijai nėra keliami ypatingi reikalavimai. Šių maitinimo šaltinių naudingumo koeficientas yra virš 95 % [12].

Impulsinis įtampą aukštinantis maitinimo šaltinis. Jie naudojami tuomet, kai apkrovos maitinimui reikalinga aukštesnė maitinimo įtampa nei šaltinio įėjimo įtampa. Tokio tipo šaltinyje energija cikliška yra kaupiama induktyviojoje ritėje ir paskui atiduodama apkrovai. Norint užtikrinti normalų darbo režimą reikia, kad išėjimo įtampa bent pusantro karto būtų didesnė, nei įėjimo įtampa. Pagrindinis šių maitinimo šaltinių trūkumas yra pulsuojanti išėjimo srovė, kurios pulsacijoms sumažinti yra reikalingi didelės talpos kondensatoriai. Įtampą aukštinančių šaltinių naudingumo koeficientas panašus kaip ir įtampą mažinančių šaltinių [12].

Impulsinis įtampą aukštinantis — žeminantis maitinimo šaltinis. Jie yra sudaryti iš įtampą aukštinančio ir įtampą žeminančio maitinimo keitiklių, ir naudojami ten, kur maitinimo įtampa labai svyruoja, arba gali būti aukštesnė arba žemesnė už šviesos diodų šviestuvo įtampą. Tokio tipo šaltiniai daugiausia yra naudojami automobiliuose. Jų pagrindinis privalumas yra mažos srovės pulsacijos išėjime. Šių šaltinių naudingumo koeficientas taip pat yra didelis — daugiau nei 90 % [12].

Transformatoriai impulsiniai maitinimo šaltiniai su grįžtamoju ryšiu. Juose apkrova yra per transformatorių galvaniskai atskirta nuo pirminio šaltinio. Jame energijos kaupimą ir atidavimą atlieka transformatorius ir šie procesai yra atskirti laike. Šių šaltinių veikimo principas nėra sudėtingas, tačiau jie iš principo yra įtampos šaltiniai ir be grįžtamojo ryšio pastovios srovės režimas yra negalimas. Jų naudingumo koeficientas yra mažesnis už anksčiau minėtųjų maitinimo šaltinių. Tokie šaltiniai naudojami ten, kur yra reikalaujama galvaninio apkrovos atskyrimo nuo maitinimo tinklo. Pavyzdžiui lauko ar specialių patalpų šviesos diodų šviestuvuose [12].

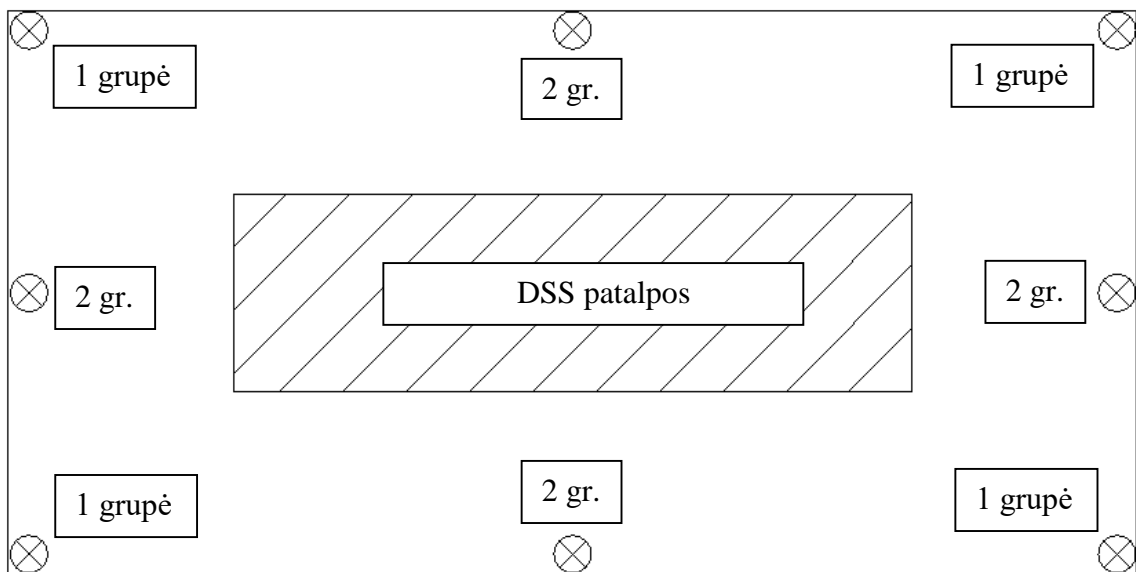
4. AUTONOMINIO ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO SISTEMOS SUDARYMAS

4.1. Analizuojama dujų skirstymo stoties apšvietimo sistema

Tyrimo metu analizuosime mažą teritorijos plotą apimančias DSS. Šiuo atveju DSS apšviestos teritorijos ilgis 18 metrų, o plotis 10 metrų, DSS pastato ilgis 12 metrų, o plotis 3,5 metrai. Būtent tokio dydžio DSS aikštei atliksime šį tyrimą.

Šiai DSS teritorijai apšviesti šiuo metu naudojami Na dujų lempų apšvietimo sistemos, kurios sudarytos iš 8 šviestuvų (AC 230 V, 1x70 W, IP 54). Kiekvienas šviestuvas sumontuotas ant 3,5 metrų aukščio atramos. Šviestuvo gaubtas pagamintas iš skaidraus poli karbonato plastiko, o forma yra sfera. Dėl šviestuvo gaubto, visas šviesos srautas išsklaidomas į šalis 360° .

Visi 8 šviestuvai suskirstyti į 2 grupes. Pirmoji grupė (budėjimo režimas) — kampiniai šviestuvai. Jie valdomi foto relės ir foto jutiklio, todėl tiesiog automatiškai įsijungia pilnu pajėgumu pagal nustatytą foto relės apšvietimo lygį. Antroji grupė — šoniniai šviestuvai. Jie valdomi rankiniu būdu, įjungiami kartu su pirmąja grupe, tik esant papildomo apšvietimo poreikiui, tokiu būdu sudarydami pilno pajėgumo DSS teritorijos apšvietimą. DSS teritorija ir jos Na dujų lempų šviestuvų išdėstymas 4.1 paveiksle.



4.1 pav. Na dujų lempų šviestuvų išdėstymas DSS teritorijoje (teritorijos ilgis 18 metrų, plotis 10 metrų, pastato ilgis 12 metrų, o plotis 3,5 metrai.)

4.2. Tyrimo metu naudojama testavimo įranga

Norint atlikti tyrimą kuo realesnėmis sąlygomis ir gauti tikslesnius skaičiavimų rezultatus, tiek sistemos sudarymo, tiek ekonominiame vertinime, viso darbo tyrimo metu reikia naudoti įrangą, leidžiančią nustatyti šviestuvų pagrindinius parametrus. Tam buvo naudojama Danijos kompanijos „Viso Systems“ šiuolaikinė šviestuvų testavimo įranga — „LabSpion“. Šios

įrangos didžiausias privalumas yra tai, kad ji yra daugiafunkcinė testavimo įranga, gebanti testuoti [13]:

- Šviestuvus sveriančius iki 25 kg;
- Braižyti foto metrinės kreives dvimatėse ir trimatėse erdvėse;
- Šviesos srautą;
- Šviesos srauto kritimo kampą;
- Šviesos spektrą;
- Šviesos šaltinio spalvos atkūrimo indeksą (CRI);
- Galią;
- Efektyvumą ir kt.



4.2 pav. Šviestuvų testavimo įrangą — LabSpion [13]

Taip pat, tiriamojo darbo metu buvo naudojama apšvietimo projektavimo programa DIALux. Su šia programa galima modeliuoti tiek lauko, tiek vidaus apšvietimą, gauti visos apšvietimo sistemos fotometrines kreives, bei paskaičiuoti krintantį apšvietos lygį projektuojamoje teritorijoje.

4.3. Na dujų lempų apšvietimo sistemos tyrimas

Norint gauti tikslesnius tyrimo rezultatus, pagamintas DSS apšvietimo sistemos Na dujų lempų šviestuvus buvo testuojamas su „LabSpion“ testavimo įranga. Šviestuve naudojami pagrindiniai komponentai surašyti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Gaminamo Na dujų lempų šviestuvų pagrindiniai komponentai [14]

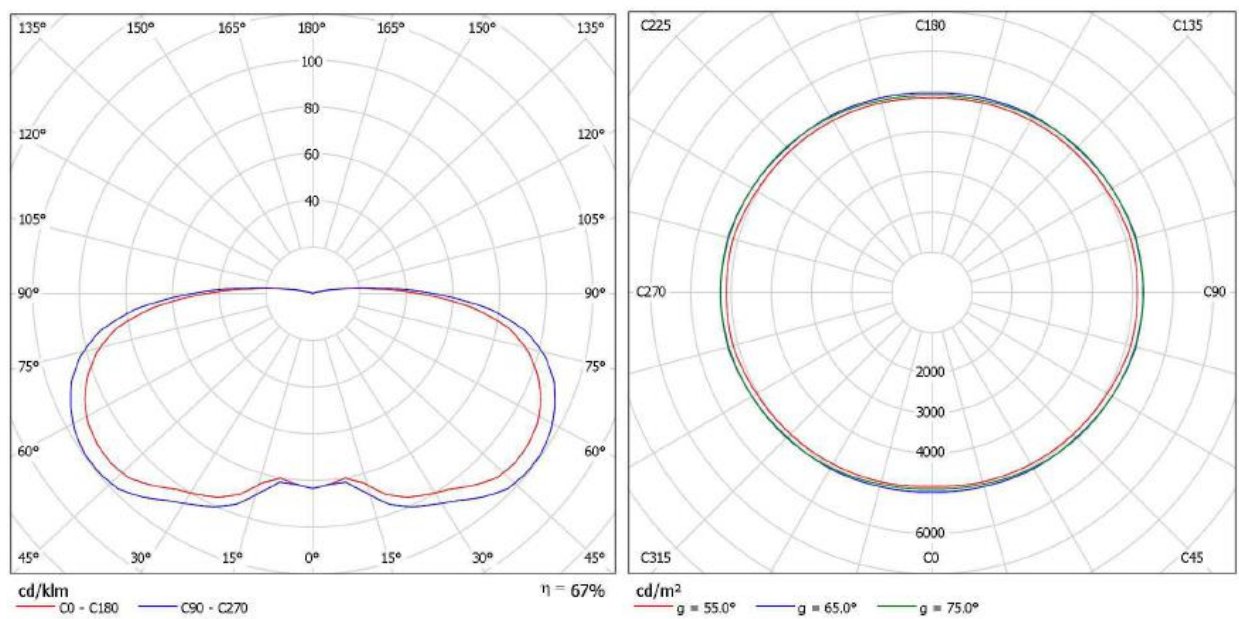
Natrio lempa NAV-T 70W SUPER 4Y E27
Lempos laikiklis E27
SPHERE PC 450mm CLR stiklas
SPHERE PC 450mm korpusas
SPHERE atspindys
Maitinimo šaltinis VSI 7/22-3T-F 70W
Kondensatorius 12,0 mF
Starteris HS 35-70

Šio, fiziškai pagaminto ir ištestuoto šviestuvo duomenys atvaizduojami (4.2 lentelėje):

4.2 lentelė. Na dujų lempų šviestuvo tyrimo rezultatai

Tyrimo Nr.	Šviestuvų skaičius	Tipas/Pavadinimas	Šviestuvo Φ [lm]	Šviesos šaltinio Φ [lm]	Vartojama galia P [W]
1	1	Na dujų lempų sferinis šviestuvas	4 426	6 600	85

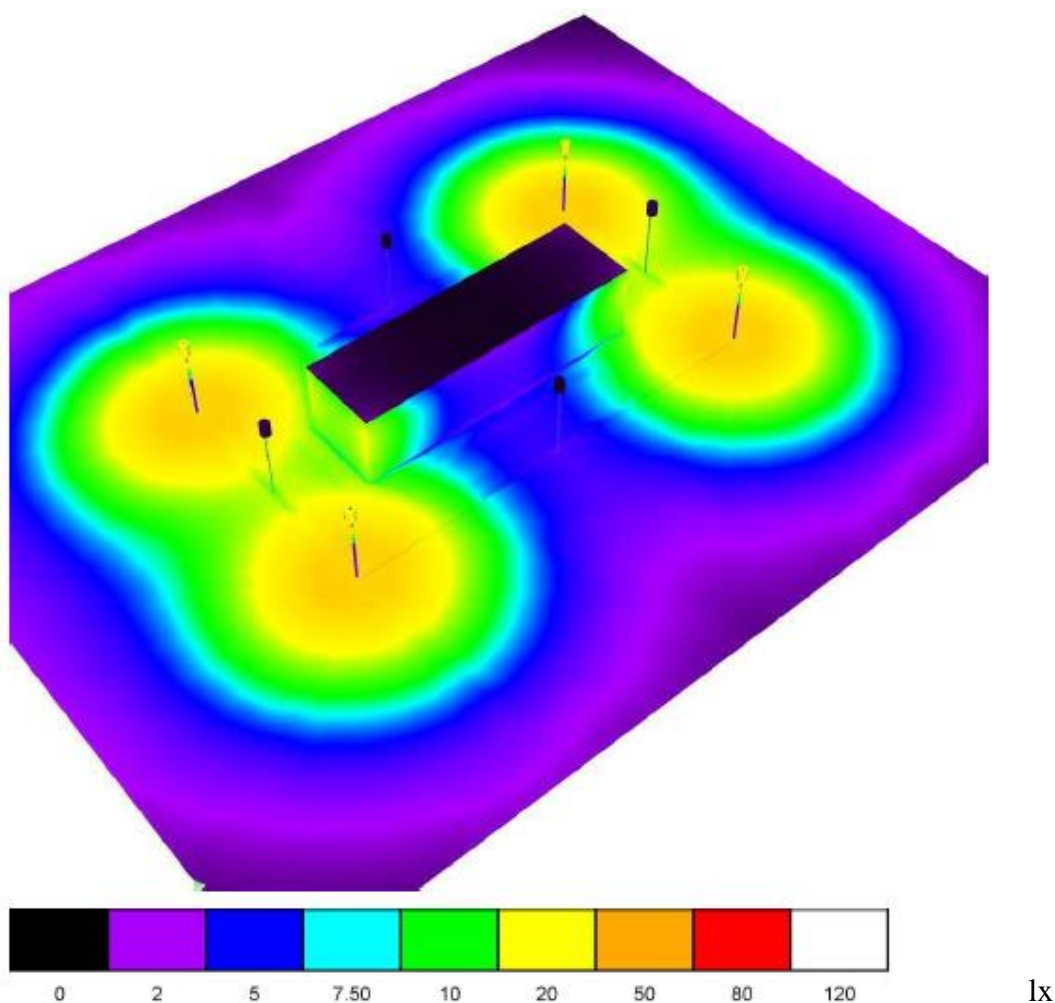
Tyrimo metu, programa nubrėžia krentančius spindulius iš šviestuvo t.y. fotometrines kreives (4.3 pav.).



4.3 pav. Na dujų lempų šviestuvo fotometrinės kreivės

Tyrimo rezultatai parodė, jog šviestuvus vartojamoji galia iš tinklo yra lygi 85 W, o šviesos srautas išeinantis pro šviestuvo stiklą yra tik 4 426 lm. Spinduliai krinta simetriškai tiek C0-C180 plokštumoje, tiek C90-C270 plokštumoje, o šviestuvo gaubtas šviesos srautą projektuoja 360⁰ kampu, t.y. į visas puses (4.3 pav).

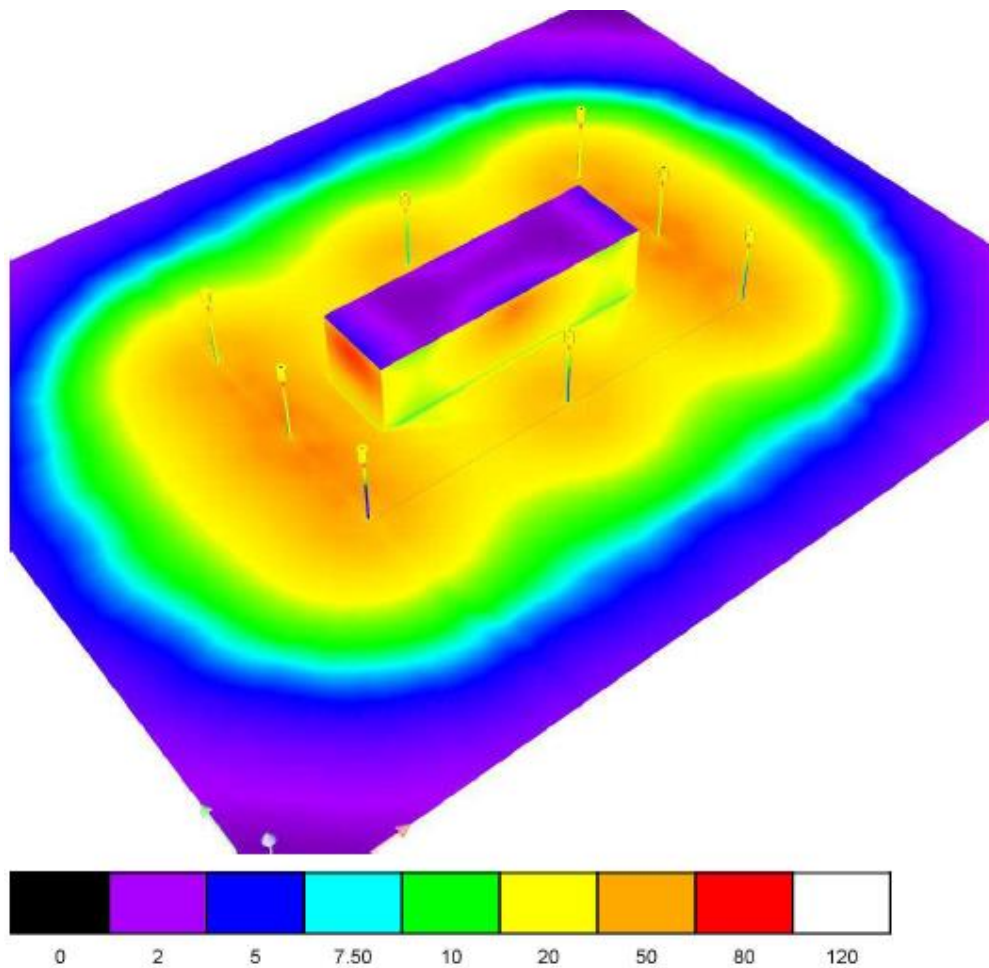
Tikslui gauti, kaip tiksliai visas apšvietimo lygis pasiskirsto DSS teritorijoje, sumodeliuojame gautus rezultatus ir fotometrines kreives apšvietimo projektavimo programoje DIALux. Laikysime, kad DSS teritorijos režimas veikia dviem skirtingais etapais t.y. budėjimo – įjungti tik kampiniai keturi šviestuvai, pilnas – kai veikia visi aštuoni šviestuvai, dėl šios priežasties tiriamo šiuos du atvejus. Rezultatus atvaizduojame 4.4 paveiksle, 4.3 lentelėje (budėjimo režimas) ir 4.5 paveiksle, 4.4 lentelėje (pilnas apšvietimas).



4.4 pav. DSS projektuojamas teritorijos apšvietimas (budėjimo režimas). Šiame paveiksle matome, kaip apšvietos lygis liuksais, pasiskirsto visoje DSS teritorijoje budėjimo režimu, t.y. kai veikia tik 4 kampiniai šviestuvai. Skalėje nurodyti apšvietos lygiai, kuriuos atvaizduoja tam tikros spalvos paveiksle.

4.3 lentelė. DSS projektuojamo teritorijos apšvietimo duomenys (budėjimo režimas)

$E_{vid}[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{maks}[lx]$	E_{min}/E_{maks}	Šviestuvo Φ [lm]	Šviesos šaltinio Φ [lm]	Vartojama galia P [W]
15	3,44	40	0,087	4 426	6 600	85
			Visų keturių:	17 704	26 400	340



4.5 pav. DSS projektuojamas teritorijos apšvietimas (visi šviestuvai įjungti). Šiame paveiksle matome, kaip apšvietos lygis liuksais, pasiskirsto visoje DSS teritorijoje pilnu režimu, t.y. kai veikia visi 8 šviestuvai. Skalėje nurodyti apšvietos lygiai, kuriuos atvaizduoja tam tikros spalvos paveiksle.

4.4 lentelė. DSS projektuojamo teritorijos apšvietimo duomenys (visi šviestuvai įjungti)

$E_{vid}[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{maks}[lx]$	E_{min}/E_{maks}	Šviestuvo Φ [lm]	Šviesos šaltinio Φ [lm]	Vartojama galia P [W]
37	15	61	0,251	4 426	6 600	85
			Visų aštuonių:	35 406	52 800	680

Šio tyrimo metu gauti rezultatai parodo, kad nors ir Na dujų lempų nominali galia yra 70 W, tačiau viso šviestuvo vartojama galia iš tinklo yra 85 W, todėl budėjimo režimo metu šviestuvai vartoja 340 W galią iš tinklo, o pilnu režimu — 680 W. Budėjimo režimu veikiančio apšvietimo vidutinė apšvieta yra lygi 15 lx ir tai yra tenkinantis rezultatas pagal higienos normas, tačiau esant avariniam atvejui ir veikiant visiems šviestuvams, matome jog maksimali apšvieta yra lygi tik 61 lx, o tai pagal higienos normas neatitinka tinkamo apšvietimo darbo vietoje, kur yra numatomi bendros priežiūros darbai su prietaisais, turėtų būti 100 lx [6]. Panaudojus šviesos srauto iš šviestuvo rezultatus ir palyginus su teritorijos plotu apskaičiuojame teorinę apšvietą:

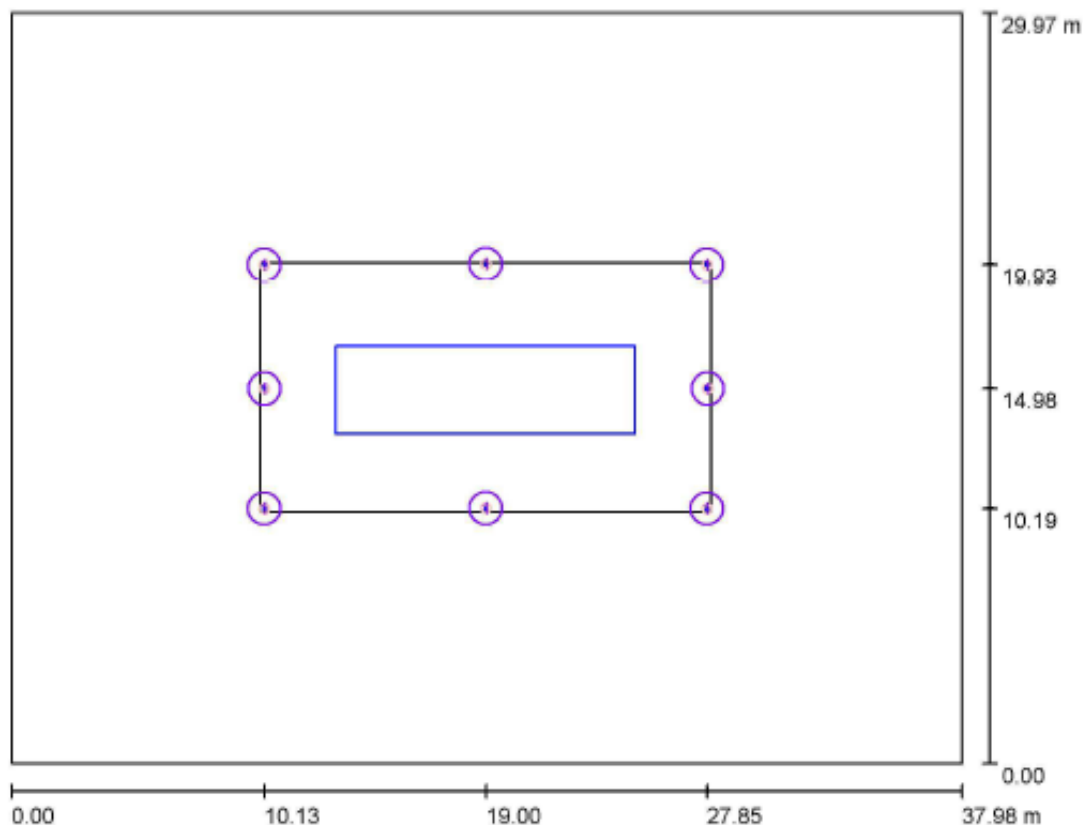
$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{35\,406}{180} = 196,7 \text{ lx}, \quad (4.1)$$

kur: E — apšvieta, lx;

Φ — šviesos srautas iš šviestuvo, 35 406 lm;

S — teritorijos plotas, 180 m.

Kaip matome, vidutinė teorinė apšvieta yra lygi 196,7 lx, tačiau praktiškai tai nevisai atitinka realybę dėl tokių priežasčių, kaip šviesos srauto nuostoliai dėl optikos esančios šviestuve, sklaidos kampo ir nesukoncentruotos šviesos srauto į tinkamą vietą. Kad šviesa tinkamai nesukoncentruota galime matyti 4.6 paveiksle, kuriame parodyta kokio dydžio teritoriją DSS apšvietimas apima įvertinant minimalia apšvietą už aikštelės ribų.



4.6 pav. DSS apšvietimo bendrai apšviečiama teritorija

Paveiksle apskritimais pavaizduoti 8 Na dujų lempų šviestuvai, mėlynai pavaizduotas DSS pastatas ir aptverta teritorija aplink jį – juodai. Visas kitas likęs plotas už DSS teritorijos ribų yra spindulių apimantis plotas, kuriuos sukuria DSS apšvietimo sistema. Iš to, kad šviesos spinduliai sklinda dar papildomai apie 10 metrų už DSS teritorijos, galime teigti, kad ši apšvietimo sistema veikia neekonomiškai ir neefektyviai.

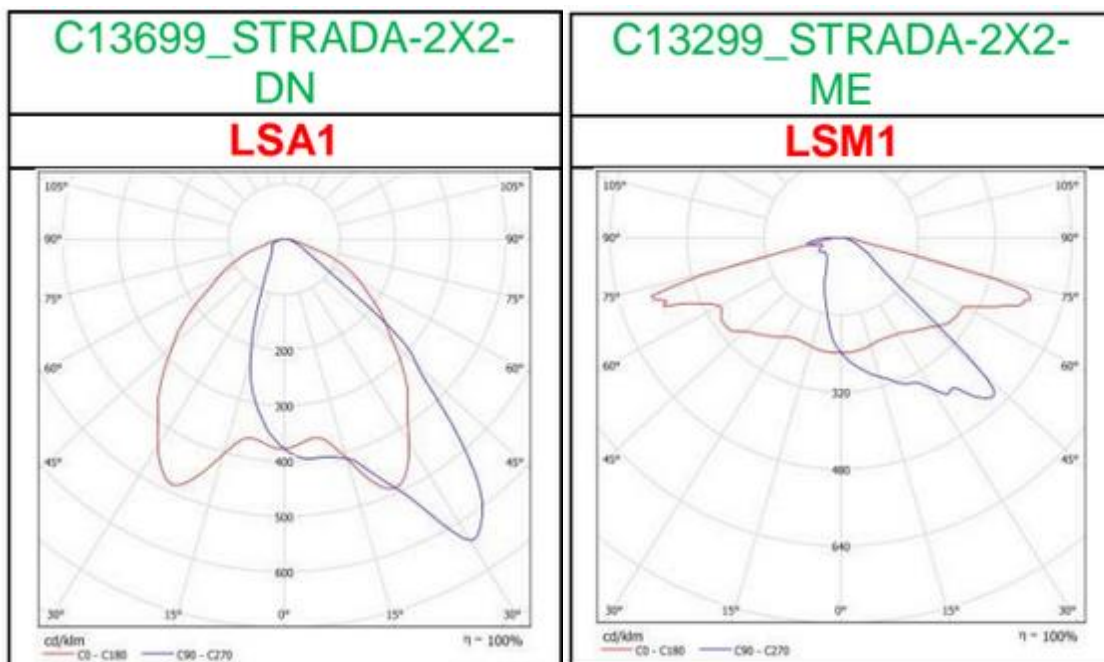
4.4. Šviesos diodų apšvietimo sistemos tyrimas

Iš DSS Na dujų lempų apšvietimo tyrimo, nustatėme, jog apšvietimo efektyvumas priklauso ne tik nuo šviesos šaltinio tipo, maitinimo šaltinio efektyvumo ar galios, bet ir šviestuvo optikos t.y., kryptingo šviesos srauto sukoncentravimo į paskirtą vietą, kas yra bene svarbiausia norint sudaryti naują efektyviai ekonomišką apšvietimo sistemą.

4.4.1. Šviesos spindulio formavimo lęšis

Rinkoje yra sukurta įvairiausių optinių lęšių skirtų LED moduliams. Šie lęšiai pagrinde skirstomi į simetrinius ir asimetrinius pagal savo spindulio laužimo kampą. Įvairiausių simetrinių ir asimetrinių rinkoje paplitusių optinių lęšių fotometrines kreivės pateiktos prieduose (Priedas 1.). Pagal DSS teritorijoje išdėstytus šviestuvams skirtus stulpus, atsižvelgiant į jų pozicijas, matosi,

jog optinio lęšio spindulio sklaidos kampas kampiniams šviestuvams turi būti mažesnis lyginant su šviestuvais esančiais viduryje, tam, kad optimaliai tolygiai išskirstytume apšvietą po visą DSS teritoriją. Kampinių šviestuvų optinio lęšio spindulio kampas turi būti iki 90° , šoninių šviestuvų nuo 120° iki 180° . Pagal tai (iš Priedo 1. charakteristikų), randami tinkami lęšiai tokiai sistemai (4.7 pav.).



4.7 pav. Kampinių šviestuvų ir šoninių šviestuvų optinių lęšių spindulio laužimo kreivės

Tokie optiniai lęšiai pasirenkami pagal projektuojamą spindulio kampą ant C0-C180 plokštumos (raudona kreivė). Kampiniams šviestuvams reikalingas 90° projektuojamas spindulio kampas, todėl kampiniam šviestuvui parenkamas lęšis — LSA1, šoniniams šviestuvams reikalingas kampas nuo 120° iki 180° , todėl parenkamas lęšis — LSM1.

4.4.2. Šviesos diodų apšvietimo sistemos projektavimas

Norint nustatyti tinkamą LED modulių apšvietimo alternatyvą DSS, iš 4.2 lentelės paimti Na dujų lempų šviestuvo duomenis, šiuo atveju šviesos srautą, kuris lygus 4 426 lm. Žinant, kad šiuolaikinių labiausiai rinkoje paplitusių šviesos diodų šviestuvų naudingumas vidutiniškai yra 126 lm/W galima apskaičiuoti, kokios galios šviesos diodų šviestuvo reikia, lyginant su Na dujų lempomis (4.2 formulė).

$$P = \frac{\Phi}{K} = \frac{4\,426}{126} = 35,126 \text{ W}, \quad (4.2)$$

kur: P — galia, W,

Φ — šviesos srautas iš šviestuvo, 4 426 lm,

K — šviesos diodų šviestuvų efektyvumas, 126 lm/W.

Gauname, kad LED šviestuvų galia turi būti apie 35 W.

Norint gauti tikslesnius tyrimo rezultatus, šviesos diodų šviestuvai yra pagaminami ir testuojami su „LabSpion“ testavimo įranga.



4.8 pav. Testuojamas LED šviestuvas ir jo optinis lęšis [14]

Kaip jau buvo minėta, šviestuvuose parenkama atitinkama įranga ir komponentai, kurie pagal savo galią ir šviesos srautą yra alternatyva Na dujų lempų šviestuvams. Šviestuvo korpuso apsaugos nuo vandens ir dulkių klasė yra IP 65, stiklas skaidrus, dvigubos izoliacijos korpusas ir plastikinio korpuso impulsinis įtampą žeminantis maitinimo šaltinis, todėl apsaugos nuo elektros smūgio klasė – II. Pagrindiniai sudarytų šviestuvo komponentai surašomi 4.5 lentelėje.

4.5 lentelė. Pagamintų LED šviestuvų pagrindiniai komponentai [14]

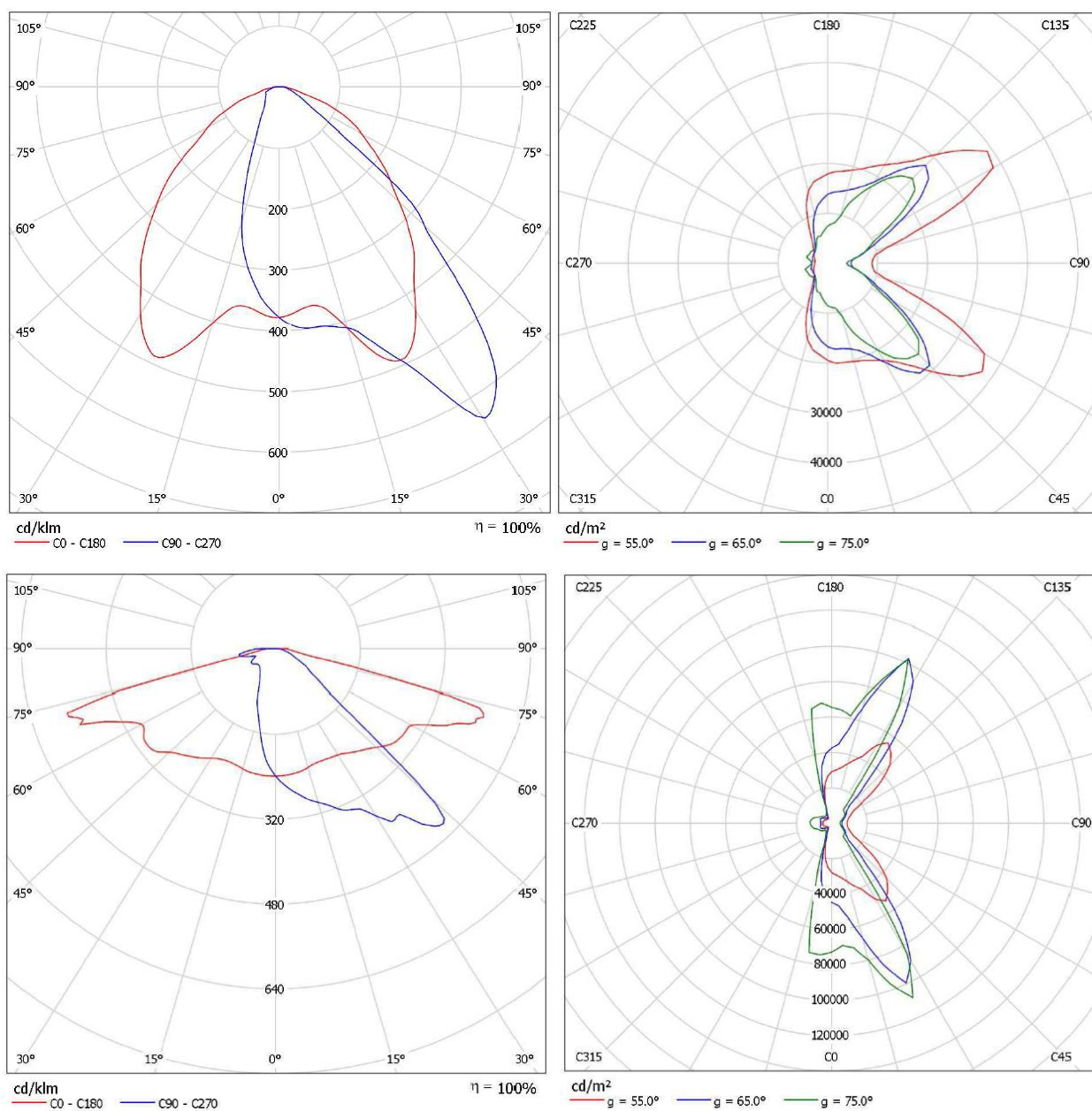
Kampinis LED šviestuvas	Šoninis LED šviestuvas
BOREAS LED MS IP65 komplektas	BOREAS LED MS IP65 komplektas
Įtampą žeminantis LED maitinimo šaltinis 35W 1050mA	Įtampą žeminantis LED maitinimo šaltinis 35W 1050mA
LED modulis HP 117x50.8-3460/740- 8S[1050mA]-OSLON SQ-G3	LED modulis HP 117x50.8-3460/740- 8S[1050mA]-OSLON SQ-G3
LED optinis lęšis STRADA-2X2-DN LSA1	LED optinis lęšis STRADA-2X2-ME LSM1

Šių, fiziškai pagamintų ir ištestuotų šviestuvų gautieji duomenys atvaizduojami 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. Kampinio ir šoninio LED šviestuvų tyrimų duomenys

Tyrimo Nr.	Šviestuvų skaičius	Tipas/Pavadinimas	Šviestuvo Φ [lm]	Vartojama galia P [W]
2	1	Kampinis LED šviestuvus	4 319	34
3	1	Šoninis LED šviestuvus	4269	34

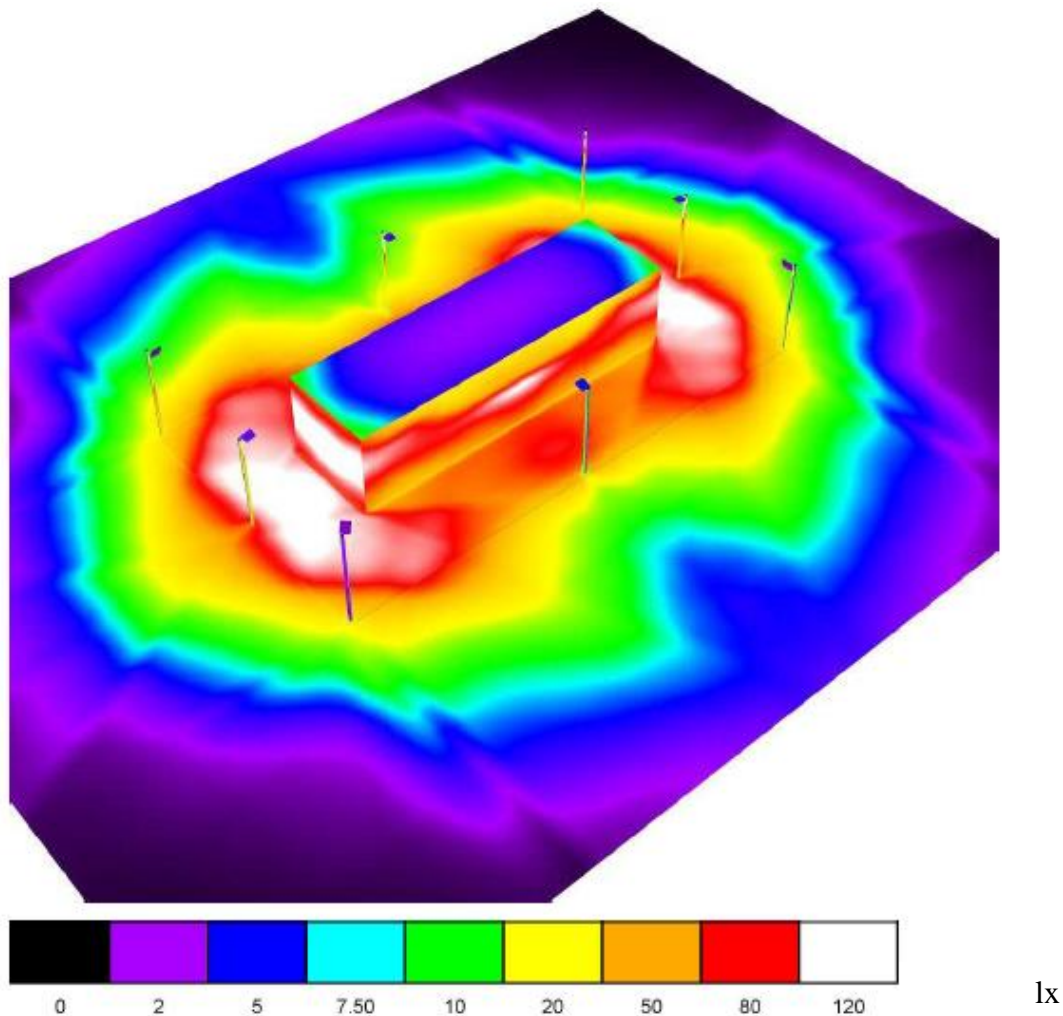
Taip pat, tyrimo metu buvo moduluojama šviesos diodų šviestuvų kryptinės charakteristikos. Nubrėžtos iš šviestuvų krentančių spindulių fotometrines kreivės parodytos 4.9 paveiksle.



4.9 pav. LED šviestuvų fotometrines kreivės, kampinių — viršuje, šoninių — apačioje

4.6 lentelės rezultatai rodo, jog šviestuvų vartojamoji galia iš tinklo yra lygi 34 W, o šviesos srautas išeinantis pro šviestuvų stiklus — kampiniam šviestuvui 4 319 lm, šoniniam šviestuvui 4 269 lm. Gauti fotometrinių kreivių grafikai (4.9 pav) parodo, kad spinduliai C0-C180 plokštumoje krinta 90° kampu kampiniam šviestuvui ir 150° kampu šoniniam šviestuvui, o toks spindulių laužimas teisingai sukonzentruoja visą šviesos srautą į DSS teritoriją.

Norint rasti rezultatus, kaip tiksliai apšvietos lygis pasiskirsto DSS teritorijoje, gauti šviestuvų parametrai, buvo modeliuojami su DIALux programa. Gauti rezultatai atvaizduoti 4.10 paveiksle ir 4.7 lentelėje.

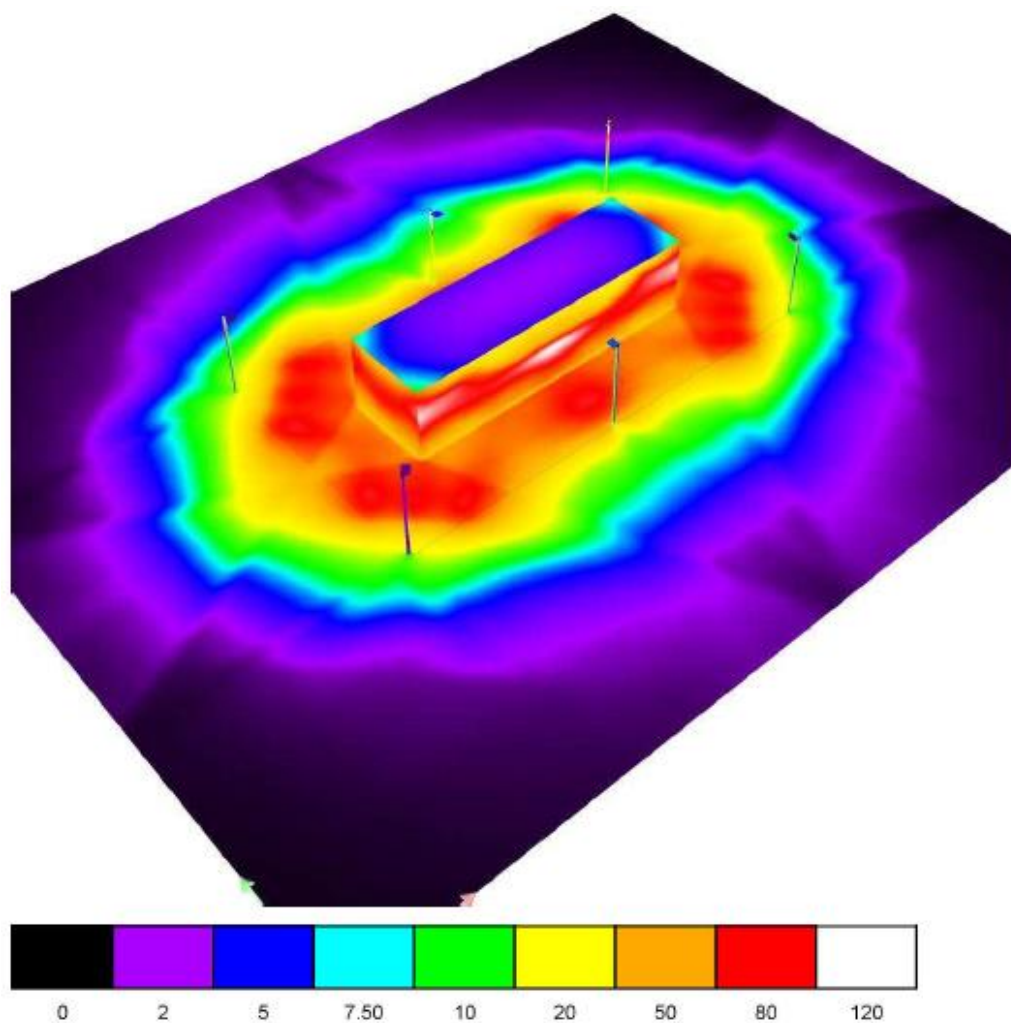


4.10 pav. DSS teritorijos projektuojamas LED šviestuvų apšvietimas. Šiame paveiksle matome, kaip apšvietos lygis liuksais, pasiskirsto visoje DSS teritorijoje. Skalėje nurodyti apšvietos lygiai, kuriuos atvaizduoja tam tikros spalvos paveiksle.

4.7 lentelė. DSS teritorijos projektuojamo LED šviestuvų apšvietimo duomenys

E_{vid}[lx]	E_{min}[lx]	E_{maks}[lx]	E_{min}/E_{maks}
83	19	139	0,134
Šviestuvų skaičius	Tipas/Pavadinimas	Vieno šviestuvo Φ [lm]	Vieno šviestuvo vartojama galia P [W]
4	Kampinis LED šviestuvai	4 319	34
4	Šoninis LED šviestuvai	4 269	34
	Visų aštuonių:	34 353	272

Šio tyrimo metu gauti rezultatai parodo, kad tokia LED šviestuvų apšvietimo sistema, suprojektuoja maksimalią apšvietą net iki 139lx, o tai reiškia, kad DSS teritorija yra stipriai peršviesta. Išanalizavus 4.10 paveikslą, matome, jog perteklius susidaro dviejose vietose — teritorijos galuose, ties šoniniais šviestuvais, o tai lėmė per mažas atstumas tarp šviestuvų, kuris yra vos 5 metrai. Darome išvada, kad du šoniniai šviestuvai esantys teritorijos galuose, tarp kampinių šviestuvų yra nereikalingi. Sprendimas išimti iš apšvietimo sistemos du šviestuvus, yra palankus visomis prasmėmis. Norint įsitikinti ar toks sprendimas yra iš tiesų optimalus (išlieka 4 kampiniai šviestuvai ir 2 šoniniai), vėl buvo modeliuotas šis variantas DIALux programa. Gauti rezultatai atvaizduoti 4.11 paveiksle ir 4.8 lentelėje.



4.11 pav. DSS teritorijos projektuojamas optimalus LED šviestuvų apšvietimas. Šiame paveiksle matome, kaip apšvietos lygis liuksais, pasiskirsto visoje DSS teritorijoje. Skalėje nurodyti apšvietos lygiai, kuriuos atvaizduoja tam tikros spalvos paveiksle.

4.8 lentelė. DSS teritorijos projektuojamo optimalaus LED šviestuvų apšvietimo duomenys

$E_{vid}[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{maks}[lx]$	E_{min}/E_{maks}
63	11	98	0,130
Šviestuvų skaičius	Tipas/Pavadinimas	Vieno šviestuvo Φ [lm]	Vieno šviestuvo vartojama galia P [W]
4	Kampinis LED šviestuvas	4 319	34
2	Šoninis LED šviestuvas	4 269	34
	Visų šešių:	25 814	204

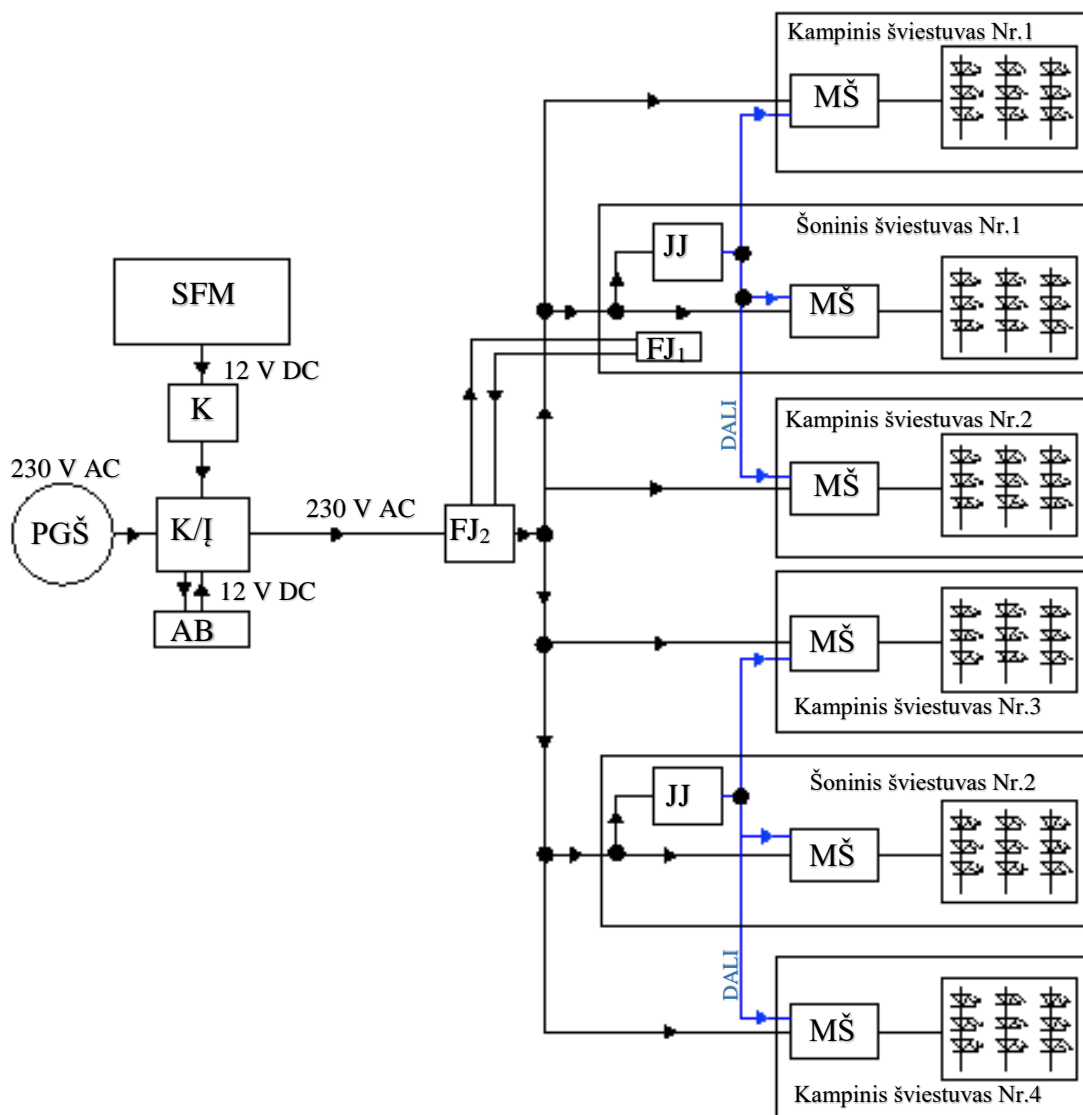
Tyrimo metu gautuose rezultatuose atsispindi, kad toks LED šviestuvų skaičius, išdėstymas, galia, optiniai lęšiai, šviesos srautas ir apšvieta yra optimali alternatyva senajam DSS Na dujų lempų apšvietimui. Na dujų lempų apšvietimas veikiant pilnu režimu vartoja 680 W, o LED apšvietimas tik 204 W. Taip pat, šis LED apšvietimas atitinka Lietuvos magistralinių dujotiekių eksploatavimo taisyklės [5], nes apšvieta siekia net 98 lx, tuo tarpu Na dujų lempų apšvietimo sistemos apšvieta siekia vos 61 lx.. Todėl, pagal šiuos tyrimo rezultatus, tolimesniame autonominio LED apšvietimo sistemos sudaryme ir tyrime naudosime šiuos LED šviestuvų apšvietimo duomenis (4.11 pav., 4.8 lentelė).

4.5. Autonominio šviestos diodų apšvietimo sistemos struktūra

Pasenusi ir nusidėvėjusi DSS apšvietimo sistema yra puikus objektas, kuriam galima sudaryti visiškai naują apšvietimo sistemą, naudojant šviesos diodus, atitinkamus maitinimo šaltinius, bei kitas naujas technologijas, naudojamas valdyti šviesos diodų šviestuvams. Siekiant optimizuoti tokios sistemos energijos suvartojimą iki minimumo, yra puiki galimybė parinkti tokias apšvietimo energijos taupymo būdus, kurie sudarys minimalius kaštus. Tiek šviesos diodų šviestuvų, tiek jų valdymo komponentų rinka yra labai plati ir konkurencinga. Be to, į tokią sistemą integravus tam tikrą kiekį foto modulių, akumuliatorinę bateriją, bei atitinkamas papildomas technologijas — visa šviesos diodų apšvietimo sistema turėtų veikti ne tik ekonomiškai efektyviai, bet ir dirbti autonomiškai.

Tam, vietoj dujų skirstymo stotyse naudojamų teritorijai apšviesti 70 W aukšto slėgio natrio dujų lempų šviestuvų, tikslinga naudoti ankstesniame skyriuje tirtus didelės galios šviesos diodų šviestuvus, su atitinkamai reguliuojamais maitinimo šaltiniais. Impulsiniai įtampą žeminantys maitinimo šaltiniai turi būti su integruotu pvz., skaitmeniniu adresuojamu apšvietimo valdymu (toliau DALI), kuris leidžia valdyti šviesos diodų intensyvumą nuo 10% iki 100%, kas sumažina elektros energijos suvartojimą, o papildomų valdiklių sistemai nereikia. Visos sistemos įjungimą tamsiuoju paros metu ir išjungimą, automatiškai turi valdyti foto jutiklis jungiklis. Į sistemą integravus judesio jutiklius, atsiranda galimybė įvesti šviestuvams budėjimo režimą pvz., 10% šviestuvų galios ir judesio fiksavimo režimą 100% šviestuvų galios, tai yra puiki alternatyva pakeisti Na dujų lempų apšvietimo sistemos budėjimo būseną (kampinių šviestuvų) ir pilnos galios režimą. Toks sukonfigūruotas veikimo principas, pilnai automatizuos apšvietimo sistemą, naudoja tik 10% visos galios, o energija nešvaistoma. Tik atsiradus judesiui ir poreikiui, tam tikra šviestuvų grupė (3 šviestuvai, kurių DALI kontaktų kanalai pajunti per tą foto jutiklį, kuris užfiksuoja judesį) pradeda veikti 100% pajėgumu tam tikrą laiką. Praėjus šiam nustatytam laiko tarpui, judesio jutiklis apšvietimo sistemą vėl sugrąžina į budėjimo t.y., 10% visos galios režimą.

Dienos metu saulės foto moduliai generuoja elektros energiją, todėl saulės įtampos keitiklių ir įkroviklių pagalba įkrauna akumuliatorines baterijas. Nukritus apšvietos lygiui lauke iki nustatytos ribos, foto jutiklis automatiškai įjungia visą šviesos diodų apšvietimo sistemą, kuri veikia pagal jau minėtą darbo režimą — optimizuoja elektros energijos suvartojimą. Esant elektros energijos trūkumui, naktį tą trūkumą kompensuoja papildomas generavimo šaltinis (4.12 pav.).



4.12 pav. Struktūrinė autonominio LED apšvietimo sistemos schema:

SFM – saulės fotomoduliai, AB – akumuliatorinė baterija, kaupiklis, K/I – keitiklis/įkroviklis, K— įtampos keitiklis, PGŠ — papildomas generavimo šaltinis, FJ₁ — foto jutiklis. FJ₂ — foto jungiklis, JJ – judesio jutiklis, MŠ – maitinimo šaltinis, LED – šviesos diodai.

4.6. Šviesos diodų šviestuvų sudarymas

Norint sudaryti visus reikalingus šviestuvus LED apšvietimo sistemai, reikia remtis prieš tai gautais tyrimo rezultatais ir pagal tai parinkti šviestuvams reikalingus komponentus.

Tyrimas parodė, kad užtenka 6 šviestuvų — 4 kampinių ir 2 šoninių. Kampinių šviestuvų šviesos srautas yra 4 319 lm, šoninių — 4 269 lm, tai praktikoje šviestuvo vartojama galia atitinka apie 34 W. Pagal tai galima parinkti tinkančius LED modulius (maitinimo srovė 1050 mA) (4.5 lentelė), taip pat, optinius lęšius šviestuvams — LSA1 kampiniams, LSM1 šoniniams. Šviestuvams maitinti tikslinga naudoti impulsinius įtampą žeminančius šviesos diodų maitinimo šaltinius su DALI valdymu, judesio jutiklius (2 vienetus), tinkamą foto jutiklį jungiklį. Visi šie komponentai numatyti montuoti šviestuvo viduje, todėl šviestuvo korpusas turi juos fiziškai talpinti, bei atitikti apsaugos nuo vandens ir dulkių klasę IP65. Tokias sąlygas korpusas tenkina, pvz., 4.5 lentelėje pateiktas korpusas. Visų šešių LED šviestuvų galimos specifikacijos parodytos 4.9 lentelėje.

4.9 lentelė. LED šviestuvų preliminaros specifikacijos

Šviestuvo pavadinimas	Korpusas	LED moduliai	Optinis lęšis	Maitinimo šaltinis	Valdymo komponentai
Šoninis Nr. 1	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSM1	Įtampą žeminantis DALI	Judesio jutiklis, Foto jutiklis jungiklis
Šoninis Nr. 2	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSM1	Įtampą žeminantis DALI	Judesio jutiklis
Kampinis Nr.1	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSA1	Įtampą žeminantis DALI	—
Kampinis Nr.2	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSA1	Įtampą žeminantis DALI	—
Kampinis Nr.3	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSA1	Įtampą žeminantis DALI	—
Kampinis Nr.4	BOREAS LED MS IP65	LED modulis HP OSLO SQ-G3	LSA1	Įtampą žeminantis DALI	—

4.6.1. Šviesos diodų maitinimo šaltinis

Kadangi maitinimo šaltis turi būti impulsinis įtampą žeminantis su DALI valdymo sistema, skirtas lauko šviestuvams, dėl plataus siūlomo asortimento, tikslinga pasirinkti šio tipo maitinimo šaltinių pradininką — „Tridonic“ kompaniją. Svarbu kad maitinimo šaltinio nominali galia būtų didesnė, nei LED modulių vartojamoji galia., t.y. 34 W, o taip pat, kad maitinimo

šaltinio išėjimo srovė užtikrintų LED moduliams reikalingą maitinimo srovę, t.y., 1050 mA. Galimas maitinimo šaltinis pateiktas 4.10 lentelėje.

4.10 lentelė. LCA 60W 350- 2100 mA one4all PRIE OTD maitinimo šaltinio charakteristikos [15]

Maitinimas	220 - 240 V AC
Dažnis	50 Hz – 60 Hz
Maksimali išėjimo galia	60 W
Išėjimo į LED srovė	350 – 2100 mA
DALI	Yra
Šviesos srauto intensyvumo reguliavimas	Nuo 10 % iki 100 %
Apsaugos nuo elektros smūgio klasė	II

4.6.2. Foto jutiklis jungiklis

Svarbu, kad foto jutiklio jungiklis būtų kompaktiškas ir lengvai montuojamas šviestuvo korpuse, bei tilptų į jį. Taip pat, turi turėti nesudėtingai reguliuojamą įjungimo ir išjungimo lygius prie norimos apšvietos. Maitinimas turi būti 230 V AC, o maksimali palaikoma apkrova negali būti mažesnė, nei apšvietimo sistemos galia. Foto jutiklio jungiklio lęšis turi būti tvirtas ir sandarus — atitikti IP65 nuo dulkių ir vandens laipsnį. Šiuos reikalavimus atitiktų, pvz., foto jutiklis jungiklis, kurio duomenys pateikti 4.11 lentelėje.

4.11 lentelė. MINI-NIGHT-SWITCH foto jutiklio jungiklio charakteristikos [2]

Maitinimas	220 - 240 V AC
Maksimali išėjimo galia	1 200 W
Matmenys	54 x 32 x 44 mm
Fiksuojama apšvieta	Nuo 3 lx iki 1 000 lx
Apsaugos nuo elektros smūgio klasė	II
Apsaugos nuo dulkių ir vandens klasė	IP65

Foto jutiklis jungiklis turi būti įrengiamas šviestuvo korpuso viršuje taip, kad sumontavus šviestuvą ant atramos — foto jutiklio jungiklio optinis lęšis būtų nukreiptas į viršų (4.13 pav.).



4.13 pav. Foto jutiklio jungiklio pozicija šviestuvo korpuse

4.6.3. Judesio jutiklis

Įprastai judesio jutikliai pagal savo veikimo principą skirstomi į dvi pagrindines grupes:

- Judesio jutikliai, kurie nuolatos skleidžia į aplinką mikrobangas, jos atsimušdamos nuo objektų grįžta atgal, o tuomet judesio jutiklis apskaičiuoja tūrį esantį saugomoje erdvėje. Esant tūrio pokyčiui erdvėje, judesio jutiklis tai fiksuoja kaip judesį;
- Judesio jutikliai, kurie nuolatos reaguoja į besikeičiančius infraraudonuosius spindulius erdvėje, todėl užfiksavus spinduliuojamą šilumą saugomoje teritorijoje, judesio jutiklis atpažįsta judesį.

Parinkti judesio jutiklį reikėtų atsižvelgiant į aplinką esančią teritorijoje ir aplink ją, nes teritorijoje gali būti tokių objektų (pvz. netoliese esančių medžių), kuriuos įtakojus vėjui, mikrobangas skleidžiantis judesio jutiklis fiksuos kaip judesį ir be reikalo įjungs apšvietimą, todėl tokiu atveju reikėtų parinkti infraraudonųjų spinduliu judesio jutiklį.

Dar vienas svarbus aspektas, parenkant tinkamą judesio jutiklį, yra aukštis, kuriame jis yra montuojamas ir teritorijos skersmuo, kuriame turi būti fiksuojamas judesys. Šiuo atveju aukštis yra 3,5 metrai, o teritorijos maksimalus skersmuo — 18 metrų.

Kitas aspektas reikalingas judesio jutikliui — DALI valdymo kanalų sąsaja, todėl judesio jutiklis turi turėti galimybę komunikuoti su DALI valdymu. Jei tokią komunikaciją judesio jutiklis turi, tuomet esant judesiui, DALI valdymo kontaktai gauna signalą iš judesio jutiklio, o tai leidžia DALI valdymui pakelti šviesos intensyvumą iki 100 %, priešingu atveju, kai judesio ir signalo į DALI valdymo kontaktus nėra — intensyvumas nukrenta iki 10 %.

Ankščiau paminėtus kriterijus tenkina, pvz., „Helvar“ kompanijos judesio jutiklis, kurio duomenys pateikti 4.12 lentelėje.

4.12 lentelė. 317M High-Bay PIR Presence/Absence Detector judesio jutiklio charakteristikos [16]

Maitinimas	220 - 240 V AC
DALI	Yra
Fiksuojama teritorija	Aukštis < 15 m., Skersmuo < 40 m.
Apsaugos nuo elektros smūgio klasė	II
Apsaugos nuo dulkių ir vandens klasė	IP65

4.7. Sudarytos apšvietimo sistemos tyrimas

Buvo tiriama, kiek elektros energijos vartos sudaryti šviesos diodų šviestuvai kaip sistema. Šiuo atveju, šviestuvai buvo pagaminti pagal 4.6 skyriuje nurodytą metodiką. Šie

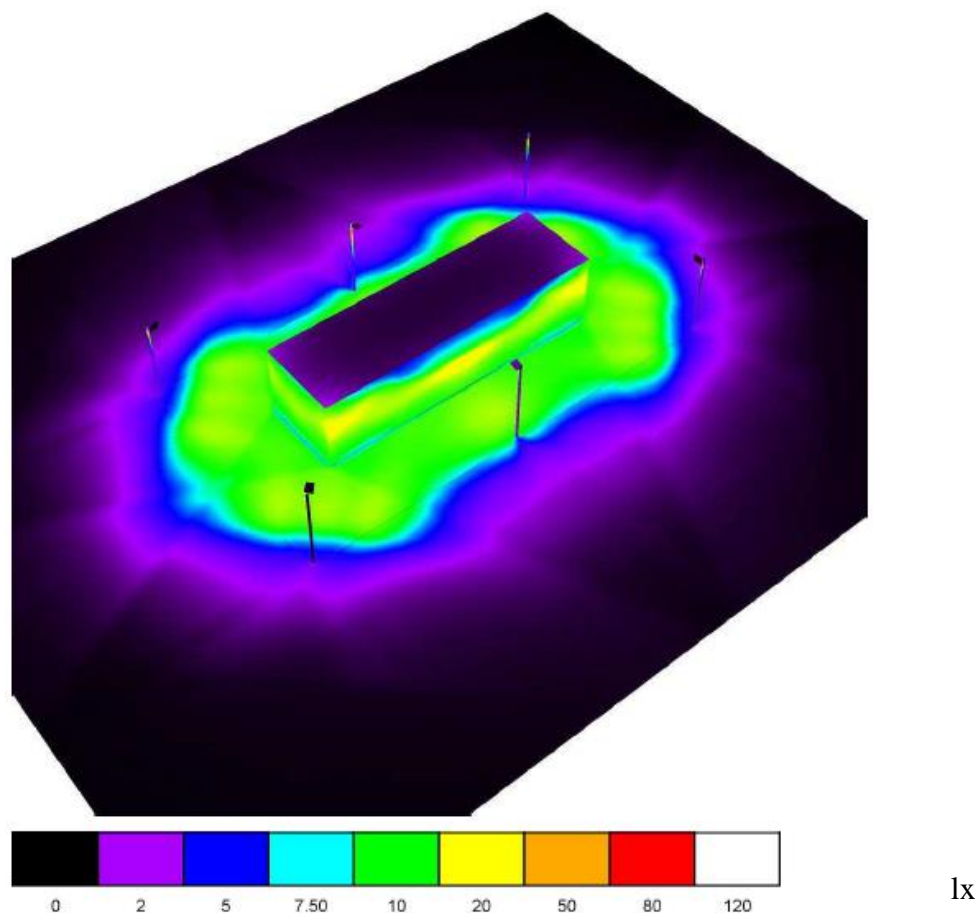
šviestuvai buvo tikrinami eksperimentiškai su „LabSpion“ testavimo įranga. Gauti tyrimo metu rezultatai pavaizduoti 4.13 lentelėje.

4.13 lentelė. Sudarytų šviesos diodų šviestuvų tyrimo rezultatai (pilnos galios režime)

Šviestuvų skaičius	Tipas/Pavadinimas	Vieno šviestuvo Φ [lm]	Vieno šviestuvo vartojama galia P [W]
4	Kampiniai LED šviestuvai (Nr.1, Nr.2 Nr.3 Nr.4)	4 319	36
1	Šoninis LED šviestuvus Nr.1	4 269	40
1	Šoninis LED šviestuvus Nr.2	4 269	38
	Visų šešių:	25 814	222

Tyrimas parodė, jog šviestuvų bendra vartojama galia pakilo 18 W lyginant su 4.8 lentelėje modeliuotais rezultatais. Tai nutiko dėl to, nes šviestuvuose buvo naudotas maitinimo šaltinis su DALI valdymu, kuris kaip elektros imtuvas reikalauja daugiau galios. Papildomai į šoninius šviestuvus įmontuoti judesio jutikliai ir foto jutiklio jungiklis, taip pat vartoja elektros energiją.

Naudojant gautus duomenis, toliau buvo modeliuojamas atvejis, kai šviestuvų sistema dirba budėjimo režimu, t.y. naudoja tik 10 % visos galios (4.14 pav. ir 4.14 lentelė).



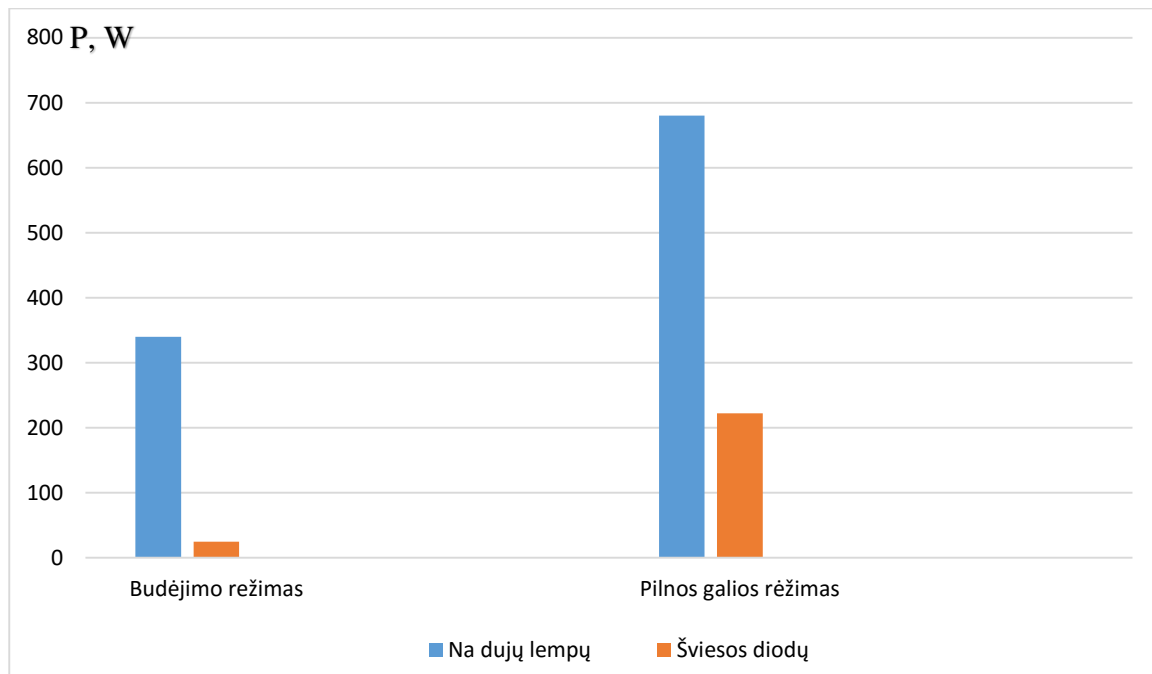
4.14 pav. Sudarytos šviesos diodų apšvietimo sistemos apšvieta DSS teritorijai (budėjimo režime — 10 % visos galios)

Paveiksle parodyta kaip apšvieta liuksais, pasiskirsto DSS teritorijoje gana tolygiai — žalia ir žydra spalvomis. Tam tikros spalvos atitinka liuksų skaičių, tai galime suprasti iš duotos skalės.

4.14 lentelė. Sudarytos šviesos diodų apšvietimo sistemos duomenys (pilnos galios ir budėjimo režime)

Režimas	$E_{vid}[lx]$	$E_{min}[lx]$	$E_{maks}[lx]$	E_{min}/E_{maks}
10 % visos galios	7	1,21	11	0,130
100 % visos galios	63	11	98	0,130
Režimas	Šviestuvų skaičius		Apšvietimo Φ [lm]	Vartojama galia P [W]
10 % visos galios	6		3 097	24,42
100 % visos galios	6		25 814	222

Tyrimo metu gauti šviesos diodų apšvietimo sistemos rezultatai yra palyginami su Na dujų lempų apšvietimo sistemos rezultatais (4.3 ir 4.4 lentelės). Palygintų šių dviejų sistemų vartojama galia, dirbant budėjimo ir pilnos galios režimu grafiškai pavaizduota 4.15 paveiksle.



4.15 pav. Na dujų ir šviesos diodų apšvietimo sistemų vartojamos galios palyginimo grafikas (budėjimo ir pilnos galios režimais)

Nors ir šios dvi apšvietimo sistemos yra alternatyvios viena kitai, tačiau matosi ryškus galios suvartojimo skirtumas. Budėjimo režimu Na dujų lempų apšvietimo sistemos vartojama galia iš tinklo 340 W, o šviesos diodų tik 24,42 W, t.y. beveik 14 kartų mažiau. Pilnos galios režimu Na dujų lempų apšvietimo sistemos vartojama galia iš tinklo 680 W, o šviesos diodų — 222 W. Tokie rezultatai gauti dėl jau ankstesniuose skyriuose minėtų veiksnių, tokių kaip apšvietimo sistemos valdymo principo, šviesos diodų šaltinių, optinių lęšių, šviesos diodų maitinimo šaltinių, ir kitų šiuolaikinių technologijų taikymo.

4.8. Apšvietimo sistemų vartojamų elektros energijos apkrovų skaičiavimas

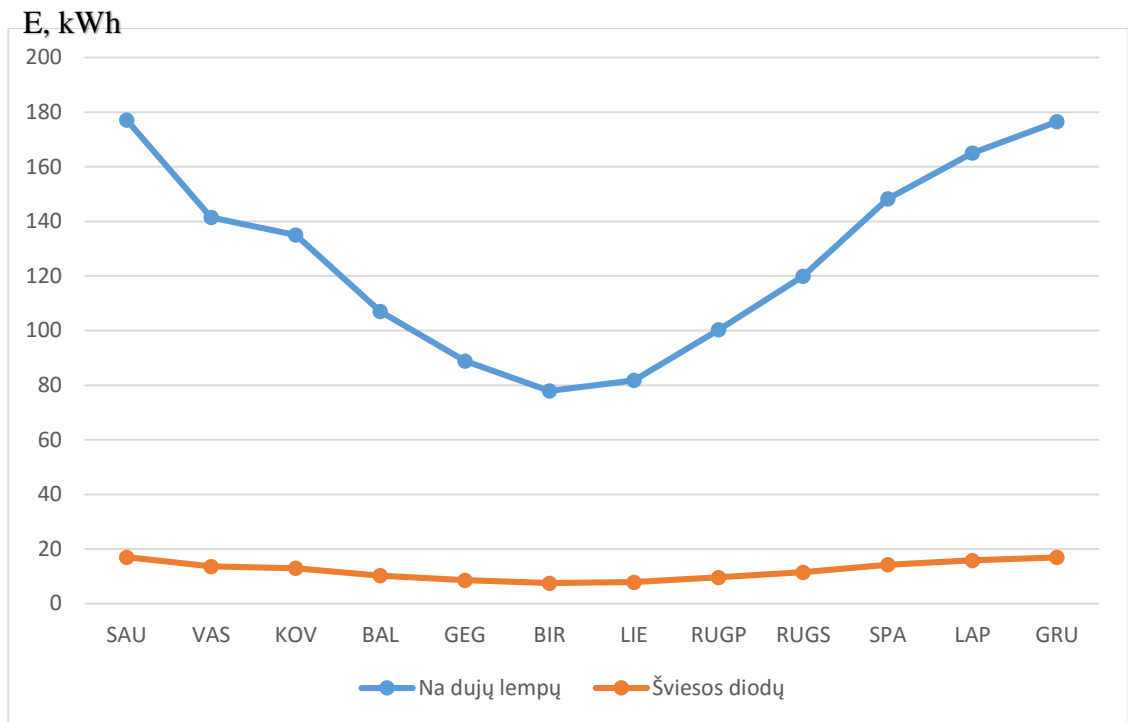
Didžiąją dalį apšvietimo laiko, apšvietimo sistema dirba budėjimo režimu (10 % visos galios), todėl tai įvertinta ir numatyta iš anksto. Šio tyrimo metu, daroma prielaida, kad per visą laiką, kol apšvietimo sistema aktyviai dirba tik 5 % viso laiko veikia pilnu pajėgumu, t.y. fiksuoja judesį, kai vartojamoji galia 222 W, o 95 % likusio laiko veikia budėjimo režimu — 24,42 W, todėl suskaičiuojame, kad šviesos diodų apšvietimo sistema, veikdama tokiu principu, per vieną valandą suvartos 34,3 Wh. Tuo tarpu, Na dujų lempų apšvietimo sistema veikia kaip alternatyva,

todėl per vieną valandą suvartos 357 Wh (5 % viso laiko — 680 W vartojama galia, 95 % viso laiko — 340 W vartojama galia). DSS apšvietimo sistema pradeda vartoti elektros energiją tik tamsiuoju paros metu, nukritus apšvietos lygiui lauke iki nustatytos ribos. Norint apskaičiuoti, kiek apšvietimo sistema suvartos elektros energijos kiekvieną mėnesį ir per visus metus, reikia nustatyti, kiek vidutiniškai laiko trunka naktis. Elektros apkrovų skaičiavimams Na dujų lempų ir šviesos diodų apšvietimo sistemoms pavaizduoti, sudaryta 4.15 lentelė.

4.15 lentelė. Vartojamos elektros energijos apkrovos apšvietimo sistemoms

Mėnuo	Vidutinė nakties trukmė [val.]	Parų skaičius	Suminė naktų trukmė, [val.]	Elektros energijos apkrova (Na dujų) [kWh]	Elektros energijos apkrova (LED) [kWh]
Sausis	16,008	31	496,248	177,161	17,021
Vasaris	14,153	28	396,284	141,473	13,592
Kovas	12,200	31	378,185	135,012	12,971
Balandis	9,992	30	299,745	107,009	10,281
Gegužė	8,033	31	249,023	88,901	8,541
Birželis	7,275	30	218,235	77,910	7,485
Liepa	7,392	31	229,137	81,802	7,859
Rugpjūtis	9,066	31	281,046	100,333	9,640
Rugsėjis	11,200	30	336,000	119,952	11,524
Spalis	13,400	31	415,358	148,292	14,247
Lapkritis	15,408	30	462,240	165,020	15,854
Gruodis	16,483	30	494,490	176,533	16,961
	Iš viso:	364	4256,017	1519,398	145,977

Skaičiavimo rezultatai parodo, kad Na dujų lempų apšvietimo sistema per visus metus elektros energijos suvartoja 1519,398 kWh, o šviesos diodų apšvietimo sistema suvartoja tik 145,977 kWh, t.y. 10,4 kartų mažiau. Dviejų lyginamų alternatyvių apšvietimo sistemų mėnesinės elektros energijos apkrovos pavaizduotos grafiškai 4.16 paveiksle.



4.16 pav. Apšvietimo sistemų mėnesinės elektros energijos apkrovos grafikas

Grafike matosi, jog didžiausias elektros energijos apkrovos skirtumas tarp šių dviejų sistemų susidaro šaltuoju metų laiku t.y., žiemą, kai naktis trunka ilgiausiai.

4.9. Autonominės apšvietimo sistemos kaupikliai

Autonominėje sistemoje elektros energijos galia tiekama arba iš kaupiklių, arba iš įtampos keitiklio. Todėl kaupiklio talpa (ampervalandėmis — Ah), turi atitikti apšvietimo sistemos vartojamas apkrovas. Dažniausiai nuolatinės įtampos sistemos įtampa būna 12 V, 24V, 48V (jungiant kaupiklius tarpusavyje nuosekliai — sumuojasi įtampa, o lygiagrečiai — sumuojasi talpa). Taip pat, priklauso nuo atstumo tarp saulės foto modulių ir sistemos generuojamos galios. Kai sistemos galia yra iki 500 W, rekomenduojama rinktis 12 V įtampą, 24 V įtampa iki 2 kW galios, o virš 2 kW — 48 V. Visi atlikti tyrimai prieš tai esančiuose skyriuose rodo, kad mūsų šviesos diodų apšvietimo sistema veikiant pilnos galios režimu, maksimaliai vartoja tik 222 W, todėl tikslinga rinktis 12 V įtampą.

Tikslinga kaupiklių talpą skaičiuoti pagal mėnesį, kurį vartojamas elektros energijos poreikis yra didžiausias, nes taip parinktas kaupiklis atitiks visų mėnesių elektros energijos apkrovas. Šiuo atveju, šviesos diodų apšvietimo sistema daugiausiai elektros energijos suvartoja per sausio mėnesį — 17 021 Wh (4.15 lentelė). Norint suskaičiuoti kiek suvartos elektros energijos vidutiniškai per vieną parą, padaliname šį skaičių iš parų skaičiaus sausio mėnesyje, t.y., 31 paros. Gauname, kad per vieną parą, vidutiniškai šviesos diodų apšvietimo sistema sausio mėnesį suvartos 549 Wh.

Sudaryta apšvietimo sistema yra maitinama kintama įtampa, todėl skaičiuojant energijos kiekį, turime vertinti keitiklio įkroviklio naudingumo koeficientą. Normaliomis sąlygomis, įprastai keitiklių įkroviklių našumas yra 90 %, todėl norint nustatyti elektros energijos kiekį, kurį realiai sunaudoja sudaryta apšvietimo sistema, reikia apskaičiuotą vartojamą elektros energiją, padalinti iš keitiklio įkroviklio naudingumo koeficiento, t.y., $549 \text{ Wh} / 0,9 = 610 \text{ Wh}$.

Kaupiklių talpa matuojama ampervalandėmis, todėl elektros energijos poreikis (610 Wh) padalinamas iš kaupiklių sistemos įtampos (12 V), gauname $610 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 50,833 \text{ Ah}$, t.y., apie 51 Ah. Gautas skaičius yra minimali kaupiklių talpa, kurios reikia 610 Wh elektros energijai sukaupti.

Kuo mažiau iškraunami kaupikliai, tuo jie ilgiau tarnauja. Nors gilaus ciklo akumuliatorių iškrovimo gylis retkarčiais gali siekti iki 80%, tačiau rekomenduojama, kad išsikrovimo gylis neviršytų 50 %. Todėl kaupiklių talpa automatiškai išauga, t.y., $51 \text{ Ah} / 0,5 = 102 \text{ Ah}$. Apie 102 Ah talpos kaupikliai, kurių bendra įtampą 12 V, atitiks visų mėnesių šviesos diodų apšvietimo sistemos vartojamas elektros energijos apkrovas.

Ankščiau paminėtus kriterijus tenkina, pvz., „Victron Energy“ kompanijos gilaus išsikrovimo ciklo kaupiklis, skirtas autonominėms sistemoms, kurio duomenys pateikti 4.16 lentelėje.

4.16 lentelė. 12 Volt Deep Cycle GEL BAT412101100 kaupiklis [17]

Talpa	110 Ah
Įtampa	12 V
Svoris	33 kg
Gyvavimo trukmė	12 metų veikiant 20 °C temperatūroje

4.10. Fotovoltinių saulės elementų elektrinė

Tinkamas saulės elementų elektrinės sudarymas yra vienas iš svarbiausių veiksnių autonominei sistemai. Šiomis dienomis yra gausu įvairiausių fotovoltinių saulės elementų tipų. Kiekvienas iš jų turi savų pliusų ir trūkumų, tačiau bene labiausiai paplitę yra polikristaliniai silicio saulės elementai, todėl skaičiavimai atlikti su šio tipo saulės elementais, kurio teigiamos savybės yra:

- Palanki kaina;
- Aukštas naudingumo koeficientas (iki 17,8 %);
- Didelis tiekėjų pasirinkimas rinkoje;
- Tinka su bet kuriuo tinklo keitiklio ar įkroviklio valdiklio tipu;
- Sąlyginai didelė vieno modulio galia.

Tyrimo skaičiavimams parinktas, pvz., polikristalinis silicio fotovoltinis saulės elementas „Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W“, jis pritaikytas 12 V sistemos įtampai. Šio saulės elemento duomenys pateikti 4.17 lentelėje.

4.17 lentelė. Polikristalinio silicio saulės elemento Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W parametrai [18]

Nominali galia	260 W
Nominali įtampa	31,1 V
Nominali srovė	8,4 A
Tuščios veikos įtampa	37,7 V
Naudingumo koeficientas	15,9 %
Matmenys	1 640 mm × 998 mm × 35 mm
Svoris	18,5 kg

Nustatyti, kokio dydžio ir galios saulės fotomodulių elektrinės reikia šviesos diodų apšvietimo sistemai, naudojami vartojamos elektros energijos apkrovų tyrimo rezultatų duomenys gauti 4.15 lentelėje. Skaičiavimams atlikti reikia pasirinkti mėnesį, pagal kurį yra nustatomas saulės elektrinės dydis. Analizuojami du skirtingi atvejai, t.y., skaičiuosime pagal tamsiausią mėnesį — gruodį (16,483 val. vidutinė nakties trukmė), ir pagal lygiadienį — rugsėjo mėnesį (11,2 val. vidutinė nakties trukmė).

Skaičiavimai atlikti atsižvelgiant į vidutinę pilnutinę saulės ekspoziciją vienam kvadratiniam metrui, Kauno regione.

4.18 lentelė. Daugiametė vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija (kWh/m²), tenkanti horizontaliam paviršiui kiekvieną mėnesį ir per visus metus [19]

Vietovė	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Per metus
(HSM)	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	mėn.	
Šilutė	15	33	72	106	154	169	161	143	96	55	16	9	1029
Nida	14	31	72	108	155	171	165	148	97	54	17	10	1042
Kaunas	16	33	70	99	146	155	150	138	90	52	16	19	976
Vilnius	16	34	69	93	142	146	142	136	84	50	17	10	939
Telšiai	14	32	69	104	154	168	156	141	96	55	19	11	1018
Šiauliai	13	31	68	100	154	163	153	142	94	53	17	9	996
Klaipėda	12	31	67	102	155	168	161	147	94	53	16	8	1013
Vėžaičiai	13	32	67	104	153	154	155	140	94	53	14	8	988
Utena	15	33	67	96	145	151	147	133	84	50	16	8	946
Biržai	8	27	65	96	148	156	151	135	83	46	9	2	926
Dotnuva	10	29	70	103	154	164	158	145	92	50	11	3	989
Dūkštas	9	28	65	97	150	157	153	137	84	47	10	1	938
Kybartai	20	37	74	103	148	157	152	140	93	56	21	14	1015
Lazdijai	19	37	74	103	150	159	153	142	94	56	20	13	1021
Varėna	11	31	68	94	147	152	147	142	85	48	11	3	939

Pirmi skaičiavimai, kaip pavyzdys, atliekami pagal tamsiausią mėnesį — gruodį.

Pagal 4.3 formulę apskaičiuojamas saulės fotomodulio užimamas plotas:

$$S_{SFM} = l \times a = 1,64 \times 0,998 = 1,637 \text{ m}^2, \quad (4.3)$$

kur: S_{SFM} — saulės fotomodulio užimamas plotas, m^2 ;

l — saulės fotomodulio ilgis, 1,64 m;

a — saulės fotomodulio plotas, 0,998 m.

Apskaičiuotas vartojamas elektros energijos apkrovas gruodžio mėnesiui — 16,961 kWh (4.15 lentelė), prilyginamos saulės elektrinės generuojam energijos kiekiui per mėnesį, t.y., $E_{SEgruodžio} = 16,961 \text{ kWh}$, tokiu principu, nustatomas saulės fotomodulių reikalingas ploto dydis, norint tenkinti tokias elektros energijos apkrovas.

$$S_{SEviso} = E_{SEgruodžio} / (E_{gruodžio} \times \eta_F \times \eta_{keit}) = 16,961 / (19 \times 0,159 \times 0,95) = 5,9 \text{ m}^2, \quad (4.4)$$

kur: S_{SEviso} — saulės elektrinės užimamas plotas, m;

$E_{SEgruodžio}$ — saulės elektrinės generuojamas energijos kiekis gruodį, 16,961 kWh;

$E_{gruodžio}$ — vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija gruodžio mėnesį, 19 kWh/ m^2 ;

η_F — pasirinkto saulės elemento naudingumo koeficientas, 15,9 %;

η_{keit} — saulės elektrinės įtampos keitiklio į tinklą naudingumo koeficientas, priimtas 95 %.

Gauta, kad saulės elektrinės fotomodulių plotas turi užimti 5,9 m^2 . Apskaičiuojamas fotovoltinių saulės modulių kiekis:

$$N_{SFM} = S_{SEviso} / S_{SFM} = 5,9 / 1,637 = 3,6 \quad (4.5)$$

.

Gautas skaičius suapvalinamas į didesnę pusę, t.y., reikiamas saulės fotomodulių kiekis yra 4 vienetai. Toliau skaičiuojamas bendras saulės elektrinės plotas, kai ją sudaro 4 vienetai Hyundai HiS-M260RG-BF fotovoltiniai saulės elementai.

$$S_{viso} = l \times a \times N_{SFM} = 1,64 \times 0,998 \times 4 = 6,547 \text{ m}^2, \quad (4.6)$$

Toliau apskaičiuojamas kiekvieno mėnesio prognozuojamas pagaminti elektros energijos kiekis, įvertinant vidutinę pilnutinę saulės ekspoziciją kiekvienam mėnesiui, Kauno regione:

$$E_{SE_{gruodžio}} = S_{SE_{viso}} \times E_{gruodžio} \times \eta_F \times \eta_{keit} = 6,547 \times 19 \times 0,159 \times 0,95 = 18,790 \text{ kWh. (4.7)}$$

Skaičiuojant toliau pagal tokią pačią metodiką, gautos visų mėnesių prognozuojamos elektros energijos apimtys. Gauti rezultatai parodyti 4.19 lentelėje.

4.19 lentelė. Saulės elektrinės, parinktos pagal gruodžio mėnesio apkrovą (4 fotomoduliai), generuojama elektros energija

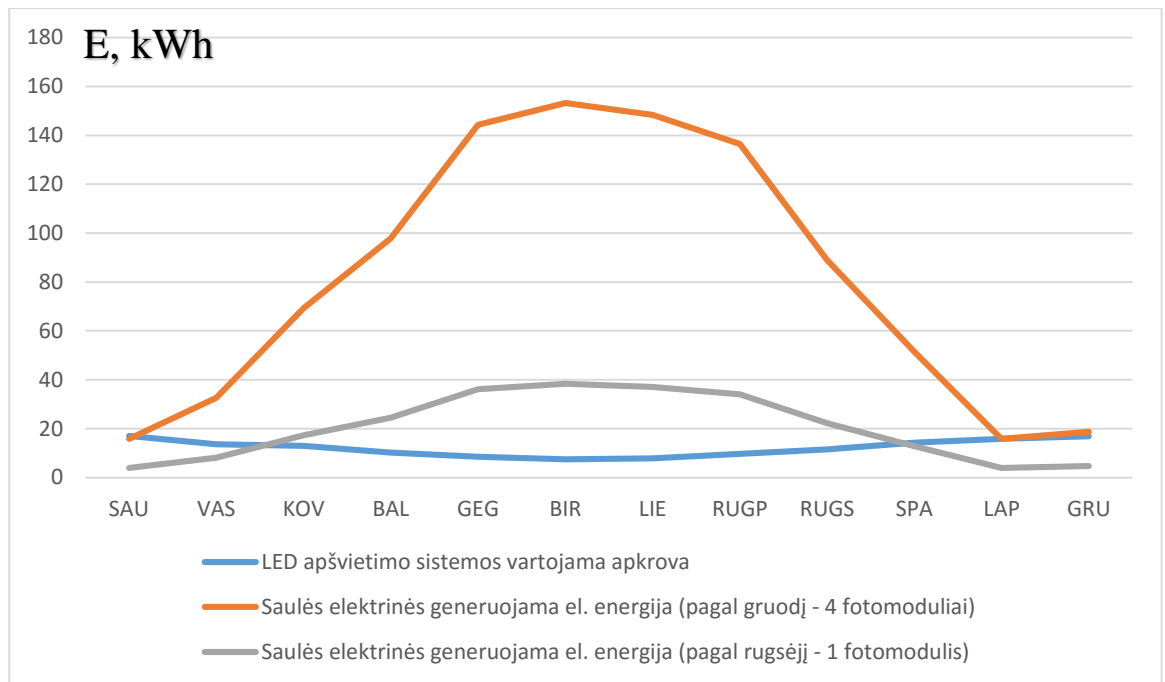
Mėnesis	Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija, kWh/m ²	Šviesos diodų apšvietimo sistemos vartojama elektros energija, kWh	Pagaminta elektros energija, kWh
Sausis	16	17,021	15,823
Vasaris	33	13,592	32,635
Kovas	70	12,971	69,225
Balandis	99	10,281	97,904
Gegužė	146	8,541	144,383
Birželis	155	7,485	153,283
Liepa	150	7,859	148,339
Rugpjūtis	138	9,640	136,472
Rugsėjis	90	11,524	89,003
Spalis	52	14,247	51,424
Lapkritis	16	15,854	15,823
Gruodis	19	16,961	18,790

Taikant tokią pačią skaičiavimo metodiką, skaičiavimai pakartoti parenkant saulės fotomodulių elektrinę pagal lygiadienį — rugsėjo mėnesį. Skaičiavimų galutiniai rezultatai parodyti 4.20 lentelėje.

4.20 lentelė. Saulės elektrinių, parinktų pagal gruodžio mėnesio apkrovas (4 fotomoduliai) ir rugsėjo mėnesio apkrovas (1 fotomodulis), generuojamos elektros energijos

Mėnesis	Vidutinė pilnutinė saulės ekspozicija, kWh/m²	Šviesos diodų apšvietimo sistemos vartojama elektros energija, kWh	Pagaminama elektros energija pagal gruodžio mėnesio apkrovas, kWh	Pagaminama elektros energija pagal rugsėjo mėnesio apkrovas, kWh
Sausis	16	17,021	15,823	3,956
Vasaris	33	13,592	32,635	8,160
Kovas	70	12,971	69,225	17,309
Balandis	99	10,281	97,904	24,480
Gegužė	146	8,541	144,383	36,101
Birželis	155	7,485	153,283	38,327
Liepa	150	7,859	148,339	37,090
Rugpjūtis	138	9,640	136,472	34,123
Rugsėjis	90	11,524	89,003	22,254
Spalis	52	14,247	51,424	12,858
Lapkritis	16	15,854	15,823	3,956
Gruodis	19	16,961	18,790	4,698

Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti (4.17 pav).



4.17 pav. Šviesos diodų apšvietimo sistemos vartojamos mėnesinės apkrovos ir saulės elektrinių, parinktų pagal gruodžio ir rugsėjo mėnesius, generuojamos elektros energijos, palyginimas

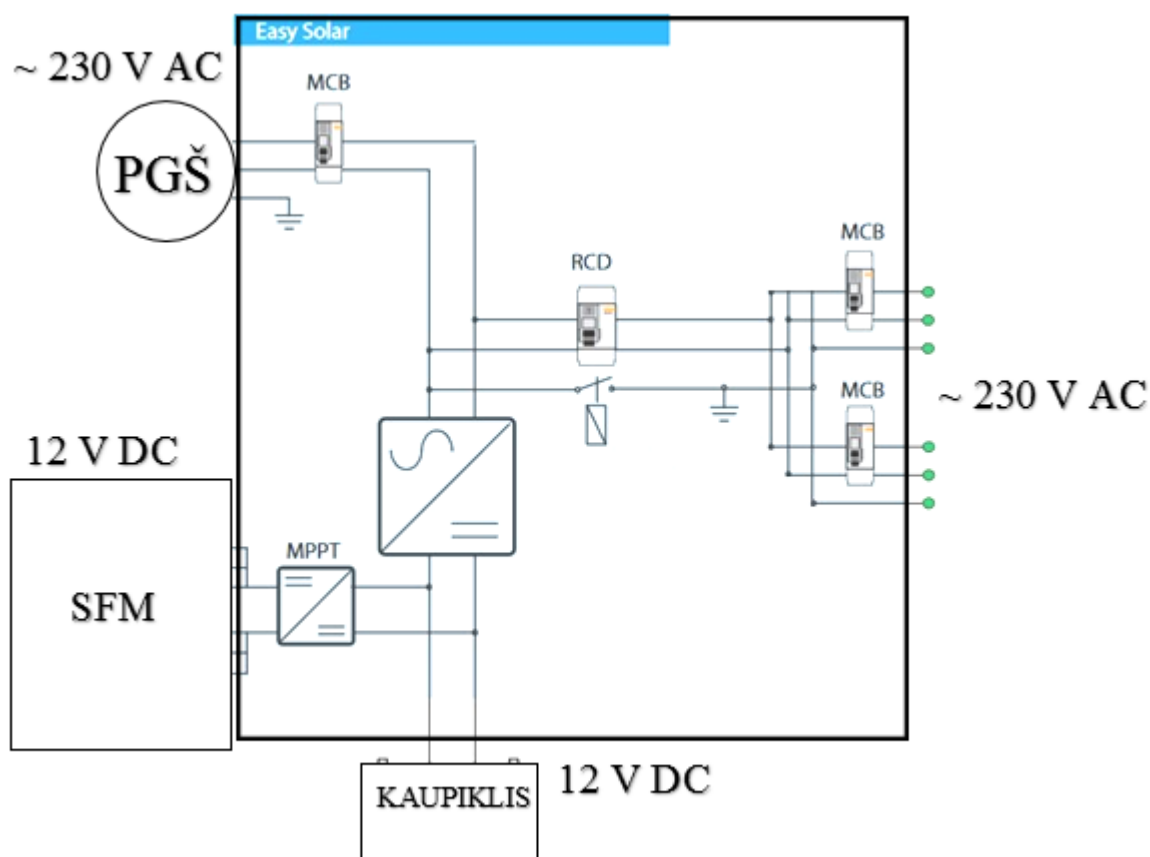
Skaičiavimų rezultatai parodo, kad parinktos saulės elektrinės, pagal gruodžio mėnesio elektros energijos apkrovas, generuojamos elektros energijos užteks ištisus metus, tačiau toks parinkimas yra visiškai neekonomiškas, nes pavasario ir vasaros sezono metu, tokia saulės elektrinė generuos elektros energijos net 5 ar 10 karto daugiau, nei reikia. Pavyzdžiui birželį šviesos diodų apšvietimo sistema suvartos tik 7,485 kWh elektros energijos, o saulės elektrinė generuos net 153,283 kWh, t.y., net 20 karto daugiau. Todėl, parinkti saulės elektrinės galią pagal gruodžio mėnesį — netikslinga.

Skaičiavimų rezultatai parenkant saulės elektrinę pagal lygiadienį — rugsėjo mėnesį, yra žymiai palankesni. Ši elektrinė tenkina elektros energijos apkrovas nuo kovo iki spalio mėnesių, o likusį energijos trūkumą kompensuos papildomas generavimo šaltinis. Todėl, daroma išvada, kad šviesos diodų apšvietimo sistemai, reikia saulės elektrinės, kurią sudaro 1 vienetas — polikristalinio silicio fotovoltinis saulės elementas „Hyundai HiS-M260RG-BF“. Tokios elektrinės nominali galia 260 W.

4.11. Autonominės apšvietimo sistemos įtampos keitiklis ir įkroviklis

Rinkoje yra labai daug paplitusių įvairiausio tipo įtampos keitiklių ir kaupikliams skirtų įkroviklių. Juos nesunku pritaikyti pagal jų paskirtį, norint, kad sistema veiktų tinkamai ir ekonomiškai.

Tiriamai DSS apšvietimo sistema reikia, mažos galios, keitiklių ir įkroviklių, nes šviesos diodų apšvietimo sistemos nominali galia yra tik 222 W, o saulės elektrinę sudaro tik vienas (260 W galios, 12 V įtampos) poli-silicio fotovoltinis saulės elementas. Kaupiklis taip pat yra 12 V įtampos, o talpa yra tik 110 Ah — o tai parodo, kad sistemos elektros energijos apkrovos labai mažos. Keitikliai ir įkrovikliai yra nustatomi pagal minėtus parametrus, kurie yra santykinai labai maži lyginant su dažniausiai pasitaikančiais autonominių sistemų projektais. Todėl, šiuo atveju patogu pasirinkti mažos galios, jau sukombinuotą keitiklį — įkroviklį, kuris turi techniškai pasižymėti, kaip technologija, turinti viduje atitinkamą saulės fotomodulį įtampos keitiklį ir įkroviklį skirtą pakrauti kaupikliams. Taip pat, tokio tipo technologijos dažnai veikia, kaip valdymo įrenginys užtikrinantis visą sistemos stabilų veikimą — esant elektros energijos trūkumui kaupikliuose, įjungia papildomą generavimo šaltinį, kuris yra prijungtas prie visos autonominės sistemos. Būtent tiriamos DSS šviesos diodų apšvietimo sistemos atveju, kaip tinkamas pavyzdys, gali būti naudojamas, kompanijos „Victron Energy“ siūlomas keitiklis — įkroviklis „EasySolar 12 V 1600VA“. Šio keitiklio — įkroviklio principinė schema pavaizduota 4.18 pav.



4.18 pav. Keitiklio — įkroviklio EasySolar 12 V 1600VA principinė schema [20]
 PGŠ — papildomas generavimo šaltinis; SFM — saulės foto moduliai; MPPT — saulės modulių įtampos keitiklis.

Keitiklis — įkroviklis viduje turi MPPT tipo saulės baterijų kroviklį, kuris krauna kaupiklį. Taip pat, viduje integruotas įtampos keitiklis keičiantis iš 12 V DC įtampą į 230 V AC įtampą. Dar vienas šio įrenginio privalumas, kad į jį galima prijungti papildomą generavimo šaltinį iki 1600 VA galios, o visa sistema yra valdoma automatiškai valdiklių pagalba. Štai toks vienas įrenginys, veikia kaip valdymo blokas, o mažos galios autonominei apšvietimo sistemai išsprendžia sujungimo ir suderinamumo problemas tarp įrenginių, taip pat neužima daug vietos. Šio įtampos keitiklio — įkroviklio duomenys pateikti 4.21 lentelėje.

4.21 lentelė. Keitiklio — įkroviklio EasySolar 12 V 1600VA charakteristikos [21]

Maksimali saulės fotomodulių galia į MPPT	700 W
Maksimali srovė iš MPPT	50 A
Saulės fotomodulių ir kaupiklių įtampa	13,8 V DC
Maksimalus įtampos keitiklio efektyvumas	98 %
Įtampos keitiklio įėjimo įtampa	9,5 V DC — 17 V DC
Įtampos keitiklio išėjimo įtampa	230 V AC
Nominali įtampos keitiklio galia	1600 VA / 1300 W

5. DUJŲ SKIRSTYMO STOTIES AUTONOMINĖS ŠVIESOS DIODŲ APŠVIETIMO SISTEMOS EKONOMINIS VERTINIMAS

Tyrimo ekonominis vertinimas atliekamas lyginant dvi skirtingas dujų skirstymo stočių apšvietimo sistemas, t.y., Na dujų lempų apšvietimo sistemą prijungtą prie elektros skirstomojo tinklo ir sudarytą autonomine šviesos diodų apšvietimo sistema.

Norint atlikti tikslių ekonominių vertinimą sudarytai ir iširtai autonomine apšvietimo sistemai, prieš pradėdant, reikia sulygtinti dviejų projektų įrengimo kaštus. Ekonominiam vertinimui atlikti, sudaryta Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštų lentelė (5.1 lentelė). Darome prielaidą, kad įrengimo darbai sudaro 15 % visos sistemos įrengimo kaštų.

5.1 lentelė. Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo sąmata

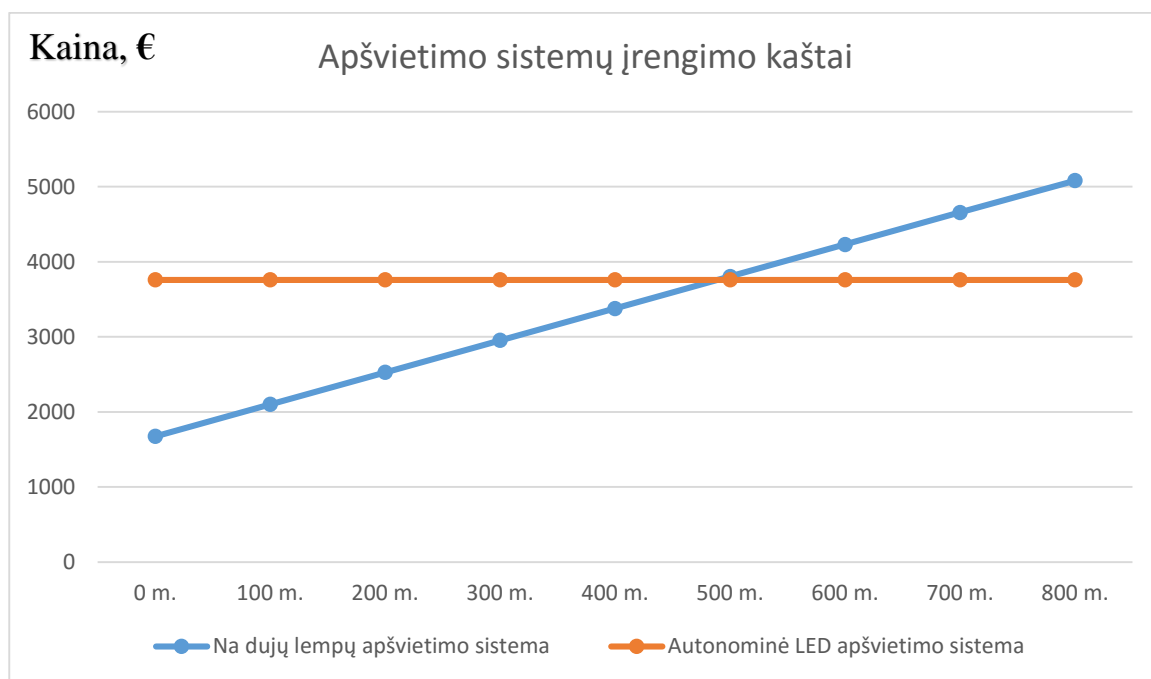
Nr.	Pavadinimas	Kiekis	Kaina, €	Suminė kaina, €
1.	Na dujų lempų šviestuvai	8	48,99	391,92
2.	Na dujų lempa 70W	8	11,25	90,00
3.	Valdymo sistema	1	144,51	144,51
4.	Šviestuvų atramos	8	103,76	830,08
5.	Įrengimo darbai	1	218,47	218,47
Suma:				1 674,98

Toliau, sudaryta autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo kaštų lentelė. Darome prielaidą, kad įrengimo darbai sudaro 15 % visos sistemos įrengimo kaštų.

5.2 lentelė. Sudarytos autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo sąmata

Nr.	Pavadinimas	Kiekis	Kaina, €	Suminė kaina, €
1.	Kampinis LED šviestuvai	4	54,10	216,40
2.	Šoninis LED šviestuvai Nr.1	1	84,90	84,90
3.	Šoninis LED šviestuvai Nr.2	1	65,40	65,40
4.	Šviestuvų atramos	6	103,76	622,56
5.	Keitiklis — įkroviklis	1	1 450,00	1 450,00
6.	Saulės fotomodulis su tvirtinimo detalėmis	1	197,65	197,65
7.	Kaupiklis	2	292,40	292,40
8.	Dyzelinis generatorius	1	339,99	339,99
9.	Įrengimo darbai	1	490,39	490,39
Suma:				3 759,69

Kadangi, tyrimas atliekamas DDS, kuri yra nutolusi nuo elektros skirstomojo tinklo, privaloma įvertinti šį DDS nuotolį, tik Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštuose. Pagal nuo 2017 metų birželio 1 dienos įsigaliojusius prijungimo prie elektros tinklų įkainius, nebuitiniai vartotojai ar Vyriausybės įgaliotos institucijos apmoka 20 % komisijos apskaičiuoto mokesčio, o tai yra 4,26 eurai už 1 metrą nutiesto elektros tinklo [21]. Gauti abiejų apšvietimo sistemų įrengimo kaštai, atsižvelgiant į nutolusią DDS nuo elektros skirstomojo tinklo, pavaizduoti grafiškai (5.1 pav).



5.1 pav. Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštai (įvertintas mokestis už prijungimą prie skirstomo elektros tinklo) ir autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo kaštai

Grafike dviejų apšvietimo sistemų tiesės susikerta viename taške. Šiame taške įrengimo kaštai tampa lygūs, tiek Na dujų lempų sistemos apšvietimui, tiek autonominės šviesos diodų sistemos apšvietimui. Tai yra dėl to, nes DDS nutolusi nuo tinklo 489,37 metrais, Na dujų lempų sistemos pajungimo į elektros skirstomąjį tinklą kaina $4,26 \text{ €/m} \times 489,37 \text{ m} = 2\,084,71 \text{ €}$, o tai yra suma, kurią pridėjus prie Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštų, gauname 3 759,69€, kas yra lygu autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo kaštams. Tai parodo, kad kai DDS teritorija nutolusi nuo skirstomojo elektros tinklo daugiau nei 489,37 metrais, tyrimo metu sudarytos autonominės apšvietimo sistemos įrengimo kaštai yra mažesni.

Tolimesniuose skaičiavimuose, tam, kad būtų galima apskaičiuoti autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos atsipirkimo laiką, daroma prielaida, jog DDS nuo tinklo nutolusi 489,37 metrais.

Norint adekvačiai įvertinti autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos atsipirkimo laiką, lyginant su Na dujų lempų apšvietimo sistema, turi būti vertinama diskonto norma, todėl visi skaičiavimai atliekami naudojant diskontavimo metodą.

Prieš skaičiuojant atsipirkimo laiką diskontavimo metodu, reikia apskaičiuoti, kokį pajamų dydį, autonominė šviesos diodų apšvietimo sistema sutaupo per vienerius metus, lyginant su Na dujų lempų apšvietimo sistema.

Na dujų lempų apšvietimo sistema per vienus metus suvartoja 1 519,398 kWh elektros energijos iš skirstomojo tinklo (4.15 lentelė). Šiuo metu elektros energijos tarifas — 0,124 €/kWh [22]. Sudauginus suvartojamą elektros energiją ir elektros energijos tarifą, apskaičiuota, kad Na dujų lempų apšvietimo sistema, kiekvienais metais, už suvartotą elektros energiją papildomai išleidžia 188,41 €. Todėl, lyginant autonominę šviesos diodų apšvietimo sistemą su Na dujų lempų apšvietimo sistema, teigiame, kad autonominė šviesos diodų apšvietimo sistema per vienus metus sutaupo 188,41 €.

Įvertinta, kad kiekvienais metais eksploatacinės išlaidos autonominei šviesos diodų apšvietimo sistemai yra 10 %, nuo sutaupytų pinigų, t.y., $188,41 \text{ €} \times 0,1 = 18,84 \text{ €}$.

Naudojant diskonto normą, apskaičiuojama dabartinė išlaidų vertė, sutaupyti pinigai ir pelnas per 25 metus. Įvertinta, kad įrengimo metai yra nuliniai, o diskonto norma 3 %.

Sumažinimo koeficientas apskaičiuojamas pagal 5.1 formulę.

$$S = \frac{1}{(1+i)^n}; \quad (5.1)$$

Kur: i – diskonto norma, $i = 0,03$;

n – laikas, metais.

Prognozuojamas atsipirkimo laikas vertinant diskonto normą ir sumažinimo koeficientą kiekvienais metais, parodytas 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Prognozuojamas atsipirkimo laikas ir pinigų srautai (diskonto norma 3%)

Metai	Kapitalo investicija, €	Eksploataciniai kaštai, €	Sumažinimo koeficientas	Diskontuota dabartinė išlaidų vertė, €	Diskontuoti sutaupyti pinigai, €	Diskontuotas pelnas, €
0	3 759,69	0,00	0,00	3 759,69	2 084,71	-1 674,98
1	0,00	18,84	0,97	18,29	182,92	-1 510,35
2	0,00	18,84	0,94	17,76	177,59	-1 350,51
3	0,00	18,84	0,92	17,24	172,42	-1 195,33
4	0,00	18,84	0,89	16,74	167,40	-1 044,67
5	0,00	18,84	0,86	16,25	162,52	-898,40
6	0,00	18,84	0,84	15,78	157,79	-756,39
7	0,00	18,84	0,81	15,32	153,19	-618,51
8	0,00	18,84	0,79	14,87	148,73	-484,65
9	0,00	18,84	0,77	14,44	144,40	-354,69
10	0,00	18,84	0,74	14,02	140,19	-228,51
11	0,00	18,84	0,72	13,61	136,11	-106,01
12	292,40	18,84	0,70	218,30	132,15	-192,16
13	0,00	18,84	0,68	12,83	128,30	-76,69
14	0,00	18,84	0,66	12,46	124,56	35,41
15	0,00	18,84	0,64	12,09	120,93	144,25
16	0,00	18,84	0,62	11,74	117,41	249,92
17	0,00	18,84	0,61	11,40	113,99	352,52
18	0,00	18,84	0,59	11,07	110,67	452,12
19	0,00	18,84	0,57	10,74	107,45	548,82
20	0,00	18,84	0,55	10,43	104,32	642,71
21	0,00	18,84	0,54	10,13	101,28	733,86
22	0,00	18,84	0,52	9,83	98,33	822,36
23	0,00	18,84	0,51	9,55	95,47	908,28
24	0,00	18,84	0,49	9,27	92,69	991,70
25	0,00	18,84	0,48	9,00	89,99	1 072,68
Suma:				4 292,84	5 365,52	1 072,68

Remiantis 5.3 lentelės apskaičiuotais rezultatais, apskaičiuota dabartinė autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos grynoji vertė:

$$PV = PVB - PVC = 5\,365,52 - 4\,292,84 = 1\,072,68 \text{ €}, \quad (5.2)$$

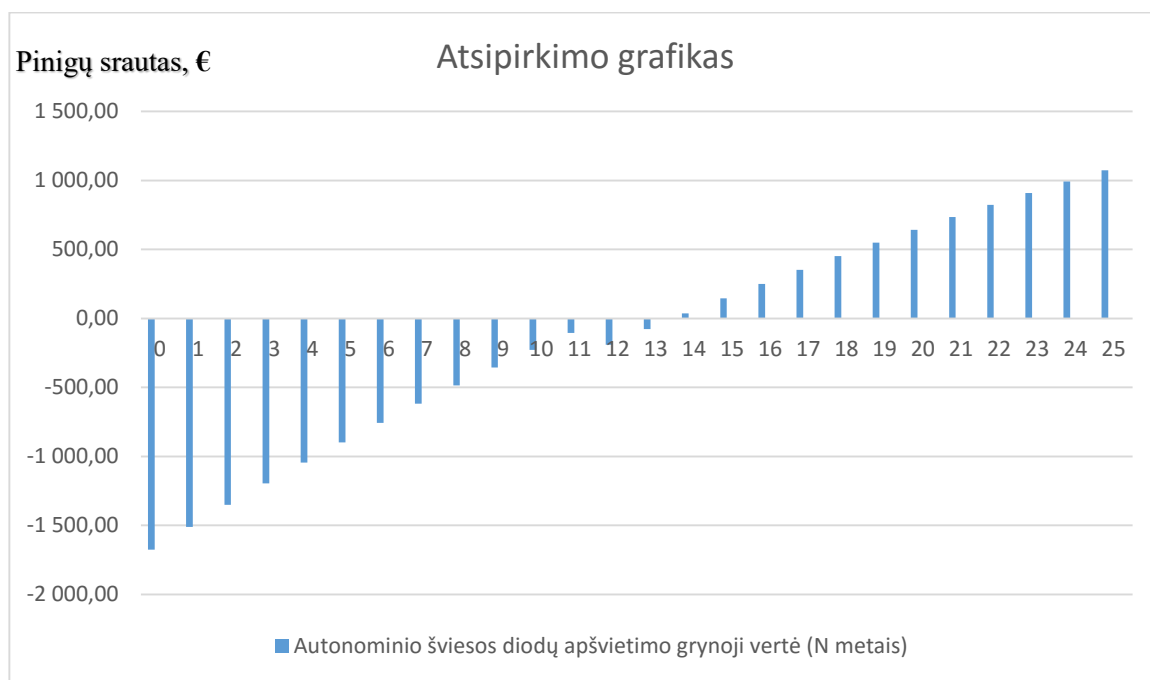
Kur: PVB – diskontuoti sutaupyti pinigai — pelnas, €;

PVC – dabartinė išlaidų vertė, €.

Taip pat, apskaičiuotas investicijų rentabilumo indeksas R :

$$R = \frac{PVB}{PVC} = \frac{5\,365,52}{4\,292,84} = 1,25. \quad (5.3)$$

Gautus pinigų srautų rezultatus iš 5.3 lentelės, atvaizduojame grafiškai (5.2 pav.)



5.2 pav. Autonominio šviesos diodų apšvietimo diskontuoto pelno srautai 25 metų laikotarpyje

Ekonominio vertinimo metu, kai DSS nutolusi nuo elektros skirstomojo tinklo 489,37 metrais, taikant diskontavimo metodą, apskaičiuota autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos dabartinė grynoji vertė yra lygi 1 072,68 €. Visa autonominė šviesos diodų apšvietimo sistema atsiperka jau 14 metais (5.3 pav). Rentabilumo indeksas po 25 metų parodo, kad tokia apšvietimo sistema atsiperka, nes $R = 1,25$ (turi būti $R > 1$).

IŠVADOS

1. Šiuolaikiniai apšvietimui skirti šviesos diodai efektyvesni ir lengviau pritaikomi nei kiti šviesos šaltiniai. Jų efektyvumas gali siekti net iki 254 lm/W. Jie yra ilgaamžiai ir veikia iki 50 000 valandų. Pasižymi aukštu spalvos atkūrimo rodikliu (CRI) — gali būti virš 90 %. Šviesos diodai turi platų spalvinės temperatūros diapozoną — nuo 2 600 K iki 6 300 K. Mažos galios šviesos diodai maitinami balastinio tipo maitinimo šaltiniais, o didelės galios šviesos diodai — impulsinio tipo maitinimo šaltiniais. Impulsinio tipo maitinimo šaltiniai yra plačiai paplitę ir naudojami dėl savo aukšto naudingumo koeficiento ir plataus panaudojimo galimybių. Tokių šviesos diodų šviestuvų charakteristikos lemia platų panaudojimo spektrą, todėl yra lengvai kombinuojamos autonominėse apšvietimo sistemose.

2. Tirta įprastinė dujų skirstymo stoties apšvietimo sistema, kurią sudaro aštuoni 70W galios Na dujų lempų šviestuvai. Juos ištyrus su modernia testavimo įranga „LabSpion“ gauta, kad Na dujų lempų apšvietimo sistemos budėjimo režime vartojamoji galia yra 340 W, o pilnos galios režime — 680 W. Tyrimo rezultatai parodė, kad ši apšvietimo sistema per metus suvartoja 1519,398 kWh elektros energijos.

3. Modeliavimo DIALux apšvietimo projektavimo programa rezultatai parodė, kad šios sistemos šviestuvai nesukoncentruoja šviesos spindulio reikiama kryptimi, dėl to visa apšvietimo sistema veikia neekonomiškai, o dujų skirstymo stoties teritoriją apšviečia tik 61 lx apšvieta.

4. Ieškant dujų skirstymo stočiai alternatyvios apšvietimo sistemos, buvo naujai sudaryta ir ištirta autonominė šviesos diodų apšvietimo sistema. Šiai apšvietimo sistemai pakanka 6 šviesos diodų šviestuvų, o jų bendra vartojamoji galia yra 222 W, o teritoriją apšviečia net 98 lx apšvieta. Mažesnis šviestuvų skaičius nei Na dujų lempų apšvietimo sistemoje, įrodo, kad apšvietimo efektyvumas priklauso ne tik nuo šviesos šaltinio tipo ar maitinimo šaltinio, bet ir nuo optikos (šviestuvų lęšių), kuri leidžia sukoncentruoti šviesos srautą į reikiamą plotą.

5. Sudarytai ir ištirtai autonominei šviesos diodų apšvietimo sistemai nereikia papildomų valdiklių, foto relių ar kitų sudėtingų valdymo blokų. Visas apšvietimo valdymo funkcijas atlieka DALI valdymo protokolą turintys šviesos diodų maitinimo šaltiniai, foto jutiklis jungiklis ir du judesio jutikliai. Apšvietimo sistema automatiškai įsijungia tik tamsiuoju paros metu ir veikia dviem režimais, budėjimo — šviečia tik 10 % visos galios, pilnos galios režimas — 100 % visos galios, dirba tik tada, kai užfiksuojamas judesio signalas. Taip valdoma apšvietimo sistema per metus suvartoja apie 146 kWh elektros energijos, t.y., 10,4 kartų mažiau nei Na dujų lempų apšvietimo sistema.

6. Apskaičiuota, kad autonominio šviesos diodų apšvietimo sistemos įrengimo kaštai yra žymiai didesni lyginant su Na dujų lempų apšvietimo sistemos įrengimo kaštais, tačiau jei dujų

skirstymo stotis nutolusi nuo elektros tinklo daugiau nei 489,4 metrais, abiejų apšvietimų sistemų įrengimo kaštai tampa lygūs — 3 759,69 €.

7. Ekonominis vertinimas atliktas taikant diskonto normą ir sumažinimo koeficientą 25 metų laikotarpiui. Apskaičiuota, kad autonominė šviesos diodų apšvietimo sistema lyginant su Na dujų lempų apšvietimo sistema atsiperka 14-tais metais. Apskaičiuotas rentabilumo indeksas $R = 1,25$. Visos autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos dabartinė grynoji vertė 1 072,68 €. Visi šie rodikliai apskaičiuoti darant prielaidą, kad DSS nutolusi nuo elektros tinklo 489,4 metrais, todėl didėjant atstumui tarp DSS ir elektros skirstomojo tinklo, šios autonominės šviesos diodų apšvietimo sistemos atsipirkimo laikas sutrumpėtų, o mažėjant atstumui — pailgėtų.

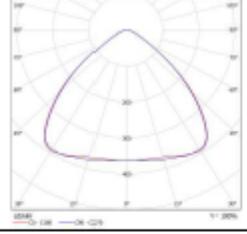
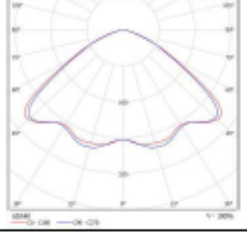
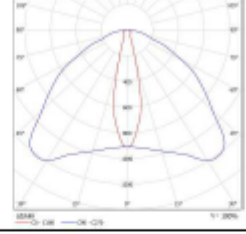
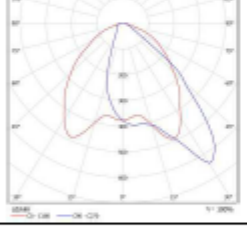
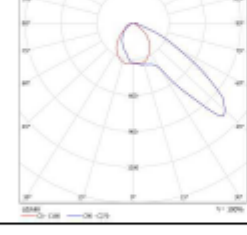
LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Juocevičius-Khiva. *Visuotinė lietuvių enciklopedija*, T. IX. *Kaitinamoji lempa*. Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, Vilnius, 2006. 156 p.
2. *UAB Northcliffe lighting, Katalogas*. Kaunas, 2016-2017. 16 – 34 p., 393 p., 413 – 414p.
3. *Lempų tipai ir apšvietimas. Įmonių straipsniai* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 18d.]. Prieiga per internetą: <https://www.de2.lt/imoniu-straipsniai/286-lemp%C5%B3-ap%C5%A1vietimas>
4. Navickas, J. *Specialioji fizika*. Vilnius: Arvida, 2008. 126 p. ISBN 978-9955-896-24-7
5. *Magistralinių dujotiekių eksploatavimo taisyklės*, patvirtinta Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2003 m. gegužės 15 d. įsakymu Nr. 4-184., Vilnius, 2003.
6. *Lietuvos higienos norma HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai*, patvirtinta Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2014 m. balandžio 30 d. įsakymu Nr. V-520. Vilnius, 2014.
7. *Šviesos diodų savybės ir sandara* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.agenta.lt/9/led-apsvietimas-norintiems-zinoti-daugiau>
8. *Edison Tech Center, LED's ir OLED's* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 18d.]. Prieiga per internetą: <http://www.edisontechcenter.org/LED.html>
9. Held, G. *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Applications* 2009. [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 18d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ifsc.usp.br/~lavfis2/BancoApostilasImagens/ApConstantePlanck/ApCtePlanck2013/Introduction%20to%20light%20emitting%20diode%20technology%20and%20applications.1420076620.pdf>
10. Coaton, J.R., Marsden, A.M., *Lamps and lighting*. Routledge, 711 Third Avenue, New York, NY 10017, USA., 2011. ISBN 978-0-415-50308-2
11. *Lumileds kompanijos leidinys*, [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. sausio 14d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lumileds.com/uploads/17/DS61-pdf>
12. Winder, S. *Power Supplies for LED Driving*. Burlington, MA 01803, USA Oxford OX2 8DP, UK., 2008. 33-149 p. ISBN: 978-0-7506-8341-8
13. *Viso Systems kompanijos testavimo įranga* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. gegužės 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.visosystems.com/products/labspion/>
14. *UAB Northcliffe Lighting duomenų bazės, gamybos cechai ir tyrimų laboratorijos*. Raudondvario pl. 101, Kaunas, 2017.

15. *LCA 60W 350- 2100 mA one4all PIR OTD maitinimo šaltinis* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tridonic.com/com/en/products/led-driver-lca-60w-one4all-c-pre-otd.asp>
16. *317M High-Bay PIR Presence/Absence Detector judesio jutiklis* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: https://www.helvar.com/media/pd/2017/20170318/317_DATASHEET_EN.pdf
17. *12 Volt Deep Cycle GEL BAT412101100 kaupiklis* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>
18. *Polikristalinio silicio saulės elemento Hyundai HiS-M260RG-BF 260 W parametrai* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Hyundai/2586/HiS-M260RG/specification-data-sheet.htmlh>
19. *Saulės elektrinės foto modulio parinkimo eigos metodika*. Sudarytoja: Miliūnė, R. Kaunas,2015.
20. *Keitiklio — įkroviklio „EasySolar 12 V 1600VA“ principinė schema* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 18 d.]. Prieiga per internetą: https://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems-EN_web.pdf
21. *Keitiklio — įkroviklio EasySolar 12 V 1600VA charakteristikos* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-EasySolar-1600VA-EN.pdf>
- Prijungimo į elektros skirstomąjį tinklą įkainiai [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 19d.]. Prieiga per internetą: <http://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/2017-metu-prijungimo-ikainiai.aspx>
22. *Elektros kainų tarifai* [interaktyvus],[žiūrėta 2017 m. gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2017-m..html>

PRIEDAI

Priedas 1. Šviesos diodų optinių lęšių spindulio formavimo fotometrines kreivės

C14724_HB-2X2-WWW	C13499_STRADA-2X2-CY	C13749_HB-2x2-O	
LS90	LS120	LS25x115	
			
C13699_STRADA-2X2-DN	C13604_STRADA-2X2-FN		
LSA1	LSA2		
			
C13299_STRADA-2X2-ME	C14116_STRADA-2X2-PX	C14896_STRADA-2X2-PXL	
LSM1	LSPR	LSPL	
