

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Darius Dervinis

LED lempų energetinio efektyvumo tyrimai

Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. L. Buivis

ŠIAULIAI, 2016

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

lekt. dr. D. Balbonas

2016 06

LED lempų energetinio efektyvumo tyrimai

Magistro darbas

Recenzentas

Šiaulių universiteto Technologijos,
fizinių ir biomedicinos mokslų fakulteto
Elektronikos ir elektros inžinerijos katedros
(parašas) lekt. A. Stuknys
2016 06

Vadovas

(parašas) doc. dr. L. Buivis
2016 06

Atliko

(parašas)
2016 06

EM-14 gr. stud.

D. Dervinis

Dervinis D. Research of LED lamps' energy efficiency: Master thesis of electrical engineering / research advisor doc. dr. L. Buivis; Šiauliai University, Faculty of Technology, Physical and Biomedical Sciences, Department of Electronics and Electrical Engineering. – Šiauliai, 2016. – 49p.

SUMMARY

The aim of master thesis - to research the LED lamps energy efficiency. The topic is relevant with regard to energy saving trends and Lithuania commitments to the EU, on the cost of electrical devices. The thesis are overview of light sources, their parameters characteristics, economics and operational indicators. Was randomly select five LED bulbs and investigated their light technical characteristics, electrical parameters and thermal losses are determined. In final work are presented measurements data and research findings.

TURINYS

IŽANGA.....	7
1. ELEKTRINIS APŠVIETIMAS.....	8
1.1. Šviesos šaltinių charakteristikos.....	9
1.2. Šviesos šaltinių rūšys	10
1.3. Šviesos šaltinių parametų palyginimas	16
2. ŠVIESOS DIODAI.....	21
2.1. Šviesos diodų istorija	21
2.2. Šviesos diodų sandara	22
2.3. Šviesos diodų savybės.....	25
2.4. Šviesos kokybė.....	25
2.5. Spalvinė temperatūrą.....	26
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	27
3.1. LED lempučių šviesotechninis tyrimas su serijiniu šviestuvu	28
3.2. LED lempų elektrinių parametų tyrimas.....	39
3.3. LED lempų šiluminių nuostolių tyrimas	43
IŠVADOS.....	48
LITERATŪRA	49

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Kaitrinių lempų galių balansas.....	13
1.2 lentelė. Liuminescencinės lempos galių balansas.....	14
1.3 lentelė. Šviesos šaltinių charakteristikos.....	15
1.4 lentelė. Šviesos šaltinių spalvos atkūrimo grupės ir panaudojimas.....	16
1.5 lentelė. 100 W kaitrinės lempučių analogai.....	17
1.6 lentelė. Lempučių eksploataavimo kaštai.....	20
3.1 lentelė. Gamintojų nurodyti LED lempučių parametrai.....	27
3.2 lentelė. Matuojamųjų plokštumų plotai.....	30
3.3 lentelė. LED lempučių Nr. 1 apšvietos matavimo rezultatai.....	31
3.4 lentelė. LED lempučių Nr. 1 bandymo rezultatai.....	34
3.5 lentelė. LED lempučių Nr. 2 bandymo rezultatai.....	35
3.6 lentelė. LED lempučių Nr. 3 bandymo rezultatai.....	36
3.7 lentelė. LED lempučių Nr. 4 bandymo rezultatai.....	37
3.8 lentelė. LED lempučių Nr. 5 bandymo rezultatai.....	38
3.9 lentelė. LED lempos Nr. 1 išmatuoti parametrai.....	39
3.10 lentelė. LED lempos Nr. 2 išmatuoti parametrai.....	40
3.11 lentelė. LED lempos Nr. 3 išmatuoti parametrai.....	41
3.12 lentelė. LED lempos Nr. 4 išmatuoti parametrai.....	41
3.13 lentelė. LED lempos Nr. 5 išmatuoti parametrai.....	42
3.14 lentelė. Temperatūros matavimų rezultatai.....	44
3.15 lentelė. Šilumos nuostolių skaičiavimo rezultatai.....	46
3.16 lentelė. Tiriamųjų LED lempų elektrinė ir šiluminė galios.....	46

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Elektromagnetinių bangų spektras.....	8
1.2 pav. Šiluminis šaltinis.....	9
1.3 pav. Liuminescenciniai šaltiniai.....	9
1.4 pav. Puslaidininkiniai šaltiniai.....	9
1.5 pav. Kaitrinių lempų pavyzdžiai.....	11
1.6 pav. Lempučių bendrųjų išlaidų kreivės.....	20
2.1 pav. Šviesos diodo sandara.....	23
3.1 pav. LED lempa Nr. 1.....	27
3.2 pav. LED lempa Nr. 2.....	27
3.3 pav. LED lempa Nr. 3.....	27
3.4 pav. LED lempa Nr. 4.....	27
3.5 pav. LED lempa Nr. 5.....	27
3.6 pav. Natrio lempos šviestuvo reflektorius.....	28
3.7 pav. Natrio lempos reflektoriaus sudaromoji.....	28
3.8 pav. Natrio lempos reflektoriaus sudaromoji (programos MATLAB vaizdas).....	29
3.9 pav. Natrio lempos sumažinto reflektoriaus sudaromoji (programos MATLAB vaizdas).....	29
3.10 pav. Apšvietos matavimo plokštuma ir matavimo taškai.....	30
3.11 pav. LED lemputės Nr. 1 šviesos stiprio sklaidos grafikas.....	34
3.12 pav. LED lemputės Nr. 2 šviesos stiprio sklaidos grafikas.....	35
3.13 pav. LED lemputės Nr. 3 šviesos stiprio sklaidos grafikas.....	36
3.14 pav. LED lemputės Nr. 4 šviesos stiprio sklaidos grafikas.....	37
3.15 pav. LED lemputės Nr. 5 šviesos stiprio sklaidos grafikas.....	38
3.16 pav. Apšvietos priklausomybių nuo įtampos kreivės.....	43
3.17 pav. Šiluminių nuostolių tyrimo stendas.....	44
3.18 pav. Temperatūros nuo laiko priklausomybės.....	45
3.19 pav. LED lempų galių pasiskirstymo grafikas.....	47

IŽANGA

Tūkstantmečius tamsoje mums švietė atvira liepsna, apie 100 metų šviesą skleidė kaitinamosios lemputės, o taupiosios kompaktinės liuminescencinės lemputės gyvuoja daugiau nei dešimtmetį. Šiai dienai namus galima apšviesti šilta ir malonia LED lempučių skleidžiama spalva. Jų energijos šaltinis yra efektyvūs diodai, o visos kitos apšvietimo rūšys netrukus gali tapti atgyvenomis.

Dabar rašomas paskutinis kaitrinių lempučių istorijos puslapis. Neliuka abejonių, kad ateities šviesos šaltiniai bus šviesos diodai (LED) – itin ryškūs ir balti LED tiesia kelią išskirtinei apšvietimo revoliucijai.

Šiuolaikiniai LED šviestuvai skleidžia šiltą ir malonią šviesą, LED produktų veikimo trukmė yra didesnė nei 25 000 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 vietoje kaitrinių lempučių gali sumažinti energijos sunaudojimą ir į aplinką išmetamo CO₂ kiekį 80 proc.

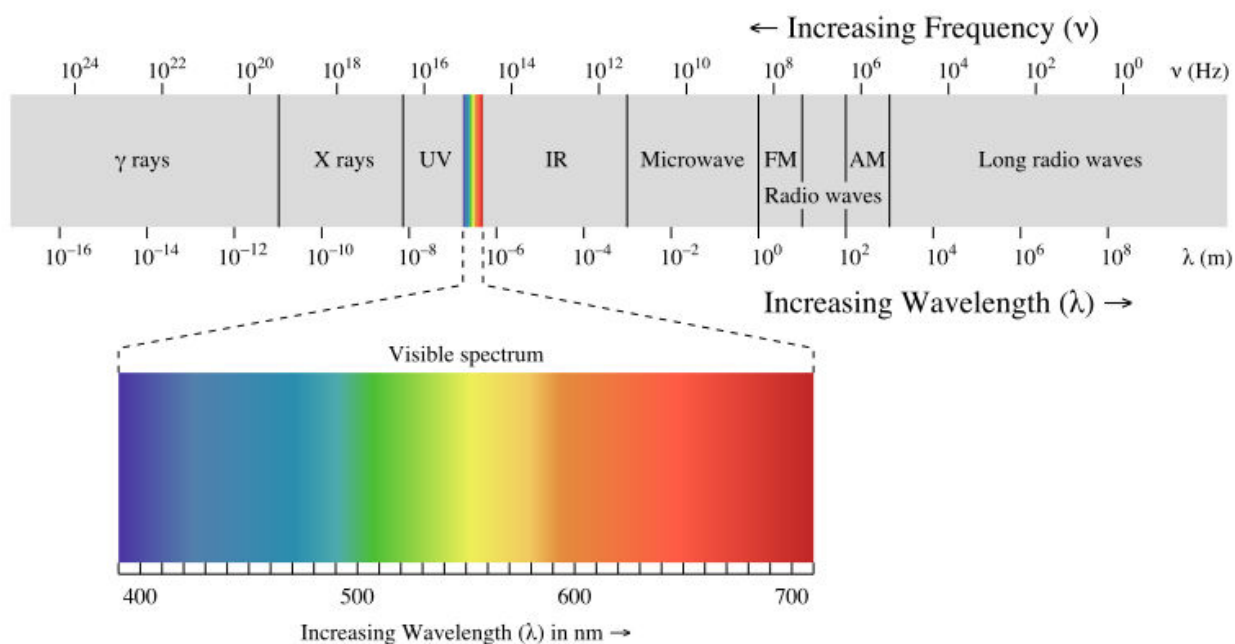
Darbo tikslas – ištirti LED lempučių energetinį efektyvumą.

Darbo uždaviniai:

1. apžvelgti rinkoje siūlomus šviesos šaltinius, juos palyginti,
2. paskaičiuoti eksploataavimo išlaidas,
3. ištrirti LED lempų šviesotechninius, elektrinius parametrus,
4. nustatyti šiluminius nuostolius.

1. ELEKTRINIS APŠVIETIMAS

Šviesa – tai elektromagnetinė spinduliuotė, kuri veikia akies tinklainę ir sukuria vaizdą. Elektromagnetinių bangų spektro ribos nuo $\sim 10^{-15}$ iki $\sim 10^4$ m. Optinę spektro dalį sudaro spinduliavimas, kurio bangos ilgis nuo $\sim 10^{-8}$ iki $\sim 3,4 \cdot 10^{-4}$ m. Skiriamas infraraudonasis ($340 \div 0,77$ μm), regimasis ($0,77 \div 0,38$ μm) ir ultravioletinis ($0,38 \div 0,01$ μm) spinduliavimas.



1.1 pav. Elektromagnetinių bangų spektras

Pagal šviesos kilmę skiriami trys apšvietimo būdai: natūralus apšvietimas (dangaus skliauto tiesioginė arba atspindėta šviesa, apšviečianti darbo patalpas), dirbtinis apšvietimas (elektros techninių įrenginių, patalpose ar lauke, skleidžiama šviesa) ir mišrus apšvietimas (suderintas natūralus ir dirbtinis apšvietimas). Natūraliojo apšvietimo spektras žmogui artimesnis, tačiau jos yra nepastovus tiek paros, tiek metų bėgyje, todėl visais atvejais papildomai įrengiamos dirbtinio apšvietimo sistemos.

380 \div 770 nm ilgio elektromagnetinių bangų spinduliavimą, žmogaus akis priima, kaip šviesą. Tai regimoji spinduliuotė. Ją siunčia kūnai, būdami kietos, skystos arba dujinės būsenos. Šių kūnų atomus atitinkamai sužadina:

- kaitinimas (įkaitęs elektros lempos kaitinimasis siūlas, dujų arba žibalinės lempos liepsna, degtuko liepsna, įkaitintas metalas);
- elektros išlydžiai dujose (išlydis metalų halogenų, neoninėje, natrio lempos);
- sugerti kitos didesnės energijos spinduliuotės spinduliai (liuminoformas fluorescencinėje arba gyvsidabrio lempos).

Žmogaus akis jautriausia spinduliavimui, kurios bangos ilgis 555 nm (geltonai žalia šviesa), ir silpniau reaguoja į didesnio arba mažesnio bangos ilgio spinduliavimą; akies jautrumas laipsniškai mažėja artėjant prie žemutinės (380 nm) arba prie viršutinės (770 nm) regimosios spinduliuotės diapazono ribos.

1.1. Šviesos šaltinių charakteristikos

Šviesos šaltiniai (optinio spinduliavimo šaltiniai) paverčia kitos rūšies energiją į optinio spinduliavimo energiją. Šios spinduliuotės bangos ilgis $10 - 10^6$ nm.

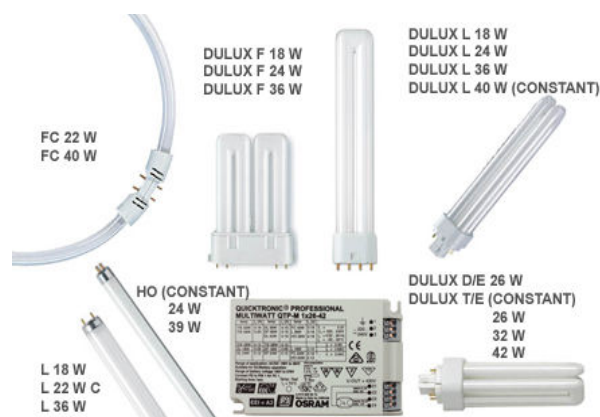
Dirbtiniam apšvietimui naudojami šviesos šaltiniai:

šiluminiai, kurių veikimas pagrįstas šiluminiu spinduliavimu. Prie šių šaltinių priskiriamos kaitrinės bei halogeninės lempos. Kaitrinių lempų panaudojimo pradinkas Tomas Alva Edisonas (angl. Thomas Alva Edison). Tiesa, išradėjas yra Henrichas Goebelis (angl. Heinrich Goebel), tačiau T. A. Edisonas komercializavo šį išradimą.



1.2 pav. Šiluminis šaltinis

liuminescenciniai (dujinio išlydžio), kurių veikimas pagrįstas liuminescencija. Pirmąsias lempas rinkai 1936 m. pasiūlė vokiečių firma „Osram“ ir prancūzų firma „Claude“. Prie šio tipo šaltinių priskiriamos ir didžiaslėgės išlydžio lempos, tokios kaip gyvsidabrio, metalų halogenų ir natrio.



1.3 pav. Liuminescenciniai šaltiniai

puslaidininkiniai, spinduliuotė gaunama per p-n sandūrą tekant elektros srovei, aktyvioje šios sandūros terpėje spinduliniu būdu rekombinuojant nepusiausvyriesiems krūvininkams. 1962 metais amerikietis Nikas Holonjakas (angl. Nick Holonyak) sukūrė pirmąjį LED, skleidžiantį žmogaus akiai matomą raudoną šviesą. Šiek tiek vėliau, buvo atrasti ir kito spektro spalvų šviesos diodai. Tik 1995 metais buvo pagaminta pirmoji baltai šviečianti lempa.



1.4 pav. Pusalaidininkiniai šaltiniai

Įvairių šviesos šaltinių apibūdinimui yra išskiriami šie pagrindiniai parametrai:

elektriniai:	maitinimo įtampa U (V), elektrinė galia P (mW, W, kW), srovė I (A) ir jos rūšis (nuolatinė, kintama, srovės dažnis);
šviesiniai:	šviesos srautas Φ (lm), šviesos stipris I (cd), skaistis L (cd/m ²), spinduliavimo spektras: spalvinė temperatūra T_C (K), spalvų atgavos indeksas R_a ;
eksploataciniai:	šviesos šaltinio veiksmingumas $\eta = \Phi/P$ (lm/W), eksploatacijos trukmė (h);
konstrukciniai:	lempos forma ir matmenys (mm), kolbos (paviršių) optinės savybės (matinis, veidrodinis ir t.t.), lempos cokolis, lempos darbo padėtis.

Šiuos parametrus ateityje panaudosime apibūdinant šviesos šaltinius.

1.2. Šviesos šaltinių rūšys

Šiluminiai šaltiniai:

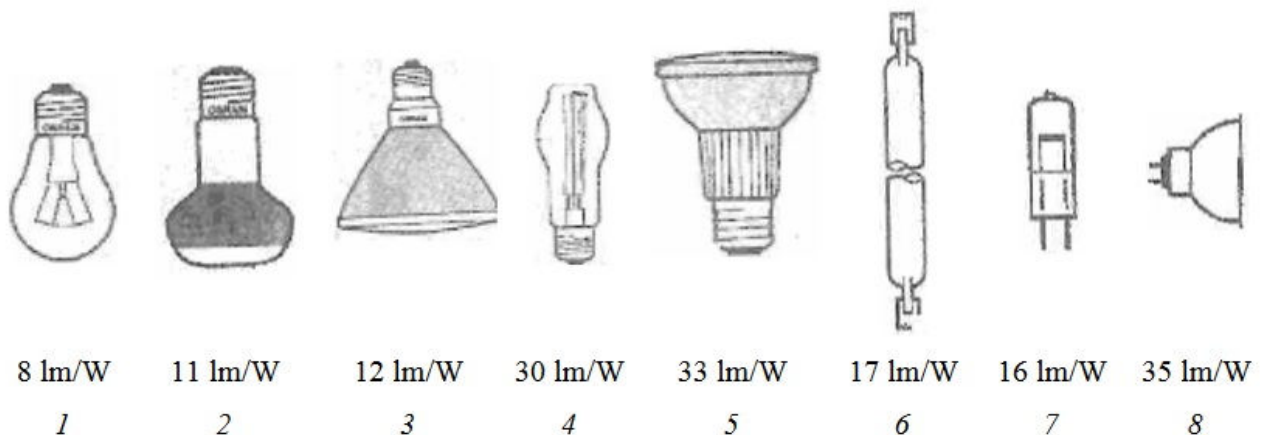
Kaitrinės (kaitinamosios) lempos. Šio tipo šviesos šaltiniai, dažnai naudojami namų apyvokoje. Šviesą skleidžia įkaitęs volframo siūlelis, kurį iki aukštos temperatūros įkaitina juo tekanti elektros srovė. Deguonis greitai suardytų tiek įkaitusį siūlelį, todėl šis apgaubiamas stikliniu gaubtu (kolba), kuriame dažniausiai esti vakuumas arba praretintos inertinės dujos. Dujos slopina siūlelio metalo garavimą, todėl tokia lemputė tarnauja ilgiau. Dažniausiai naudojamos dujos – kriptonas, argonas ar ksenonas. Inertinių dujų pripildytos kaitinamosios lempos, volframo garavimą sumažina, tačiau jo nepanaikina, todėl volframo dalelės neišvengiamai nusėda ant lempos sienelių, mažindamos šviesos srautą. Šio proceso neigiamų rezultatų pašalinimui pradėtas naudoti taip vadinamas halogeninis ciklas – pridėjus į inertines dujas tam tikrų priedų, sudaromos sąlygos vyksti fiziniams – cheminėms reakcijoms, kurių metu ant sienelių nusėdęs volframas gražinamas atgal ant siūlelio. Tai leidžia padidinti siūlelio temperatūrą, tuo pačiu padidėja šviesinis veiksmingumas. Bendros paskirties kaitrinių lempų spalvinė temperatūra – 2700 K, šviesinis veiksmingumas 7-20 lm/W, spalvos atkūrimo indeksas $R_a=100$.

Prie kaitrinių lempų priskiriamos ir halogeninės lempos. Šių lempų kolbos viduje yra halogenas, dažniausiai jodas. Volframo dalelės, išlekiančios iš kaitinamojo siūlo, susijungia su halogenu ir nenusėda ant kolbos. Jei lakus volframo su halogenu junginys (jei halogenas jodas, tai šis junginys jodidas), priartėja visai arti kaitinamojo siūlo, tai veikiant aukštai temperatūrai, vėl suskyla į volframą ir halogeną. Tada volframo dalelės gali nusėsti ant kaitinamojo siūlo, o jei nutolsta, tai visas ciklas kartojasi. Halogeninės lempos veikimo laikas nėra neribotas, nes šiek tiek volframo nusėda ant kolbos paviršiaus, be to, volframas nebūtinai grįžta į siūlo susiaurėjimo vietas, iš kurių intensyviausiai sublimuoja. Halogeninės lempos gaminamos žemos įtampos (12 V arba 24 V), kurių galia 10-50 W. Taip pat būna ir 230 V, jų galia 60-500 W. Jų šviesinis veiksmingumas 25-45 lm/W, spalvinė temperatūra – 3000 K, spalvos atkūrimo indeksas Ra – 100.

Technologiniams reikalams (televizija, kinas) naudojamos halogeninės lempos, kurių galia siekia net iki 20 kW, spalvinė temperatūra 3200-3400 K. Kaitinamosios lempas galima suskirstyti į tokias grupes:

1. klasikinės,
2. reflektorinės,
3. parabolinės,
4. halogeninės,
5. halogeninės su paraboliniu reflektoriumi,
6. vamzdelinės halogeninės,
7. žemos įtampos halogeninės,
8. žemos įtampos halogeninės su reflektoriumi.

Kaitrinių lempų pavyzdžiai pateikti 1.4 pav., kuriame pagal katalogų duomenis nurodyti orientaciniai koeficientai, nusakantys jų šviesinį veiksmingumą (lm/W).



1.5 pav. Kaitrinių lempų pavyzdžiai

Tarnavimo laikas, šios grupės lempų, labai priklauso nuo jų konstrukcijos. Žinyuose nurodomos kaitrinių lempų tarnavimo trukmės tokios:

- Klasikinių, reflektorinių ir parabolinių 230 V įtampos – 1000 val,
- 230 V halogeninių, halogeninių su paraboliniu reflektoriumi ir vamzdelinių – 2000h,
- 12 V paprastų halogeninių – 3000h,
- 12 V halogeninių su reflektoriumi – 4000h.

Pagrindiniai kaitrinių lempų parametrai:

Elektriniai:

- lempos galia: 30 mW – 20 kW
- lempos įtampa: 1 – 380 V

Šviesiniai:

- skaitis siekia keletą Mcd/m²
- spalvinė temperatūra apie 100 K didesnė už volframo temperatūrą
- spalvų perdavimo indeksas R_a: 100
- standartinė eksploatacijos trukmė: 1000 val.

Kaitrinių lempučių priklausomybė nuo įtampos ir volframo temperatūros:

$$\frac{P}{P_N} = \left(\frac{U}{U_N}\right)^{1,6} = \left(\frac{T}{T_N}\right)^{4,8} \quad (1.1)$$

$$\frac{\Phi}{\Phi_N} = \left(\frac{U}{U_N}\right)^{3,6} = \left(\frac{T}{T_N}\right)^{10,8} \quad (1.2)$$

$$\frac{\tau}{\tau_N} = \left(\frac{U}{U_N}\right)^{-13} = \left(\frac{T}{T_N}\right)^{-40} \quad (1.3)$$

$$\frac{\eta}{\eta_N} = \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 = \left(\frac{T}{T_N}\right)^6 \quad (1.4)$$

čia,

P – lempos galia,

Φ – lempos šviesos srautas,

τ – lempos eksploatacijos trukmė,

η – lempos šviesos našumas,

N – nominalus parametras.

1.1 lentelėje pateikta lentelė, kurioje priklausomai nuo to, kokiomis dujomis užpildyta, kaitrinės lempuotės kolba, nurodomas galių balanso pasiskirstymas.

1.1 lentelė

Kaitrinių lempų galių balansas

Sudėtis	%			
	Vakuuminė	Spiralinė argono	Dvispiralinė argono	Dvispiralinė kriptono
Matoma spinduliuotė	7	10	12	13
Nematoma spinduliuotė	91	68	74	76
Elektrodų ir laikiklių šildymas	2	3	2	2
Dujų išlydis	0	19	12	9

Liuminescenciniai (dujinio išlydžio) šaltiniai:

Liuminescencinės lempos. Liuminescencinė lempa – tai žemo slėgio gyvsidabrio garų lempa. Ją sudaro stiklinis vamzdelis, kurio vidus padengtas liuminoformo miltelių sluoksniu. Išsiurbus orą, vamzdelis užpildomas inertinėmis dujomis (dažniausiai argonu), kurių slėgis būna apie 400 Pa. Vamzdelyje yra sočiųjų gyvsidabrio garų, kurių slėgis lempai degant sudaro apie 1 Pa, t.y. keturiems šimtams argono atomų tenka vienas gyvsidabrio atomas. Šioje lemposje liuminoformo dalelės, sužadintos ultravioletinės spinduliuotės, skleidžia mažesnės energijos ir didesnio bangos ilgio – regimąją spinduliuotę. Parenkant cheminę liuminoformo sudėtį, gaunama pageidaujama liuminescencinės lempos šviesos spalva: dienišė, balta, švelniai balta, apelsinišė, žalsva.

Išlydžiui dujose būdinga tai, kad didėjant srovei, mažėja įtampa, reikalinga išlydžiui palaikyti, kitaip tariant, krinta įtampa lemposje. Jei dėl kurios nors priežasties tekanti srovė padidėtų, tai ji imtų didėti kaskart labiau, nes tolydžio vis didėtų maitinimo įtampos perteklius, palyginti su įtampos kritimu lemposje. Kyla grėsmė lempą visiškai sugadinti. Norint to išvengti, išlydžio lempa prijungiama prie elektros tinklo ne tiesiogiai, bet nuosekliai per elementą stabilizatorių arba sudėtingą sistemą, ribojančią srovės dydį.

Palyginti su kitomis lempomis, išlydžio lanko temperatūra liuminescencinėje lemposje yra labai žema ir todėl paprastosios liuminescencinės lempos šviesos srautas labai priklauso nuo aplinkos temperatūros.

1.2 lentelėje pateikta lentelė, kurioje nurodomas galių balanso pasiskirstymas, liuminescencinėje lemposje.

Liuminescencinės lempų galių balansas

Sudedamoji dalis	Procentai
Matomas spinduliavimas	27,5
Šiluminiai nuostoliai	72
Ultravioletiniai spinduliai	0,5

Liuminescencinių lempų pagrindiniai parametrai:

Elektriniai:

- Lempos galia: 5 W – 65 W
- Lempos įtampa: apie tinklo įtampa.

Šviesiniai:

- spalvinė temperatūra: 2700-6500 K
- spalvų perdavimo indeksas: 85-95

Kiti:

- Šviesos našumas: 40-90 lm/W
- Eksploatacijos trukmė: 5000-15000 val.

Gyvsidabrio lempos. Gyvsidabrio lempa aukšto slėgio. Joje elektros išlydis vyksta gyvsidabrio garuose, kurių slėgis apie 10 Pa, o temperatūra 600÷750°C. Elektronų susidūrimų su gyvsidabrio atomais energija čia mažesnė negu liuminescencinėje lemposje, o išlydis yra ne tik UV, bet ir regimosios spinduliuotės šaltinis. Vis dėlto gyvsidabrio lempos kolba padengta liuminoformu, kad pataisytų šviesos spalvą, kuri be jo būtų melsva.

Liuminoforas pagerina gyvsidabrio lempos šviesos spalvą, bet negaunama balta spalva kaip liuminescencinėje lemposje. Šviesos spektre trūksta spinduliavimo, kurio bangos ilgis atitiktų kai kurias spalvas, ypač raudoną. Šį trūkumą švelnina gyvsidabrio lempos su liuminoformu, kurio sudėtyje yra europio.

Kaitinamoji gyvsidabrio lempa. Joje stabilizatorių atstoja kaitinamasis siūlas, sujungtas su degikliu. Jos šviesos spalva geresnė, nes kaitinamasis siūlas suteikia raudonumo, kurio trūksta spinduliuojant degikliui, o dėl degiklio šiluminio inertiškumo šviesa pulsuoja daug silpniau.

Metalų halogeninės lempos. Metalų halogeninė lempa – aukšto slėgio, plataus spinduliavimo spektro gyvsidabrio lempa, kurios degiklyje, be gyvsidabrio ir argono, esama kitų metalų. Jie įvedami halogenidų (jodidų) pavidalu. Aukštoje išlydžio lanko temperatūroje halogenidai disocijuoja (suskyla) ir sužadinti laisvieji metalų atomai papildo spektrą tiems metalams būdingomis linijomis. Halogenai yra elektriškai neigiami, t.y. lengvai sugeria laisvuosius elektronus

ir tai trukdo lempai užsidegti. Paplitusios ir metalų halogeninės lempos be liuminofo su dienos šviesai artimu spektru, joms šviečiant galima gerai skirti spalvas.

Žemo slėgio natrio lempos. Žemo slėgio natrio lempos vyksta išlydis natrio garuose, kurių slėgis apie 1 Pa, temperatūra apie 300° C. Lempa skleidžia gelsvą, apelsininę, dienos spalvos šviesą, į kurią akis reaguoja labai jautriai, ir todėl pasižymi rekordiniu šviesos efektyvumu. Lempa turi ir rimtų trūkumų: šalta lempa pasiekia maksimalų šviesos srautą vidutiniškai praėjus 10 min. Po įjungimo, o vienos spalvos šviesa netiksliai atkuria daiktų spalvas.

Aukšto slėgio natrio lempos. Šviesos elementas yra stiklinis vamzdelis, kuriame esama natrio ir šiek tiek inertinių dujų. Aukšto slėgio natrio lempos vyksta išlydis natrio garuose, kurių slėgis 104÷105 Pa ir temperatūra apie 750°C. Natrius įvedamas į degiklį amalgamato arba lydinio su gyvsidabriu pavidalu. Neveikiančioje lemposje natrius yra kietoje būsenoje. Įjungta lempa kuri laiką šviečia blausia rausva šviesa. Natriui lempos viduje virtus garais, ji išsižiebia visa galia. Šis vamzdelis apgaubiamas išoriniu stiklo gaubtu kuris gerai praleidžia matomą šviesą bet sulaiko infraraudonuosius spindulius. Natrio lempos galia gali būti nuo 10 iki keletos šimtų vatų.

1.3 lentelėje pateikiamos apibendrintos šviesos šaltinių charakteristikos.

1.3 lentelė

Šviesos šaltinių charakteristikos

Šviesos šaltinis	Nominalus galingumas P, W	Šviesos srautas Φ , lm	Efektyvumas η , lm/W	Tarnavimo laikas, val.	Spalvinė temperatūra, °K	R _a *
Kaitinamoji paprasta lempa	0,3 - 20000	120 - 40000	7 - 20	1000 - 1500	2700	100
Kaitinamoji halogeninė lempa	10 - 2000	120 - 5200	12 - 26	2000 - 3500	3000	100
Kompaktinė liuminescencinė lempa	5 - 30	200 - 2000	40 - 90	4000 - 14000	2700 - 6500	85 - 95
Vamzdelinė liuminescencinė lempa	10 - 65	150 - 13500	40 - 100	5000 - 18000	2700 - 6500	85 - 100
Gyvsidabrio kaitinamos lempos	100 - 1000	1700 - 31000	17 - 31	1000 - 3000	3300 - 4000	60 - 80
Gyvsidabrio lempos	50 - 2000	1750 - 120000	36 - 60	5000 - 10000	3300 - 4000	60
Metalų halogenų lempa	35 - 2000	2100 - 200000	60 - 100	2000 - 10000	3000 - 6000	60 - 80
Žemo slėgio natrio lempos	18 - 200	1800 - 40000	100 - 200	5000 - 8000	2200	< 35
Aukšto slėgio natrio lempos	35 - 1000	1400 - 140000	40 - 140	4000 - 10000	2000 - 3000	< 35
LED lempos	0,4 - 150	100 - 10000	40 - 303	25000 - 50000	2300 - 6000	70-90

* -1.4 lentelėje pateikta, lempų pritaikymas pagal spalvos atgavos indeksą (R_a)

Šviesos šaltinių spalvos atkūrimo grupės ir panaudojimas

Spalvų perteikimo grupė	Spalvų atkūrimo indeksas R_a , %	Tipinis pritaikymas	Vertinimas
1A	$100 \geq R_a \geq 90$	Kur reikalingas tikslus spalvų derinimas, pvz., spalvų atspausdinimo įvertinimui, audinių sukirpimas, dažų maišymo patalpose.	Puikus
1B	$90 \geq R_a \geq 80$	Kur reikalinga spręsti apie spalvas ar kur reikalaujamas geras spalvų perteikimas, pvz., parduotuvės ar kitos komercinės įstaigos.	Geras
2	$80 \geq R_a \geq 60$	Kur reikalaujamas vidutinis spalvų perteikimas, pvz., didelės pramoninės erdvės.	Vidutinis
3	$60 \geq R_a \geq 40$	Kur spalvų perteikimas turi prasmę, bet spalvų iškraipymai galimi.	Prastas
4	$40 \geq R_a \geq 20$	Kur spalvų perteikimas neturi reikšmės ir yra leidžiami spalvų iškraipymai, pvz., fasadu ar gatvių apšvietimas.	Blogas

1.3. Šviesos šaltinių parametrų palyginimas

Svarbiausi kriterijus lyginant šviesos šaltinius yra energetinis efektyvumas – kuo mažesnis lemputės galinumas išgaunant tą patį šviesos srauto intensyvumą (matuojama liumenais), tuo labiau taupoma energija. Ne ką mažiau svarbus parametras – ilgaamžiškumas. Kai kurios taupiosios kompaktinės liuminescencinės lemputės, skirtingai nuo LED lempučių, ne iš karto po įjungimo pasiekia šviesos maksimumą – turi praeiti nuo kelių iki keliolikos sekundžių, kol jos ima šviesti maksimaliu šviesos srautu. Tai nelabai patogiu tose vietose, kur šviesa įjungama labai dažnai ir trumpam. Dažnas perjunginėjimas, kai kurioms kompaktinės liuminescencinės lemputėms labai stipriai mažina ilgaamžiškumą. LED lemputės pasiekia maksimalų efektyvumą iškart po įjungimo, o dažnas įjungimų skaičius neįtakoja ilgaamžiškumo.

Dar vienas svarbus parametras – šviesos spalvą. Apšvietimo technologijoje balta spalva apibūdinama vadinamąja spalvine temperatūra (matuojama kelvinais), kuri paprastai nurodoma ant lempos pakuotės. Dienos šviesos lempų spalvinė temperatūra yra 4000-4500 K, „šaltai baltų“ – 5700–7000 K, „šiltai baltų“ – 2700–3500 K. Kuo aukštesnė spalvinė temperatūra, tuo daugiau spektre yra mėlynos komponentės ir mažiau – raudonos. Olandų mokslininkas A. A. Kruithofas dar 1941 m. nustatė ryšį tarp spalvinės temperatūros ir regimojo komforto – kuo stipresnis aplinkos apšvietumas, tuo aukštesnės spalvinės temperatūros reikia, kad apšvietimas būtų malonus akiai.

Netinkamai pasirinkus spalvinę temperatūrą, pavyzdžiui, nuosaikiam būsto apšvietimui naudojant „šaltai baltus“ šaltinius, jaučiamas diskomfortas – šviesa atrodo melsva.

Sudarome 1.5 lentelę, palyginti 100 W kaitrinę lempuotę su analogiško šviesos srauto šviesos šaltiniais.

1.5 lentelė

100 W kaitrinės lempuotės analogai

Parametras	Kaitrinės lempuotės	Kompaktinės liuminescencinės lempuotės	LED lempuotės
Galingumas, W	100	25	10
Vidutinis tarnavimo laikas, h.	1000	10000	40000
Laikas iki pilno šviesos srauto	Iš karto	Šiek tiek vėluoja	Iš karto
Dažni įjunginėjimai	Mažai kenkia	Trumpina tarnavimo laiką	Nekenkia
Toksiškos medžiagos	Nėra	Gyvsidabris	Nėra
Šviesos spalva	„Šiltai“ skaidri spalva	Nuo „šaltos“ iki „šiltos“ matinės spalvos	Nuo „šaltos“ iki „šiltos“ skaidrios spalvos
Spalvos temperatūrų diapazonas, K	2700 – 3000	2700 – 6500	2700 – 7000
Vidutinė kaina, €	0,5	4	6

Visais atžvilgiais, išskyrus kainą, pirmauja LED technologijų lempuotė. LED lempuotės labai taupios, ilgaamžės, nebijančios dažnų perjunginėjimų neturinčios kenksmingų medžiagų ir galinčios skleisti labai įvairią spalvinę temperatūrą.

Paskaičiuokime elektros energijos sąnaudas, kai eksploatuojama, kaitrinė 100 W lempuotė, 3 valandas per parą.

Elektros energijos suvartojimas per mėnesį apskaičiuojamas:

$$W = P_n \cdot t_p \cdot d, \quad (1.5)$$

čia,

W – suvartojama elektros energija per mėnesį, kWh,

P_n – lempos nominali galia, W,

t_p – naudojimo trukmė per parą, val.,

d – dienų skaičius.

$$W_{kair.} = 0,1 \cdot 3 \cdot 30 = 9 \text{ kWh},$$

Išlaidos elektros energijai per mėnesį:

$$K = W \cdot k, \quad (1.6)$$

čia,

K – išlaidos elektros energijai per mėnesį, €,

W – suvartojama elektros energija per mėnesį, kWh,

k – elektros energijos tarifas, €/kWh (šiuo metu pagal vienos laiko zonos tarifą 0,127 €/kWh)

$$K_{kair.} = 9 \cdot 0,127 = 1,143 \text{ €}.$$

Per 10 metų 137,16 €.

Paskaičiuojame taupiosios liuminescencinės lempos sąnaudas. Pagal gamintojų aprašymus, 100 W kaitrinę lempuotę, atitinka 25 W taupioji kompaktinė liuminescencinė lempuotė. Taigi, skaičiuotėje naudosime 25 W taupiosios liuminescencinės lempos galią.

Elektros energijos suvartojimas per mėnesį:

$$W_{lium.} = 0,025 \cdot 3 \cdot 30 = 2,25 \text{ kWh}$$

$$K_{lium.} = 2,25 \cdot 0,127 = 0,288 \text{ €}.$$

Per 10 metų 34,56 €.

Analogiškai, paskaičiuojame LED lempos sąnaudas. Pagal gamintojų aprašymus, 100 W kaitrinę lempuotę, atitinka 10 W LED lempuotė.

Elektros energijos suvartojimas per mėnesį:

$$W_{LED} = 0,01 \cdot 3 \cdot 30 = 0,9 \text{ kWh}$$

$$K_{LED} = 0,9 \cdot 0,127 = 0,114 \text{ €}.$$

Per 10 metų 13,68 €.

Paskaičiuokime, kiek per 10 metų prireiks kaitrinių, liuminescencinių ir LED lempučių, naudojant 3 valandas per parą. Tarnavimo laikas įvertintas, el. tinklui dirbant idealiu režimu.

Vidutiniai tarnavimo laikai:

- Kaitrinių lempų – 1000 val.,
- Kompaktinių liuminescencinių lempų – 10000 val.,
- LED lempų – 40000 val.

Reikalingas lempučių kiekis per 10 metų, apskaičiuojamas:

$$C = \frac{t_M}{\frac{t_l}{t_n}}, \quad (1.7)$$

čia,

C – reikalingas lempučių skaičius per 10 metų, vnt.,

t_M – skaičiuojamasis laikotarpis, dienomis,

t_l – lempos tarnavimo laikas, val.,

t_n – lempos eksploatavimo laikas per parą, val.,

$$C_{kair.} = \frac{3650}{\frac{1000}{3}} \approx 11 \text{ vnt.}$$

Išlaidos lemputėms per 10 metų:

$$K_{kair.} = C \cdot Z, \quad (1.8)$$

čia,

C – reikalingas lempučių skaičius per 10 metų, vnt.,

Z – vienos lemputės kaina, €.

$$K_{kair.} = 11 \cdot 0,5 = 5,5 \text{ €.}$$

Analogiškai paskaičiuoju kompaktinių liuminescencinių lempų kiekį ir kainą:

$$C_{lium.} = \frac{3650}{\frac{10000}{3}} \approx 2 \text{ vnt.}$$

$$K_{lium.} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ €.}$$

Paskaičiuoju LED lempų kiekį ir kainą:

$$C_{LED} = \frac{3650}{\frac{40000}{3}} \approx 1 \text{ vnt.}$$

$$K_{LED} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ €.}$$

Išlaidos per 10 mėnesių, sudėjus suvartotos energijos ir lempučių kainas:

- Kaitrinių – 142,66 €
- Kompaktinių liuminescencinių – 42,56 €
- LED – 19,68 €

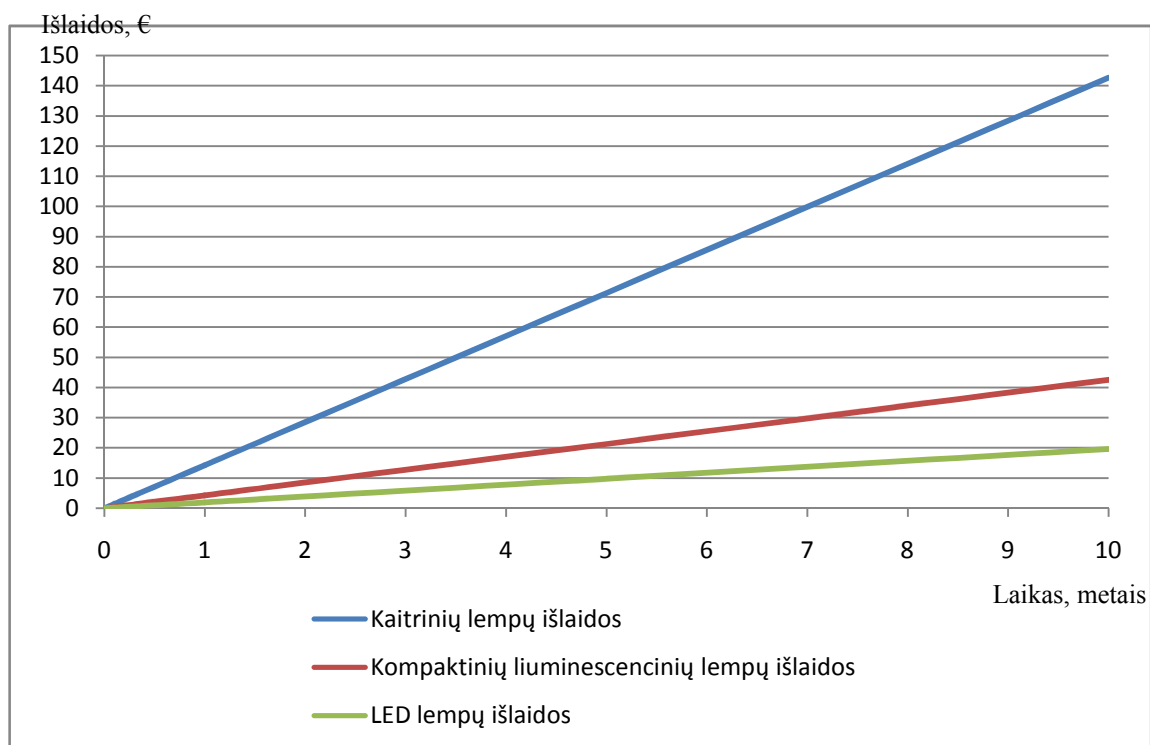
Sudarome apibendrintą 1.6 lentelę:

1.6 lentelė

Lempučių eksploatavimo kaštai

Lempučių tipas	Išlaidos per 10 metų, €			Išlaidos per 1 metus, €		
	Lempučių	Suvaltos energijos	Bendros	Lempučių	Suvaltos energijos	Bendros
Kaitrinės lempučių 100 W	5,5	137,16	142,66	0,55	13,72	14,27
Kompaktinės liuminescencinės lempučių 25 W	8	34,56	42,56	0,80	3,46	4,26
LED lempučių 10 W	6	13,68	19,68	0,60	1,37	1,97

1.6 paveiksle sudarome, lempučių bendrą išlaidų grafiką.



1.6 pav. Lempučių bendrųjų išlaidų kreivės

Iš 1.6 paveikslėlyje, pateikto grafiko, matyti, kad jau pirmaisiais metais, mažiausi eksploatacijos kaštai yra LED lempučių, didžiausi – kaitrinių lempučių. LED lempučių eksploatacinės išlaidos, lyginant su kaitrine, mažesnės 86 %, o lyginant su kompaktine liuminescencine lempučių – 54 % mažesnės.

2. ŠVIESOS DIODAI

Šviesos diodas (angl. LED – Light Emitting Diode) – diodas, kurio sandara pritaikyta šviesai skleisti. Srovei tekant tiesiogine kryptimi, šio diodo p-n sandūra šviečia beveik vieno bangos ilgio (monochromatine) šviesa. Šiuo metu pagaminama diodų įvairiems bangų ilgiams (nuo infraraudonosios iki ultravioletinės šviesos).

Šviesos diodui reikia maždaug 20 mA, kad jis šviestų pilnu ryškumu, tačiau esant ir 5 mA galima matyti švytėjimą.

Patalpinus keletą tokių diodų viename korpuse, gaunama ir ne monochromatinė šviesa. Atskirai reguliuojant viename korpuse esančiais diodais tekančią srovę, galima sklandžiai keisti šviesos spalvą. Paprasto diodo kristalas irgi šiek tiek šviečia akiai nematoma infraraudonąja šviesa. Balti šviesos diodai dažniausiai gaminami naudojant mėlynus šviesos diodus ir pridėdant liuminofo, kuris sužadinas mėlyna šviesa ir generuoja likusias spalvas kurios susimaišiusios duoda baltą šviesą. Šis procesas vadinamas fluorescencija.

Skirtingai nuo paprastos lemputės, kuriai įkaisti reikia laiko, šviesos diodas gali įsižiebtį ir užgesti daugelį tūkstančių kartų per sekundę, todėl šviesos diodo ir fotodiodo pora tinka duomenims bei komandoms (pavyzdžiui, iš mobilaus telefono į kompiuterį, iš televizoriaus nuotolinio valdymo pulto į televizorių) perduoti. Daugelis šviesos diodų neblogai dirba ir kaip fotodiodai, todėl kai kuriose abiem kryptim informaciją perduodančiose sistemose signalą siunčia ir priima tas pats elementas. Panaudojus šviesą fokusuojančius lęšius, skaidriu oru toks ryšys gali veikti net kelių kilometrų atstumu. Kitais atvejais šviesos diodas ir fotodiodas iškart pagaminami viename korpuse, sukuriant naujo tipo prietaisą – optroną.

Daugelį šviesos diodų galima sujungti į ekraną. Jei naudojami visų trijų pagrindinių (raudona, žalia, mėlyna) spalvų diodai, toks ekranas gali rodyti ir spalvotą vaizdą. Kitais atvejais šviesos diodų paketas gali būti naudojamas kaip daug ekonomiškesnis, patvaresnis ir ilgaamžiškesnis įprastinės kaitinamosios elektros lemputės pakaitalas.

2.1. Šviesos diodų istorija

1907 m. – britų inžinierius Henris Josefus Roundas išranda šviesos diodus H. J. Roundas atranda, kaip iš diodo išgauti elektroliuminescenciją.

1927 m. – rusų kilmės, oficialiai be išsilavinimo, Olegas Losevas išbandė LED savybes su puslaidininkiais Remdamasis Henrio Josefo Roundo atradimais, O. Losevas žengia dar toliau. Jis pastebi, kad radijo aparato kristaliniai diodai švyti, kai yra stimuliuojami elektros srove.

1947 m. – išrandamas tranzistorius. Šis išradimas – tai neįtikėtina pažanga puslaidininkių fizikoje. Tranzistoriai apdorojami kaip mažytės integrinės schemos, arba mikrolustai, ir naudojami kiekviename šviesos diode.

1962 m. – sukuriamas pirmasis praktikoje pritaikomas šviesos diodas. Bendrovės „General Electric“ inžinierius Nickas Holonyakas Jaunesnysis, Amerikoje, suprojektuoja pirmą regimojo bangos ilgio (raudoną) šviesos diodą.

1978 m. – LED pasirodo rinkoje. Įvairiems elektroniniams prietaisams skirtų šviesos diodų komercinę gamybą pradeda IBM, „Hewlett Packard“, „Texas Instruments“ ir kitos bendrovės.

1993 m. – išrandami didelio ryškumo mėlyni šviesos diodai. Profesorius Shuji Nakamura į LED spalvų spektrą įtraukia mėlyną spalvą. Tai leidžia netrukus sukurti baltos šviesos diodą. Už šį išradimą S. Nakamura kartu su kolegomis 2014 metais apdovanojamas Nobelio premija.

2008 m. – gruodžio 8 d. Europos Sąjungos valstybės narės sutaria laipsniškai atsisakyti kaitinamųjų lempų, kurias artimoje ateityje turėtų pakeisti energiją taupantys šviesos dioda.

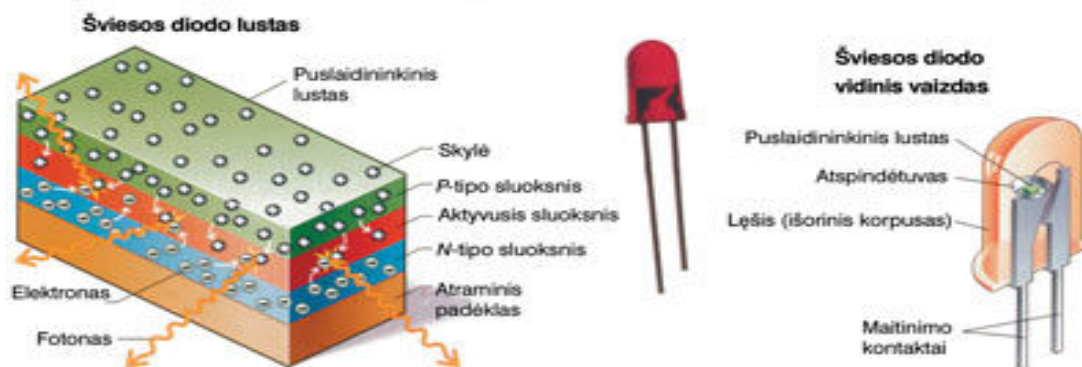
2014 m. – kovo 26 d. pasiekiamas 303 lm/W šviesos srautas „Cree, Inc.“ žengia dar vieną reikšmingą žingsnį – pademonstruoja didelės galios baltą šviesos diodą, kuris skleidžia 300 liumenu vatui (lm/W) šviesos srautą. Šis išradimas pristatomas prabėgus vos metams nuo paskutiniojo „Cree“ užfiksuoto rekordo – 275 lm/W.

2016 m. – Šiuo metu LED užima apytikriai 25 % apšvietimo rinkos. Gatvių lempos keičiamos ryškiai balta diodų šviesa. Organinių šviesos diodų (angl. Organic Light Emitting Diode, OLED) vis daugiau pasiūloma rinkoje. Tyrėjai pradėjo naudoti OLED technologiją kurdami ištisus šviesos lakštus. OLED diodai naudojami kuriant aukštos raiškos televizorius.

2020 m. (numatoma) – pramonės apžvalgininkai prognozuoja, kad 2020 m. LED apšvietimo rinkos užims apie 70 %. Gali būti, kad ateityje šviesos šaltiniais taps sienos ir lubos.

2.2. Šviesos diodų sandara

Tipinis šviesos diodas būna bespalvis, skaidrus, cilindro formos bumbuliukas, kurio skersmuo yra maždaug apie 5 mm, o ilgis - apie 8 mm. Į šviesos diodą padavus įtampą ir atidžiai įsižiūrėjus, galima pamatyti per jo pagrindą einančią vielą ir kažką, kas primena miniatiūrišką taurelę. Ši taurelė – reflektorius, kuriame yra maždaug smėlio kruopelės dydžio puslaidininkinis lustas. Šis lustas ir yra šviesos diodo, šviesą skleidžiantis elementas.



2.1 pav. Šviesos diodo sandara

Lusto viduje yra sluoksnis su elektronų pertekliumi - tokia medžiaga vadinama n tipo (neigiamas). Kitas sluoksnis, esantis virš pirmojo, pasižymi elektronų stoka, t.y. turi teigiamai įkrautų dalelių - skylių perteklių. Ši medžiaga yra p tipo (teigiamas). p ir n tipo sandūroje yra vadinamasis aktyvusis sluoksnis, kuriame ir išspinduliuojama šviesa.

Įjungus įtampą, elektronai ir skylės verčiami judėti aktyvaus sluoksnio link, kur susitikę jie emituoja fotonus - šviesos kvantus. Fotonų skaičius ir jų bangos ilgis priklauso nuo atominės aktyviojo sluoksnio ir jam gretimų sluoksnių sandaros.

Pirmuosiuose šviesos dioduose, gamintuose septintajame dešimtmetyje iš galio, arseno ir fosforo lydinio, elektronai ir skylės susiliedavo labai neefektyviai - po raudonos šviesos fotoną atsirasdavo vos iš kas tūkstantojo elektrono. Tokie šviesos diodai generuodavo mažiau nei dešimtąją dalį šviesos, spinduliuojamos palyginti nedidelės galios kaitinimo lemputėse su raudonu filtru.

Jeigu kalbėsime apie raudonąją spektro dalį atitinkančius prietaisus, laikui bėgant ypač išvesties charakteristikos buvo drastiškai pagerintos. 1999 m. Michaelis Krameris su savo bendradarbiais iš kompanijos Hewlett-Packard pasiekė efektyvumo rekordą ir pagamino šviesos diodą, verčiantį fotonais net 55 procentus visų į aktyviają sritį atkeliaujančių elektronų. Bene svarbiausia tokio patobulėjimo priežastis buvo nenutrūkstamas medžiagos kokybės gerėjimas bei tai, kad buvo kuriamos medžiagos, geriau verčiančios elektronus ir skyles fotonais. Efektyvumas labai pagerėjo, kada mokslininkai suprato, jog medžiagos nebūtinai turi būti vienalytės. Kai kiekvienas darinio sluoksnis būna sudarytas iš kitokių cheminių medžiagų, leidžiančių geriau sukaupti elektronus ir skyles aktyviajame sluoksnyje, elektrono tikimybė rekombinuoti su skylė ir sukurti šviesą padidėja.

Mokslininkai taip pat išmoko tiksliau keisti puslaidininkų sluoksnių savybes. Jie gali keisti aktyviojo sluoksnio cheminę sudėtį ir legiruoti sluoksnius priemaišomis. Legiravimas keičia n ir p tipo sluoksnių charakteristikas. Norėdami išsiaiškinti paprasčiausią pavyzdį, pažiūrėkime į silicį. Silicis yra Mendelejevo periodinės sistemos ketvirtosios grupės elementas - jis turi keturis

elektronus, kuriais jungiasi su kitais atomais. Kristale kiekvienas atomas dalijasi elektronais su jam gretimais atomais. Kai kristale atsiranda nedidelis II grupės atomų kiekis, tai yra turinčių išoriniame sluoksnyje po tris elektronus, darinyje atsiranda nepakankamas skaičius su greta esančiais silicio atomais sudaromų jungčių. Ima trūkti elektronų, susikuria skylės ir medžiaga pasidaro p tipo.

Ir priešingai, V periodinės sistemos grupei priklausantys elementai, pavyzdžiui, fosforas, išoriniame sluoksnyje turi vieną papildomą elektroną. Silicį legiruoju fosforu kristalas gauna papildomų elektronų ir tampa n tipo medžiaga.

Šviesos diodų medžiaga nėra silicis, o III ir V grupės elementų mišinys. Kruopščiai kontroliuojant aliuminio, galio, indžio ir fosforo koncentracijas ir įvedant tinkamas priemaišas, paprastai telūrą ir magnį, mokslininkai gali valdyti n ir p tipo sluoksnių susidarymą bei gaminti šviesos diodus, spinduliuojančius raudoną, geltoną ar oranžinę spinduliuotę. Jau aštuntojo dešimtmečio pradžioje galio arsenido fosfido šviesos diodai buvo tiek ryškūs, jog juos pradėjo naudoti pirmuosiuose kalkuliatoriuose ir skaitmeniniuose laikrodžiuose.

Kita svarbi šviesos diodų charakteristikų pagerėjimo priežastis buvo naujos gamybos technologijos, leidusios patikimai gauti aukštos kokybės kristalus. Ir p tipo, ir n tipo medžiagų atominės gardelės privalo sutapti su darinį palaikančio padėklo ir paties aktyviojo sluoksniu gardelėmis. Viena iš tokių technologijų yra nusodinimas iš dujų fazės, kai įkaitintos dujos leidžiamos į padėklą, kuriame sukuria ploną sluoksnį. Pirmąkart masiškai šviesos diodų gamybai šią technologiją panaudojo septintojo dešimtmečio pabaigoje kompanija Monsanto. 1977 m. Russelas Dupuis, dabar dirbantis Teksaso universitete, pasiūlė skirtingą technologiją - šaltos dujos yra nukreipiamos į įkaitintą padėklą. Šis procesas leidžia gauti daug įvairesnių medžiagų, ir dabar yra pagrindinis gaminant šviesos diodų darinius. Būtent naudodamas šį MOCVD pavadintą būdą (*Metal Organic Chemical Vapour Deposition* - metaloorganinių cheminių dujų nusodinimas) Shuji Nakamura, dabar dirbantis Kalifornijos universitete Santa Barbaroje, pagamino pirmuosius mėlynai šviečiančius puslaidininkinius lazerius.

Dešimtojo dešimtmečio viduryje grupė iš kompanijos Hewlett-Packard rado dar vieną ryškio padidinimo būdą - keičiant paties puslaidininkinio lusto formą. Mokslininkai sugebėjo pradinį galio arsenido padėklą, ant kurio ir buvo auginamas aktyvusis sluoksnis, pakeisti skaidriu galio fosfidu. Be to, šviesos diodui buvo suteikta apverstos piramidės forma. Tokia forma sumažina vidinių atspindžių skaičių ir padidina lustą paliekančios šviesos intensyvumą.

2.3. Šviesos diodų savybės

Ilgaamžiškumas – vienas svarbiausių šviesos diodų parametru ir vienas didžiausių pranašumų lyginant šviesos diodus su kitais dirbtiniais šviesos šaltiniais. Skirtingai nuo kaitinamųjų, kompaktinių liuminescencinių ar išlydžio lempų, kurios charakterizuojamos gyvavimo trukme iki perdegimo, šviesos diodų veikimo trukmė nusakoma veikimo trukme iki tam tikros šviesinės išlaikos, t.y. tam tikros išlikusios pradinės šviesos srauto dalies. Šviesos diodams nėra būdingas katastrofiškas sugedimas, o šviesos srauto mažėjimas susijęs su tam tikrais degradacijos procesais puslaidininkiniame kristale ir šviesos diodų dengiančiame lęšiuke. Šiuo metu dar nėra priimta vieningo standarto nusakyti šviesos diodų ilgaamžiškumą, tačiau paprastai šviesos diodų ilgaamžiškumas nusakomas veikimo laiku per kurį šviesos srautas sumažėja iki 70% pradinio srauto.

Vienų iš patikimiausių ir didelę rinkos dalį užimančių šviesos diodų - Luxeon Rebel deklaruojamas veikimo laikas yra 50 000 val., kai maitinimo srovė 1000 mA, o kristalo sandūros temperatūra 135°C [4]. Ne visi šviesos diodai, kurie gaminami iš tų pačių medžiagų, turi tokį patį ilgą veikimo laiką. Tai priklauso nuo kristalų auginimo kokybės ir technologijų, todėl norint įsigyti kokybišką gaminį, reikėtų rinktis patikimą gamintoją.

Pažymėtina, kad šviesos diodų spinduliuojamas srautas mažėja palaipsniui, o pasibaigus deklaruojamam veikimo laikui, šviesos diodas vis dar veikia, tačiau norint didesnio efektyvumo, šviesos diodus galima pakeisti naujais.

2.4. Šviesos kokybė

Šviesos kokybės nustatymas paprastai taikomas baltos šviesos šaltiniams ir yra susijęs su šių šaltinių gebėjimu atkurti spalvas. Nepaisant to, kad šviesos diodų spektras skiriasi nuo kaitrinių ar liuminescencinių lempų spektro, jiems vis dar taikoma Tarptautinės apšvietimo komisijos (CIE) 1995 metais patvirtinta metodika, kuri remiasi spalvos skirčių įvertinimu keturiolikai Munsello spalvinių bandinių apšvietus juos testuojamu ir etaloniniu šviesos šaltiniu. Gautas suminis rezultatas, žymimas R_a simboliu, baltiems šviesos šaltiniams paprastai yra 0-100 ribose. Šis parametras vadinamas spalvų atgavos rodikliu (CRI) ir kuo jis yra arčiau 100, tuo šviesos šaltinis geriau atkuria spalvas. Etaloninio šviesos šaltinio (kaitinamosios arba halogeninės lempos), $R_a=100$, tuo tarpu aukšto slėgio natrio lempos $R_a=20$.

2.5. Spalvinė temperatūra

Dar vienas labai svarbus baltų šviesos šaltinių parametras – spinduliuojamos šviesos spalvinė temperatūra. Šis parametras tinka apibūdinti šviesos šaltinius, kurių spinduliuotės spektras yra artimas juodojo kūno spinduliuotės spektrui. Šviesos diodų ar fluorescentinių lempų spalvinės koordinatės nėra tiksliai ant Planko lanko, kuris nurodo juodojo kūno spinduliuotės koordinates (4 pav.), todėl tokie šaltiniai apibūdinami koreliuotąja spalvine temperatūra (angl. correlated color temperature - CCT). Spalvinė temperatūra matuojama temperatūros matavimo vienetais kelvinais (K) ir yra siejama su juodojo kūno temperatūra jam spinduliuojant tam tikro atspalvio šviesą. Keletas standartinių šviesmenų spalvinės temperatūros verčių: volframas ties 2790 K (kaitinamoji lemputė) – 2856 K, tiesioginė saulės šviesa – 4875 K, dienos šviesa - 6500 K.

Žmogaus regos sistema per milijonus metų prisitaikė prie natūralios (saulės) šviesos, todėl svarbu žinoti apie šios šviesos savybes ir į jas atsižvelgti kuriant dirbtinį apšvietimą. Palyginimui galima paimti silpną žvakės šviesos sukuriamą šilto atspalvio (žemos spalvinės temperatūros) apšvietą ir palyginti su labai intensyvia, aukštos spalvinės temperatūros saulės sukuriama apšvieta dienos metu (abiems atvejais žmogus jaučiasi komfortiškai).

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

3. EKSPERMENTINĖ DALIS

Tyrimui pasirinktos, skirtingų galingumų rinkoje siūlomos LED lemputės. 3.1 lentelėje surašyti, gamintojų deklaruojami parametrai. Paveiksluose pateikti jų vaizdai.

3.1 lentelė

Gamintojų nurodyti LED lempučių parametrai

Lemputės Nr.	Nominali įtampa U, V	Naudojama galia P, W	Šviesos srautas Φ , lm	Spalvinės temperatūra, °K	Spalvų atkūrimo indeksas R_a , %	Cokolio tipas
1	230	Nenurodyta	Nenurodyta	Nenurodyta	Nenurodyta	E27
2	230	4	300	3000	81	E27
3	230	2	136	2700	82	E27
4	230	6	450	3000	80	E27
5	230	9	806	2700	Nenurodyta	E27



3.1 pav. LED lempa Nr. 1



3.2 pav. LED lempa Nr. 2



3.3 pav. LED lempa Nr. 3



3.4 pav. LED lempa Nr. 4



3.5 pav. LED lempa Nr. 5

Tiriamosios keturios iš penkių LED lempų, žinomų ir mažiau girdėtų gamintojų, tačiau surinktos visos Kinijoje. Jos pavaizduotos 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ir 3.5 paveikslėliuose. LED lempa Nr. 1

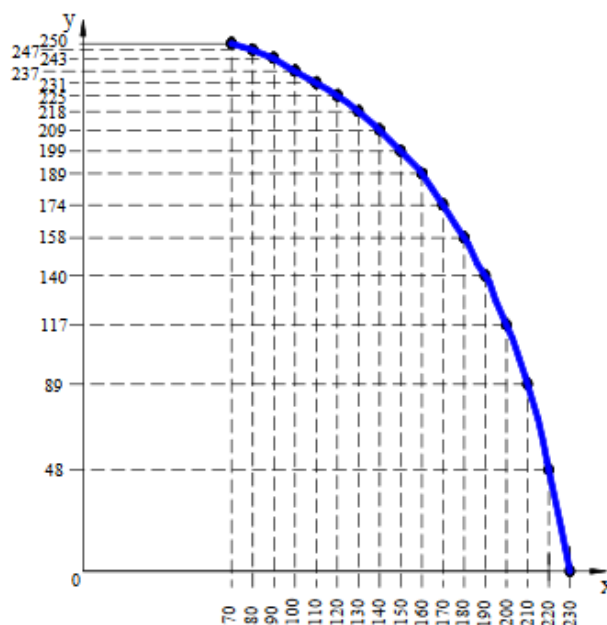
yra atsiųsta tiesiai iš Kinijos, ant jos nenurodyta, nei galia, nei pavadinimas. Lemputės savo forma, išskyrus lempuotę Nr. 2, panašios į kaitrines lemputes.

3.1. LED lempučių šviesotechninis tyrimas su serijiniu šviestuvu

Tyrimui naudojamas serijinis natrio lempos formos šviestuvas, sumažintas du kartus. Jau buvo senesniais tyrimais nustatyta, kad tokios formos šviestuvas tinkamiausias kaitrinėms ir kompaktinėms liuminescencinėms lemputėms, šviesai tolygiai atspindėti, horizontaliosios plokštumos atžvilgiu. Dauguma senesnių šviestuvų ir yra tokios formos. Tyrimo metu, nustatysiu tiriamųjų LED lempučių šviesos srauto pasiskirstymą, kai pastaroji naudojama senuose šviestuvuose, pritaikytiems kaitrinėms ar kompaktinėms liuminescencinėms lemputėms. 3.6 pav. pavaizduotas natrio lempos šviestuvus.

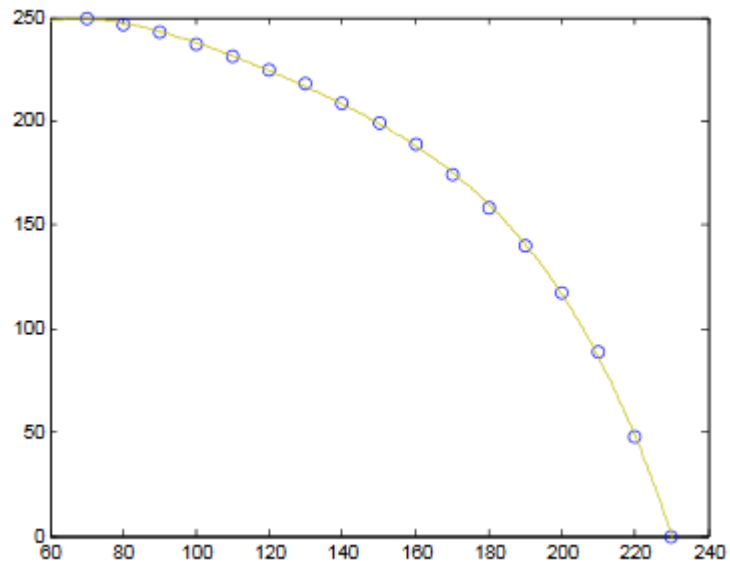


3.6 pav. Natrio lempos šviestuvo reflektorius



3.7 pav. Natrio lempos reflektoriaus sudaromoji

Naudodamiesi kompiuterine programa „Matlab“, gauname natrio lempos šviestuvo reflektoriaus sudaromosios funkciją.



3.8 pav. Natrio lempos reflektoriaus sudaromoji (programos MATLAB vaizdas)

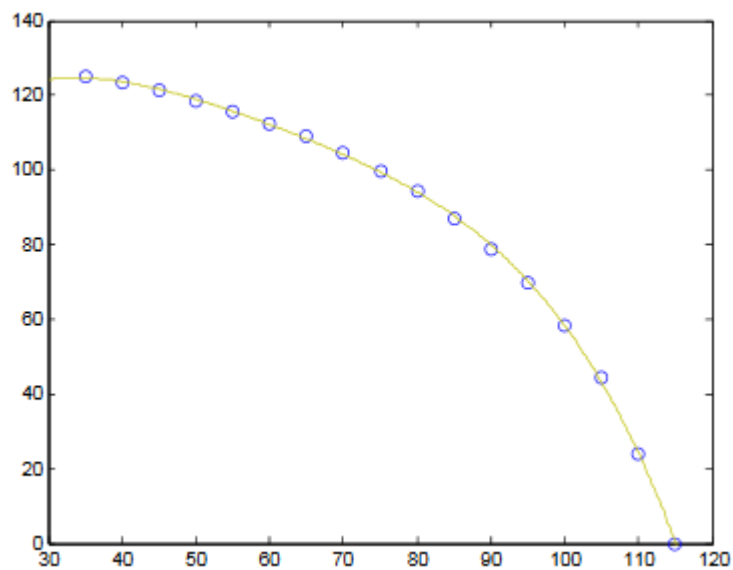
Gauta funkcija:

$$f(x) = -7,3x^4 + 0,00035x^3 - 0,067x^2 + 5,1x + 1,2;$$

Sumažinus natrio lempos reflektoriaus matmenis du kartus, gauname funkciją:

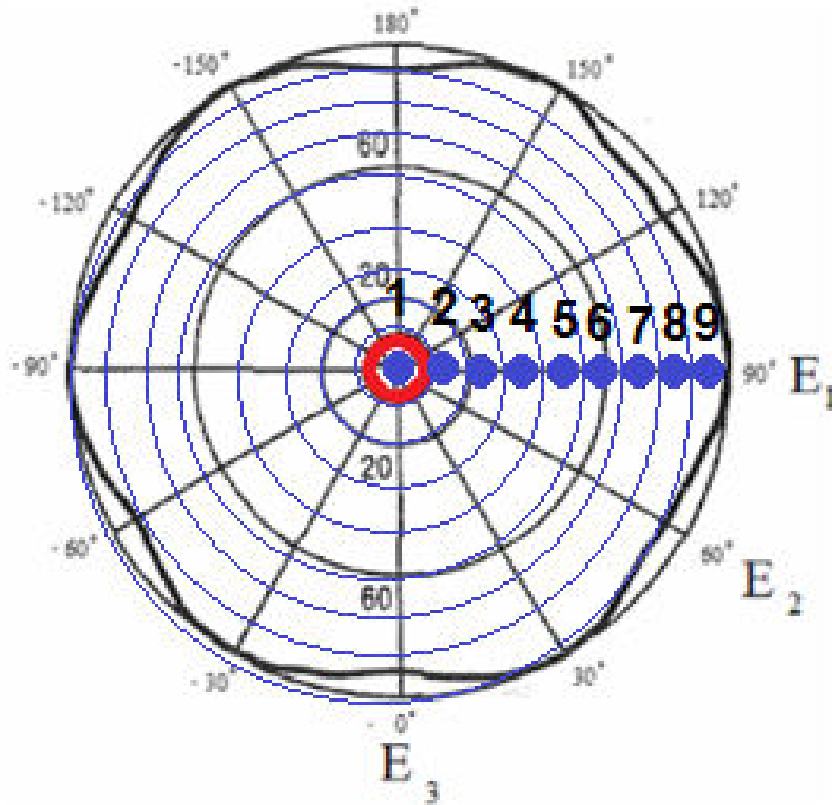
$$f(x) = -5,9x^4 + 0,0014x^3 - 0,13x^2 + 5,1x + 59;$$

Gauta sudaromoji:



3.9 pav. Natrio lempos sumažinto reflektoriaus sudaromoji (programos MATLAB vaizdas)

Atliekame šviesotechninius matavimus su tiriamosiomis LED lempomis. Šviesos šaltinį, talpiname į reflektorių ir matuojame apšvietą horizontalioje plokštumoje, esančioje po reflektoriumi 0° , 60° ir 90° kampais, LED lempos atžvilgiu. Apšvietos matavimo plokštuma pavaizduota 3.10 pav. (raudonai pažymėtas šviesos šaltinis, mėlynai – matavimo taškai).



3.10 pav. Apšvietos matavimo plokštuma ir matavimo taškai

Į 3.2 lentelę surašome apskaičiuotus matuojamųjų plokštumų plotus.

3.2 lentelė

Matuojamųjų plokštumų plotai

Matuojamos plokštumos numeris	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Matuojamos plokštumos plotas S, cm^2	28,3	66,7	96,1	142,1	197,5	223,7	263	302,2	341,5

Gauti matavimų rezultatai surašomi į 3.3 lentelę.

LED lemputės Nr. 1 apšvietos matavimo rezultatai

Matavimo taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx
1	2,68	2,665	2,678
2	2,77	2,758	2,747
3	2,68	2,664	2,655
4	2,33	2,309	2,329
5	1,81	1,782	1,819
6	1,47	1,467	1,477
7	1,05	1,036	1,012
8	0,88	0,868	0,859
9	0,69	0,674	0,678

Apskaičiuojame vidutinę apšvietą:

$$E_{vid} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3}; \quad (3.1)$$

čia

E₁ – apšvieta, kai kampas 0⁰, klx;

E₂ – apšvieta, kai kampas 60⁰, klx;

E₃ – apšvieta, kai kampas 90⁰, klx;

$$E_{vid1} = \frac{2,68 + 2,665 + 2,678}{3} = 2,674 \text{ klx};$$

$$E_{vid2} = \frac{2,77 + 2,758 + 2,747}{3} = 2,758 \text{ klx};$$

Kitose plokštumose, vidutinę apšvietą, skaičiuojame analogiškai, rezultatus surašome į 3.4 lentelę.

Apskaičiuojame matuojamosios plokštumos plotą:

$$S = \pi R^2; \quad (3.2)$$

čia

R – plokštumos spindulys, cm.

Pirmosios plokštumos plotas:

$$S_1 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,3 \text{ cm}^2;$$

Antrosios plokštumos plotas apskaičiuojamas:

$$S_2 = (\pi R_2^2) - S_1; \quad (3.3)$$

čia

R_2 – antrosios plokštumos spindulys, cm;

S_1 – pirmosios plokštumos plotas, cm^2 .

$$S_2 = (3,14 \cdot 5,5^2) - 28,3 = 66,7 \text{ cm}^2;$$

Kitose plokštumose plotus, skaičiuojame analogiškai, rezultatus surašome į 3.4 lentelę.

Apskaičiuojame šviesos srautą:

$$\Phi = E_{vid} \cdot S; \quad (3.4)$$

čia

E_{vid} – vidutinė plokštumos apšvieta, lx;

S – skaičiuojamosios plokštumos plotas, m^2 .

Pirmajai plokštumai, tenkantis šviesos srautas:

$$\Phi_1 = 2674 \cdot 0,00283 = 7,56 \text{ lm};$$

Antrajai plokštumai, tenkantis šviesos srautas:

$$\Phi_2 = 2758 \cdot 0,00667 = 18,4 \text{ lm};$$

Kitoms plokštumoms, tenkančius šviesos srautus, skaičiuojame analogiškai, rezultatus surašome į 3.4 lentelę.

Apskaičiuoju į visas plokštumas krintančius šviesos srautus, juos susumuojame:

$$\Phi_{lempos} = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n; \quad (3.5)$$

$$\Phi_{lempos} = 7,56 + 18,4 + 25,61 + 33 + 35,63 + 32,92 + 27,16 + 26,26 + 23,24 = 229,78 \text{ lm};$$

Apskaičiuojame šviesos stiprį:

$$E_h = \frac{I \cdot \cos \varphi}{r^2}; \quad (3.6)$$

čia

E – horizontalioji apšvieta, lx;

I – šviesos stipris, cd;

r – atstumas, nuo šviesos šaltinio, iki apšviežiamos plokštumos, m;

$$r^2 = h^2 + a^2; \quad (3.7)$$

h – aukštis, nuo šviesos šaltinio, iki apšviečiamos plokštumos, m;

a – atstumas, nuo apšviečiamos plokštumos centro iki apšviečiamo taško, m.

Iš formulės, išsireiškiame I .

$$I = \frac{E_h \cdot r^2}{\cos \varphi}; \quad (3.8)$$

$$r_1^2 = 0,14^2 + 0^2 = 0,0196;$$

$$I_1 = \frac{2674 \cdot 0,0196}{\cos 0^\circ} = 52,42 \text{ cd};$$

$$r_2^2 = 0,14^2 + 0,055^2 = 0,022625;$$

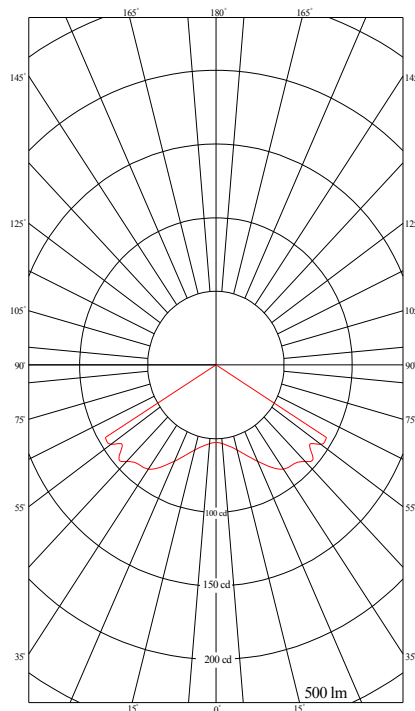
$$I_2 = \frac{2758 \cdot 0,022625}{\cos 21,4^\circ} = 67,05 \text{ cd};$$

Toliau skaičiavimai atliekami analogiškai, rezultatai surašomi į 3.4 lentelę.

LED lemputės Nr. 1 bandymo rezultatai

Taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx	E _{vid} ,klx	E _{vid} , lx	S, cm ²	S, m ²	Φ, lm	I, cd
1	2,680	2,665	2,678	2,674	2674	28,3	0,00283	7,56	52,42
2	2,770	2,758	2,747	2,758	2758	66,7	0,00667	18,40	67,05
3	2,680	2,664	2,655	2,666	2666	96,1	0,00961	25,61	78,39
4	2,330	2,309	2,329	2,323	2323	142,1	0,01421	33,00	87,11
5	1,810	1,782	1,819	1,804	1804	197,5	0,01975	35,63	89,84
6	1,470	1,467	1,477	1,471	1471	223,7	0,02237	32,92	95,76
7	1,050	1,036	1,012	1,033	1033	263,0	0,02630	27,16	87,47
8	0,880	0,868	0,859	0,869	869	302,2	0,03022	26,26	94,96
9	0,690	0,674	0,678	0,681	681	341,5	0,03415	23,24	94,91
VISO:								229,78	-

Pagal gautus matavimo rezultatus, braižome tiriamosios LED lempos Nr. 1 šviesos sklaidos grafiką.

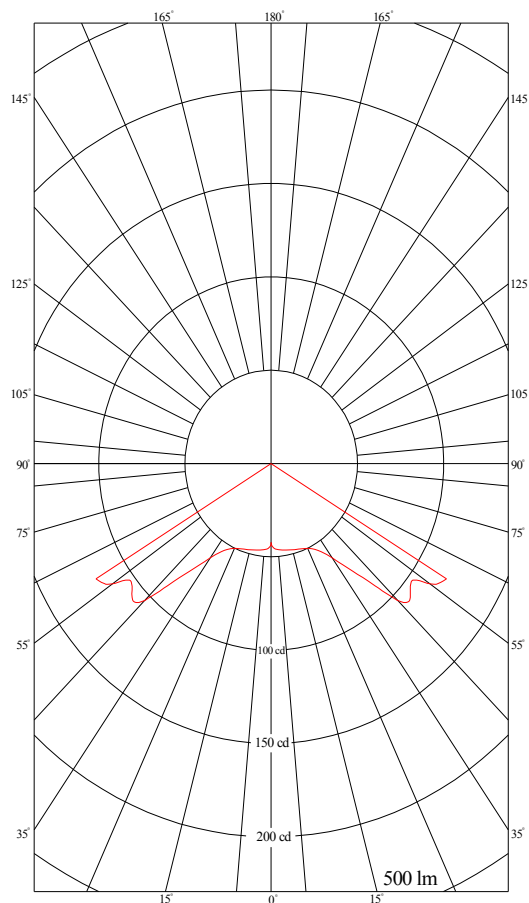


3.11 pav. LED lemputės Nr. 1 šviesos stiprio sklaidos grafikas

Atliekame analogiškus matavimus ir skaičiavimus, su kitomis tiriamosiomis LED lemputėmis, rezultatus surašome į 3.5, 3.6, 3.7 ir 3.8 lenteles.

LED lempučių Nr. 2 bandymo rezultatai

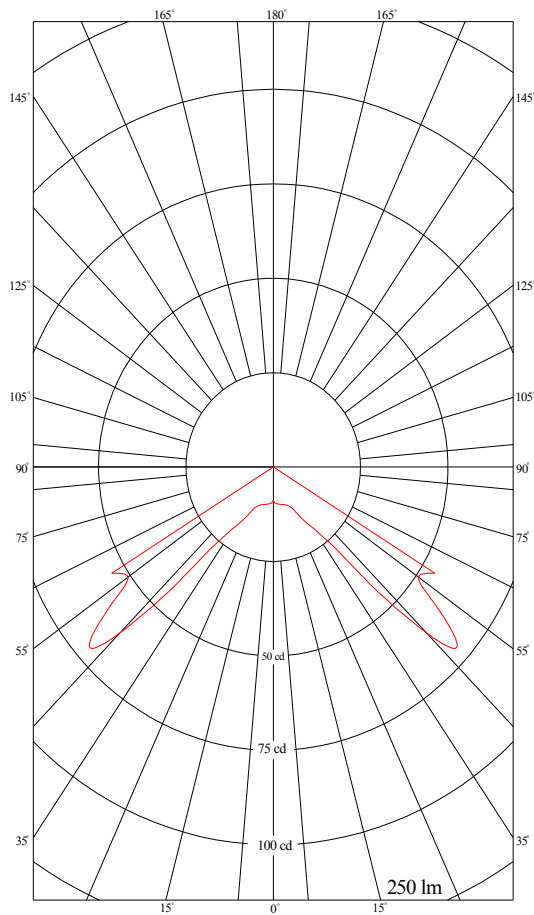
Taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx	E _{vid} ,klx	E _{vid} , lx	S, cm ²	S, m ²	Φ, lm	I, cd
1	2,140	2,157	2,167	2,155	2155	28,3	0,00283	6,09	42,23
2	1,975	2,034	2,044	2,018	2018	66,7	0,00667	13,46	49,05
3	1,782	1,793	1,803	1,793	1793	96,1	0,00961	17,22	52,71
4	1,724	1,739	1,749	1,737	1737	142,1	0,01421	24,68	65,16
5	1,825	1,812	1,822	1,820	1820	197,5	0,01975	35,95	90,64
6	1,667	1,659	1,669	1,665	1665	223,7	0,02237	37,25	108,37
7	1,206	1,215	1,225	1,215	1215	263,0	0,02630	31,96	102,94
8	1,025	1,057	1,067	1,050	1050	302,2	0,03022	31,72	114,70
9	0,817	0,865	0,875	0,852	852	341,5	0,03415	29,11	118,85
VISO:								227,44	-



3.12 pav. LED lempučių Nr. 2 šviesos stiprio sklaidos grafikas

LED lempučių Nr. 3 bandymo rezultatai

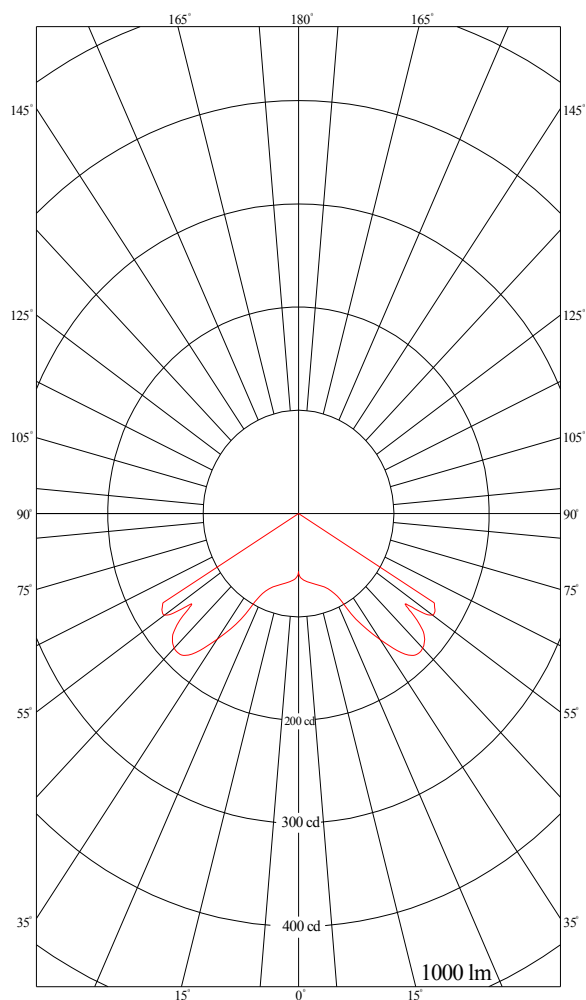
Taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx	E _{vid} ,klx	E _{vid} , lx	S, cm ²	S, m ²	Φ, lm	I, cd
1	0,431	0,444	0,450	0,442	442	28,3	0,00283	1,25	8,66
2	0,437	0,451	0,455	0,448	448	66,7	0,00667	2,99	10,88
3	0,469	0,479	0,491	0,480	480	96,1	0,00961	4,61	14,10
4	0,556	0,569	0,573	0,566	566	142,1	0,01421	8,04	21,23
5	0,967	0,981	0,980	0,976	976	197,5	0,01975	19,28	48,61
6	1,082	1,093	1,094	1,090	1090	223,7	0,02237	24,38	70,92
7	0,675	0,688	0,686	0,683	683	263,0	0,02630	17,96	57,85
8	0,457	0,468	0,468	0,464	464	302,2	0,03022	14,03	50,74
9	0,379	0,391	0,394	0,388	388	341,5	0,03415	13,25	54,10
VISO:								105,79	-



3.13 pav. LED lempučių Nr. 3 šviesos stiprio sklaidos grafikas

LED lempučių Nr. 4 bandymo rezultatai

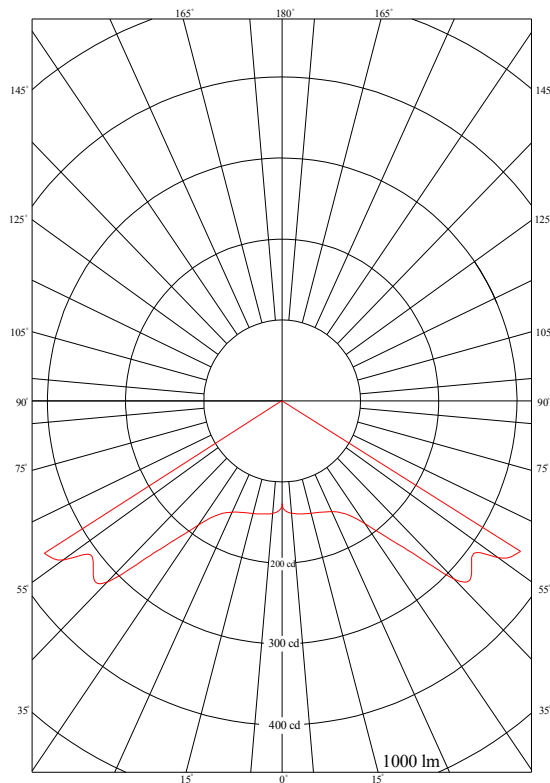
Taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx	E _{vid} ,klx	E _{vid} , lx	S, cm ²	S, m ²	Φ, lm	I, cd
1	2,878	2,855	2,880	2,871	2871	28,3	0,00283	8,11	56,27
2	3,153	3,177	3,169	3,166	3166	66,7	0,00667	21,13	76,97
3	3,630	3,608	3,668	3,635	3635	96,1	0,00961	34,92	106,88
4	4,192	4,171	4,230	4,198	4198	142,1	0,01421	59,64	157,43
5	3,713	3,685	3,732	3,710	3710	197,5	0,01975	73,29	184,79
6	2,735	2,714	2,756	2,735	2735	223,7	0,02237	61,19	178,01
7	1,684	1,669	1,701	1,685	1685	263,0	0,02630	44,30	142,69
8	1,568	1,58	1,582	1,577	1577	302,2	0,03022	47,65	172,28
9	1,180	1,205	1,197	1,194	1194	341,5	0,03415	40,77	166,49
VISO:								389,24	-



3.14 pav. LED lempučių Nr. 4 šviesos stiprio sklaidos grafikas

LED lempučių Nr. 5 bandymo rezultatai

Taško Nr.	E ₁ , klx	E ₂ , klx	E ₃ , klx	E _{vid} ,klx	E _{vid} , lx	S, cm ²	S, m ²	Φ, lm	I, cd
1	6,420	6,471	6,501	6,464	6464	28,3	0,00283	18,27	126,69
2	5,925	6,102	6,132	6,053	6053	66,7	0,00667	40,39	147,14
3	5,346	5,379	5,409	5,378	5378	96,1	0,00961	51,66	158,12
4	5,172	5,217	5,247	5,212	5212	142,1	0,01421	74,05	195,47
5	5,475	5,436	5,466	5,459	5459	197,5	0,01975	107,84	271,91
6	5,001	4,977	5,007	4,995	4995	223,7	0,02237	111,75	325,10
7	3,618	3,645	3,675	3,646	3646	263,0	0,02630	95,88	308,81
8	3,075	3,171	3,201	3,149	3149	302,2	0,03022	95,17	344,10
9	2,451	2,595	2,625	2,557	2557	341,5	0,03415	87,32	356,54
VISO:								682,32	-



3.15 pav. LED lempučių Nr. 5 šviesos stiprio sklaidos grafikas

Ištirus LED lemputes, iš sudarytų šviesos stiprio sklaidos grafikų, matyti, kad šviesa, krintanti į horizontaliąją plokštumą netolygi. Atsispindėjusi šviesa nuo reflektoriaus, koncentruojasi į šonus, tad naudojant tirtas lempas, vietoje kaitrinių ar kompaktinių liuminescencinių, patalpos apšvietimas bus netolygus, akinantis.

3.2. LED lempų elektrinių parametrų tyrimas

Tyrimui atlikti naudosime:

- laboratorinį autotransformatorių,
- tinklo analizatorių „Analyst 3Q“,
- daugiafunkcinį matavimo aparatą „Siemens Sentron PAC3200“,
- daugiafunkcinį matuoklį „Metrel Eurotest 61557“,
- laboratorinį multimetą „Agilent 34405A“,
- liukšmetą „Luxmeter HD8366“.

Autotransformatoriumi keisdami įtampos vertę, išmatuojame srovę (I), aktyviąją galią (P), pilnąją galią (S), galios faktorių (PF), galios koeficientą ($\cos \phi$), reaktyviąją galią (Q), srovės harmonikas (THDi) ir apšvietą (E).

Rezultatus surašome į 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 ir 3.13 lenteles.

3.9 lentelė

LED lempos Nr. 1 išmatuoti parametrai

U, V	I, A	P, W	S, VA	PF	$\cos \phi$	Q, var	THDi	E, lx
40	0,03	0,1	0,1	0	0,999	0	0	55
50	0,086	0,2	0,4	1	0,999	-0,2	85,7	283
60	0,134	0,4	0,8	0,5	0,5	-0,4	83,3	487
70	0,187	0,7	1,3	0,5	0,666	-0,8	73,6	704
80	0,236	0,9	1,9	0,4	0,5	-1,3	65,3	908
90	0,28	1,1	2,5	0,285	0,333	-1,8	57,5	1086
100	0,328	1,3	3,3	0,375	0,396	-2,5	53,8	1262
110	0,375	1,6	4,1	0,272	0,299	-3,3	45,8	1352
120	0,422	1,8	5	0,307	0,333	-4,1	44,4	1531
130	0,466	2	6	0,25	0,285	-5	44,9	1705
140	0,51	2,3	7,1	0,263	0,294	-6	43,9	1840
150	0,558	2,5	8,3	0,227	0,238	-7,2	41,8	1950
160	0,601	2,8	8,4	0,236	0,25	-8,2	41,7	2070
170	0,642	3,1	10,9	0,206	0,222	-9,6	38,3	2150
180	0,689	3,4	12,4	0,205	0,226	-11	37,2	2260
190	0,733	3,6	13,9	0,189	0,199	-12,4	35,9	2360
200	0,779	3,9	15,5	0,19	0,199	-14	34,5	2415
210	0,824	4,1	17,2	0,17	0,177	-15,7	34,2	2510
220	0,867	4,4	19	0,176	0,186	-17,3	33,3	2580
230	0,908	4,7	20,8	0,163	0,18	-19,1	31,7	2625
240	0,95	4,9	22,8	0,159	0,166	-21	31,8	2695
250	0,99	5,2	24,8	0,149	0,153	-23	31,3	2720
260	1,038	5,5	26,9	0,14	0,157	-25,1	30,3	2750

Didinant įtampą, srovė, aktyvinė, reaktyvinė bei pilnoji galios didėja, galios faktorius ir galios išnaudojimo koeficientas mažėja, srrovės harmonikos taip pat mažėja. Apšvieta tolygiai didėja.

3.10 lentelė

LED lempos Nr. 2 išmatuoti parametrai

U, V	I, A	P, W	S, VA	PF	cos φ	Q, var	THDi	E, lx
32	0,033	0,1	0,1	0	0,999	0	0	32
40	0,242	0,6	1	0,666	0,999	0,1	99,9	362
50	0,47	2	2,3	0,714	0,999	0,2	60,3	956
60	0,446	2,4	2,6	0,857	0,999	0	43,1	1120
70	0,496	2,9	3,4	0,777	0,999	-0,5	50	1268
80	0,558	3	4,5	0,632	0,794	-1,9	66,1	1504
90	0,707	4	6,4	0,588	0,714	-3,2	71	1940
100	0,726	4,4	7,3	0,55	0,733	-3,8	73,8	2120
110	0,672	4,4	7,2	0,55	0,743	-3,4	82,5	2140
120	0,527	4	6,3	0,588	0,833	-2,4	85,9	2040
130	0,485	3,9	6,3	0,654	0,827	-2,1	91,9	2020
140	0,453	3,9	6,3	0,588	0,878	-1,9	99,9	2010
150	0,43	3,9	6,4	0,54	0,909	-1,8	99,9	2000
160	0,415	3,9	6,6	0,561	0,909	-1,6	99,9	2000
170	0,414	3,9	7	0,526	0,909	-1,5	99,9	1990
180	0,405	3,9	7,3	0,5	0,907	-1,45	99,9	1990
190	0,398	3,9	7,5	0,5	0,903	-1,4	99,9	1980
200	0,385	3,9	7,6	0,475	0,907	-1,3	99,9	1980
210	0,37	3,9	7,6	0,5	0,999	-1,2	99,9	1970
220	0,355	3,9	7,7	0,5	0,999	-1,2	99,9	1970
230	0,338	3,9	7,6	0,5	0,999	-1,15	99,9	1970
240	0,325	3,9	7,7	0,476	0,999	-1,1	99,9	1970
250	0,32	3,9	7,8	0,5	0,999	-1,1	99,9	1970
260	0,307	3,9	7,8	0,476	0,999	-0,8	99,9	1970

Jau nuo U=90 V, LED lempa pasiekė gamintojo deklaruojamą galingumą. Didinant iki 260 V, per pusę sumažėjo srovė, kiti parametrai beveik nekito.

LED lempos Nr. 3 išmatuoti parametrai

U, V	I, A	P, W	S, VA	PF	cos ϕ	Q, var	THDi	E, lx
60	0,023	0,1	0,1	0	0,999	0	0	19
70	0,039	0	0,3	0	0,999	0	0	46
80	0,056	0	0,5	0,5	0,999	0	75	75
90	0,072	0,2	0,7	0,5	0,5	-0,2	57,1	105
100	0,088	0,4	0,9	0,333	0,5	-0,55	55,5	132
110	0,104	0,6	1,2	0,25	0,333	-0,8	54,5	163
120	0,119	0,7	1,4	0,2	0,25	-1,1	42,8	191
130	0,134	0,8	1,8	0,4	0,5	-1,3	43,7	216
140	0,15	0,9	2,1	0,333	0,399	-1,65	38,8	245
150	0,165	1,05	2,5	0,333	0,333	-2	39,9	270
160	0,181	1,2	2,9	0,278	0,265	-2,4	34,7	295
170	0,198	1,3	3,4	0,333	0,375	-2,8	31,9	321
180	0,212	1,4	3,8	0,306	0,31	-3,2	33,3	345
190	0,227	1,5	4,3	0,25	0,3	-3,7	34,4	367
200	0,24	1,7	4,8	0,316	0,308	-4,1	32,2	388
210	0,256	1,8	5,4	0,26	0,23	-4,7	30,3	411
220	0,271	1,95	6	0,25	0,266	-5,2	30,5	434
230	0,285	2,1	6,6	0,227	0,25	-5,8	31,5	453
240	0,3	2,2	7,2	0,22	0,225	-6,3	29,9	473
250	0,315	2,4	7,9	0,25	0,242	-7	30,9	492
260	0,33	2,5	8,6	0,247	0,227	-7,7	28,8	511

Didinant įtampą srovė ir galios didėja, mažėja $\cos\phi$ ir PF, mažėja srovės harmonikos, apšvieta didėja.

LED lempos Nr. 4 išmatuoti parametrai

U, V	I, A	P, W	S, VA	PF	cos ϕ	Q, var	THDi	E, lx
130	0,016	0	0	0	0,999	0	99,9	11
140	0,0443	0	0,6	0	0,999	0	99,9	160
150	0,109	0,7	1,6	0,2	0,899	0	99,9	460
160	0,162	1,3	2,6	0,428	0,75	-0,15	99,9	811
170	0,199	1,8	3,4	0,488	0,833	-0,9	99,9	1150
180	0,246	2,5	4,5	0,5	0,857	-1,5	99,9	1490
190	0,296	3,3	5,6	0,533	0,799	-2,2	99,9	1870
200	0,344	4	6,8	0,555	0,769	-2,9	91,4	2170
210	0,393	4,8	8,2	0,527	0,746	-3,7	85,7	2500
220	0,442	5,7	9,7	0,538	0,736	-4,7	79,5	2785
230	0,493	6,6	11,3	0,551	0,695	-5,9	73,6	3050
240	0,546	7,5	13,1	0,542	0,661	-7,1	71,8	3290
250	0,595	8,5	14,8	0,55	0,672	-8,5	69,4	3505
260	0,643	9,4	16,6	0,533	0,655	-9,8	66,3	3670

Didinant įtampą galios faktorius, srovė ir galios didėja, mažėja $\cos\phi$ ir srovės harmonikos, apšvieta didėja.

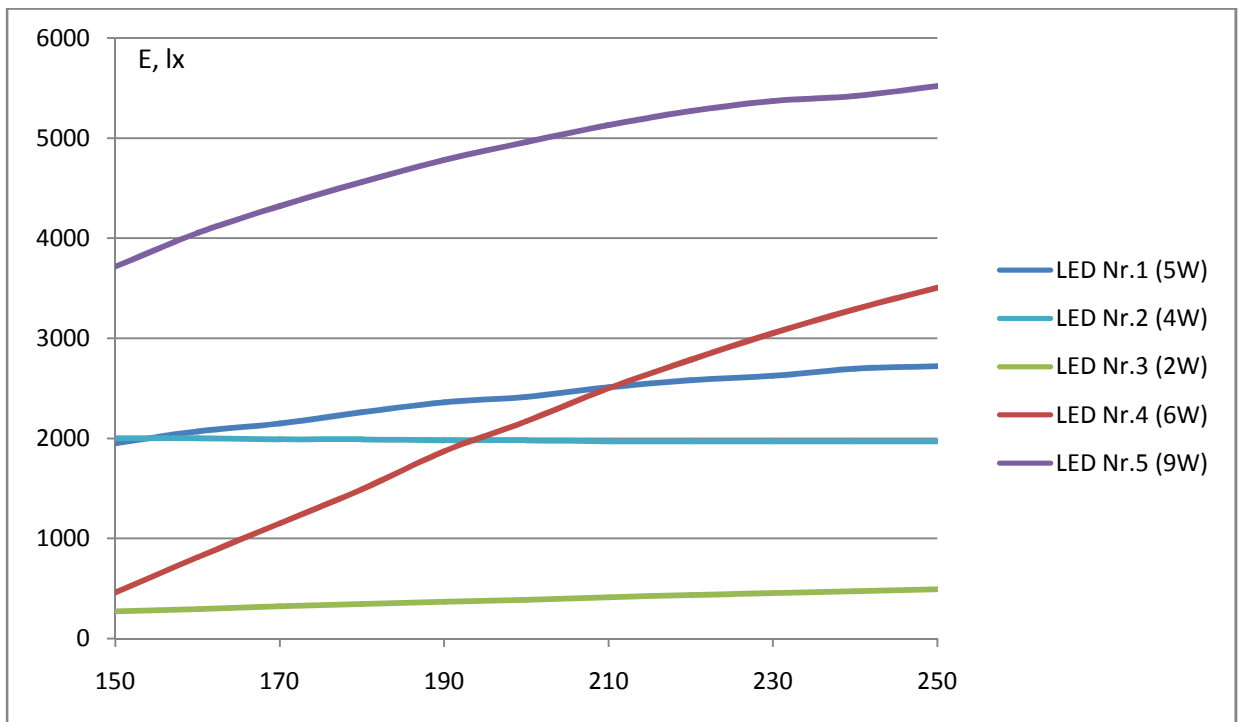
3.13 lentelė

LED lempos Nr. 5 išmatuoti parametrai

U, V	I, A	P, W	S, VA	PF	$\cos\phi$	Q, var	THD i	E, lx
50	0,0755	0,2	0,4	0	0,999	0	99,9	204
60	0,177	0,6	1	0,333	0,5	0	99,9	530
70	0,264	1	1,8	0,4	0,999	0	99,9	884
80	0,332	1,5	2,6	0,571	0,75	0	99,9	1250
90	0,392	2	3,6	0,555	0,999	0	99,9	1650
100	0,455	2,5	4,5	0,5	0,857	0	99,9	1990
110	0,501	3,1	5,5	0,466	0,875	0	99,9	2370
120	0,554	3,7	6,6	0,5	0,899	-0,001	99,9	2730
130	0,6	4,3	7,7	0,49	0,913	-0,001	99,9	3070
140	0,643	4,9	8,9	0,521	0,923	-0,001	99,9	3425
150	0,683	5,5	10,1	0,503	0,93	-0,001	99,9	3715
160	0,727	6,2	11,6	0,48	0,904	-0,002	99,9	4050
170	0,753	6,8	12,7	0,487	0,943	-0,002	99,9	4320
180	0,788	7,3	14	0,5	0,94	-0,002	99,9	4560
190	0,802	7,8	15	0,487	0,952	-0,002	99,8	4780
200	0,82	8,4	16,1	0,5	0,955	-0,002	99,8	4960
210	0,835	8,9	17,3	0,505	0,934	-0,002	99,8	5130
220	0,849	9,4	18,4	0,5	0,961	-0,002	99,8	5270
230	0,856	9,8	19,3	0,496	0,962	-0,0025	99,8	5370
240	0,865	10,3	20,3	0,482	0,964	-0,0025	99,8	5420
250	0,851	10,6	21	0,465	0,964	-0,003	99,8	5520
260	0,861	11	22	0,475	0,965	-0,003	99,8	5590

Didinant įtampą, srovė ir galios didėja, nekito THDi, galios faktorius ir galios koeficientas $\cos\phi$ apšvieta didėja.

Pagal gautus matavimų rezultatus, vienoje koordinatinių plokštumoje, atvaizduojame tiriamųjų LED lempučių, apšvietos priklausomybes nuo įtampos, jos pateiktos 3.16 paveiksle.



3.16 pav. Apšvietos priklausomybių nuo įtampos kreivės

Iš penkių tirtų lempučių, amtyti, kad LED lempa Nr. 2, su grįžtamuoju ryšiu, t.y. didinant įtampa beveik visi parametrai nekito, kito tik srovės vertė.

3.3. LED lempų šiluminių nuostolių tyrimas

Analizuojant komercinius straipsnius, gamintojų ir tiekėjų reklamas, teigiama kad LED lempos nekaista, jose labai mažai energijos virsta šiluma. Kai kur teigiama, kad apskritai LED'ai nekaista. Kaitrinės lempos energiją paverčia šiluma apie 80 – 90 % energijos, liuminescencinės – 65 – 75 %. Tačiau rinka tyli, kokie gi šiluminiai nuostoliai LED lempose.

Tiriamųjų LED lempu, šiluminius nuostolius nustatysime, pasinaudodami fizikiniu dėsnio – šilumos mainais, t.y. tiriamąją LED lempą panardinsime į distiliuotą vandenį, padavus įtampą į lempą, nustatysime kiek per laiko vieneta, atiduodama šilumos į vandenį. Xx pav. pavaizduotas šiluminių nuostolių tyrimo standas.



3.17 pav. Šiluminių nuostolių tyrimo stendas

Talpa, į kurią nardinama lemputė, pagaminta iš termoizoliuojančios medžiagos. Temperatūros matavimui naudojame, prie laboratorinio multimetrio „Agilent 34405A“ prijungtą termoporą. Įtampa palaikoma pastovi 230 V.

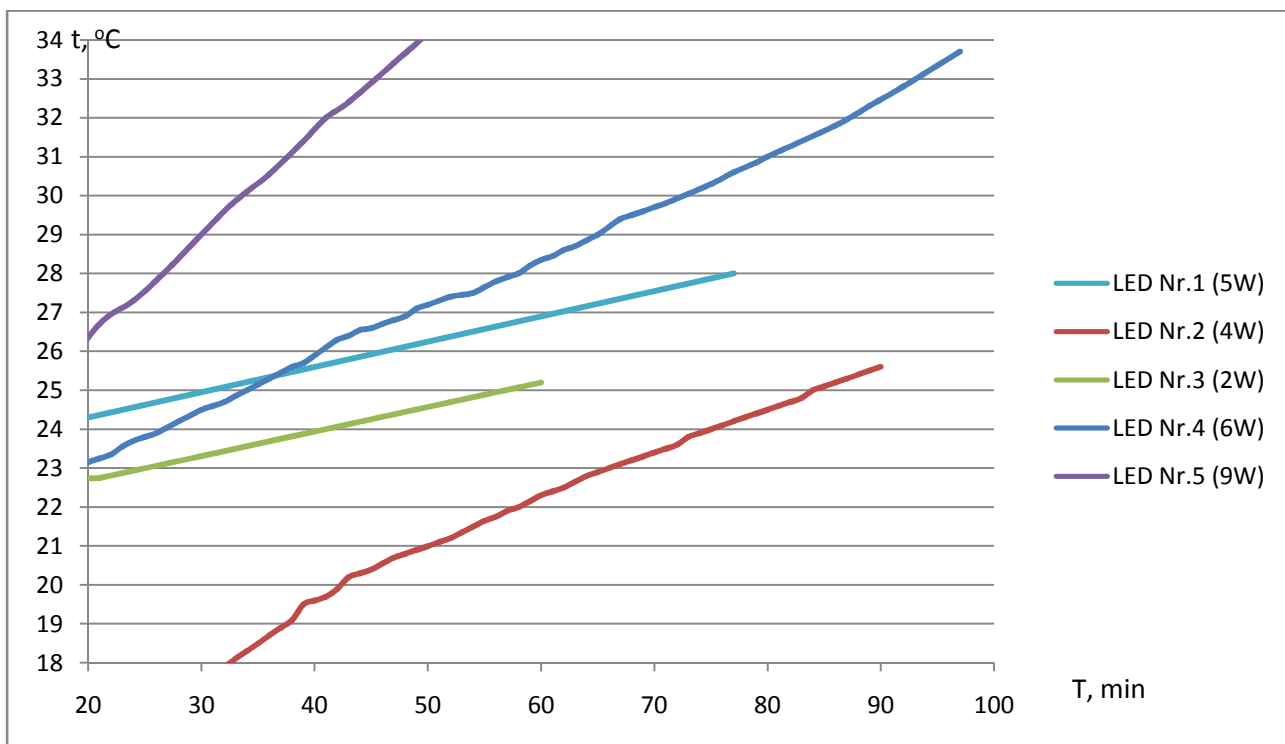
Temperatūros matavimų rezultatai:

3.14 lentelė

Temperatūros matavimų rezultatai

LED Nr. 1		LED Nr. 2		LED Nr. 3		LED Nr. 4		LED Nr. 5	
H ₂ O V=750 ml		H ₂ O V=350 ml		H ₂ O V=270 ml		H ₂ O V=350 ml		H ₂ O V=350 ml	
T, min	T, °C	T, min	T, °C	T, min	T, °C	T, min	T, °C	T, min	T, °C
0	23,0	33	18,0	20	22,75	20	23,15	20	26,5
45	26,1	90	25,6	52	24,7	30	24,5	32	29,6
77	28,0	-	-	60	25,2	40	25,9	41	32
-	-	-	-	-	-	50	27,2	50	34,2
-	-	-	-	-	-	60	28,35	60	37
-	-	-	-	-	-	97	33,7	-	-

Pagal gautus rezultatus, sudarome grafiką (3.18 pav.):



3.18 pav. Temperatūros nuo laiko priklausomybės

Iš grafiko matyti, kad apšvieta kinta tiesiškai.

Apskaičiuojame LED lempos Nr. 5, atiduotos šilumos kiekį į distiliuotą vandenį:

Matavimo laikas: $\Delta t = 43$ min.

Pradinė vandens temperatūra: $T_1 = 25,2$ °C;

Vandens temperatūra po $\Delta t = 43$ min.: $T_2 = 37$ °C;

Paskaičiuojame, atiduotos šilumos kiekį per 43 min:

$$\Delta T = T_2 - T_1, \quad (3.9)$$

čia

T_2 – temperatūra, po nustatyto laiko, °C,

T_1 – pradinė temperatūra, °C.

$$\Delta T = 37 - 25,2 = 11,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Paskaičiuojame, šiluma virtusį, energijos kiekį:

$$Q = c \cdot \frac{V \cdot \Delta T}{t}, \quad (3.10)$$

čia

c – savitoji šiluma, $\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$,

V – distiliuoto vandens tūris, ml,

ΔT – temperatūros pokytis, °C,

t – laikas, h.

$$Q = 1 \cdot \frac{350 \cdot 11,8}{43 \cdot 60} = 5763 \text{ cal} / h = 5,763 \text{ kcal} / h$$

Paverčiame į galią vatais per valandą:

$$1 \text{ kcal} = 1,163 \text{ W/h}$$

$$W = 5,763 \cdot 1,163 = 6,702 \text{ W} / h$$

Analogiškai apskaičiuojame kitas tiriamąsias LED lempas ir rezultatus surašome į 3.15 lentelę.

3.15 lentelė

Šilumos nuostolių skaičiavimo rezultatai

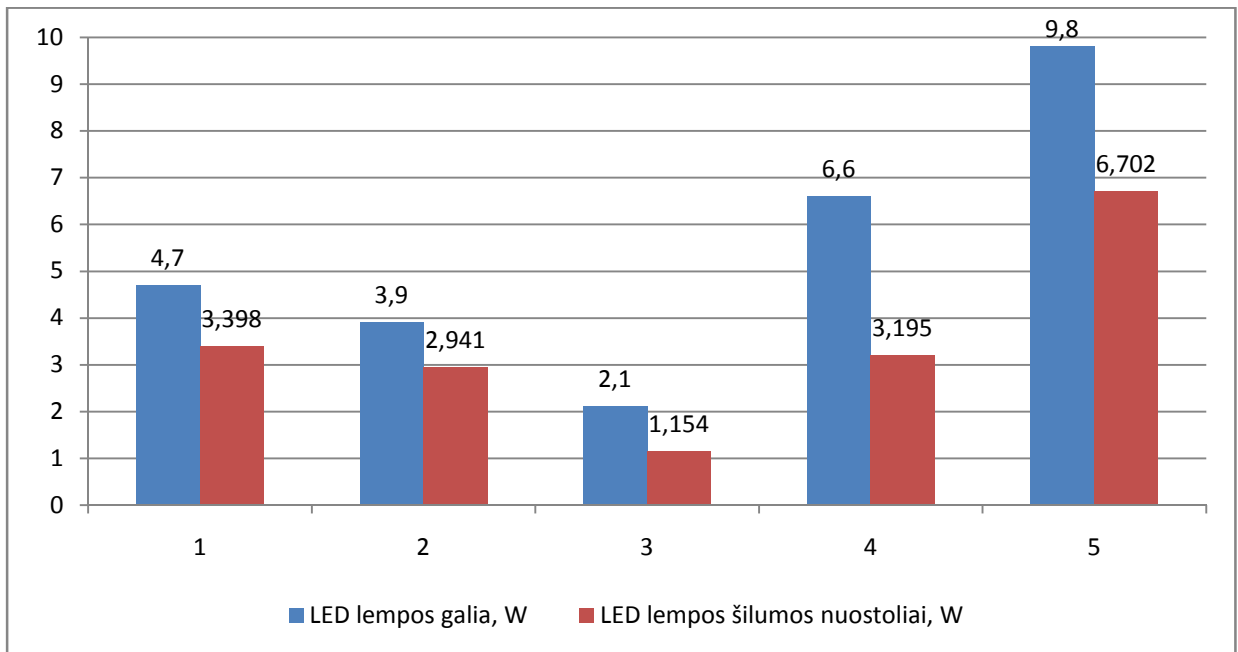
LED Nr.	V, ml	t ₁ , min	t ₂ , min	Δt, min	T ₁ , °C	T ₂ , °C	ΔT, °C	Q, kcal	W, W/h
1	750	0	77	77	23,0	28,0	5,0	2,922	3,398
2	350	40	89	49	19,6	25,5	5,9	2,529	2,941
3	270	20	60	40	22,75	25,2	2,45	0,992	1,154
4	350	20	80	60	23,15	31	7,85	2,748	3,195
5	350	17	60	43	25,2	37	11,8	5,763	6,702

3.16 lentelė

Tiriamųjų LED lempų elektrinė ir šiluminė galios

LED Nr.	Gamintojo deklaruojama lempos galia P, W	Išmatuota lempos elektrinė galia P, W	Lempas šiluminė galia, W
1	Nenurodoma	4,7	3,398
2	4	3,9	2,941
3	2	2,1	1,154
4	6	6,6	3,195
5	9	9,8	6,702

Palyginimui, sudarome grafiką, kad matytume LED lempučių galių pasiskirstymą:



3.19 pav. LED lempų galių pasiskirstymo grafikas

Iš grafiko, pavaizduoto 3.18 paveiksle, matyti, kad apšvieta kinta tiesiškai.

Iš gautų rezultatų matyti, kad 48 – 75 % LED lempučių galingumo, virsta šilumos energija. Šiluminiai nuostoliai LED lempučiųse Nr. 1 ir 2 viršija 70 %.

IŠVADOS

Apibendrinus gautus rezultatus, galime daryti tokias išvadas:

1. Apžvelgus šviesos šaltinius, jų parametrus, eksploacinius ir ekonominius rodiklius, nustatyta, kad LED lempos, savo pranašumu nepralenkiamos, t.y. energijos suvartojimas, LED lempų labai mažas, lyginant su tokį pat šviesos srautą skleidžiančiais šviesos šaltiniais. Eksploatacinės išlaidos (kaštai), jau po pirmųjų naudojimo metų, ženkliai mažesnės, lyginant su kaitrinėmis ar kompaktinėmis liuminescencinėmis.
2. Palyginus kaitrines, kompaktines liuminescencines ir LED lemputes nustatyta, kad jau pirmaisiais metais, mažiausi eksploatacijos kaštai yra LED lempučių, didžiausi – kaitrinių lempų. LED lempučių eksploatacinės išlaidos, lyginant su kaitrine, mažesnės 86 %, o lyginant su kompaktine liuminescencine lempute – 54 % mažesnės.
3. Ištyrus penkių LED lempučių, su kaitrinėmis lemputėmis tinkančiu reflektoriumi, bei sudarius šviesos sklaidos grafikus, matyti, kad šitoks reflektorius LED lemputėms netinkamas. Šviesa pasiskirsto nevienodai, didžiausia apšvieta, horizontalios plokštumos atžvilgiu, krintanti 40° – 60° kampų. Tai iššaukia ne tik, netolygų patalpos apšviestumą, bet atsiranda tikimybė, kad šviesos šaltinis akims.
4. Ištyrus penkias LED lemputes, pastebėta, kad keturioms, didinant įtampą, apšvieta tiesiškai, didėja ir atvirkščiai – mažinant įtampą, mažėja. Vienai tirtai lemputei, įtampos dydis neįtakojo apšvietos dydžio. Pagal tai galima spręsti, kad LED lempos gaminamos su grįžtamu ryšiu arba kitaip dar vadinamu, su savireguliuoimu ir be jo.
5. Ištyrus LED lempų šiluminius nuostolius, nustatyta, kad 48 – 75 % LED lemputės galios, virsta šilumos energija, likusi galia virsta į matomą ir nematomą spinduliuotę.

LITERATŪRA

1. Brazdžiūnas P. Bendroji fizika. III dalis. Optika. Vilnius, 1963. 359p.
2. KTU dėstytojų doc. dr. Kristina Masiokienė. Šviesos technika. Paskaitų konspektai.
3. Ramonas Z. Apšvietimas/Z. Ramonas, A. Lankauskas. Šiauliai, 2002. 84p. ISBN 9986-38-340-4.
4. Ramonas Z. Dirbtinio apšvietimo skaičiavimas/Z. Ramonas, A. Lankauskas. Kaunas, 1990. 71p. Metodiniai nurodymai.
5. ŠU dėstytojas doc. dr. Leonardas Buivis. Šviesos technika. Paskaitų konspektai.
6. Štaras S. Puslaidininkinės ir funkcinės elektronikos įtaisai. Vilnius, 2005. 468p. ISBN 998605-879-1.
7. Technologijos fakulteto studijų darbų parengimo tvarka / Zenonas Ramonas, Vaidutis Petronis, Dalia Čikotienė. Šiauliai, 2004. 43p.
8. Žukauskas A., Puslaidininkiniai šviestukai. ProgreTus, Vilnius, 2008. 231p. ISBN 9789955781127.
9. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-05]:
http://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index.
10. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-10]:
<http://rtn.elektronika.lt/rtn/0102/diodai.html>.
11. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-15]:
<http://www.sirijus.lt/naudinga/zinios/led-istorija/>.
12. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-20]:
https://lt.wikipedia.org/wiki/%C5%A0viesos_diodas.
13. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-22]:
<http://mokslasplius.lt/naujienos/2012/04/24/renkam%C4%97s-ap%C5%A1vietim%C4%85-k%C4%85-reikia-%C5%BEinoti>.
14. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-26]:
http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode.
15. Prieiga per internetą [žiūrėta 2016-04-30]:
<http://www.ageta.lt/9/led-apsvietimas-norintiems-zinoti-daugiau>.